

## **ВВЕДЕНИЕ ВРЕМЕНИ В ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ**

Дискуссионные заметки.

С.Ф. Тимашев

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Москва

Показано, что эксперимент на современном уровне его возможностей может оказаться информационно содержательным для разрешения «великих проблем» современной физики – генезиса «стрелы времени» и определения меры нарушения принципа причинности в микромире. Прежде всего, необходима более адекватная оценка существующих в теоретической физике базовых образов «термостата» и «прибора» для квантово-механических измерений как абсолютных объектов с фиксированными и неизменными параметрами. Показано также, что при решении указанных проблем следует учитывать новое знание о физическом вакууме как реальной материальной сущности, которое привнесли достижения космологии последних лет.

«И наиболее руководящей из всех наук, и в большей мере руководящей, чем <всякая> наука служебная, является та, которая ... отдает предпочтение знанию ради знания, познанию первых элементов и причин, ибо с помощью их и на их основе познается все остальное, ... познает, ради чего надлежит делать каждую вещь; а такую конечную целью в каждом случае является благо и вообще наилучшее во всей природе».  
*Аристотель. Метафизика. Пер. А.В. Кубицкого. Ростов-на-Дону: «Феникс», 1999. 9-10 с.*

### **1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

«И в небе и в земле сокрыто больше,  
Чем снится вашей мудрости, Горацио».  
*У. Шекспир. Пер. М. Лозинского.*

#### **1.1. Соблюдается ли принцип классической причинности в микромире? Кто прав: Бор или Эйнштейн?**

При обсуждении состояния современной физики и перечислении ждущих решения конкретных задач В.Л. Гинзбург [1, 2] назвал три «великие» проблемы: генезис «стрелы времени», интерпретация и понимание квантовой механики, возможность осознания законов живой материи на языке физики. Лишь постановка соответствующих экспериментов с однозначной трактовкой полученных результатов могла бы внести ясность в каждую из указанных проблем. Поскольку о понимании «живого» можно говорить лишь после создания «жизни в пробирке» [1], то с этой точки зрения первые две

из указанных проблем представляются несравненно более «земными», более доступными для осознания. Это, в частности, отражается и в дискуссиях последних лет по концептуальным проблемам квантовой механики [3-5], инициированных редколлегией УФН (см. также [6, 7]). Данные заметки можно рассматривать как продолжение такой дискуссии. При этом автор видел свою задачу в более «острой» постановке проблемы – в обсуждении тех парадигм современной физики, выход за рамки которых, по мнению автора, позволяет приблизиться не только к концептуальному пониманию сущности первых двух «великих» проблем, но и рассмотреть ряд методических вопросов, относящихся к постановке необходимых для такого понимания экспериментов. Здесь имеется в виду исследование необратимой во времени динамики сложных систем и анализ получаемых экспериментальных данных с выявлением индикаторов «стрелы времени», а также установление взаимосвязей квантовой подсистемы с «классическим» прибором, которые могли бы указывать на проявления «причинности» в динамике квантово-механических систем вне рамок вероятностной, «копенгагенской» интерпретации квантовой механики.

Фактически речь идет о попытке понять, насколько эксперимент на современном уровне его возможностей может оказаться информационно содержательным для понимания природы необратимости абсолютно всех явлений нашего мира и осознания информационных ограничений, которые Природа создает при исследовании объектов на атомных масштабах. Другими словами: насколько уровень нашего сегодняшнего понимания динамики сложных процессов позволяет говорить о «новом диалоге с Природой» (определение И. Пригожина и И. Стенгерс [8]). Нельзя не согласиться с мыслью Дж. Беркли, что «в отыскании и попытках понимания языка (если можно так сказать) Творца природы должна заключаться задача естествоиспытателя» [9, с. 110]. И далее: «Через прилежное наблюдение доступных нашему кругозору явлений мы можем открывать общие законы природы и выводить из них другие явления; я не говорю *доказывать*, потому что все выводы такого рода зависят от предположения, что Творец природы всегда действует единообразно и с постоянным соблюдением тех правил, которые мы признали за начала, чего мы не можем знать с очевидностью... Постоянный стройный порядок природы не неуместно может быть назван языком ее Творца (СТ – при условии понимания и осознания этого порядка!), открывающим Свои атрибуты нашему взору и научающим нас, как мы должны поступать для удобства и счастья жизни. Люди, выводящие общие правила из явлений, а затем явления из этих правил, рассматривают, по-видимому, скорее *знаки*, чем *причины*. Человек может хорошо читать язык природы, не зная ее грамматики (или: понимать естественные знаки, не зная их аналогии – во 2-м изд.),

не будучи в состоянии сказать, на основании какого правила вещь такова, а не иная. И как можно писать неправильно вследствие чрезмерно строгого соблюдения общих грамматических правил, также точно при выводах из общих законов природы невозможно слишком широко применять аналогию и тем самым впасть в ошибки. Как при чтении прочих книг, мудрый человек будет стараться направлять свои мысли более на смысл и извлекать из него для себя пользу, чем на грамматические замечания о языке, так, по моему мнению, и при пользовании книгою природы ниже достоинства духа стремиться к слишком большой точности в подведении каждого отдельного явления под общие законы и доказательства того, как это явление из них вытекает» [9, с. 141-142]. Последняя мысль, по-видимому, не должна смущать читателя. По крайней мере, соответствующие высказывания о том, что при стремлении к абсолютной строгости ничего не откроешь, автор встречал у Эйнштейна («Если не грешишь против разума, нельзя вообще ни к чему прийти», из письма к М. Solovine, цит. по [10; с. 530]) и Ландау.

Принцип причинности, равно как и представление о необратимости времени являются суждениями априорными. «Эти принципы – не индуктивные обобщения на основе опыта и не выводы теоретической науки, а онтологические представления о реальности, навязанные практической ориентацией мышления. ... Исходя из опыта, мы можем утверждать, что наш мир является в достаточной степени причинно обусловленным, но никакой конечный опыт не позволяет нам утверждать, что *все* явления причинно обусловлены» [11]. Обыденное, хорошо понимаемое и не требующее комментариев на бытовом уровне понятие причинности стало предметом острых дискуссии среди физиков после открытия квантовой механики в связи с ее интерпретацией. Споры вышли на самый «высокий» уровень – Эйнштейна и Бора [12].

*Согласно Бору*, базовый для квантовой механики образ – волновая функция дает *вероятностное описание индивидуальной микросистемы*, и такое недетерминированное описание является максимально полным. При этом пределы возникающей неопределенности (в положении частицы и величины ее импульса, выявляемые в процессе измерения «макроскопическим» прибором; в энергии квантового состояния и времени его измерения) определяются соотношениями Гейзенберга. В противоположность такому мнению, *Эйнштейн* полагал, что волновая функция дает лишь *вероятностное описание ансамбля тождественных микросистем (квантового статистического ансамбля)*, и выводы квантовой механики нельзя относить к индивидуальной микросистеме.

Хотя на опыте обе позиции оказываются неразличимыми, поскольку вероятностные предсказания могут быть проверены только в результате статистической обработки серии наблюдений, абсолютное большинство физиков приняло интерпретацию

«копенгагенской школы» с отказом от «строгой причинности». При этом наблюдатель обычно не интересуется информацией, «потерянной в приборе», так что о детерминизме и установлении причинной взаимосвязи событий при описании динамики исследуемого квантового явления говорить, действительно, не приходится.

Описание процессов, происходящих в приборе при собственно квантово-механическом измерении, находится вне рамок ортодоксальной квантовой механики. Как только мы распространяем квантово-атомистическое представление на прибор (например, диафрагму, через которую проходит «волна-частица»), квантовая механика утрачивает смысл; иначе: «мир, в котором нет классических объектов, выходит за рамки квантовой механики» [10, с.545]). Но именно при таком анализе явным образом и может проявляться классическая причинность, о чем говорил Эйнштейн. «Нельзя игнорировать, что тела, с помощью которых мы измеряем предметы, воздействуют на эти предметы», – писал он в письме к М. Solovine (цит. по [10, с.530]). Эйнштейн считал, что сама по себе квантовая механика является крупным достижением, в ней имеется значительный элемент истины, но она остается лишь предельным случаем теории, которую предстоит создать. Наличие априорно существующих ограничений свойственно для любой теории: когда надо переходить «от логической схемы к делу, всегда приходится какое-то звено объявлять далее неанализируемым. В квантовой механике квантово-атомистический анализ, учет дискретности поля и континуально-волновой природы частиц, должен остановиться перед телами, которые мы считаем неквантовыми, к которым мы подходим, закрывая глаза на корпускулярно-волной дуализм и дискретность действия, иначе говоря, перед телами, которые мы вводим в игру как заведомо классические тела» (Л. Розенфельд, цит. по [10, с.547-549]). Именно выявление указанных неклассических факторов при взаимодействии с классическим прибором при квантово-механических измерениях и должно приводить, по мнению Эйнштейна, к сохранению классической причинности в явлениях микромира: «то, что происходит в природе, по-видимому, настолько детерминировано, что глубокие закономерности связывают не только протекание процесса во времени, но и его начальное состояние» [12, с. 445-446]. «Бог не играет в кости» – наиболее известная фраза Эйнштейна, выражающая его убежденность в пользу принципа классической причинности. «В глазах моих коллег я выгляжу упорствующим еретиком, ... ко мне в общем относятся как к окаменелости, которую возраст сделал слепой и глухой», – такие размышления Эйнштейна приводит Пайс в своей книге [12, с. 442]. И еще: «... однажды Эйнштейн заметил за обедом, что лет через сто физики поймут его» [12, с. 442]. За год до смерти он писал: «Я считаю вполне вероятным, что физика может и не основываться на концепции поля, т.е. на непрерывных структурах. Тогда ничего не останется от моего

воздушного замка, включая теорию тяготения, как впрочем, и от всей современной физики» [12, с. 448].

За прошедшие 50 лет со дня кончины Эйнштейна концептуально не изменилось отношение большинства физиков к его заключению о несовместимости предположения о полноте квантовой механики с понятием «объективной реальности» и реализующимся в Природе принципом причинности. Однако произошедшие и происходящие перемены в осознании динамики сложных явлений, основанные на теории «детерминированного хаоса» [13], теории клеточных автоматов с концепцией «самоорганизованной критичности» («Self-Organized Criticality», SOC) [14] и «принципом вычислительной эквивалентности» («Principle of Computational Equivalence») [15], позволяют переосмыслить взгляды Эйнштейна и приблизиться к более полному пониманию принципа причинности в физике. При этом оказалось, что продвижение в данном направлении связано с пониманием микроскопической сущности другого, не менее фундаментального для физики принципа – Второго начала термодинамики. Фактически же даже надо «вернуться» к обсуждению «ключевой» для теоретической физики, начиная с механики Ньютона, проблеме – введению в физику, равно как и в другие естественные науки, образа времени.

Автор убежден, что только осознание сущности вводимого в науку образа времени позволяет не только надеяться на адекватность восприятия окружающего мира, но и формировать язык общения с Природой, задавая «рабочие» вопросы в необходимом количестве и получая адекватные ответы с требуемой степенью подробностей – действительно вести «новый диалог с Природой». Но как, на каких принципах такой язык может быть создан и о каком типе диалога может идти речь? Насколько возможно получать определенную информацию о состоянии и динамике термодинамически открытых многофакторных природных систем, которые проявляют свою сложность в «пространственных» рядах, соответствующих разнообразным хаотическим структурам, и временных рядах динамических переменных, характеризующих эволюционные изменения в этих сложных системах с «бесконечным» числом степеней свободы?

Обычно для описания информации, содержащейся в рассматриваемой системе, вводится информация по Шеннону [13]. Эффективность использования Шенноновской информации полностью себя оправдала, когда объем информации при компьютерном анализе ограничен (выражен определенным числом бит), хотя и может быть очень большим. При исследовании динамики природных процессов говорить об ограниченности объема информации, которая может быть получена при измерениях временных рядов  $V(t)$  ( $t$  – время) динамических переменных, нельзя. Действительно, любой природный процесс

*a priori* является нестационарным, а «съем» информации может быть произведен на разных частотах дискретизации. Поэтому при описании динамики сложных, в том числе, природных систем удобнее рассматривать не полную Шенноновскую информацию, а скорость изменения энтропии Шеннона. Именно так вводится *K*-энтропия Колмогорова в теории детерминированного хаоса, когда динамика процесса моделируется системой обыкновенных дифференциальных уравнений [13].

Однако заметных достижений в приложении данной методологии к анализу экспериментально измеряемых временных рядов, характеризующих динамику реальных природных процессов, пока нет. По мнению автора, это связано с упрощенным (см. ниже) представлением информации, содержащейся в анализируемых сложных сигналах, продуцируемых реальными системами. Тем более, что при анализе природных систем проявляется «блоковая структура» информационных единиц, более сложных, нежели простые биты. Так, единицей информации в структуре ДНК является один кодон – совокупность трех пар нуклеотидных оснований. Своего рода информационные «клише» содержатся в иероглифическом письме. Формирующаяся квантовая информатика с введением матричных информационных единиц – кубитов также демонстрирует явную ограниченность использования традиционных битов для представления информации, содержащейся в сложных объектах.

## **1.2. Являются ли идеальными объектами «термостат» и «прибор» для квантово-механических измерений?**

Время и временные интервалы – субъективная категория, удобная для фиксации последовательности событий на различных пространственно-временных масштабах. Объективным является лишь образ «абсолютного времени», отсчитываемого по разным шкалам условных единичных интервалов от Инфляционного Большого взрыва. При обсуждении проблемы введения понятия времени в естественные науки следует, очевидно, исходить из того, что базовые уравнения классической механики в виде системы дифференциальных уравнений приводят к регулярным, детерминированным и обратимым во времени траекториям. Обратимость во времени базовых уравнений свойственна и квантовой механике: уравнение Шредингера описывает обратимую и детерминистическую эволюцию волновой функции. Уже эти аспекты вызывают некоторую настороженность в связи с *a priori* принимаемым, исходя из его «очевидности», принципом причинности. Действительно, опыт демонстрирует неизбежную необратимость всех фиксируемых явлений в окружающем мире, и поэтому «обратимость во времени» любой последовательности любых событий заведомо

неадекватная, «нефизическая» ситуация. «Физический» смысл поэтому следует связывать лишь с однонаправленностью эволюции любой реальной системы, ее «стрелой времени», тем более, что классическая динамика и квантовая механика позволяют решать множество практических задач, восхищая логической последовательностью и мощью разработанных методов анализа получаемых уравнений. Области эффективных приложений этих наук хорошо известны, также как и те области знания – прежде всего, термодинамика и статистическая физика, в которых проявляется неадекватность представлений о необратимости времени. Последнее позволило Пригожину и Стенгерс [8, с.63] заметить, что классическая механика описывает «поистине странный мир».

Неадекватность базовых уравнений классической динамики впервые осознал Больцман при своих попытках обоснования 2-го начала термодинамики и введения образа «стрелы времени» как символа необратимости эволюции реальных систем. Первоначально в поисках ответа на эти вопросы Больцман ввел предположение, названное им эргодической гипотезой, позволяющее заменять средние от динамических величин по времени средними от тех же величин по статистическому ансамблю. Впоследствии Нейман и Биркгоф (см. [16]) показали, что эргодическая гипотеза есть прямое следствие обратимых по времени уравнений классической динамики. В ходе известных дискуссий по парадоксам обратимости между Больцманом и Лошмидтом, а затем Цермело и Пуанкаре Больцман подчеркивал, что «второй закон термодинамики никогда не удастся доказать математически на основе одних лишь уравнений движения» (цит. по [16, с. 158]). В своих лекциях по теории газов Больцман писал: «Так как у нас любят сейчас представлять время, когда наши воззрения на природу станут совершенно иными, мне хочется упомянуть, что основные уравнения движения для отдельных молекул могут оказаться лишь приближенными формами, дающими средние значения, которые вытекают, согласно исчислению вероятностей, из совместного действия очень большого количества отдельных движущихся частиц, составляющих окружающую среду ...» (цит. по [16, с. 116-117]). Понимая, что эргодическая гипотеза неадекватна реальным процессам, и из обратимых уравнений классической физики необратимость получить невозможно, Больцман нашел достойнейшее для своего времени решение – он постулировал необратимость, введя необратимость относительно инверсии времени в интеграл столкновений в кинетическое уравнение.

За прошедшее столетие ответы на вопросы о генезисе необратимости и возможной смене научной парадигмы, фактически поставленные Больцманом, не были найдены. Более того, Больцман, по-видимому, не был понят ни современниками, ни последующими исследователями, поскольку так «жестко» – о необходимости смены парадигмы,

основанной на обратимых уравнениях динамики, после Больцмана вопрос никто не ставил. Предпринимаемые попытки вывода уравнения Больцмана из обратимых во времени уравнений классической динамики для подсистем, слабо взаимодействующих с термостатом, например, для классического разреженного газа [17], принципиально не могли привести к разрешению проблемы. В связи с продолжающимися и в настоящее время дискуссиями о природе необратимости наблюдаемых макроскопических явлений укажем на работу [18], в которой обращается внимание на высказывание Больцмана 1905 года о точке зрения Освальда, согласно которой необратимость естественных процессов при обратимых во времени уравнениях механики следует связывать с начальными условиями. В [18] подчеркивается, что такое объяснение оставляет вопросы о природе асимметрии начальных и конечных условий для уравнений механики и фактически не решает загадку «парадокса необратимости». Тем не менее, в течение прошедшего столетия практически не подвергались сомнению основные соотношения статистической механики равновесных систем, созданной современником Больцмана Гиббсом, хотя базовой основой этой науки является эргодическая гипотеза с использованием обратимых во времени уравнений динамики. Все же обсуждение проблемы «затухания Ландау» в равновесной бесстолкновительной плазме [19, 20], а также недавние результаты по сопоставительному анализу равновесных термодинамических флуктуаций по Гиббсу и Эйнштейну [21] возвращают нас к проблеме необратимости и критическому переосмыслению подхода Гиббса.

Вопросы об адекватности обратимых во времени базовых уравнений теории, хотя и не столь явно, стали возникать и в связи с квантовой механикой. Не столь явно, поскольку возникла возможность «списать» многие проблемы, и в частности, нарушение «принципа причинности», на особенность свойств микромира, на «проблему измерения в квантовой механике», как отмечалось выше [3-7]. Действительно, сама по себе эволюция квантовой системы, исследуемая на основе динамических переменных, измеряемых с помощью прибора, который, как указывалось выше, рассматривается традиционно как система классическая, не может быть описана в рамках уравнения Шредингера, так что память о динамике эволюции теряется «в приборе». Более того, на завершающем этапе измерения, состоящем в выборе одного из множества альтернативных результатов измерения используемым прибором, – редукции состояния (называемой также коллапсом волновой функции), при которой из суперпозиции некоторого количества возможных векторов состояния исчезают все компоненты, кроме одного, включается и сознание наблюдателя [3, 4]. В связи с обсуждаемой проблемой возникают естественные вопросы: можно ли зафиксировать происходящие в приборе в процессе измерения вариации какого-либо



динамического параметра, происходящие, в общем случае, необратимо; насколько такие изменения могут быть информационно значимыми; сможет ли «наблюдатель» извлечь соответствующую информацию, исследуя сам прибор в процессе измерения? Другими словами: можно ли контролировать изменения внутреннего состояния, прежде всего, структуры прибора, с неизбежностью необратимо происходящие в приборе в процессе исследования динамики квантовой системы? Положительные ответы на эти вопросы позволили бы по-новому оценить сущность проблемы измерения в квантовой механике. Но при этом мы вновь возвращаемся к вопросам анализа динамики сложных систем (каковыми являются реальные приборы для квантово-механических измерений).

Прежде чем продолжить обсуждение проблемы генезиса необратимости следует сделать одно общее утверждение, основанное на теоремах Гёделя [22, 23]. Согласно Гёделю, любая аксиоматизированная дедуктивная система является неполной, так что в ее рамках может быть сформулировано утверждение, истинность которого нельзя ни доказать, ни опровергнуть, и для получения заключения об этом утверждении необходимо выйти за пределы исходных аксиом. Современная наука, включая классическую динамику Ньютона и квантовую механику, строится именно дедуктивным образом и поэтому *a priori* не может быть полной. Иначе: в современной науке могут возникнуть утверждения, справедливость которых нельзя ни доказать, ни опровергнуть.

Автор считает, что в случае квантовой механики, которая, как и всякая наука, построена дедуктивным образом, таковыми утверждениями являются альтернативные заключения Бора и Эйнштейна о смысле волновой функции: является ли квантовая механика теорией единичной микросистемы, находящейся во взаимодействии с прибором, или является статистической теорией статистического ансамбля микросистем. Поскольку «границей», за которую нельзя выходить, чтобы оставаться в рамках канонических представлений квантовой механики, является образ «прибора» как абсолютного объекта с фиксированными и неизменными параметрами, то адекватный выбор между заключениями Бора и Эйнштейна может быть сделан при отказе от такого образа прибора. Тем более, что согласно приведенным выше мнениям Эйнштейна и Розенфельда, основания для отказа рассматривать прибор как заведомо классическое тел существуют. Поэтому постановка целенаправленных экспериментов, в которых наряду и квантовыми переходами в исследуемой квантово-механической подсистеме будут исследоваться одновременно квантовые переходы в «приборе», в том числе, локальные перестройки его микроструктуры, позволит сделать окончательные выводы об обсуждаемой проблеме. Ниже эти вопросы будут рассмотрены более конкретно.

Если в период зарождения и наиболее активной фазы дискуссий об интерпретации квантовой механики выбор между альтернативными заключениями Бора и Эйнштейна сделать было трудно, возможности современного эксперимента и анализа шумовых сигналов, генерируемых в «приборе» при квантово-механических измерениях, позволяют надеяться на разрешение этой давней дискуссии о сохранении или нарушении классической причинности в процессах микромира. Этот вопрос становится еще более актуальным, поскольку одновременно с ним должен обсуждаться круг проблем, связанных с природой необратимости всех реальных процессов, генезисом «стрелы времени», поскольку именно в необратимости и реализуется принцип причинности. Как указывалось выше, речь идет о первой из «великих» проблем физики, более конкретно, статистической физики. Как будет показано ниже, именно постановка последних проблем позволила помимо чисто гносеологических аспектов подойти к решению практических проблем извлечения информации из хаотических сигналов разной природы.

Фактически, общий вопрос ставится так: является ли обратимость во времени имманентным свойством реальных процессов на всех уровнях их пространственно-временной иерархии (в соответствии с обратимостью относительно инверсии времени уравнений квантовой и классической физики), а реализующаяся необратимость является следствием неких «сторонних» факторов? Конечно, в каждом конкретном случае эти сторонние факторы должны быть конкретизированы, равно как и соответствующий им механизм трансформации обратимой во времени эволюции в необратимую эволюцию. Как отмечалось выше, еще Больцман понял, что последние процедуры последовательно выполнить нельзя, и для вывода «необратимых» во времени уравнений надо выйти за пределы исходной дедуктивной схемы с обратимыми относительно инверсии времени уравнениями движения. Он просто постулировал необратимость, введя в статистическую физику кинетическое уравнение с необратимым относительно инверсии времени интегралом столкновений. При этом состоянию равновесия отвечает предельный случай, при котором максвелловская частота релаксации значительно превосходит все характерные частоты исследуемой системы. Однако такой путь введения необратимости не соответствует общей логике формирования науки из «первых принципов», в данном случае, постулатов об обратимости относительно инверсии времени уравнений квантовой и классической физики. Именно в силу того, что уравнение Больцмана не выведено из этих базовых для статистической физики гипотез, В.Л. Гинзбург и отнес выявление генезиса «стрелы времени» к «великим» проблемам физики. Поэтому и остаются вопросы: Надо что-нибудь изменять в базовых аксиомах статистической физики? За пределы каких

дедуктивных принципов надо выйти, чтобы понять генезис необратимости во времени эволюции реальных систем, а тем самым сущность Второго начала термодинамики?

Чтобы ответить на эти вопросы, предложим возможную альтернативу сформулированной выше гипотезе: является ли имманентным свойством любого реального процесса необратимость во времени каждого «элементарного» шага, т.е. «шага-события» на каждом из уровней пространственно-временной иерархии рассматриваемой эволюции? Другими словами: присуща ли необратимость каждому «элементарному» событию, которое в принципе может быть зафиксировано. Фактически, при этом *a priori* постулируется справедливость Второго начала термодинамики на всех уровнях иерархии эволюционной динамики произвольных систем, так что проблемы «стрелы времени», первой из указанных «великих» проблем физики, просто не существует. Такой взгляд на эволюцию был развит Вайцеккером в его «Триест-теории» [24] (см. также [25, 26]). Но какова степень адекватности такой гипотезы? Не придется ли при этом отказаться от базисных постулатов теоретической физики, предусматривающих введение времени в уравнения эволюции как непрерывно и монотонно изменяющегося фактора?

Следуя логике Гёделя, для получения заключения об адекватности одного из двух указанных выше альтернативных представлений об эволюции реальных систем необходимо выйти за пределы исходных аксиом статистической физики. Очевидно, что «границей», за которую нельзя выходить, чтобы оставаться в рамках канонических представлений статистической физики, является образ «термостата» как абсолютного объекта с фиксированными и неизменными параметрами – абсолютной температурой и «белым шумом» в качестве спектра мощности равновесных флуктуаций. Такой «термостат», действительно, является ключевым объектом современной статистической физики и ее основы – статистической механики Гиббса равновесных систем. Произвольные системы, входящие в статистические ансамбли Гиббса, должны характеризоваться именно указанными параметрами термостата – температурой и «белозумным» спектром мощности флуктуаций, чтобы можно было говорить о справедливости эргодической гипотезы. Индивидуальные различия отдельных систем в статистическом ансамбле проявляются лишь в пространственно-временных последовательностях равновесных флуктуаций, охватывающих интегрально за время наблюдения весь фазовый объем системы в соответствии с распределением Больцмана.

Очевидно, что идеальный термостат вполне может быть представлен и в схеме эволюции «по Вайцеккеру». В этом случае во всей последовательности «шагов-событий» на каждом из уровней пространственно-временной иерархии рассматриваемой эволюции

должны полностью отсутствовать какие-либо корреляционные взаимосвязи, начиная с корреляций между смежными «шагами-событиями». Фактически при этом общая «направленность» времени исчезает. Главное: существуют ли такие идеальные термостаты, насколько представленный образ идеального термостата, базовый для ортодоксальной статистической физики, является адекватным? Есть ли аргументы, позволяющие усомниться в этом и склониться в выборе представленных альтернатив в пользу идеи Вайцеккера? Выполненные в 70-х годах прошлого века Воссом и Кларком [27] исследования «равновесных» (в отсутствие электрического тока) шумов в электропроводящих твердофазных системах (тонкие металлические и полупроводниковые пленки) при комнатных температурах дают основания именно для последних заключений. Ниже эти возможности будут обсуждены подробнее.

Таким образом, анализ на самом общем уровне обеих «великих» проблем физики – генезиса «стрелы времени» и возможности сохранения принципа причинности в микромире приводит к необходимости более критического восприятия существующих в теоретической физике образов «термостата» и «прибора» как абсолютных объектов с фиксированными и неизменными параметрами. В этом и будет состоять, в соответствии с логикой Геделя, «выход» за пределы принятых парадигм. Ниже будут обсуждены возможные «ключевые» эксперименты для получения ответов на поставленные вопросы о степени адекватности образов «термостата» и «прибора» как абсолютных объектов при решении проблем «стрелы времени» и меры нарушения принципа причинности, а также представлена методология анализа получаемых в ходе таких экспериментов данных.

## **2. СТРУКТУРНАЯ НЕРАВНОВЕСНОСТЬ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР В АНАЛИЗЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

«В гуще белых облаков не видно белых облаков,  
в журчании ручья не слышно, как журчит ручей».  
*«Лес чаньских изречений». В сб. Афоризмы старого Китая.*

Мы связываем изначальное проявление необратимости в эволюционной динамике реальных систем со структурной неравновесностью абсолютно всех конденсированных объектов [25, 26]. К таким объектам относятся не только тела в условиях «термодинамического равновесия», но и сами «термостаты», равно как и «приборы», фиксирующие состояния квантовых подсистем. Как было показано Воссом и Кларком [27], реализующиеся в электропроводящих твердофазных системах в условиях «равновесия» флуктуации электрического потенциала проявляют «долговременную

память» и формируют фликкер-шумовые зависимости спектров мощности, а не «белый шум», характерный для равновесных систем.

Низкочастотный фликкер-шум (или  $1/f$ -шум) – один из удивительных феноменов Природы. Он впервые был зафиксирован в 1925 г. как эффект медленных флуктуации (мерцаний) эмиссионной способности катодов электронных ламп и вызванных этими мерцаниями флуктуации тока лампы. Последующие исследования показали неизбежность его проявления при прохождении электрического тока в различных материалах (металлических пленках, полупроводниках) и приборах электронной техники, при химических превращениях в конденсированной фазе, геофизических и астрофизических явлениях, в последовательности нуклеотидов в наследственных структурах и др. [14, 27-29]. Обычно анализируется спектр мощности  $S(f)$  ( $f$  – частота) динамической переменной  $V(t)$  ( $t$  – время), представляемой в виде временного ряда. Для фликкер-шума характерно возрастание  $S(f)$  в пределе малых частот:  $S(f) \sim f^{-n}$ , где  $n \sim 1$ . При этом  $V(t)$  может иметь разнообразный смысл: измеряемый параметр физических объектов; скорость химических превращений в конденсированной фазе; изменения интенсивности электромагнитных или акустических сигналов, напряженности магнитного поля вблизи выделенного участка поверхности Солнца, интенсивности солнечного ветра, светимости сейфертовских галактик; вариации показателей деятельности сердечной мышцы, других биоритмов, стоков рек, сейсмической или вулканической активности, численности популяций в экосистемах, индекса цен на бирже, интенсивности движения городского транспорта, муниципальных или федеральных бюджетов; скорость изменения прожиточного минимума и показателей общественного мнения, и т.п.

Фиксируемые Воссом и Кларком [27] флуктуации потенциала могут быть связаны лишь с коррелированной последовательностью флуктуаций электронной плотности или подвижности носителей электрического заряда в макроскопически протяженных (доли мкм или более) областях и постепенному смещению таких областей по всей исследуемой системе, поскольку фликкер-шум есть проявление «бесконечной памяти» в последовательности флуктуаций [29]. В отсутствие электрического тока фиксируемые флуктуации могут иметь только температурно-активационную природу и быть связанными с динамикой флуктуаций электрического потенциала, отражающих динамику каких-то внутренних неспецифических флуктуационных процессов в исследуемых электропроводящих твердофазных системах. Одной из возможных причин проявления фликкерных флуктуаций в таких матрицах в отсутствие электрического тока можно рассматривать структурную неравновесность реальных твердотельных систем. Ниже рассмотрим подробнее комплекс вопросов, относящихся к оценке степени такой

неравновесности и возможности реализации локальных структурных перестроек в таких системах в условиях воздействия лишь температуры окружающей среды.

Заведомо очевидно, что любой реальный термостат, изготовленный из твердофазных материалов, будет представлять собой структурно неравновесную систему с множеством протяженных метастабильных фрагментов. Действительно, истинно равновесной твердофазной системой при фиксированной температуре  $T_K$  являлся бы идеальный кристалл с соответствующей «по Больцману» концентрацией точечных дефектов при условии равновесной «укладки» фрагментов межфазных границ. Таких систем в природе нет. Именно неизбежные нарушения «структурного равновесия» (совокупности разнообразных точечных дефектов, дислокации в кристаллах, аморфные и стеклообразные фрагменты и т.д.) в реальных твердофазных системах могут стать причиной неравновесных флуктуаций потенциала, зафиксированных в экспериментах Восса и Кларка. Принципиально такую возможность исключить нельзя. Можно полагать, что вследствие указанной структурной неравновесности реализуются неэквивалентные локальные энергетические потоки между твердофазной средой и ее окружением. Генерируемые при таком неэквивалентном обмене флуктуации динамических переменных системы даже в условиях внешнего «термодинамического равновесия» (система в «термостате»), являясь принципиально неравновесными, могут обуславливать происходящие в среде разнообразные активационные процессы, в том числе, процессы трансформации (высвобождения, перераспределения) «структурной энергии» или «энергии напряжения»  $G$ , характеризующей меру структурной неравновесности матрицы [30].

Понятие «энергии напряжения» твердофазной матрицы было введено А.А. Овчинниковым и В.А. Онищуком [30], чтобы выяснить причину аномально высокой скорости ряда химических процессов в органических стеклах. В частности, в ряде экспериментальных работ по низкотемпературной кинетике хлорирования углеводов в стеклообразных матрицах были обнаружены цепные реакции, скорость которых при низких температурах на несколько порядков превышала соответствующие высокотемпературные значения. При этом была надежно установлена определяющая роль заключенной в стекле неравновесной энергии в таком ускорении скорости процессов. Согласно [30], феноменологическая величина  $G$  определяет меру неравновесности стекла в окрестности реагентов. Оценки величины  $G$ , полученные по измерению скрытой теплоты перехода органические стекла-кристалл дали значения  $G \sim 2$  кДж/моль [31]. Необходимо подчеркнуть, что приведенная оценка относится ко всей матрице, так что интегральное энергосодержание стекол оказывается величиной значительной. В работе

[30] применительно к анализируемым экзотермическим цепным процессам в стеклообразных матрицах предполагалось, что энергия активации элементарного акта  $E_a$  линейно падает с ростом  $G$ , а часть теплоты, происходящих экзотермических реакций в процессе релаксации может запасаться в матрице, переходя в энергию напряжения. Последний фактор может воздействовать на кинетику в пределе низких температур  $T_K$  как эффективная температура  $B$ . Тогда выражение для константы скорости  $k$  образования цепи принимало вид:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a^0 - \alpha G}{T_K + B}\right). \quad (1)$$

Здесь  $E_a^0$  – «исходная» энергия активации;  $k_0$ ,  $\alpha$  и  $B$  – феноменологические параметры.

Для количественного описания кинетики цепного хлорирования углеводородов в стеклообразных матрицах была предложена система релаксационных уравнений для локальной температуры  $T_K$  и локальной величины «энергии напряжения»  $G$  в расчете на одну молекулу:

$$\begin{aligned} \frac{dT_K}{dt} &= \frac{q}{c\rho} Nk - k_T(T_K - T_{K0}), \\ \frac{dG}{dt} &= q_1 Nk - k_g^0 G \exp\left[-\frac{U}{T_K + B_1}\right], \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $q$  – теплота реакции;  $q_1$  – часть теплоты, переходящая в энергию напряжения;  $N$  – концентрация радикалов;  $c$  и  $\rho$  – теплоемкость и плотность исходной матрицы;  $T_0$  – температура термостата;  $k_T$  и  $k_g$  – времена релаксации для локальной температуры и энергии напряжения соответственно;  $B_1$  – феноменологический параметр, в общем случае, отличный от  $B$ . В работе [30] было показано, что при локальных перестройках структуры стеклообразной матрицы, происходящих с эффективным понижением энергии активации перехода между соседними локальными минимумами потенциальной поверхности, в такие элементарные акты, сопровождающиеся изменением структурной энергии  $G$ , могут вовлекаться до 70 молекул «стекла».

На несколько иной основе идеи работы [30] о роли энергонасыщенности твердофазной матрицы в кинетике химических и других активационных процессов (в частности, кинетики разрушения под напряжением) в твердотельных системах были развиты в работах [32-35]. В качестве базовой рассматривалась задача Крамерса (классический и квантовый варианты) о динамике накопления энергии на «активном осцилляторе» (АО) в условиях, когда наряду с «тепловой баней» (термостатом) на АО воздействовали дополнительные «сверхравновесные» тепловые источники. Такие

источники, как и в [30], связывались с происходящими в матрице экзотермическими процессами, а также высвобождением «энергии напряжения», запасенной в структурно неравновесных фрагментах матрицы.

Соответствующее выражение для константы скорости твердофазного активационного процесса в случае крамерсовской кинетики («диффузия в пространстве энергии»  $\varepsilon$  активного осциллятора) имело вид [33]:

$$k = k_0 \exp \left[ - \frac{Q - \gamma \sigma}{k_B T_K + f_0(\sigma) \tau} \right], \quad (3)$$

где  $Q$  – энергия активации АО;  $f_0(\sigma)$  – скорость изменения средней энергии АО при «тепловых ударах»;  $\sigma$  и  $\gamma$  – соответственно величина локального растягивающего напряжения и активационный объем АО;  $\tau$  – время колебательной релаксации АО.

В [33] рассматривалась кинетика накопления энергии на АО в условиях, когда «сверхравновесные» тепловые источники наряду с «крамерсовской» кинетикой могли обуславливать «некрамерсовские», многофононные переходы в АО с его «прямым» возбуждением вплоть до граничных значений  $Q$  вне зависимости от исходного энергетического состояния АО (эффект «тельняшки» [33]). В случае «некрамерсовской» кинетики при  $\sigma = 0$  и выборе для АО простейшей модели гармонического потенциала, когда  $U(q_{AO}) \sim q_{AO}^2$ , где  $q_{AO}$  – смещение обобщенной координаты АО от равновесного положения, получаем [33]:

$$k = \chi_0 \frac{\Phi(\chi_0 \eta^{-1}, 1; Q/k_B T_K)}{\Phi(\chi_0 \eta^{-1}, 1; Q/k_B T_K) - 1}. \quad (4)$$

Здесь  $\Phi(\alpha, 1; u)$  – вырожденная гипергеометрическая функция;  $\chi_0$  – константа скорости перехода АО из состояния с энергией  $\varepsilon \ll Q$  в состояние с  $\varepsilon = Q$ ;  $\eta$  – коэффициент «трения» (связь АО с окружением). Из (4) при  $E_d/k_B T_K \gg 1$  получаем:

$$k \approx \chi_0 + \eta \frac{Q}{k_B T_K} \cdot \exp \left( - \frac{Q}{k_B T_K} \right). \quad (4a)$$

Зависимости (4) и (4a) были использованы (см. [34] и обзор [35]) для анализа многочисленных данных по кинетике низкотемпературных химических процессов в стеклах – реакции гидробромирования этилена, реакции хлорирования и бромирования этилена, фотохлорирования хлористого бутила и др. В этих процессах ранее была обнаружена независимость константы скорости от температуры в области температур порядка 100 К и ниже, что связывалось с процессами туннелирования атомов (водород, хлор, бром). В работах [34] и [35] на основе анализа всей совокупности этих же экспериментальных данных было сделано заключение о возможности туннелирования



лишь протонов. Что касается химических процессов в стеклах с переносом тяжелых атомов, то для этих процессов более обоснованной представляется реализация активационных механизмов при эффективном вкладе «сверхравновесных» тепловых источников, связанных с аккумулярованием энергии экзотермических процессов в виде «структурной энергии» и последующим ее «освобождением».

Структурная неравновесность твердофазной матрицы может проявляться и при предельно низких температурах. В частности, на этой основе оказалось возможным понять [32] известную аномалию – линейную температурную зависимость теплоемкости диэлектрических стекол  $C_v \sim T_K$  при температурах  $T_K$  ниже 1К без использования двухуровневых моделей, предполагающих туннелирование тяжелых частиц между состояниями в двух смежных потенциальных ямах. При построении температурной зависимости, описывающей экспериментально наблюдаемое изменение теплоемкости боросиликатного стекла от температуры вплоть до области, где «аномалия» исчезает и теплоемкость  $C_v \sim T_K^3$ , в [32] были введены модельные представления о возрастании времени колебательной релаксации в стеклах при низких температурах. О такой возможности может свидетельствовать наблюдаемый в стеклах при  $T_K < 1К$  эффект «насыщения» при распространении волн разной природы (звуковых, электромагнитных): стекло «помнит» первичное облучение в течение  $10^{-6}$  с.

Конечно, все приведенные оценки относятся к стеклообразным матрицам, системам с предельно выраженной структурной неравновесностью. Реализация процессов трансформации (высвобождения, перераспределения) энергии напряжения  $G$  в системе метастабильных уровней структурно неравновесных фрагментов конкретной твердофазной матрицы будет определяться кинетической возможностью реализации такой запасенной энергии. И только последовательный анализ всей необходимой совокупности экспериментальных данных может подтвердить или отклонить реализацию таких структурных перестроек в каждом конкретном случае.

Полученные Воссом и Кларком [27] результаты не исключают возможности того, что наблюдаемая ими динамика флуктуаций электрического потенциала отражает динамику локальных перестроек структурно-неравновесных фрагментов твердофазной матрицы на микроскопическом уровне [30, 32-35], происходящую в отсутствие иных сторонних воздействий, нежели температура окружающей среды, и вследствие такой структурной неравновесности реализуются неэквивалентные локальные энергетические потоки между твердофазной средой и ее окружением. А фиксируемых в таких системах фликкер-шум может рассматриваться как «свидетель» таких необратимых перестроек, индикатор «стрелы времени» [25, 26]. Конечно, один извлекаемый параметр,

описывающий фликкер-шумовую зависимость для измеряемых флуктуаций шумовых сигналов, не может адекватно характеризовать состояние и эволюцию твердофазной матрицы. Нужна методология анализа сложных сигналов, нужны алгоритмы, позволяющие получать столько информационных параметров о состоянии системы, сколько их надо для решения каждой из конкретных задач. Возможность получения такой информации на основе анализа оцифрованных данных, получаемых при измерении шумов, будет обсуждена ниже.

Для подтверждения сделанного заключения о существовании «свидетеля» неизбежной необратимости реальных процессов, наряду с использованием методик Восса и Кларка [27] «многоточечных» измерений флуктуаций электрического потенциала, необходимы прямые измерения возникающих тепловых потоков между изучаемым объектом и термостатом. Конечно, наблюдать предполагаемые структурные перестройки в объеме реальных твердофазных системах достаточно сложно из-за длительности характерных времен заметной перестройки структуры («старения») на макроскопических масштабах. В твердотельных приборах, например, такие времена могут составлять годы или десятилетия. Фактически невозможно оценить возникающие тепловые потоки между изучаемым объектом и термостатом, прежде всего, из-за реальной неконтролируемости структуры термостата, а часто и самого объекта. Поэтому при постановке таких экспериментов, прежде всего, следует ориентироваться на проведение «ускоренных испытаний», когда система в термостате и сам термостат изготовлены из материалов, в которых процессы перераспределения структурной или упругой энергии с локальными перестройками структурно-неравновесных фрагментов твердофазного материала могут быть выявлены. Так, в работе [26] указывается, что соответствующие эксперименты по измерению флуктуаций потенциала с одновременной фиксацией изменений структуры можно провести, используя образцы серого и белого олова, соответственно  $\alpha$ -Sn и  $\beta$ -Sn модификации, помещенные в термостат при температуре в окрестности  $T_{KA} = 286.35$  К, температуры аллотопных перестроек структуры. Особый интерес представляло бы измерение тепловых потоков между рассматриваемыми подсистемами – образцами олова и стенками термостата в условиях задаваемого стандартным образом постоянства температуры.

Новые возможности в экспериментальном исследовании неравновесной динамики в твердофазных системах и в области межфазных границ могут быть связаны с использованием методов сканирующей зондовой микроскопии. В частности, на возможность значительных перестроек твердофазной поверхности при комнатных температурах на макроскопических масштабах указывают недавние результаты по

исследованию диссоциативной хемосорбции молекул  $H_2$  на Pd [36]. Было показано, что указанному процессу предшествует значительная перестройка поверхности с локализацией трех вакансий в относительно малом объеме в окрестности поверхностного центра, где происходит хемосорбция. Значительные структурные перестройки поверхностных фрагментов были зафиксированы при диссоциативной хемосорбции кислорода на платине [37]. На возможность структурной реорганизации твердофазной поверхности на масштабах от десятков нанометров до долей микрометров при гетерогенном катализе указывают также работы по фотосенсибилизированной генерации синглетного кислорода при фотовозбуждении напылённых слоёв порфиринов [38].

Можно утверждать, что существенное осложнение эволюции единой системы – анализируемого объекта и термостата заведомо исключает возможность обратимости эволюции данной системы в реальном времени вследствие локальных структурных перестроек матрицы термостата на микроуровне. Необходимость учета структурных перестроек в термостате в ходе эволюции системы в целом обуславливает практически неконтролируемый рост не только числа степеней свободы обобщенной динамической системы, но и существенное усложнение динамики отдельной обобщенной координаты вследствие увеличения числа воздействующих на ее эволюцию факторов. Эти обстоятельства существенно осложняют поиск адекватных выражений для оператора эволюции системы в целом, однако с очевидностью приводят к реальной необратимости даже на уровне отдельной траектории, эволюции одной выделенной динамической переменной. Поэтому можно утверждать, что в ходе эволюции любой заданной подсистемы в термостате обратимость во времени *a priori* не может реализоваться, и эволюция должна осуществляться в соответствии со вторым началом термодинамики.

Проводимые здесь рассуждения пока основывались на предположении, что рассматриваемый термостат идеально «держит» заданную температуру и обменивается тепловыми потоками только с находящейся в нем подсистемой. Очевидно, что это не так. Любой реальный термостат следует считать взаимодействующим с внешними по отношению к нему системами, которые, стабилизируя его температуру, способствуют происходящим в его материале структурным перестройкам. Фактически каждый термостат оказывается «вложенным» в систему с большей суммарной энергоемкостью. Тепловые потоки между такими термостатами в силу указанных факторов не эквивалентны, и никакой из рассматриваемых термостатов не может рассматриваться как идеальный. Достаточно указать, что идеальным термостатом не является даже Вселенная с реликтовым излучением, температура которого в переживаемый нами отрезок эволюции составляет около 2.73 К [39]. Все это не только усиливает реальную необратимость

динамики произвольных диссипативных систем, но и фактически означает, что необратимость абсолютна. Таким образом, для осознания природы абсолютной необратимости эволюции реальных систем необходимо отказаться от образа «стационарного» замкнутого мира, от базового понятия статистической механики Гиббса о «термостате» как абсолютном объекте с фиксированными и неизменными параметрами. Такого же типа заключение можно сделать и о «приборе» как базовом объекте квантовой механики.

Как уже указывалось, такое общее умопозитивное заключение о неизбежности проявления «стрелы времени» на всех уровнях пространственно-временной организации эволюции реальных систем необходимо усилить *экспериментальными доказательствами* – количественным анализом динамики реальных систем, в том числе, находящихся в термостатах, равно как и выступающих в качестве термостатов. Реальные природные процессы, происходящие в открытых диссипативных системах, будучи многофакторными, характеризуются сложным хаотическим поведением динамических переменных  $V(t)$  ( $t$  – время), измеряемых в ходе экспериментального исследования на некоторых временных интервалах  $T$ . Проблема, как правило, состоит в том, чтобы из сигналов  $V(t)$ , в общем случае хаотических, извлечь информацию о состоянии и динамике такой системы, прогнозировать ее возможное поведение.

### **3. О ПРОБЛЕМЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ, ЗАКЛЮЧЕННОЙ В СЛОЖНЫХ СИГНАЛАХ**

“In Innere der Natur  
Dringt kein erschaffener Geist  
Zu glücklich, wenn sie noch die aussere’ Schale weist”  
*A. Haller.*

«Во внутренность природы не проникает ни один сотворенный дух;  
он уже счастлив, если она показывает хоть внешнюю скорлупу».  
*A. Халлер. Пер. В. Шапошника.*

Проблема фактически состоит в том, как систематизировать эту первичную информацию? Как различным образом извлекать из наблюдаемых сигналов конкретную информацию в необходимом для решения конкретных задач количестве? Можно ли на основе первичной информации – временных рядов измеряемых динамических переменных прогнозировать приближение катастрофических событий в исследуемых системах? Как «освоить» соответствующую информацию при анализе динамики перераспределения потоков (массовых, энергетических и др.) в природных «распределенных» системах?

При этом возникают общий вопрос: насколько можно говорить вообще о принципиальной возможности диалога с Природой, поскольку любая сложная, тем более, природная система характеризуется практически бесконечной размерностью – бесконечным числом динамических переменных, характеризующих ее состояние? Надо ли при этом *a priori* ограничивать себя получением лишь некоторого «осредненного» знания об исследуемой системе, ориентируясь на постулаты статистической физики и рассматривая гипотетически эту систему как одну из ансамбля подобных? Но при этом игнорируется одно из имманентных любой природной системе свойств – ее в высшей степени индивидуальность и неповторимость эволюции. Оказывается, и это демонстрируют существующие представления о динамике сложных систем и соответствующие компьютерные расчеты [13-15], проявление хаотического поведения в пространственно-временной динамике сложных природных систем совсем не означает, что эффективное число соответствующих динамических переменных обязательно велико и проникнуть в сущность динамики сложных объектов *a priori* невозможно. На самом деле в видимом хаосе временных  $V(t)$  и пространственных  $h(x)$  ( $x$  – координата) вариаций измеряемых динамических переменных существует определенный порядок, связанный с проявлением самоподобия в динамике и структуре природных систем на разных уровнях иерархии их пространственно-временной организации. Именно последнее обстоятельство обуславливает относительно невысокую эффективную размерность соответствующих задач и придает прагматическое звучание «диалогу с Природой».

Большие надежды в разрешении проблем анализа сложных сигналов и извлечения содержащейся в них информации связывались с использованием методологии, основанной на теории детерминированного хаоса [13]. Согласно [13], уже одна измеряемая переменная может достаточно хорошо отражать общую динамику сложной системы, а топология общего аттрактора может быть восстановлена из наблюдений динамики этой одной переменной  $V(t)$ . При таком анализе на основе  $V(t)$  и переменных  $V(t+n\tau)$ , где  $n = 1, 2, \dots, N$ , вводится многомерное фазовое пространство размерности  $N$ , в котором «размещается» траектория изучаемого динамического процесса. В качестве динамических параметров, совокупность которых может однозначно характеризовать происходящую эволюцию, на основе теорем Такенса, справедливых для стационарных систем, вводятся корреляционная размерность аттрактора, характеристики сечения Пуанкаре, коэффициенты Ляпунова, энтропия Колмогорова. Однако заметных достижений в приложении данной методологии к анализу экспериментально измеряемых временных рядов, характеризующих динамику реальных природных процессов, пока нет. По мнению автора, это связано не только с нестационарностью эволюции реальных

систем, но с упрощенным (см. ниже) представлением информации, содержащейся в анализируемых сложных сигналах, продуцируемых реальными системами.

Принципиальный вклад в понимание динамики сложных систем внесли многочисленные расчеты моделей клеточных автоматов, позволившие обосновать парадигму «самоорганизованной критичности» [14, 15]. В качестве базовой модельной задачи СОК рассматривалась динамика формирования лавин в куче песка при наличии постоянно действующего внешнего фактора (например, потока песка, падающего на вершину кучи), когда потоки лавин разных масштабов скатывались по склону такой кучи. Было показано, что главная особенность динамики лавин состоит в прерывистом, перемежаемом (*intermittency*) по всевозможным масштабам (числам песчинок в лавине) характере скатывающихся лавин. Такая динамика представляет собой чередование временных интервалов, на которых динамическая переменная  $V(t)$  изменяется достаточно медленно («ламинарные» фазы), с относительно кратковременными интервалами, на которых переменная  $V(t)$  резко и хаотично изменяется, и реализуется переход к последующей «ламинарной» фазе с другим характерным значением  $V(t)$ . (Происходит все по Н.В. Гоголю: «... по странному устройству вещей, всегда ничтожные причины родили великие события и, наоборот, великие предприятия оканчивались ничтожными следствиями» [40, с. 27-28]). Как показали компьютерные расчеты, именно в ходе такой «перемежаемой» эволюции формируются степенные зависимости функций распределения (числа песчинок в лавине при анализе динамики лавин), именно на этой основе, при реализации существенно нерегулярного, «недарвиновского» характера эволюции, были поняты хорошо известные масштабно инвариантные (скейлинговые) зависимости законов Гутенберга-Рихтера и Ципфа-Парето, перестал быть загадкой фликкер-шум. Было выяснено, что внутренние источники формирования таких степенных законов, отражающих существование протяженных в пространстве и длительных во времени («бесконечных» – для фликкер-шума) корреляций в исследуемых системах при внешней хаотичности эволюции или образующихся в ее ходе структур, связаны с реализацией в них сложных («многочастичных», нелинейных) взаимодействий, диссипацией и инерцией. Интересно заметить, что на первые два фактора как на условие формирования единой развивающейся системы в сложном конгломерате подсистем указывал почти двадцать четыре века назад Аристотель (384/383 – 322/321 до Р.Х.) [41, с. 224], которому еще не была известна инерция. Он писал: «Всюду, где дано несколько частей, причем совокупность этих частей не будет словно ворох, но целое <из них> представляет собой нечто, отличное от частей, – для всех таких вещей бывает некоторая причина, ибо и у тел в одних случаях *соприкосновение* бывает причиной того, что это – одна вещь, в других –

*липкость* или какое-нибудь другое состояние подобного рода. А является определение единою формулировкой *не в силу внешней связи* (иначе: *следствием самоорганизации* – СТ), подобно Илиаде (там Боги, то есть внешние силы все решали – СТ), а потому, что оно относится к единому предмету». Фактор многочастичности выступал у Стагирита как «соприкосновение», роль диссипации отводилась «липкости».

Новые аргументы в пользу представления об информационной значимости фактора нерегулярности в поведении динамических переменных при анализе временной эволюции сложных систем или при описании формирующихся при такой эволюции структур были привнесены успехами вейвлет-анализа [42-44]. Здесь имеются в виду проблемы сжатия и упаковки информации, а также «декорирования» размытых изображений, когда после вейвлет-разложения остается лишь относительно небольшая доля наибольших по величине коэффициентов разложения, а затем лишь с использованием этих коэффициентов осуществляется обратное преобразование. Сохранение наибольших по величине коэффициентов означает использование в обратных преобразованиях лишь тех интервалов временных или пространственных аргументов анализируемых сигналов, где первая производная сигнала изменяется наиболее резко (участки с наибольшей степенью нерегулярности). Фактически успехи вейвлет-анализа демонстрируют информационную важность нерегулярностей в исходных сигналах.

Идеи о придании основной информационной значимости последовательностям различных нерегулярностей динамических переменных, содержащихся в хаотических сигналах, продуцируемых открытыми сложными системами, была развита автором с коллегами при разработке «фликкер-шумовой спектроскопии» (ФШС) (*Flicker-Noise Spectroscopy* – FNS) – общего феноменологического подхода к извлечению информации, содержащейся в сложных сигналах [45-51].

Принципы ФШС методологии, а также те новые возможности, которые открываются при использовании этого феноменологического подхода для анализа хаотических сигналов разной сущности, представлены в обзорах [45, 46]. В данной статье лишь будут кратко изложены базовые позиции этого подхода, который может стать феноменологической основой новой формирующейся науки – статистической динамики, задачи которой состоят в анализе и извлечении информации, содержащейся в измеряемых динамических переменных разной сущности (оцифрованных временных, пространственных, энергетических серий) при исследовании сложных многофакторных явлений. Для этого разрабатываются алгоритмы, позволяющие получать при анализе сложных сигналов столько информационных параметров о состоянии системы, сколько их надо для решения рассматриваемых конкретных задач. Оказалось, что решение таких

проблем стало возможным при рассмотрении нерегулярностей исследуемых сигналов как носителей информации. Для реализации этой ключевой идеи, заимствованной из вейвлет-анализа, были введены представления об иерархической организации сложных динамических процессов, а также использован известный философский образ – «теперь – *Now*».

Идеи иерархической организации эволюционного процесса с его внутренней динамикой, внутренней активностью, внутренними степенями свободы системы, широко обсуждаются в литературе [52-55]. Показательны высказывания Дж. Николиса: «Сложность подрывает устойчивость, если не умеряется иерархической структурой... Любая самоорганизующаяся система представляет собой иерархическую структуру», а также Г. Саймона: «Среди сложных систем только иерархии располагают достаточным временем на развитие». Ниже мы поясним, как такого типа общие идеи вводятся в расчетные схемы метода ФШС. Пока же остановимся подробнее на образе – «теперь – *Now*», использованном при построении аппарата ФШС.

#### **4. ФЛИККЕР-ШУМОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КАК ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ**

«.....Ремесло  
Поставил я подножием искусству;  
Я сделался ремесленник: перстам  
Придал послушную, сухую беглость  
И верность уху. Звуки умертвив,  
Музыку я разъял, как труп. Поверил  
Я алгеброй гармонию».  
*А.С. Пушкин. Моцарт и Сальери.*

##### **4.1. Образ «теперь – *Now*» при введении времени в эволюционную динамику.**

Обсудим вначале мысленный эксперимент. Допустим, исследуется процесс кристаллизации соли, выпадающей из ее пересыщенного раствора на поверхность, и следим, используя оптический микроскоп с фиксированным увеличением, за изменением формы некоторого фрагмента поверхности кристаллизующейся соли. Очевидно, что при этом можно фиксировать лишь некоторые скачкообразные изменения формы – образование новых «микронаростов» на данном фрагменте, происходящее через характерное время  $\Delta t$ , зависящее от увеличения микроскопа. Такие изменения формы легко связать с возникновением локальных пересыщений солевого раствора над поверхностью фрагмента и последующими фазовыми переходами с образованием новых микрокристаллитов на данной поверхности. При этом каждый из образующихся микрокристаллитов не фиксируется используемым микроскопом из-за малости своих



размеров: микроскоп фиксирует лишь образование достаточно крупных конгломератов таких микрокристаллитов, формирующих «микронаросты». Очевидно также, что при бóльших увеличениях микроскопа должны фиксироваться менее значительные изменения формы поверхностных фрагментов, происходящие за меньшие характерные времена  $\Delta t$ .

Рассмотренный мысленный эксперимент отражает важный принципиальный момент в эволюции сложных открытых систем – возможность фазовых превращений, происходящих в данном случае на малых пространственно-временных масштабах. Для моделирования такого типа эволюционного процесса на всех характерных временах наблюдения заведомо нельзя использовать дифференциальные уравнения с непрерывно изменяющимся временем, поскольку «на малых временах» особенности динамики процесса кристаллизации заведомо отличаются от закономерностей изменений профиля поверхности выпадающей соли, фиксируемых с помощью микроскопа. При этом, к сожалению, приходится исключать возможность введения гипотетических систем интегро-дифференциальных уравнений, адекватно представляющих рассматриваемую эволюцию на всех возможных временах, при которой можно было бы использовать некое единое непрерывно изменяющееся время. В этом случае более естественно выглядит введение совокупности малых временных интервалов, на каждом из которых система необратимо претерпевает вполне определенные, но различимые перестройки структуры.

Обращение к таким временным интервалам приводит нас, фактически, к классическому образу «теперь – *Now*», вводимому при обсуждении проблемы времени еще Аристотелем для обозначения «крайнего предела прошедшего, за которым нет еще будущего, и обратно, предела будущего, за которым нет уже прошедшего» (цит. по [56], с. 120). Хотя сам образ «теперь – *Now*» имел у Аристотеля нулевую длительность и рассматривался как граница времени, через которую осуществляется непрерывная связь между прошлым и будущим, рассмотрению определенных отрезков времени при анализе проблемы времени Стагирит придавал большое значение: «... если мы будем у ограниченного промежутка времени постоянно отнимать <новые и новые > части времени, мы дойдем до настоящего момента» [41, с. 162]. Идея введения дискретных интервалов времени с иерархией масштабов была далее развита Аврелием Августином. Но, по-видимому, первым, кто пришел к мысли о необходимости введения конечности интервала «теперь – *Now*» при анализе проблемы времени, был Локк (1632 – 1704). Правда, Локк обсуждал «смежную» проблему, а именно рассматривал «информационную» границу двух смежных конечных интервалов ««теперь- *Now*», то есть «ту часть длительности, которая соответствует одной из сменяющихся в уме идей, определяя ее как «миг» или «мгновение» (цит. по [57, с. 89]). При этом представление о

времени он связывал с последовательностью запечатлевшихся идей, «актуализацией» таких «мигов», как в популярной песне выразил поэт Дербенев («Есть только миг между прошлым и будущим, именно он называется жизнь...»). В связи с историческим экскурсом отметим также, что Лейбниц (1646 – 1716), возражая Локку и следуя Аристотелю, видел в образе «теперь – *Now*» не временной интервал, а точечную по времени границу между прошлым и будущим.

Надо сказать, что прошедшие после Локка и Лейбница три века не внесли большей определенности в понятие «теперь – *Now*» [58]. Показательна в этом смысле дискуссия между Эйнштейном и Карнапом, фрагменты которой приводит Карнап: «Эйнштейн как-то заметил, что его серьезно беспокоит проблема «теперь – *Now*». Он пояснил, что ощущение настоящего, «теперь», означает для человека нечто существенно отличное от прошлого и будущего, но это важное отличие не возникает и не может возникнуть в физике. Признание о том, что наука бессильна познать это ощущение, было для Эйнштейна болезненным, но неизбежным. Я заметил, что все происходящее объективно может быть описано наукой... Эйнштейн, по-видимому, считал, что научные описания не могут удовлетворить наши человеческие потребности и что с «теперь – *Now*» связано нечто существенное, лежащее за пределами науки» (цит. по [8, с. 189]). Возможно, данную проблему Эйнштейна связывал с не менее беспокоившим его вопросом сохранения принципа причинности в квантовой науке, ради которого он, по словам Гейзенберга, мог «пожертвовать бы простотой квантовой механики» (цит. по [12, с. 448]).

Оказывается, что именно введение образа «теперь- *Now*», возможность использования которого в науке Эйнштейн исключал, позволило продвинуться в разрешении обсуждаемых вопросов об информационном содержании флуктуационных сигналов, характеризующих эволюцию реальных систем, и генезисе стрелы времени. Была использована идея Вайцеккера [24], согласно которой сам факт актуализации любого явления (если это даже происходящая во времени смена идей в нашем сознании) есть следствие необратимости перехода в новое состояние системы. Тем самым, представление эволюции по Вайцеккеру включает в себя реализующиеся дискретные последовательности необратимых во времени «шагов-событий». При последовательных переходах системы из предыдущего состояния в последующее (при этом каждый раз происходит «событие»!), естественно, изменяется значение анализируемой динамической переменной системы. При этом «неинформативные» промежутки между  $\delta$ -интервалами, в которых необратимость еще не стала фактом, связываются с вводимым представлением «теперь – *Now*» как фактором, объединяющем прошлое, которое уже совершилось, и будущее, которое пока потенциально возможно. В общефилософском смысле такой взгляд

на эволюцию еще ранее был представлен А. Бергсоном в его известной монографии 1907 года [59, с. 314], отмеченной в 1927 году Нобелевской премией по литературе: «Действие же совершается скачками, ... с переходом от одного положения к другому, от одной комбинации к другой. Наука может рассматривать все более и более близкие друг другу комбинации: она будет увеличивать таким путем число изолируемых ею моментов, но всегда она будет изолировать моменты. Что же касается того, что происходит в промежутке (в «неинформативных» интервалах «теперь – *Now*» - С.Т.), то наука так же не занимается этим, как не делают этого обычный интеллект, чувства и язык: она касается концов, но не промежутка». Бергсон называет такой метод «прерывного, как всякое биение жизни», восприятия информации «кинематографическим». Именно последовательность сменяющих друг друга кадров, когда различные кадры служат продолжением друг друга, создает иллюзию обретения каждым фрагментом кадра подвижности. В нашем простейшем образе эволюции в качестве таких «кадров» выступают информационно значимые  $\delta$ -интервалы («события»). При этом генезис возникновения необратимости при каждом «шаге-событии» не обсуждается: необратимость вводится *a priori* как фиксация определенного скачка – изменения состояния эволюционирующей системы в соответствии с нашим «онтологическим представлением о реальности, навеянном практической организацией мышления» [11]. Ключевым понятием в таком дедуктивно вводимом образе эволюции на каждом выделенном уровне иерархии является интервал времени «теперь – *Now*», ограниченный двумя «событиями-мигами», а не моменты времени на непрерывной временной оси, как это имеет место в традиционной науке. Очевидно, что вводимые интервалы не должны быть «пустыми», но содержать внутри себя интервалы меньших масштабов, всю иерархию возможных временных интервалов. Насколько оправдано введение такой дедуктивной «конструкции» эволюционной динамики открытой сложной системы, можно судить лишь по соответствию выводов, получаемых на такой гипотетической основе, результатам экспериментов.

Именно такие представления об эволюции с введением по Вайцеккеру реальной необратимости относительно времени на каждом «временном» шаге и «неинформативными» интервалами «теперь – *Now*», сопрягающими «миги» Локка, были использованы при разработке ФШС. Сущность этого феноменологического подхода состоит в придании информационной значимости корреляционным взаимосвязям в последовательности нерегулярностей анализируемых сигналов – всплескам, скачкам, изломам производных различных порядков на каждом пространственно-временном уровне иерархической организации исследуемых систем.

## 4.2. Принципы фликкер-шумовой спектроскопии. Динамика стационарной эволюции.

Чтобы материализовать эти общие идеи, построить на их основе рабочий аппарат, используем общую схему Дж. Николиса [52] о введении информации, содержащейся в измеряемых сигналах. Эта схема включает в себя введение рекуррентных правил, *порождающих информацию* на данном уровне иерархии, а затем *сжимающих* ее на более высоком когнитивном уровне.

Объективно представление о практически бесконечной совокупности уровней иерархии возникает при проведении измерений динамических характеристик исследуемой системы с различными наборами временных частот дискретизации или дискретных перемещений вдоль пространственной координаты. Необходимость таких измерений обусловлена объективной «размытостью» (неопределенностью) измеряемых величин из-за неизбежных погрешностей измерений, связанных с невозможностью абсолютного контроля внешних условий, включая сторонние воздействия, и условий измерения, систематическими приборными ошибками и инерционностью приборов. Поэтому введение бесконечного числа уровней иерархии для исследуемых динамических переменных, характеризующих особенности структуры или эволюционной динамики исследуемой системы, формально может означать возможность «прощупывания» пространственно-временной организации этой системы на всех уровнях ее иерархии при широкой вариации пространственных и временных интервалов оцифровки данных.

Представим себе эволюционную динамику некоторой термодинамически открытой произвольной системы, заданную на временном интервале  $T$ . Далее, мысленно представим  $i$ -ый пространственно-временной уровень иерархии (формально соответствует частоте дискретизации) и будем полагать, что наиболее общий вид эволюции динамической переменной  $V_i(t)$  для  $i$ -го пространственно-временного уровня представляется в форме перемежаемости (*intermittency*). Такой характер эволюции предполагает, что не все интервалы на временной оси информационно эквивалентны (в согласии со сделанным заключением при установлении информационной значимости вейвлет-анализа). Такая динамика, как указывалось выше, характеризуется (см. рис. 1) относительно слабыми изменениями переменной на относительно протяженных временных интервалах – «ламинарных фазах» с характерными длительностями  $T_0^i$  и резкими прерываниями такой эволюции скачкообразными изменениями величины динамической переменной на коротких интервалах длительности  $\tau_0^i$  ( $\tau_0^i \ll T_0^i$ ). Вследствие инерционности системы каждое такое скачкообразное изменение значений динамической переменной может

сопровождаться всплесками – резкими кратковременным возрастанием  $V_i(t)$  с релаксационным затуханием до значений на последующем «ламинарном» участке, приводящими к разрывам производных для смежных «ламинарных» участков. Такие скачки и разрывы производных будем относить к первому типу скачков и разрывов производных, полагая, что для переменной  $V_i(t)$  могут быть характерны резкие, на интервалах  $\tau_1^i$  скачкообразные изменения «ламинарного» фона, как это представлено на рисунке. Для характерных интервалов времени между такими резкими скачками (их будем относить к скачкам второго типа) введем обозначение  $T_1^i$  (полагаем,  $\tau_1^i \ll T_1^i$ ).

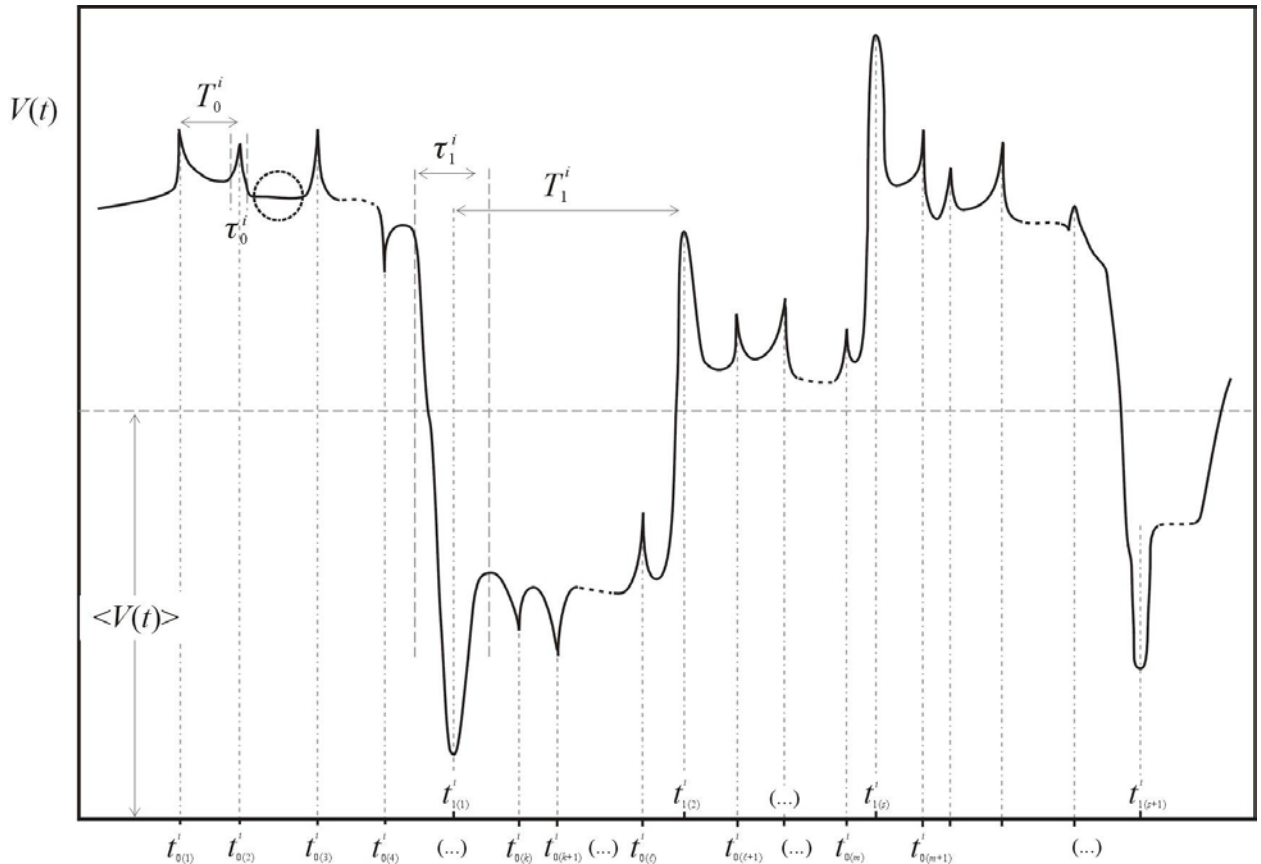


Рис. 1. Схема эволюционной динамики сложной системы, отвечающая изменению динамической переменной на одном уровне пространственно-временной иерархии. Пояснения в тексте.

Полагаем, что вся основная информация об эволюционном процессе для  $i$ -го иерархического уровня содержится лишь в указанных всплесках, скачках и разрывах производных вводимого сигнала. Все эти нерегулярности и рассматриваются в качестве основных и единственных «маркеров» эволюционного процесса. При этом промежутки между выделенными  $\delta$ -интервалами тоже являются информативными, содержащими последовательности меньших  $\delta$ -интервалов, информационно значимых для более мелких уровней иерархической организации системы. Такое выделение все более мелких информационно значащих интервалов должно быть продолжено. Внутри вводимых для

каждого  $i$ -ого уровня иерархии последовательностей  $\delta$ -интервалов динамические переменные в общем случае оказываются связанными корреляционными соотношениями различного типа, несущими информацию о динамике рассматриваемой системы.

Для того, чтобы «материализовать» эти философские и физические идеи и разработать на их основе методологию анализа временных рядов, необходимо идеализировать введенный образ и стянуть все информационно значимые  $\delta$ -интервалы, принадлежащие различным  $i$ -ым пространственно-временным уровням, в точки. При этом каждая такая точка – «миг» должна быть носителем информации о структурно-энергетическом состоянии системы в этот момент времени, т.е. выступать как «маркер» нерегулярностей разного типа для рассматриваемой системы. Нулевая длительность каждого «мига» означает, что значение исследуемой функции в каждой из таких точек с необходимостью должно содержать сингулярность (актуальную или потенциальную) в этой точке, т.е. представляться в виде суммы обобщенной функции с нулевым носителем (выражаются в виде суммы по  $\delta$ -функциям Дирака и их производным) и функций с разного типа разрывами: скачкообразных  $\theta$ -функций Хевисайда и функций с разрывом производной 1-го, 2-го и более высоких порядков. Здесь следует также указать, что математический аппарат, позволяющий работать с сингулярными функциями, хорошо известен. Это теория обобщенных функций [60].

В качестве стартовой идеи в ФШС используется известный результат, представленный в монографии Шустера (глава 4.3 и рис. 51) [13], где рассматривался стационарный хаотический сигнал с перемежаемостью: области незначительно изменяющихся «ламинарных» фаз прерывались резкими хаотическими «гребенками-всплесками». Такой сигнал заменялся дельта-функциями в областях «гребенок», и для получаемой последовательности  $\delta$ -функций с характерными интервалами времени  $T_0^i$  между смежными  $\delta$ -функциями на макроскопических временных отрезках  $[-T/2, +T/2]$  ( $T_0^i \ll T$ ) рассчитывался спектр мощности  $S(f)$ :

$$S(f) = 2 \left| \int_{-T/2}^{T/2} \left[ \langle V(t)V(t+t_1) \rangle - \langle V(t) \rangle^2 \right] \exp(2\pi i f t_1) dt_1 \right| \quad (5)$$

где угловые скобки означают усреднение по времени

$$\langle (\dots) \rangle = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} (\dots) dt. \quad (5a)$$

Было показано, что таким искусственным образом созданный сигнал в низкочастотной области спектра при  $f \ll 1/2\pi T_0^i$  может формировать фликкер-шумовые зависимости  $S(f) \sim f^{-n}$  ( $n \sim 1$ ), то есть быть информационно значимым.

Обобщая рассмотрение Шустера, помимо спектра мощности  $S(f)$  будем вводить переходные разностные моменты («переходные структурные функции»)  $\Phi^{(p)}(\tau)$  порядка  $p$  ( $p = 1, 2, 3, \dots$ ):

$$\Phi^{(p)}(\tau) = \langle [V(t) - V(t + \tau)]^p \rangle = \left\langle \left[ \int_{t+\tau}^t \frac{dV(z)}{dz} dz \right]^p \right\rangle, \quad (6)$$

где  $\tau$  – параметр временной задержки. Вместо  $\Phi^{(p)}(\tau)$  при  $p \geq 3$  удобно рассматривать зависимости от  $\tau$  безразмерных «переходных квазикумулянтов»:

$$\mu^{(p)}(\tau) = \frac{\Phi^{(p)}(\tau)}{[\Phi^{(2)}(\tau)]^{p/2}}. \quad (6a)$$

Заметим, что для введенного искусственно сигнала – последовательности  $\delta$ -функций все величины  $\Phi^{(p)}(\tau)$  равны нулю, поскольку множество определения последовательности  $\delta$ -функций на конечном интервале имеет меру нуль.

Сразу становится ясно, что для получения ненулевых значений  $\Phi^{(p)}(\tau)$  достаточно, чтобы каждый  $\delta$ -функциональный всплеск сопровождался скачкообразным,  $\theta$ -функциональным изменением величин сигнала в последующей «ламинарной» области. Именно такого типа сигнал в форме перемежаемости (*intermittency*) и рассматривается (см. рис. 1) в ФШС как базовый при расчетах зависимостей  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$ , соответствующих одному,  $i$ -ому пространственно-временному уровню рассматриваемой эволюции. Очевидно, что рассчитываемые для такого процесса зависимости  $\Phi^{(p)}(\tau)$  при большом числе смещений не будут зависеть от величин «инерционных перелетов» системы («всплесков» на рисунке), а будут лишь определяться алгебраической суммой разностей произошедших смещений («скачков»). В то же время зависимости  $S(f)$ , характеризующие общую «энергетику» процесса, будут определяться обоими факторами. Для учета вклада в эволюционную динамику всей совокупности уровней иерархии рассматриваемых систем в стационарном состоянии полагается, что подобный характер эволюции, следующий из представлений СОК парадигмы, имеет место на всех уровнях иерархии во всех временных интервалах, в том числе, во временной области, обведенной штрих-пунктиром на рисунке.

Вывод о различии информационного содержания  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$ , о котором в [13] не упоминалось, оказывается принципиальным. Обычно полагается, что для стационарных процессов зависимости  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$  содержат одинаковую информацию, поскольку они определяются через один и тот же автокоррелятор  $\psi(\tau) = \langle V(t)V(t + \tau) \rangle$ . Однако такое заключение, как мы видим, оказывается неверным, если постулируется характер эволюции динамической переменной в форме перемежаемости (*intermittency*) на каждом уровне иерархии. При этом сделанный вывод справедлив как для стационарных, так и

нестационарных процессов, задаваемых на временном интервале  $T$ . В случае нестационарных процессов  $\psi(\tau)$ , а следовательно,  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$  должны зависеть не только от величины интервала усреднения  $T$ , но и от моментов времени  $t_0$  и  $t_1$  – соответственно начального и конечного, определяющих этот интервал,  $T = t_1 - t_0$ .

Именно ФШС методология, ориентированная на введение «носителей информации» в виде нерегулярностей, скрытых в реальных сигналах, позволяет так определить информационную сущность хаотических сигналов, что информация, заключенная в зависимостях  $\Phi^{(p)}(\tau)$  и  $S(f)$ , оказывается «расцепляемой» по различимым признакам – типам нерегулярностей или «цветам» информации: зависимости  $\Phi^{(p)}(\tau)$  формируются исключительно скачками динамической переменной на разных пространственно-временных уровнях иерархии эволюции, а в формирование  $S(f)$ , равно как и в  $\psi(\tau)$ , вносят вклад всплески и скачки. Укажем здесь, что именно форма эволюции в виде перемежаемости (*intermittency*), вводимая как базовая в ФШС методологии, определяет информационное различие  $\Phi^{(p)}(\tau)$  и  $S(f)$ . В частности, при рассмотрении эволюции в виде нерегулярной зависимости Вейерштрасса-Мандельброта [61], непрерывной, но терпящей разрыв производной в каждой точке, информация, содержащаяся в  $\Phi^{(p)}(\tau)$  и  $S(f)$ , тождественна.

Образ эволюции динамической переменной  $V_i(t)$  на  $i$ -ом иерархическом уровне, представленный на рисунке, был использован в [45] при получении выражений для  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$  в случае стационарной динамики, когда  $\psi(\tau) = \psi(-\tau)$ . Рассматривался простейший случай, когда сигнал, определяемый на интервале  $T \rightarrow \infty$ , характеризовался скачками и всплесками лишь одного масштаба, локализованных в точках  $t_{0k}^{(j)}$ . Для получения  $S(f)$  в этом случае сигнал  $V(t)$  представлялся виде суммы двух слагаемых: «сингулярного» члена  $V_S(t)$  (формируется лишь  $\delta$ -образными всплесками динамической переменной – рис. 1) и «регулярного» члена  $V_R(t) = V(t) - V_S(t)$  (остается после «вычитания» всплесков из представленного на рис. 1 сигнала и формируется скачками динамической переменной). В низкочастотном пределе,  $2\pi f T_0^i \ll 1$ , для зависимости  $S_S(f)$ , которая обуславливается лишь сингулярным членом  $V_S(t)$ , то есть всплесками динамической переменной  $V(t)$ , соответствующим  $i$ -ому уровню иерархии, было получено:

$$S_S(f) = 2 \int_0^{\infty} \Phi_0^i(\eta) \cos(2T_0^i f \eta \pi) d\eta, \quad (7)$$

где функция  $\Phi_0^i(z)$  характеризует эффективную (с учетом амплитуды) плотность вероятности распределения всплесков в течение эволюции. С учетом размерности  $\{[V]^2 \text{с}\}$  этой функции, она представлялась в виде:



$$\Phi_0^i(\eta) = \frac{g_0}{4\pi} T_0^i \chi_0(b_0^i \eta), \quad (8)$$

где  $\chi_0(b_0^i \eta)$  – безразмерная функция,  $b_0^i$  – безразмерный масштабный фактор для  $i$ -го пространственно-временного уровня иерархии эволюции,  $g$  – константа размерности  $[V]^2$ .

Тогда

$$S_S(f) = \frac{g_0}{2K_0\pi} \int_0^\infty \chi_0(x) \cos Zx dx ; \quad K_0 \equiv \frac{b_0^i}{T_0^i}, \quad Z \equiv \frac{2f\pi}{K_0}. \quad (9)$$

Далее вводится гипотеза *самоподобия*, согласно которой полагается, что введенный параметр  $K_0$ , определяемый через отношение двух параметров, характеризующих эволюцию на  $i$ -ом уровне иерархии, и имеющий размерность частоты, не зависит в стационарном состоянии от номера  $i$  уровня иерархии эволюции, то есть является инвариантом для рассматриваемого состояния эволюционирующей системы. Очевидно, что для анализа зависимостей  $S_S(f)$ , соответствующих реальной динамике сложной системы, необходимо иметь интегральный вклад от всех уровней иерархии эволюционного процесса, которые проявляются при данной частоте дискретизации.

Вводимое *самоподобие* означает, что зависимость  $S(f)$  одинакова для каждого из всей рассматриваемой совокупности пространственно-временных уровней иерархии эволюции. Поэтому в случае «стационарной» эволюции ситуация предельно проста: «стационарная» эволюция системы понимается как реализующаяся по одинаковому сценарию на любом пространственно-временном уровне  $i$  иерархической организации. Очевидно, что таким образом вводится *многопараметрическое* самоподобие, поскольку зависимости  $S(f)$  в общем случае могут быть охарактеризованы совокупностью параметров, а не одним масштабным фактором, как это имеет место в ренормгруппе и теории фракталов.

Далее, в соответствии с сутью ФШС как подхода феноменологического для функции  $\chi_0(Z)$  выбирались аппроксимации (см. [45]), из которых на основе (9) были получены интерполяционные выражения, позволяющие адекватно описывать возможные типы замедленной, неэкспоненциальной релаксации в сложных системах, сопровождающейся различными структурными перестройками. Так, при выборе аппроксимаций Леви  $\chi(z) = \exp[-(z)^s]$ , где  $s$  – параметр ( $0 < s < 2$ ), соответствующая интерполяционная форма для  $S_S(f)$  имеет вид:

$$S_S(f) \approx \frac{S_S(0)}{1 + (2\pi f T_0)^{n_0}}, \quad (10)$$

где введены  $T_0^{-1} \equiv (K_0)^{-1}$ ,  $n_0$  и  $S_S(0)$  – эффективные феноменологические параметры. При этом параметр  $n_0$  характеризует усредненную скорость потери «памяти» – ослабления корреляционных связей в последовательности нерегулярностей-всплесков на временах, ограниченных временем корреляции  $T_0$ . Однако для нахождения указанных параметров из сопоставления выражения (10) со спектром мощности, определяемым на основе экспериментально полученных временных рядов  $V(t)$ , необходимо учитывать возможный вклад  $S_R(f)$  в спектр мощности, связанный с нерегулярностями-скачками. Этот вклад может быть найден, если известно выражение для  $\Phi^{(2)}(\tau)$ :

$$S_R(f) = \int_0^{\infty} \cos(2\pi f\tau) [\Phi^{(2)}(\infty) - \Phi^{(2)}(\tau)] d\tau. \quad (11)$$

Как указывалось выше, зависимости  $\Phi^{(p)}(\tau)$ , вычисляемые для эволюционного процесса на  $i$ -ом пространственно-временном уровне иерархии (рис. 1), определяются лишь потенциальными сингулярностями – нерегулярностями-скачками динамической переменной  $V(t)$ , которые представляются в виде  $\theta$ -функций Хевисайда. Очевидно, что в соответствии со сказанным выше, сингулярности сигнала  $V(t)$  ( $\delta$ -функции и их производные, моделирующие нерегулярности-всплески при  $\tau_0 \rightarrow 0$ ), дающие вклад в  $S(f)$ , после дифференцирования не дают вклада в интеграл (6). Основной вклад в (6) формируется последовательностью  $\theta$ -функций, локализованных в «информационных точках»  $t_{0k}^{(j)}$  и  $t_{1k}^{(j)}$  (рис. 1), поскольку  $\theta$ -функции трансформируются в  $\delta$ -функции после дифференцирования. Заметим здесь, что в автокорреляционной функции  $\psi(\tau)$ , в отличие от  $\Phi^{(2)}(\tau)$ , содержится информация об обоих типах нерегулярностей. Именно с последним обстоятельством связано удобство введения зависимостей  $\Phi^{(2)}(\tau)$ , информационное содержание которых формируется исключительно скачками динамической переменной на разных пространственно-временных уровнях иерархии системы, тогда как в формирование  $S(f)$ , равно как и в  $\psi(\tau)$ , вносят вклад всплески и скачки.

При ограничении для простоты рассмотрением вкладом в эволюционную динамику только меньших (на рис. 1) скачков, локализованных в точках  $t_{0k}^{(j)}$ , интерполяционное выражение для зависимости  $\Phi^{(2)}(\tau)$ , показывающей, каким образом динамическая переменная  $V(t)$  статистически «забывает» свою величину по мере смещения временной координаты, в случае стационарной динамики представляется в виде [45, 48]:

$$\Phi^{(2)}(\tau) = 2\sigma_1^2 \left[ 1 - \Gamma^{-1}(H_1) \Gamma(H_1, \tau/T_1) \right]^2, \quad T_1 = (K_1)^{-1};$$

$$\Gamma(s, x) = \int_x^{\infty} \exp(-t) t^{s-1} dt, \quad \Gamma(s) = \Gamma(s, 0). \quad (12)$$

Здесь  $\sigma_1$  – дисперсия измеряемой динамической переменной, имеющая размерность  $[V]$ ;  $\Gamma(s)$  и  $\Gamma(s, x)$  – соответственно гамма-функция и неполная гамма-функция ( $x \geq 0$  и  $s > 0$ ); параметр  $H_1$  имеет смысл константы Херста, которая характеризует усредненную скорость «забывания» динамической переменной своей величины на временах, меньших корреляционного времени  $T_1$ . Здесь введен еще один, помимо  $K_0$ , специфический инвариант системы  $K_1$ , имеющий размерность частоты и не зависящий от номера  $i$  уровня иерархии в случае стационарной эволюции системы. Посредством этого инварианта вводится самоподобие – одинаковый вид зависимости  $\Phi^{(2)}(\tau)$  для каждого из уровней иерархии эволюции. Это самоподобие, как и при рассмотрении функции  $S_S(f)$ , является *многопараметрическим*, поскольку зависимость  $\Phi^{(2)}(\tau)$  в общем случае может быть охарактеризована совокупностью параметров.

Из (12) получаем в предельных случаях:

$$\Phi^{(2)}(\tau) = 2\sigma_1^2 \frac{1}{\Gamma^2(H_1 + 1)} \left( \frac{\tau}{T_1} \right)^{2H_1}, \quad \frac{\tau}{T_1} \ll 1; \quad (12a)$$

$$\Phi^{(2)}(\tau) = 2\sigma_1^2 \left[ 1 - \Gamma^{-1}(H_1) \left( \frac{\tau}{T_1} \right)^{H_1-1} \exp\left(-\frac{\tau}{T_1}\right) \right]^2, \quad \frac{\tau}{T_1} \gg 1. \quad (12б)$$

В общем случае динамика процесса может определяться скачками и всплесками разного масштаба, так что наряду с нерегулярностями, локализованными в «информационных точках»  $t_{0k}^{(j)}$ , следует учитывать нерегулярности другого, в соответствии с рис. 1, большего масштаба, локализованных в моменты времени  $t_{1k}^{(j)}$  [62].

При сопоставлении выражения (12) с соответствующими зависимостями, получаемыми на основе получаемых в эксперименте временных рядов  $V(t)$  при реализации стационарной эволюции, определяются значения параметров  $H_1$ ,  $T_1$ , и  $\sigma_1$ , которые могут рассматриваться как один из наборов «паспортных» характеристик рассматриваемого стационарного процесса. При этом, как следует из подстановки (12) в (11), слагаемое  $S_R(f)$ , определяемое вкладом нерегулярностей-скачков в спектр мощности  $S(f)$ , может быть представлено интерполяционным выражением:

$$S_R(f) \approx \frac{S_R(0)}{1 + (2\pi T_1 f)^{2H_1+1}}, \quad (13)$$

где

$$S_R(0) = 4\sigma_1^2 T_1 H_1 \left\{ 1 - \frac{1}{2H_1 \Gamma^2(H_1)} \int_0^\infty \Gamma^2(H_1, \xi) d\xi \right\}. \quad (13a)$$

Важно отметить, что оба вклада (10) и (13) в спектр мощности  $S(f)$ , определяемые соответственно нерегулярностями-всплесками и нерегулярностями-скачками, имеют одинаковый частотный характер, хотя соответствующие параметры в (10) и (13) различны:  $S_R(0) \neq S_S(0)$ ,  $T_1 \neq T_0$  и  $2H_1 + 1 \equiv n_1 \neq n - 1$ .

В качестве ориентиров укажем известные значения параметров  $H_1$  для ряда процессов:

- диффузия Фика,  $2H_1 = 1$ ;
- диффузия Леви,  $2H_1 = s$ ;  $0 < s < 2$  (случай  $\frac{1}{2} < H_1 < 1$  соответствует «усиленной» диффузии; случай  $H_1 < \frac{1}{2}$  – диффузии с пространственными ограничениями);
- «модифицированная» диффузия Леви,  $H_1 > 1$ ;
- развитая турбулентность (закон Колмогорова-Обухова),  $2H_1 = 2/3$ ;
- «турбулентная» диффузия (пассивная примесь в турбулентном потоке),  $2H_1 = 3$ .

Таким образом, вводимые в ФШС информационные параметры эволюционной динамики имеют смысл времен корреляции и характеристик потери «памяти» (корреляционных связей) на этих временах корреляции – для нерегулярностей типа «всплесков» и «скачков». Информационные параметры, характеризующие в хаотических сериях последовательности нерегулярностей типа «разрывов производных», могут быть получены из спектров мощности и разностных моментов, вычисляемых на основе временных рядов «квазипроизводных»  $\Delta_n^m V(t_k) / \Delta_n t^m$  ( $n, m \geq 1$ ), где формально введены разностные величины  $\Delta_n^m V(t_k) = \Delta_n^{m-1} V(t_k) - \Delta_n^{m-1} V(t_{k-n})$ . При этом исходный временной ряд задается значениями динамической переменной  $V(t_k)$  в последовательности точек  $t_k$ , а величины временных интервалов  $\Delta_n t = t_k - t_{k-n}$  могут варьироваться. Очевидно, что устойчивость определяемых в ходе таких расчетов значений информационных параметров при некоторой вариации интервалов  $\Delta_n t$  может указывать на адекватность предлагаемых процедур. Заметим, что процедура «квазидифференцирования» временного ряда с извлечением дополнительных феноменологических параметров исследуемого процесса оказывается сходящейся, поскольку повышение порядка «квазипроизводной» с необходимостью ведет к получению тождества ( $0 \equiv 0$ ) на некотором шаге такой процедуры.

Необходимо пояснить, что при обсуждении вкладов нерегулярностей разных типов в формирование зависимостей  $S(f)$  и  $\Phi_c^{(p)}(\tau)$ , речь идет не о нерегулярностях типа «скачков», «всплесков», «изломов производных», которые можно, привлекая воображение, увидеть на фиксируемых хаотических зависимостях  $V(t)$ . Очевидно, что при возрастании частоты дискретизации используемого АЦП, «разрешающей способности» временного анализа, каждая из фиксируемых при меньших частотах дискретизации

«элементарных» нерегулярностей – всплесков и скачков окажется сложной структурой со своими «скачками» и «всплесками». Формально можно вводить бесконечный набор уровней дискретизации, которым можно поставить в соответствие бесконечный набор уровней иерархии эволюционного процесса. Поэтому фиксируемая при некоторой частоте дискретизации «нерегулярность» динамической переменной  $V(t)$  формируется бесконечным набором нерегулярностей, соответствующих более мелким по временному масштабу уровням иерархии. Необходимо также подчеркнуть, что в соответствии с общей логикой в ФШС обратные преобразования, в том числе для зависимостей (10), (12), (13), не вводятся. Поэтому на характер зависимости  $V(t)$  не налагается никаких ограничений, кроме существования вводимых средних величин (5) и (6).

Как указывалось выше, в сложных хаотических сигналах наряду с «неспецифическими» корреляционными взаимосвязями в последовательностях информационно значащих нерегулярностей могут проявляться специфические для каждого из рассматриваемых процессов «резонансы». В этом случае проблема состоит в извлечении из временного ряда  $V(t)$  всей возможной совокупности параметров, относящихся как к хаотической компоненте, так и к специфическим резонансам.

Будем представлять сигнал  $V(t)$  как суперпозицию «высокочастотной» хаотической  $V_c(t)$  составляющей и «плавно изменяющейся» резонансной  $V_r(t)$  составляющей, так что  $V(t) = V_c(t) + V_r(t)$ . Если сигнал рассматривается на протяженном,  $T \gg \max\{T_0, T_1\}$ , временном интервале и автокоррелятор  $\psi_r(\tau) = \langle V_r(t)V_r(t + \tau) \rangle$ , рассчитываемый при усреднении по интервалам  $T$ , зависит только от  $\tau$  – параметра временного сдвига, то зависимости  $S_r(f)$  и  $\Phi_r^{(2)}(\tau)$ , вводимые для составляющей  $V_r(t)$ , оказываются взаимосвязанными соотношением (7):

$$S_r(f) = \int_0^{\infty} \cos(2\pi f \tau) \left[ \Phi_r^{(2)}(\infty) - \Phi_r^{(2)}(\tau) \right] d\tau \quad (11a)$$

Рассмотрим модельный случай, когда резонансный вклад  $S_r(f)$  в спектр мощности имеет Лоренцовский вид с характерными параметрами  $f_0$  («положение» резонанса),  $\gamma$  («полуширина») и  $A$  («интенсивность»):

$$S_r(f) = A \cdot \left[ \frac{1}{(f - f_0)^2 + (\gamma/2\pi)^2} + \frac{1}{(f + f_0)^2 + (\gamma/2\pi)^2} \right] \quad (14)$$

Соответствующее выражение для автокорреляционной функции  $\psi_r(\tau)$  имеет вид:

$$\psi_r(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_r(f) \cos(2\pi f \tau) df = 4A\gamma^{-1}\pi^2 \exp(-\gamma\tau) \cos(2\pi f_0\tau) \quad (15)$$

так что для  $\Phi_r^{(2)}(\tau)$  получаем:

$$\Phi_r^{(2)}(\tau) = 2[\psi_r(0) - \psi_s(\tau)] = 8A\gamma^{-1}\pi^2 [1 - \exp(-\gamma\tau) \cos(2\pi f_0\tau)] \quad (16)$$

В общем случае в исследуемый сигнал могут вносить вклад несколько резонансов. При наличии резонансов, характеризующихся параметрами  $f_{0i}$ ,  $\gamma_i$  и  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), выражения для  $S_r(f)$  и  $\Phi_r^{(2)}(\tau)$  представляются в виде:

$$S_r(k) = \sum_{i=1}^m A_i \left[ \frac{1}{(f - f_{0i})^2 + (\gamma/2\pi)^2} + \frac{1}{(f + f_{0i})^2 + (\gamma/2\pi)^2} \right] \quad (14a)$$

$$\Phi_r^{(2)}(\tau) = \sum_{i=1}^m \alpha_i [1 - \exp(-\gamma_i\tau) \cos(2\pi f_{0i}\tau)]; \quad \alpha_i \equiv 8\pi^2 A_i \gamma_i^{-1} \quad (15a)$$

Выражения (10), (12), (13), а также (14a) и (15a) могут быть использованы для описания зависимостей (5) и (6), получаемых на основании экспериментально фиксируемых временных рядов  $V(t)$ . При этом могут быть определены значения параметров, характеризующих как хаотическую составляющую сигналов ( $n_0$ ,  $T_0$ ,  $S_{cs}(0)$ ,  $H_1$ ,  $T_1$ ,  $\sigma$ ), так и резонансную ( $f_{0i}$ ,  $\gamma_i$  и  $A_i$ ).

### 4.3. Динамика нестационарных процессов: прекурсоры катастрофических изменений состояния системы

Для выявления эффектов нестационарности в анализируемых процессах изучается динамика изменений функций  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$  при последовательном смещении пробного интервала  $[t_k, t_k+T]$ , где  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  и  $t_k = k\Delta T$ , по всей длине  $T_{\text{tot}}$  имеющегося экспериментального ряда данных ( $t_k+T < T_{\text{tot}}$ ). Временные интервалы  $T$  и  $\Delta T$  должны выбираться исходя из физического смысла рассматриваемой задачи, с учетом предполагаемого характерного времени процесса, наиболее важного для эволюции исследуемой системы. Если в системе происходят какие-то второстепенные процессы с характерными временами  $\tau_i$ , слабо влияющие на основной нестационарный процесс перестройки структуры, то при выборе интервала  $T$  должно соблюдаться условие:  $\tau_i \ll T$ .

Феномен появления «предвестника», по-видимому, естественно связать с наиболее резкими изменениями зависимостей  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$  при приближении верхней границы временного интервала усреднения  $t_k$  к моменту  $t_c$  катастрофического события, когда в системе происходит перестройка на всех возможных пространственных масштабах. Понятно, что говорить о «предвестнике» можно только в том случае, если время проявления «предвестника»  $t_k$  отстоит от момента  $t_c$  не менее, чем на интервал  $\Delta T$ , то есть  $\Delta T_{\text{sn}} = t_c - t_k \geq \Delta T$ , при выполнении неравенства  $\Delta T_{\text{sn}} \ll T_{\text{tot}}$ .

При анализе хаотических серий, получаемых в ходе экспериментальных измерений, часто возникают проблемы сглаживания исходных реализаций. Существуют различные способы фильтрации оцифрованного сигнала с выделением низкочастотной составляющей: использование сглаживающих полиномов, вейвлетов и т.д. При соответствующем разбиении исходного сигнала  $V(t)$  на низкочастотную  $V_R(t)$  и высокочастотную  $V_F(t)$ , предложенном в [48], выделение высокочастотной части основано на «релаксационной» процедуре, построенной по аналогии с решением уравнения диффузии, представленного в виде разностного уравнения. Итерация этого уравнения с вычислением новых значений сигнала на каждом «релаксационном» шаге через значения на «предыдущем» шаге позволяет получить низкочастотную составляющую  $V_R$ . Вычитая ее из исходного сигнала, получим высокочастотную составляющую  $V_F$ . Фактически процедура сглаживания соответствует последовательному уменьшению градиентов локальных значений переменных-«концентраций» с взаимным сближением точек в каждой из рассматриваемых троек. Разбиение исходного сигнала  $V(t)$  на две составляющие  $V_R(t)$  и  $V_F(t)$  дает возможность в последующем рассчитывать функциональные зависимости  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$ , введенные выше, для каждой из трех функций  $V_J(t)$  ( $J = R, F$  или  $G$ ), где индекс  $G$  относится к случаям, когда при расчетах используется исходный сигнал  $V(t)$ .

В частности, при использовании высокочастотной и низкочастотной компонент  $V_J(t)$  рассчитываются прекурсоры катастрофических событий на основе разностных моментов  $\Phi_J^{(p)}(\tau)$ , рассчитанных по формуле (6). При этом учтем, что зависимости  $\Phi_J^{(p)}(\tau)$  надежно рассчитываются лишь для области изменения  $[0, \alpha T]$  аргумента  $\tau$  менее половины интервала усреднения  $T$ , так что  $\alpha < 0.5$ . В качестве «предвестников» катастрофических событий будем рассматривать всплески значений индикаторов нестационарности, определяемых безразмерными соотношениями, составляемыми на основании разностных моментов  $\Phi^{(2)}(\tau)$  [45, 63]:

$$C_J(t_{k+1}) = 2 \cdot \frac{Q_{k+1}^J - Q_k^J}{Q_{k+1}^J + Q_k^J} \bigg/ \frac{\Delta T}{T} \quad (17)$$

где

$$Q_k^J = \int_0^{\alpha T} [\Phi_J^{(2)}(\tau)]_k d\tau. \quad (17a)$$

Здесь индекс  $J$  указывает, с использованием каких функций  $V_J(t)$  ( $J = R, F$  или  $G$ ) рассчитываются зависимости  $\Phi_J^{(2)}(\tau)$ . Введенные соотношения характеризуют «меру нестационарности» анализируемого процесса при перемещении интервала усреднения  $T$

по оси времени на величину  $\Delta T$ , в частности, при приближении верхней границы временного интервала усреднения  $t_k$  к моменту  $t_c$  катастрофического события.

#### 4.4. Корреляционные взаимосвязи в динамике распределенных систем

Новые возможности ФШС открываются при использовании этого подхода для анализа потоков (массовых, электрических, магнитных) в распределенных системах, размеры которых превосходят пространственные масштабы областей заметного изменения анализируемых динамических переменных и эволюция фрагментов (подсистем) которых в сильной мере оказывается «переплетенной» из-за реализующихся сложных нелинейных взаимосвязей между фрагментами. Информация о динамике реализующихся корреляционных взаимосвязей между динамическими переменными  $V_i(t)$ , измеряемыми в разных точках  $i$ , может быть извлечена при анализе временных зависимостей соответствующих корреляторов [45, 64, 65].

Из всего многообразия вводимых корреляционных соотношений здесь рассмотрим лишь простейший тип «двухточечных» корреляторов, характеризующих взаимосвязи между динамическими переменными  $V_i(t)$  и  $V_j(t)$ :

$$q_{ij}(\tau; \theta_{ij}) = \left\langle \left[ \frac{V_i(t) - V_i(t + \tau)}{\sqrt{2}\sigma_i} \right] \left[ \frac{V_j(t + \theta_{ij}) - V_j(t + \theta_{ij} + \tau)}{\sqrt{2}\sigma_j} \right] \right\rangle. \quad (18)$$

Здесь  $\tau \equiv n\Delta t$  – «время задержки»;  $\theta_{ij}$  – параметр «смещения во времени». Зависимость коррелятора  $q_{ij}(\tau, \theta_{ij})$  от параметра  $\theta_{ij}$  указывает на причинно-следственную связь («направленность потока») сигналов  $V_i(t)$  и  $V_j(t)$ . При  $\theta_{ij} > 0$  можно говорить о распространении потока в исследуемой системе от точки  $i$  к точке  $j$ , при  $\theta_{ij} < 0$  – от точки  $j$  к точке  $i$ . При заданном расстоянии между точками  $i$  и  $j$  по величине  $\theta_{ij}$  может быть оценена скорость передачи информации между этими точками. Зависимость величины и знака коррелятора  $q_{ij}(\tau, \theta_{ij})$  от параметров  $\tau$  и  $\theta_{ij}$  позволяет проанализировать динамику потоков в исследуемой системе с изменениями сигналов  $V_i(t)$  и  $V_j(t)$  в фазе ( $q_{ij} > 0$ ) и противофазе ( $q_{ij} < 0$ ). Заметим, что в качестве «дисперсий»  $\sigma_i$  и  $\sigma_j$  динамических переменных  $V_i(t)$  и  $V_j(t)$  можно рассматривать либо стандартные среднеквадратичные отклонения, либо величину «приведенной дисперсии», определяемой согласно:

$$\sigma_i(\tau) = \left\{ \left[ V_i(t) - V_i(t + \tau) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (19)$$

Отметим, что под  $V_i(t)$  и  $V_j(t)$  можно понимать разные динамические характеристики (« $i$ » и « $j$ »), измеряемые одновременно с одинаковой частотой дискретизации.



#### 4.5. Обобщение флуктуационно-диссипационных соотношений.

Поскольку базовая идея Вайцзеккера о необратимости каждого «шага» на каждом уровне пространственно-временной иерархии эволюции рассматривается как аксиома, то представления о равновесных статистических ансамблях Гиббса в ФШС теряют смысл. Принимается, что каждая из анализируемых реальных систем – в геофизике, астрофизике, медицине и пр. характеризуется присущей ей индивидуальностью. При этом используемая в ФШС процедура усреднения по времени практически не накладывает никаких ограничений на анализируемые сигналы, что позволяет получать физически содержательную информацию о динамике разнообразных сложных систем, эволюция которых в сильной мере оказывается «переплетенной» из-за реализующихся сложных нелинейных взаимосвязей между подсистемами. Фактически, фликкер-шумовая спектроскопия может стать феноменологической основой формирующейся в настоящее время статистической динамики – науки о явлениях в сложных, в том числе, распределенных системах, которую можно определить также как динамика «сверхпереплетений» (*“Dynamics of Perplexity”*\*) [48].

ФШС приводит к критическому переосмыслению еще одной базовой концепции статистической физики – флуктуационно-диссипационных соотношений (ФДС). Следует подчеркнуть, что вводимая в (1) и (2) при получении зависимостей  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$  процедура статистического усреднения (1a) по временному интервалу  $T$  конечной длительности отлична от соответствующей процедуры, используемой обычно при подходе Гиббса. Фактически в ФШС используется подход Эйнштейна к анализу динамики флуктуаций в равновесных системах [21], а также обобщение этого подхода Климонтовичем, который ввел в рассмотрение возможность флуктуации температуры не только в объеме, но и на границе рассматриваемой системы с термостатом [20]. В ФШС

-----  
\*Впервые термин *“Science of Perplexity”* был введен бразильским математиком Франсиско Антонио Дориа (*Francisco Antonio Doria*) как юмористическая ремарка в связи с обсуждаемыми проблемами *“Science of Complexity”*. Впоследствии этот термин тоже в шуточном, несерьезном смысле с соответствующей ссылкой был повторен в статье Джона Хоргана (*John Horgan*) в его статье *“From Complexity to Perplexity”* в журнале *“Scientific American”* (June 1995. P.74-78). Автор признателен *Dr. Susie Vrobel* за такое пояснение. Несмотря на этимологию слова *perplexity*, автор считает этот термин удачным, адекватно отражающим существо обсуждаемой проблемы, в полном согласии с мнением Е.Н. Князевой и С.П. Курдюмова, выраженном в их статье в журнале *“Вопросы философии”* (1997. №3. С.62-79). Указанные авторы, правда, предлагают несколько иную версию появления термина *“perplexity”*, связывая его с М. Гелл-Манном (*M. Gell-Mann*), предложившим термин греческого происхождения *“plectics”* для выражения взаимоотношения простого и сложного во всех их бесчисленных проявлениях.

для термодинамически равновесных систем фактически постулируется равенство лишь усредненных энергетических потоков между системой и термостатом, который проявляет себя как активная система, поддерживая флуктуационные режимы в объеме граничащих с ним систем. Поэтому в каждой системе даже в условиях термодинамического равновесия вследствие неизбежных проявлений локальной неустойчивости в области флуктуаций должны реализоваться как диссипативные процессы (классический пример – поглощение мощности» при «затухании» Ландау в «бесстолкновительной» плазме [19, 20]), так и процессы «выделения мощности», так что каждая из равновесных систем реализует свою единственную и неповторимую эволюцию.

При этом базовые выражения ФШС для  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$  в случае стационарной эволюции связывают автокорреляционные функции динамических переменных исследуемой системы или их фурье-образы с кинетическими релаксационными параметрами. Но именно такого типа взаимосвязи и формируют флуктуационно-диссипационные соотношения (ФДС) в статистической физике. Поэтому полученные выше базовые выражения  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$  для стационарных процессов могут рассматриваться как ФДС [29]. Надо заметить, что при выводе зависимостей  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$ , определяемых в случае стационарной эволюции через специфические частоты  $K_0$  и  $K_1$ , не возникает, как это имеет место при традиционном введении ФДС, никаких ограничений, связанных со степенью удаленности системы от состояния равновесия. Более того, ФШС расширяет информационное содержание обычно используемых ФДС, что связано с различием информационной сущности  $\Phi^{(2)}(\tau)$  и  $S(f)$  зависимостей. Несколько примеров таким образом вводимых ФДС приведено в [29]. При этом помимо характерных для ФДС случаев (соотношение Найквиста, аномальная диффузия) рассмотрены примеры сильно неравновесных систем в случае их стационарной эволюции (полностью развитая турбулентность, фликкер-шум).

Рассмотренные примеры показывают, что выход ФШС методологии за узкие рамки эргодической гипотезы и идеального представления о статистических ансамблях, расширение информационного содержания флуктуационно-диссипационных соотношений открывают новые возможности в анализе динамики сложных процессов. Феноменологическая сущность ФШС методологии обуславливает ее универсальность и применимость к исследованию систем разной сущности – от физических, геофизических и астрофизических объектов до психофизиологических систем и генетических последовательностей.

#### 4.6. Приложения фликкер-шумовой спектроскопии.

ФШС метод может быть использован для решения *трех типов проблем*.

1. *Выявление параметров, характеризующих динамику или особенности структурной организации открытых сложных (физико-химических, природных) систем.*

Использование ФШС подхода для анализа модельной динамики нелинейных систем, которая описывается системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и характеризуется «странными» аттракторами, в частности, аттракторами «*Ueda*» и «*Japanese*» [66] в случае неавтономных систем, показывает, что информационное содержание ФШС анализа богаче, нежели это представляется стандартной теорией детерминированного хаоса и соответствующими методами «нелинейного анализа временных рядов».

ФШС метод был апробирован при анализе динамики разнообразных физико-химических и природных процессов: флуктуаций электрического напряжения в электрохимических системах (при формировании пористого кремния в условиях анодной поляризации [45, 62], при образовании молекулярного водорода на платине при катодной поляризации [67], при инициировании гидродинамической неустойчивости в области запредельного тока в электромембранных системах [45, 68]), флуктуационной динамики солнечной активности [69], флуктуаций фиксируемых физиологических данных (сигналы ЭЭГ [64], тремор при болезни Паркинсона [51, 70]). При таком анализе следует иметь в виду, что в хаотической динамике сложных систем наряду с «неспецифической» корреляционной динамикой в последовательностях информационно значащих нерегулярностей часто проявляются специфические для каждой из рассматриваемых систем резонансные зависимости (см. раздел 5).

Использование ФШС метода для параметризации поверхностных структур, исследуемых методами сканирующей зондовой микроскопии СЗМ, в том числе методами атомно-силовой микроскопии и сканирующей туннельной микроскопии, открывает новые возможности при решении проблем метрологии поверхности на нано- и микроуровне [45, 71-76]. Последнее обстоятельство является базовым для развития нанотехнологий – технологий материалов, изделий и устройств с контролем структуры функциональных элементов на всех масштабных уровнях организации вплоть до наноразмеров. Открываются также новые возможности в развитии ИК и КР методов при введении «паспортных параметров», характеризующих области хаотических изменений спектров, т.н. «отпечатков пальцев», проявляющиеся в спектрах сложных соединений [77].

*2. Выявление предвестников наиболее резких изменений в состоянии открытых диссипативных систем разной сущности на основе априорной информации о динамике этих систем.*

Развитая методология с использованием критериальных соотношений (16) была опробована при поиске «предвестников» электрического пробоя в полупроводниковых системах [45, 78], при выявлении «прекурсоров» природных катастрофических событий – крупных землетрясений в Таджикистане [49, 63], Камчатке [47], о. Гуам (Япония) [79], Южной Италии [45, 50].

*3. Установление динамики перераспределения возбуждений в распределенных системах на основе анализа динамических корреляций в хаотических сигналах, измеряемых одновременно в пространственно разнесенных точках.*

Корреляционные зависимости (17) были использованы при анализе распределения гидродинамических потоков, которые инициировались в электромембранной системе в области «запредельного» тока [45, 48, 68]. Анализировалась совокупность временных рядов мембранных потенциалов, измеряемых с использованием системы микроэлектродов, локализованных вблизи поверхности ионообменной мембраны. Анализ позволил выявить изменения направлений и величин скоростей локальных гидродинамических потоков, возникающих в этих условиях в «примембранной» области электролита. На основе анализа ЭЭГ, полученных при медицинском обследовании ряда подростков с предполагаемым расстройством шизофренического спектра, и рассчитанных, согласно (17), корреляционных взаимосвязей между измеряемыми ЭЭГ флуктуациями электрического потенциала в разных участках головного мозга, была показана принципиальная возможность использования ФШС анализа для медицинской диагностики указанного расстройства [64].

ФШС методология анализа состояния и динамики сложных систем может найти очевидные приложения в исследовании разнообразных физических и физико-химических проблем (динамика фазовых переходов в протяженных системах, кинетика гетерогенных каталитических и электрокаталитических превращений), в технологии изучения недр и мониторинга природных объектов, прогнозировании климатических и экосистемных изменений, в химической технологии (проблемы масштабирования турбулентных потоков в аппаратах с кипящим слоем и мембранных установках), для параметризации (введение «паспортных» параметров и/или паттернов) поверхностных структур, в том числе, для разрешения проблем метрологии поверхности на нано- и микроуровне, в астрофизике (анализ вариаций активности звездных и квазизвездных объектов, в том числе, с установлением взаимосвязей их одновременно измеряемых характеристик, таких как

излучения на разных частотах), в геофизике (проблемы прогнозирования атмосферных явлений, сейсмической активности в сейсмоопасных регионах, динамики процессов в магнитосфере Земли), в медицине (ранняя диагностика разнообразных болезней, включая нерешенные проблемы с ранним выявлением болезней Альцгеймера, Паркинсона, шизофрении по данным ЭЭГ) и генетике (возможная задача – установление признаков скрытой информации в некодирующих последовательностях, анализ динамических мутаций в этих областях).

ФШС методология позволяет в наиболее общей феноменологической форме «различимым» образом *классифицировать* и *извлекать* всю информацию, содержащуюся в хаотических сериях динамических переменных разной природы. При этом число «требуемых» параметров или характерных зависимостей в каждом конкретном случае должно определяться поставленной задачей. При этом в одном и том же анализируемом объекте возможно выявлять разные качества и различать особенности разных уровней организации этого объекта. Вся выявляемая «паспортная информация» естественным образом формирует единый информационный блок (совокупность параметров, размерных и безразмерных), определяемый нами как «*информация динамических различий*» (*Information of Dynamic Distinguishes – I<sub>DD</sub>*). Фактически при этом речь идет о многопараметрическом обобщении  $K$ -энтропии Колмогорова [13] – скорости потери информации, которая в теории детерминированного хаоса вводится как скаляр. Заметим еще, что используемая в ФШС логика введения «*различимых по типу нерегулярностей признаков*», информация о которых различимым образом может извлекаться из зависимостей  $S(f)$  и  $\Phi^{(p)}(\tau)$ , вычисляемых на основе экспериментально измеряемых хаотических серий, и в силу этого составляет основу эмпирического знания о системе, в полной мере соответствует основным принципам «абстрактной теории информации» [80].

То обстоятельство, что значимыми (с точки зрения получения информации о системе) являются не все точки на временной оси, а лишь точки «маркеро-нерегулярностей», характеризующиеся полным набором возможных нерегулярностей, придает рассматриваемым эволюционным процессам своего рода «полихромизм» – цветовую гамму по типам нерегулярностей. Это тем более важно, что информация о всплесках и скачках получается из анализа разных зависимостей – частотных спектров автокорреляторов и разностных моментов различных порядков. «Полихромизму» эволюционных изменений динамической переменной  $V(t)$ , в принципе, можно поставить в соответствие термин «топохронология», введенный Д. Бомом (см. [81]). Выбор такого термина подчеркивает, что наряду с пространственной топологией, характеризующей определенный порядок в расположении объектов относительно друг друга, следует

различать, как одно событие или момент времени проявляют себя физически в другом. Другими словами, понятие «топохронология» отражает возможность существования определенных соотношений, в частности, степени коррелированности («сохранения памяти») между структурно-энергетическими состояниями (их многообразие задается вводимыми параметрами) эволюционирующей системы не только в соседние моменты времени, но на различных временных интервалах. Можно также подчеркнуть, что «топологическое понимание времени (в отличие от метрического) подразумевает последовательность не одинаковых моментов времени, а разнокачественных (разнородных) интервалов и их содержательную иерархию» [53], на что обращалось внимание выше в связи с мысленным экспериментом по динамике кристаллизации.

Фактически развитая ФШС методология может рассматриваться как новая информационная технология – «информационно-шумовая спектроскопия» (Noise Informative Spectroscopy – NIS). Традиционно под «информационными технологиями» понимается технологии компьютеров и компьютерных сетей, технологии записи, хранения и передачи больших объемов информации. При этом базовое для компьютеров Шенноновское представление информации в виде бит практически остается неизменным. Исключение составляют будущие «квантовые компьютеры» с единицами информации в виде блоков-матриц – «кубитов». В ФШС методологии вводится именно «блоковая структура» информационных единиц, связанных с нерегулярностями измеряемых динамических переменных – всплесками, скачками, изломами производных различных порядков на каждом пространственно-временном уровне иерархической организации исследуемых систем, что открыло новые возможности в информационном представлении сложных сигналов. Именно принятие нерегулярностей динамических переменных – всплесков, скачков, разрывов производных – в качестве информационной основы, информационных «цветов» ФШС методологии позволило не только в наиболее общей феноменологической форме *классифицировать* всю содержащуюся в хаотических сериях информацию, но и *достаточно уверенно извлекать* необходимую ее часть.

Результаты ФШС анализа разнообразных процессов и формирующихся структур, наряду с результатами Восса и Кларка [27] по анализу «шумов» в электропроводящих системах в отсутствие электрического тока дают основания полагать, что имманентным свойством любого реального процесса является необратимость во времени каждого «элементарного» шага, т.е. «шага-события» на каждом из уровней пространственно-временной иерархии рассматриваемой эволюции. Конечно, постановка последующих экспериментов позволит в большей мере убедиться в справедливости такого заключения.

Здесь, прежде всего, представляет интерес постановка экспериментов с измерением «равновесных» (при заданной температуре окружающей среды в отсутствие внешних воздействий, например, источников тока) шумов в твердотельных системах. Выше уже обсуждалась возможность постановки экспериментов по измерению флуктуаций электрического потенциала на образцах серого и белого олова, помещенных в термостат при температуре вблизи температуры  $T_{КА}$  аллотропных перестроек структуры. Перестройки структуры при переходах  $\alpha\text{-Sn} \rightarrow \beta\text{-Sn}$  или  $\beta\text{-Sn} \rightarrow \alpha\text{-Sn}$ , инициируемых смещением температуры термостата  $T_K$  от значения  $T_{КА}$ , сопровождаются тепловыми эффектами разного знака у исследуемых образцов. Анализ «равновесных» флуктуаций электрического потенциала на основе ФШС подхода в этих системах должен продемонстрировать меру адекватности использования температуры как фактора, определяющего не только состояние системы в термостате, но и самого термостата. Не менее информативными с точки зрения выявления микроскопической сущности Второго начала могут стать эксперименты по анализу зависимостей флуктуаций в тонкопленочных электронпроводящих системах от плотности проходящего через них электрического тока при варьировании теплового контакта с окружающей средой [28].

Необходимо заметить, что при постановке соответствующих экспериментов следует учитывать все основные факторы, определяющие корреляционные взаимосвязи в последовательности фиксируемых флуктуационных значений динамических переменных, в частности, объем исследуемого объекта. Очевидно, что при увеличении объема  $\Omega$  системы возрастает вероятность того, что наряду с возникающими последовательностями коррелированных динамических всплесков будут независимо от них в «неохваченных» такими флуктуациями частях системы генерироваться динамические флуктуации, порождающие новые последовательности всплесков, не зависящие от уже существующих в образце. В этом случае при большем абсолютном темпе генерированных в системе флуктуаций общая степень их коррелированности упадет, и абсолютная величина спектра мощности  $S(f)$  всех фиксируемых в данной системе флуктуаций уменьшится. Именно такая ситуация – зависимость наблюдаемого спектра мощности от «полного объема»  $\Omega$  (или его аналога) имеет место при анализе низкочастотных шумов в электронпроводящих системах (полупроводники, металлические пленки), когда реализуется т.н. закон Хоухе (см. [65]):  $S(f) \sim \Omega^{-m} f^{-n}$ , где  $m \sim 1$  и  $n \sim 1$  – параметры. Здесь подчеркнем, что при наблюдении такого рода зависимостей речь идет о неспецифическом флуктуационном нелинейном явлении, реализующемся во все объеме  $\Omega$  рассматриваемой электронпроводящей системы в условиях ее термодинамической открытости и прохождении через эту систему потока энергии. Именно указанная зависимость

характеризует канонический «фликкер-шум» в системе. (Заметим, что в тех случаях, когда реализующиеся закономерности  $S(f) \sim f^{-n}$  не зависят от объема и формируются в силу чисто специфических свойств исследуемой системы, более адекватно говорить не о «фликкер-шуме», а о «фликкер-шумовой кинетике» [82]).

Укажем также, что величина максимального объема систем разной физической сущности, в котором фликкер-шумовые корреляции могут еще наблюдаться, является феноменологической характеристикой, которая должна определяться экспериментально. Известно, что во многих электронпроводящих системах соответствующий объем достаточно мал, и поэтому говорят о фликкер-шуме в «тонких нитях», в «областях контактов» [65, 83]. В то же время анализ флуктуационных проявлений разнообразных показателей солнечной активности (числа Вольфа, излучения в УФ, оптическом и радиодиапазонах, потоки солнечного нейтрино) убедительно показывают, что все Солнце целиком представляет собой единую динамическую систему с точки зрения наблюдения динамических возбуждений.

ФШС параметры или «паспортные паттерны», характеризующие динамику корреляционных взаимосвязей в последовательностях нерегулярностей временных рядов и выявляемые при соответствующем анализе получаемых экспериментальных данных, составят интересующую нас информацию о реальной степени термодинамической открытости объектов, находящихся в «термостате», а следовательно, о справедливости или несправедливости высказанной гипотезы – идеи Вайцеккера – о микроскопической сущности Второго начала термодинамики.

#### **4.7. Образ *intermittency*-эволюции как «вещь в себе» Канта**

Развиваемая ФШС методология, демонстрирующая свою эффективность при анализе сложных сигналов разной сущности, использует в качестве стартовой гипотезы о характере эволюции сложных систем схему, представленную на рис. 1. Этот образ отражает в соответствии с парадигмой СОК, но в предельно идеализированном, абстрактном виде, основные черты динамики открытых нелинейных диссипативных систем – «перемежаемость» (*intermittency*) эволюции. Приведенный образ не соответствует никакому реальному сигналу не только в силу того, что в такой сигнал «вносят вклад» все уровни пространственно-временной иерархии эволюции реальной системы. На абстрактный характер приведенного образа указывает также выбор в качестве информационных реперов сигналов «идеальных» нерегулярностей –  $\delta$ -функций Дирака,  $\theta$ -функций Хевисайда, разрывов производных. Действительно, любые резкие изменения в исследуемом сигнале неизбежно будут «размываться» вследствие



инерционности материальных объектов и ограничений, связанных с самим процессом измерения (инерционность приборов, систематические приборные ошибки и т.д.). Эти факторы эффективно «замазывают» «первичные особенности» анализируемой динамики, приводят к различиям между истинной сущностью исследуемых процессов и тем, как эти процессы проявляются в измерениях [84]. Фактически при исследовании динамики реальных объектов мы имеем ситуацию, описанную Платоном [85, с. 255-258], когда по наблюдению «размазанных» теней на стене пещеры наблюдатель должен делать заключения о сущности предметов, от которых эти тени отбрасываются.

Как показывает весь предшествующий опыт развития науки, Платоновский образ «очищения опыта», согласно которому «познать реальное значит найти для него Идею» [59, С.79], оказывается универсальным и всеобщим для построения любой научной теории, которая с необходимостью должна использовать в качестве базовых идеальные образы, отражающие основную сущность анализируемого явления, структуры. На основе таких идеальных образов (укажем еще: материальная точка, инерциальная система отсчета), которые не берутся непосредственно из эксперимента, и формируются дедуктивные принципы любой естественной науки. Здесь мы подчеркиваем, что «эти принципы не могут быть получены путем индуктивного обобщения опытных данных. Они всегда – результат догадки и интуиции, навеянных экспериментом. Они о том, что в настоящий момент не может стать предметом опытного исследования, и в этом смысле они принадлежат сфере метафизики» [86] Именно в качестве такой дедуктивной основы для науки о динамике сложных систем – статистической динамики мы и рассматриваем представленный на рисунке образ эволюции как метафизическую конструкцию, которая не может быть получена из экспериментальных данных, поскольку соответствует эволюции только на одном из формирующих реальный сигнал уровне иерархической организации системы. Полагаем, что именно эта *intermittency*-конструкция отражает глубинные сущностные связи, реализующиеся в эволюционной динамике сложных систем. Введение в рассмотрение такого идеального сущего, которое выходит за пределы возможного опыта, соответствует «кантовской интерпретации понятия трансцендентного». Именно «с *потрясения* (поражения, очарования) *трансцендентным* начинаются метафизические размышления» [87].

Хотя разговоры о метафизике и попытках постижения сущности трансцендентного пока еще часто относят к разряду «антинаучных», такие мнения скорее основываются на незнании предмета, имеющем свою известную историю. Медленно, но верно к нам возвращаются необоснованно отвергаемые многие годы истины. И приходит понимание, что именно «метафизика хочет познать бытие в его целом, постигнуть сущность,

первооснову, ...первопричину бытия, из которой вытекает вся видимая множественность его» [88], что именно метафизические образы составляют основу гносеологии и что фактически в основе наиболее общих физических теорий (классической механики Ньютона, квантовой механики, инфляционной модели формирования Вселенной и др.) «лежат гипотетические предположения о ненаблюдаемых сущностях и скрытых механизмах природных явлений» [86]. Поэтому любая научная конструкция должна (вынуждена!) исходить из метафизических принципов [89], и метафизические аргументы следует свободно использовать и рассматривать как законный рабочий инструмент для проработки новых идей в физике и математике [81, 90]. Фактически «всякая метафизика, во-первых, есть смешение границ либо между отдельными науками, либо между отдельными областями культуры и, во-вторых, всякая метафизика есть реализм понятий, поскольку она продукты какой-нибудь частной науки гипостазирует в истинное бытие» [88]. Именно гипотетические предположения о ненаблюдаемых сущностях, формируя «реализм понятий», «представляют собой основные принципы теории, из которых дедуктивным путем выводится все остальное ее содержание» [86].

В использовании метафизических образов нет ничего удивительного, поскольку «целью физики является не отыскание наглядного и понятного для всех механизма явлений, а предсказание и объяснение явлений из минимума принципов, которые, сами по себе, могут быть далеко не очевидными... Последней основой нашего знания является не чувственный опыт и основанная на нем система проверок, как думали позитивисты, а система категориальных (метафизических) интуиции, в которых происходит упорядочение опыта и которые, сами по себе, не зависят от опыта и не проверяются им. Логика – часть этой высшей структуры мышления, ее утверждения метафизичны в полном смысле этого слова, ибо они не взяты из опыта и не поддаются опытной корректировке, и, вместе с тем, они являются необходимой структурой мышления, основой строгости и всякой возможной проверки» [91]. Именно такая логическая схема, в основе которой – чисто метафизический образ *intermittency*-динамики на каждом уровне иерархии, реализуется в ФШС методологии как феноменологической основы статистической динамики сложных систем.

Развитые представления Вайцзеккера об эволюции находятся в удивительном соответствии с рядом философских воззрений (А. Шопенгауэр, С. Кьеркегор, Ф. Ницше, В. Дильтей, А. Бергсон) [92], согласно которым эволюционный процесс состоит в реализации «прыжка» от одного состояния к другому, а «мгновение – это и есть форма выражения прыжка», причем для каждого состояния (фактически речь идет о «макросостояниях», представляющих собой большую совокупность «микросостояний»)

свойственна своя структурная организация («система связей»). В вводимом образе содержится понимание скрытой сущности эволюции и реализуется путь «от познания сущего к познанию бытия» [93].

Представления о сущности объектов, помогающие лучше понять и представить внутреннюю сущность Природы, вводились в философии во все времена, начиная с античных. Классические примеры – образ атома как неделимой сущности, «теней Платона» и «теперь – *Now*», «вещи в себе» Канта. Новые эпохи привносили новое понимание в классические образы, что прежде всего демонстрирует пример образа атома, который уже давно стал «делимым». Другие вводимые на разных этапах в философию образы также наполняются новым содержанием и, по-видимому, могут более активно (прагматически) использоваться в естественных науках. Именно при таком тесном взаимодействии философии с естественными науками может формироваться будущая единая (прежде всего, по использованию общей методологии [94]) наука «от физики до психологии» [95, с.70], и можно говорить о совоплощении ее (науки) в цельное крепкое ядро» [96, с. 5]. Выше мы продемонстрировали, как на науку может «работать» образ «теперь – *Now*». Конечно, в этот образ привнесено некое новое содержание по сравнению с образом Аристотеля-Локка, но сохранение данного определения подчеркивает связь времен, сохраняет традицию: определение «атом» сохранилось же, несмотря на кардинальное изменение первоначального представления об этом объекте! Высказываемые здесь соображения подчинены главной мысли – придать прагматический, работающий смысл образу «вещи в себе», введенному Кантом, и связать представленную на рисунке идеализированную схему эволюции системы на одном уровне пространственно-временной ее организации с «вещью в себе» Канта.

Конечно, введенный образ не есть результат только чувственного созерцания, но возникает как следствие чистых собственных размышлений над результатами разнообразных экспериментальных данных, многочисленных дискуссий с коллегами. Тем самым этот образ «хотя берется и из опыта, однако независим от опыта» [95, с.37]. По этой причине он не выпадает «из обихода» кантовских образов *a priori*, отражая, по мнению автора, самое существенное, что характерно для эволюции открытых диссипативных систем. Более того, он уже стал конкретным базовым образом для создания на его основе рабочего инструмента – ФШС для получения информации о состоянии и динамике сложных природных или модельных систем.

При введении образа «вещи в себе» Кант прежде всего имел в виду, что для познающего разума «истинная сущность природы (вещь в себе)» остается недостижимой [97, с.119] и «вещи в себе теоретическому познанию недоступны» [98, с. 148]. При

буквальном понимании недостижимости «вещи в себе» возникают недоумения в полезности такого образа для научного поиска. Более естественно расширить понятие этих образов в рамках основной идеи Канта и рассматривать чисто метафизические понятия «теперь – *Now*», «вещь в себе», как работающие на «чистое естествознание». Надо иметь в виду, что «современность бросает вызов традиции. Рассуждения на метафизические темы сегодня бывают далеки от абстрактных и становятся сугубо конкретными, практическими» [87]. Именно поэтому мы усиливаем удельный вес предварительного анализа опытных данных (Кант это вполне допускает!) как непременной составляющей при формировании этих образов, демонстрируя их прагматическую ценность как необходимых априорных понятий при разработке ориентированного на практические задачи метода анализа сложных сигналов.

## **5. НА ПУТИ К ОСОЗНАНИЮ ПРИНЦИПА ПРИЧИННОСТИ В КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ**

“To see a World in a grain of sand,  
And a Heaven in a wild flower,  
Hold Infinity in the palm of your hand,  
And Eternity in an hour.”

*William Blake*

“Вселенная в песчинке видней,  
Небо в цветке лесном.  
Бесконечность на ладони твоей,  
Вечность в миге одном.”

*В.Блейк. (Пер. В. Микушевича).*

### **5.1. «Микроскопическая» сущность «прибора» при квантово-механических измерениях.**

ФШС методология открывает принципиальные возможности возвращения, хотя бы с оговорками, принципа причинности в квантовую науку. Решение этой проблемы – возможности введения в квантовую науку принципа причинности также связано с анализом динамических флуктуационных явлений в конденсированной среде. В данном случае такой средой является «чувствительный» элемент (фрагмент) прибора, в котором происходит взаимодействие исследуемой квантово-механической подсистемы в процессе измерения и который традиционно рассматривается как «классический» объект. Отнесение любого объекта к классической или квантово-механической категории определяется тем, что конкретно нас интересует в связи с этим объектом. Так, в электронной теории Друде, созданной (1900) еще до открытия квантовой механики, электроны естественно рассматривались как классические объекты, и на этой основе были адекватно осознаны многие из макроскопических свойств металлов (статическая и

высокочастотная проводимость, закон Ома, эффект Холла, эффект Зеебека, некоторые термоэлектрические явления) [99]. В то же время ряд наблюдаемых эффектов (электронный вклад в теплоемкость, магнетосопротивление и др.) теория Друде принципиально не могла объяснить.

Функциональное назначение прибора в квантовой механике для квантово-механических измерений состоит в формировании измеряемого отклика на взаимодействие с квантово-механической подсистемой. Отклик прибора может проявляться в возникновении электрофизических (токовых, магнитных) сигналов, фиксации электромагнитных излучений разного типа, возникающих вследствие взаимодействия исследуемой квантово-механической подсистемы (фотонов, электронов, атомов, молекул и др.) с приповерхностными и объемными подсистемами прибора. Очевидно, что последовательный расчет такого типа отклика при характерных для исследуемых квантово-механических подсистем микроскопических значениях энергетических и импульсных воздействий, при которых «макроскопическая система» – прибор в целом сохраняет свои измерительные возможности, должен опираться на квантово-механические расчеты. При этом, конечно, нельзя исключать, что отдельные стадии формирования отклика могут анализироваться на «классической» основе (по Друде, например). Однако поскольку «прибор» традиционно рассматривается как «черный ящик», без каких-либо попыток извлечения информации, теряемой в приборе при измерении, то никакого анализа формирования отклика прибором обычно не проводится. Такой подход мог быть оправдан на начальных этапах становления квантовой механики, когда экспериментальные методы исследования сложных процессов, происходящих в твердофазных средах, и соответствующие методы анализа еще не были развиты.

В настоящее время ситуация изменилась. Именно поэтому имеет смысл более детально обсудить направления возможного поиска, связанного с развитием экспериментальных и расчетных подходов к анализу информации, генерируемой в «приборе» при использовании его для изучения процессов в квантовых подсистемах. Прежде всего, отметим, что в каждой из используемых измерительных систем при каждом «шаге-событии», формирующем фиксируемый «прибором» отклик, проявляется необратимость вследствие неизбежности эффектов диссипации. Обычно имеется в виду тепловая релаксация генерируемых «избыточных» фононов или иных тепловых возбуждений, которые должны «рассасываться» в матрице прибора (считаем прибор твердофазным). Очевидно, что если бы матрица прибора представляла собой идеальный кристалл, а тепловые возбуждения были бы достаточно малы, чтобы можно было

говорить о линейной релаксации рассматриваемого теплового возбуждения, то при бесконечной тепловой емкости «прибора» последний функционировал бы как идеально обратимая и воспроизводимая система. Фактически именно таковым и представляется обычно «прибор» в квантовой механике. Однако реальные твердофазные матрицы являются структурно неравновесными системами.

Поэтому процесс релаксации локального теплового возбуждения в «приборе» при фиксации переходов в квантовой подсистеме может «затронуть» структурно неравновесную подсистему множества метастабильных уровней твердофазной матрицы, определяющих «энергию напряжения», и инициировать локальные структурные перестройки матрицы. Именно с такого рода структурными перестройками локальных объемов матрицы «прибора» при тепловой релаксации, неизбежно сопровождающей фиксацию любого процесса в квантово-механической подсистеме, может быть частично связана неопределенность при квантово-механических измерениях, выражаемая соотношением Гейзенберга. При этом вследствие практической неконтролируемости такого рода перестроек локальной структуры в реальной твердофазной матрице можно действительно говорить о «неопределенности» в измеряемых величинах, характеризующих состояние квантовой подсистемы, однако такая «неопределенность» носит объективный «причинный» характер и не соответствует вероятностным принципам «копенгагенской» интерпретации квантовой механики.

Поэтому возникает вопрос, насколько локальные перестройки структуры твердофазной матрицы «прибора» при квантово-механических измерениях могут быть значимыми, чтобы с ними связывать соотношение неопределенности Гейзенберга. Техническая сторона дела должна состоять в постановке экспериментов по исследованию динамики переходов в квантовой подсистеме с одновременным измерением шумов в макроскопической подсистеме – приборе. Мы полагаем, что определение ФШС параметров или «паспортных паттернов», выявляемых при анализе шумов в «приборе» до исследованных переходов в квантовой подсистеме и в процессе их измерения, позволит приблизиться к пониманию динамической сущности соотношения неопределенности Гейзенберга при его анализе в связи с проводимым экспериментом.

Необходимо отметить, что частично фиксируемая неопределенность в результате проводимых измерений может обуславливаться иными причинами, например, уширением спектральных линий атомов, происходящим за счет доплер-эффекта и межатомных столкновений, которое значительно превосходит «естественную ширину» уровня [100]. Поэтому основная задача возможных экспериментов должна состоять в том, чтобы выяснить, насколько фиксируемая в квантовой подсистеме неопределенность

(энергетическая, пространственная) может быть отнесена к «прибору» и связана с теми локальными перестройками микроструктуры элементов регистрирующих систем прибора, которые сопровождают сам процесс измерения, но обычно не обсуждаются. Поскольку, согласно Вайцеккеру, сам факт актуализации любого явления в квантовой или классической подсистемах происходит вследствие необратимых переходов в новое состояние, то именно в контексте последовательности необратимых событий, происходящих в каждой из подсистем при указанных взаимодействиях подсистем, и можно обсуждать сохранение «принципа причинности» в квантовой механике. Конечно, степень взаимосвязанности в таких системах в полной мере количественно выявить будет крайне сложно в силу априорной неконтролируемости всех факторов, начиная с микроструктуры прибора. По этой причине при постановке соответствующих экспериментов сам прибор и материалы, из которого он изготавливается, должны выбираться как модельные объекты (например, как при выборе модификаций олова в описанных выше мысленных экспериментах).

## **5.2. Поверхность «прибора» как квантово-механическая подсистема**

Определенные перспективы при постановке таких экспериментов могут связываться с контролируемыми изменениями состояния поверхности «прибора» в тех случаях, когда приповерхностные области прибора фактически являются квантовыми подсистемами, играющими определяющую роль в формировании наблюдаемых эффектов при взаимодействии «прибора» с исследуемыми квантовыми объектами (фотонами, электронами и др.). В частности, такая ситуация может реализоваться при электроотражении (ЭО) света на полупроводниках [101, 102] и металлах [102]. В случае полупроводниковых систем именно целенаправленное изменение зарядового состояния поверхности (при вариации напряженности стороннего электрического поля, при специфической хемосорбции молекул) может приводить к эффекту ЭО света в области пространственного заряда в полупроводниках вследствие эффекта Келдыша-Франца [101]. Эффект ЭО света на металлах удобно исследовать в условиях анодной или катодной поляризации в растворах электролита, когда контролируемым образом изменяется потенциал металлического электрода (электродный потенциал), от которого могут зависеть величины «высокочастотных» поверхностных токов, определяющих «граничные условия» для уравнений Максвелла при отражения света. Эффект этот имеет также, как и в случае полупроводников, чисто квантовую природу и связан с разной степенью выхода «хвостов» электронной плотности вне «геометрической» поверхности металла при изменении электродного потенциала [103, 104]. Последнее заключение требует

дополнительных пояснений. Оно с очевидностью противоречит известному результату, полученному в модели Томаса-Ферми (ТФ), согласно которому «хвосты» электронной плотности вне поверхности металла имеют «классическое» выражение с «квантовыми» поправками [105].

Однако, как было показано в [106] (см. также [107, 108]), расчет распределения электронной плотности в области межфазной границы металла-среда (вакуум) при последовательном использовании квантово-механических выражений для волновой функции электрона в области указанной границы приводит не к классическим (с квантовыми поправками) выражениям, а к чисто квантовым (с классическими поправками) выражениям. Это означает, что в эффекте электроотражения света металл выступает как чисто квантовая подсистема. Поскольку данный результат может представлять общий интерес (традиционная модель ТФ излагается во многих учебниках по квантовой механике), приведем здесь основные соотношения для плотности  $n(x)$  распределения электронной плотности ( $x$  – координата, нормальная к поверхности металла) в области межфазной границы металл-вакуум в модифицированной модели ТФ.

В работе [106], в отличие от традиционной модели ТФ, в которой электронная плотность  $n$  в области межфазной границы металл-вакуум полагалась зависящей только от потенциальной энергии  $U(x)$  электронов,  $n = n(U)$ , учитывалась зависимость  $n$  не только от  $U$ , но и от первой производной  $U'$ , то есть полагалось  $n = n(U, U')$ ; область металла:  $x < 0$ . Ионный остов металла рассматривался в модели «желе» и представлял собой потенциальную яму для электронов, ширина которой  $L$  ( $L \rightarrow \infty$ ). Движение электронов в плоскости, параллельной поверхности металла, считалось инфинитным. В этом случае при линейной зависимости  $U(x)$ , когда величина производной  $U'$  фиксирована, определялись одноэлектронные волновые функции  $\Psi_E(x)$ , где  $E$  – энергетическая переменная.

Общее выражение для концентрации электронов в рассматриваемой модели имеет вид:

$$n(x) = \frac{2}{S} \sum f_E \cdot |\Psi_E(x)|^2, \quad (20)$$

где  $f_E$  – функция распределения Ферми – Дирака (рассматриваем ее при нулевой абсолютной температуре);  $S$  – площадь поверхности металла. Сумма в (20) берется по всем возможным состояниям электрона. После подстановки в (20) функции  $\Psi_E(x)$  получаем [106, 107]:

$$n(x) = \frac{8\pi^2}{3} \left( \frac{2m\nu}{h} \right)^{3/2} \left\{ \xi^2 Ai(-\xi) + \xi [Ai'(-\xi)]^2 - \frac{1}{2} Ai(-\xi) Ai'(-\xi) \right\}, \quad (21)$$



$$\xi = \frac{W - U(x)}{h\nu}, \quad h\nu = \frac{(hU')^{2/3}}{(8\pi^2 m)^{1/3}},$$

где  $Ai(z)$  – функция Эйри [109];  $W$  – энергия Ферми;  $m$  – эффективная масса электрона;  $h$  – постоянная Планка.

Из (21) следуют, в частности, разложения для медленно изменяющейся части  $n(x)$  [106, 107]:

$$n(x) \approx \frac{2^{9/2} \pi}{3} \left( \frac{m\nu\xi}{h} \right)^{3/2} \left( 1 - \frac{1}{32} \xi^{-3} \right) \quad \text{при } \xi \gg 1, \quad (22)$$

$$n(x) \approx \frac{\lambda U'}{4\pi e^2} \left[ 1 + 3^{4/3} \Gamma\left(\frac{2}{3}\right) \Gamma^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) \xi \right] \quad \text{при } |\xi| \ll 1, \quad (23)$$

$$n(x) \approx \frac{2^{5/2} \pi}{9} \left( \frac{m\nu}{h} \right)^{3/2} (-\xi)^{-3/2} \exp\left[-\frac{4}{3}(-\xi)^{3/2}\right] \quad \text{при } \xi \ll -1. \quad (24)$$

В формуле (23) величина

$$\lambda = \frac{4}{9} \Gamma^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) \Gamma^{-1}\left(\frac{2}{3}\right) a_0^{-1} \approx 0.12 a_0^{-1},$$

где  $a_0$  – боровский радиус.

Как видно из (22)-(24), в окрестности границы раздела (при  $|\xi| < 1$ ) традиционно используемая в модели ТФ классическая (с квантовой поправкой) аппроксимация (22) неверна: основной вклад в  $n(x)$  в этой области представляется квантовым выражением (23), содержащим классическую поправку.

Для определения самосогласованной зависимости  $U(x)$  в рассматриваемой нами модели «желе» с объемной концентрацией ионов  $N_+$  в области  $x \leq 0$  необходимо решить уравнение Пуассона:

$$\frac{d^2 U}{dx^2} = -4\pi e^2 [n(x) - N_+ \theta(-x)], \quad (25)$$

где  $\theta(z)$  – тета-функция Хевисайда, при следующих краевых условиях:

$$U'(\pm\infty) = 0, \quad U(+\infty) = W + A, \quad U(-\infty) = 0,$$

где  $A$  – работа выхода электронов из металла.

Известно, что модель ТФ с использованием в качестве  $n(x)$  «классического» выражения (22) (без квантовых поправок) приводит в области  $x > 0$  к физически неверным результатам [105]:

$$U(x) = W - \frac{3^2 5^2 h^6}{2^9 \pi^4 e^2 m^3} \cdot \frac{1}{x^4}, \quad (26)$$

$$n(x) = \frac{3^2 5^3 h^6}{2^9 \pi^4 e^6 m^3} \cdot \frac{1}{x^6}. \quad (27)$$

Обе зависимости (26) и (27) расходятся при  $x = 0$ , а «хвосты» электронной плотности простираются вне металла «до бесконечности», что представляется заведомо неверным с точки зрения квантовой механики.

Здесь следует заметить, что квазиклассическое представление (22) с учетом обменных поправок обычно используется в качестве базового в методе функционала плотности [110] при квантово-механических расчетах состояния поверхности металла. При этом в качестве пробных функций для распределения электронной плотности выбираются, естественно, не зависимости типа (27), а экспоненциально падающие вне металла функции, что и позволяет «исправлять» неадекватное представление самого функционала плотности. Заметим здесь, что аппроксимации (22) для  $n(x)$  справедлива лишь в приповерхностной области собственно металла, при  $x \leq x_c < 0$ , с чем и связана неадекватность (27).

Покажем, что именно использование в качестве  $n(x)$  выражения (23) делает расчет  $U(x)$  и  $n(x)$  в модели «желе» физически осмысленным: распределение  $n(x)$  в этом случае экспоненциально спадает вне металла, как это и должно быть в соответствии с квантовой механикой. Для иллюстрации этого утверждения весь интервал  $(-\infty, +\infty)$  разобьем на четыре области: I  $(-\infty, x_c)$ , II  $(x_c, 0)$ , III  $(0, x_q)$  и IV  $(x_q, +\infty)$ , выбирая интервал от  $x = x_c < 0$  до  $x = x_q > 0$  таким образом, чтобы в нем выполнялось неравенство  $|\xi| < 1$ . Будем рассматривать уравнение Пуассона (25) в областях II и III, выбирая для  $n(x)$  простейшую аппроксимацию (23) с учетом лишь первого слагаемого в скобках. В этом случае зависимости для  $U(x)$  и  $n(x)$  могут быть найдены аналитически. Неизвестные при этом граничные значения  $U(x_c)$  и  $U(x_q)$ , равно как и значения границ интервала  $x_c$  и  $x_q$ , рассматриваются как параметры. При сопряжении решений в областях II и III при  $x = 0$  используем граничные условия:

$$U_{II}(0) = U_{III}(0), \quad U_{II}'|_{x=0} = U_{III}'|_{x=0}.$$

В результате получаем:

$$U_{II}(x) = U(x_c) + \frac{4\pi e^2 N_+}{\lambda} \cdot (x - x_c) - \frac{4\pi e^2 N_+}{\lambda^2} \cdot \{1 - \exp[-\lambda(x - x_c)]\}, \quad (28)$$

$$U_{III}(x) = U(0) + [U(x_q) - U(0)] \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda x)}{1 - \exp(-\lambda x_q)}, \quad (29)$$

где

$$U(0) = U(x_c) - \frac{4\pi e^2 N_+}{\lambda} \cdot x_c - \frac{4\pi e^2 N_+}{\lambda^2} \cdot [1 - \exp(\lambda x_c)], \quad (30)$$

$$U(x_q) - U(x_c) = \frac{4\pi e^2 N_+}{\lambda^2} \cdot \{-\lambda x_c - \exp(-\lambda x_q) - \exp[-(x_q - x_c)]\}. \quad (31)$$

Используя (23), находим:

$$n_{II}(x) = N_+ \{1 - \exp[-\lambda(x - x_c)]\}, \quad \text{при } x \leq x_c < 0 \quad (32)$$

$$n_{III}(x) = N_+ [1 - \exp(\lambda x_c)] \cdot \exp(-\lambda x) \quad \text{при } 0 < x \leq x_q \quad (33)$$

Таким образом, распределение электронной плотности  $n(x)$  в области  $[x_c, x_q]$  границы металл-вакуум описывается экспоненциальными зависимостями, что является физически понятным результатом. Вне металла при  $x > x_q$  (область IV) падение  $n(x)$  с ростом  $x$ , определяемое уравнением Пуассона при использовании для  $n(x)$  квазиклассического выражения (24), должно происходить более резко, нежели в области III согласно (33). Поэтому введенный параметр  $x_q$  может рассматриваться как «внешняя» граница металла. Оценку для величины  $x_q$  получим из условия  $\xi = -1$ , полагая  $U = A + W$  и  $U' \sim A/\delta$ , где  $\delta = (x_q - x_0)$ . Это дает:

$$x_q \sim x_0 + \frac{h}{(8\pi^2 mA)^{1/2}}. \quad (34)$$

Оценка второго слагаемого в (34) при  $m \sim 0.9 \cdot 10^{-27} \text{ г}$  (масса свободного электрона) и  $A \sim 5$  эВ дает  $\delta \sim 0.1$  нм. При достаточно больших значениях  $W$ , когда можно полагать  $W \gg U(0)$ , из (32) получаем оценки  $x_0 \sim (W/A) \cdot \delta$  и  $x_q \sim (W + A)/A \cdot \delta$ , так что положение  $x_q$  «внешней» границы металла оказывается зависящим от величин  $A$ ,  $W$  и их отношения.

Для избыточной поверхностной плотности положительного заряда  $Q_+$  в области  $[x_c, 0]$  металла, где определяющий вклад в электронную плотность вносит «квантовое» слагаемое, на основе (32) получаем:

$$Q_+ = e \int_{x_c}^0 [N_+ - n_{II}(x)] dx = \frac{eN_+}{\lambda} [1 - \exp(\lambda x_c)]. \quad (35)$$

Аналогичная оценка для абсолютной величины  $|Q_-|$  заряда «хвостов» электронной плотности вне металла в области  $[0, x_q]$  на основе (33) дает:

$$|Q_-| = e \int_0^{x_q} n_{III}(x) dx = \frac{eN_+}{\lambda} \cdot [1 - \exp(\lambda x_c)] \cdot [1 - \exp(-\lambda x_q)] \quad (36)$$

Экспоненциальные распределения типа (32), (33) и зависимости (35), (36) следует использовать при рассмотрении модельных задач взаимодействия различных квантовых объектов (фотонов, электронов и др.) с металлическими фрагментами измерительных устройств («приборов»). Таким образом, прибор для квантовых измерений, содержащий

фрагменты из металла или полупроводниковых материалов, с которыми взаимодействует исследуемая квантовая подсистема, заведомо не может рассматриваться как классический объект не только из-за обсуждаемых выше возможных структурных перестроек его неравновесных фрагментов в процессе измерения, но и вследствие собственной квантовой специфики электронной структуры приповерхностных областей прибора. Более того, контролируемые изменения зарядового состояния поверхности «прибора» дают возможность всесторонне исследовать особенности взаимодействия квантовой подсистемы с прибором. Неизмеримо сложнее оказываются проблемы одновременного контроля локальных структурных перестроек твердофазных матриц с целью анализа информации, теряемой в «приборе» при квантово-механических измерениях. Тем не менее, как указывалось выше, постановка таких экспериментов после пионерских исследований Восса и Кларка [27] представляется реальной. При этом большое значение должно придаваться адекватному анализу хаотических сигналов, продуцируемых в «приборе». ФШС открывает такие возможности. Можно думать, что совместное экспериментальное исследование динамики квантовой подсистемы и «прибора» позволило бы «сузить» интервалы неопределенности при описании квантовых переходов за счет соотнесения фиксируемых разбросов в измеряемых величинах с изменениями состояния «прибора». Какая-то, хотя бы частичная, «реанимация» принципа причинности при этом могла бы произойти.

Уже такое возвращение «принципа причинности» в квантовую физику означало бы пересмотр негативного отношения к позиции Эйнштейна о неполноте квантовой механики. Такое отношение проявляется вплоть до настоящего времени (см. [111] и цитируемое на стр. 78 этой книги высказывание С. Хокинга: «Заблуждался Эйнштейн, а не квантовая теория»). При этом также уже не воспринимаются как окончательная истина общие утверждения типа: «независимо от интерпретации квантовой механики, она неопровержимо доказывает, что Вселенная основана на принципах, которые являются неестественными с точки зрения повседневного опыта» [111].

В связи с такого типа общими заявлениями относительно «заблуждений» Эйнштейна необходимо напомнить мнение Фейнмана: «... многие так или иначе поняли теорию относительности... Но мне кажется, я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает» ([112], стр. 139). Эти слова великого физика относятся к 1965 году. За прошедшие с тех пор годы произошел качественный скачок в нашем понимании мироздания (см. следующий раздел), что позволило продвинуться в понимании сущности квантовой механики и осознании «космологических» ограничений на принцип причинности.

## 6. О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

«Ты знаешь ход космических лучей,  
который сквозь тебя струится?  
Ведь это – мировой ручей  
тебя связать с величием стремится!  
.....  
ни с чем не схож он, ничему не равен:  
его не назовешь ни светом, ни огнем,  
невидим он, не ощутим, не явен,  
но им – и ты, и атом, и болид,  
со всей Вселенной связан – крепко, насмерть».  
*Ник. Асеев.*

### 6.1. Космологические представления о материальной сущности видимой Вселенной как открытой системы.

В связи с обсуждениями загадки Антропного принципа, состоящего в «тонкой настройке» всех мировых физических констант на возможность реализации нашей Вселенной в таком виде, чтобы в ней могла появиться жизнь [113], актуальными становятся вопросы выявления физической сущности мировых констант, их обусловленности состоянием видимой Вселенной. Фактически, речь идет о принципиальном понимании «самой большой из необъясненных загадок современной физики» – установлении интригующей взаимосвязи микроскопической квантовой физикой и динамикой Вселенной на космологических масштабах [114, 115]. Это тем более актуально в связи с Великими космологическими открытиями последнего десятилетия.

Прежде всего, обнаруженные в 1998 году энергетические аномалии при вспышках около 40 сверхновых звезд типа  $1a$ , произошедших от 4 до 7 млрд лет назад в дальних от нас галактиках, привели к заключению о том, что расширение самых дальних из наблюдаемых областей Вселенной (согласно [116], это области с «красным смещением»  $z > 0.7554$ ) происходит с меньшими скоростями, так что закон Хаббла для всей видимой Вселенной уже не имеет известной «стационарной» формы, и только «космологический» член  $\Lambda$ , первоначально вводимый (до открытия расширения Вселенной) Эйнштейном в уравнения ОТО (общей теории относительности) и эффективно описывающий «антигравитацию», мог бы быть ответственным (при  $\Lambda > 0$ ) за такую динамику Вселенной. Указанные нарушения закона Хаббла свидетельствуют о нарушении инвариантности относительно «сдвига во времени» на расстояниях порядка  $1000 Mpc$ , что приводит, в соответствии с теоремой Нётер, к однозначному выводу о *нарушении закона сохранения энергии* для видимой Вселенной.

«Возвращение» в уравнения ОТО «космологического» члена при  $\Lambda > 0$  означало, что «физический вакуум», вводимый в современные физические теории, является «энергонасыщенным», и именно этот фактор определяющим образом формирует «плоскую» геометрию Вселенной с отсутствием «горизонта событий» [115]. При этом обусловленный космологическим членом вклад в «евклидовость» нашего мира составляет 73%. Остальные 27% определяются массой видимой Вселенной (~ 4%) и скрытой массой гипотетического «темного» (несветящегося) вещества Вселенной (~ 23%) [117]. Постулируемое в современных космологических моделях темное вещество удерживает галактики в галактических скоплениях от разлета, проявляя себя явным образом в характере наблюдаемого пространственного распределения галактик, а также в измеряемых величинах флуктуаций микроволнового фонового излучения, т.н. «реликтового» радиоизлучения, приходящего со всех направлений небесной сферы, средняя температура которого в нашу эпоху составляет 2.73 К. Здесь следует подчеркнуть, что природа основных «формообразующих» факторов «устройства» наблюдаемой Вселенной – «темной энергии», определяемой космологическим членом, и «темной материи» сегодня не известна абсолютно. Обнаружение нестационарности расширения видимой Вселенной, что, как указывалось, свидетельствует об ее «энергетической» открытости как системы, усиливает остроту стоящих проблем. Очевидно, что указанные факторы – взаимосвязь микроскопической квантовой физикой с динамикой «открытой» Вселенной на космологических масштабах и загадки темной энергии формируют единую проблему.

Ниже предпринята попытка увязать эти, пока необъяснимые феномены – «темную» энергию и генезис нестационарности эволюции Вселенной в концептуально единую схему. Открытие энергонасыщенного физического вакуума, а также экспериментальные работы по измерению сил Казимира [118], которые можно рассматривать как проявление электромагнитной составляющей физического вакуума [115], открывает возможность введения новых аксиоматических предположений, справедливость которых может быть подтверждена или опровергнута при постановке последующих экспериментов. Согласно существующим представлениям о квантовой сущности эффекта Казимира [119-123], предсказанного в 1948 году [124], этот эффект обуславливается нулевыми колебаниями электромагнитного поля, которые формируются в вакууме в узких зазорах между поверхностями («зеркалами») находящихся в вакууме объектов. Величины соответствующих частот зависят от расстояния между «зеркалами» и реализующихся на них граничных условий для электромагнитного поля (зависят от комплексной диэлектрической проницаемости объектов и состояния их поверхностей). Различия между

частотами нулевых колебаний, формирующихся в узких зазорах и вблизи других границ макроскопического объекта, определяют разницу в радиационном давлении на различные части поверхности объекта со стороны электромагнитной составляющей физического вакуума, а следовательно, и некоторую результирующую силу. При этом знак результирующей силы оказывается зависящим от формы рассматриваемых тел и может быть как отрицательным (притяжение), так и положительным (отталкивание). Характерные расстояния, на которых эффект Казимира в вакууме достоверно измеряется современными приборами (при чувствительности  $\sim 1$  нН) не превышают 1 мкм. При этом величины измеряемых сил составляют  $\sim 100$  нН [118]. Фактически можно полагать, что эффект Казимира демонстрирует энергонасыщенность вакуума, формально выражаемую обращением в бесконечность полной энергии нулевых колебаний электромагнитного поля Вселенной. Конечно, данное заключение было бы более убедительным, если бы эксперименты такого типа можно было провести в межгалактической среде.

При таком понимании энергонасыщенного физического вакуума материализуются представления о волне де Бройля, связанной с движущейся частицей. Перемещение частицы в вакууме должно быть сопряжено с сопровождающим это движение искажением, «поляризацией вакуума», так что движущаяся частица может представляться как квазичастица, своего рода «вакуумный полярон». Последнее означает, что при локализации микрочастицы в какой-то конкретной области пространства (в «ящике» фиксированного размера, при образовании атома водорода с локализацией электрона у протона) поляронная «шуба» должна «уместиться» в этом объеме, каким-то образом искажившись в соответствии с граничными условиями. Именно в таких искажениях можно видеть генезис «активности» пространственной координаты, которой в квантовой механике ставится в соответствие оператор. Никакой дискретизации по времени при этом не возникает, время может изменяться непрерывно. Поэтому оператор времени в квантовой механике объективно и не вводится.

Введение образа «вакуумного полярона» позволяет понять на качественном уровне генезис априорного ограничения скорости движущихся материальных объектов с ненулевой массой покоя величиной скорости  $c$  света в физическом вакууме, равной  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/с [26]. Такое заключение связано с ограниченностью скорости перестройки электромагнитной составляющей физического вакуума, прилегающего к движущемуся объекту. Очевидно, что темп такой перестройки структуры прилежащих к границе твердого тела областей физического вакуума ограничен скоростью света  $c$ , что делает невозможным перемещения в физическом вакууме, выступающем как некий «эфир», материальных тел с такими скоростями. В «абсолютном вакууме», существовавшем в

соответствии с представлениями об инфляционной Вселенной еще «до рождения материи», указанного ограничения не было, и скорость инфляционного расширения при возникновении Вселенной на много порядков превосходила величину  $c$ .

Образ «вакуумного полярона» позволяет понять также динамический смысл ограничения величиной  $c$  относительной скорости сталкивающихся релятивистских частиц. Действительно, столкновение «вакуумных поляронов» предполагает формирование на стадии их взаимодействия единой для обеих частиц области поляризации вакуума. При этом скорость соответствующей перестройки областей поляризации вакуума в окрестности сталкивающихся частиц с образованием единой для них области поляризации ограничена скоростью  $c$ . Тем самым физически понятными становятся опирающиеся на ряд базовых экспериментов гипотезы, лежащие в основе специальной теории относительности. Все сказанное означает определенную «материализацию» преобразований Лоренца при отнесении их к системам, проявляющим себя в экспериментах – взаимодействующим друг с другом или распадающимся частицам.

Введение динамического образа микрочастицы с перестраиваемой «поляронной» шубой, которое помогает понять физическую сущность квантовой механики, позволит, возможно, перейти на физически более понятный уровень феноменологии при рассмотрении модельных квантово-механических задач. Конечно, это может быть связано с модифицированием ортодоксального формализма. Достаточно только задуматься над проблемой квантово-динамического описания процесса туннелирования такого композитного объекта через потенциальный барьер. Можно полагать также, что использование образа «вакуумного полярона» позволит в большей мере конкретизировать постановку экспериментов, относящихся к взаимодействию квантовых частиц с фрагментами поверхности макроскопического прибора. Не исключено, что на этом пути, могут быть поставлены вопросы о генезисе принципа Паули для фермионов и его неприменимости к бозонам. Такую возможность открывают модельные представления [125] о физической сущности спина элементарных частиц, который связывается с циркулирующим потоком электромагнитного поля в окрестности частицы – в области «поляризации физического вакуума», структура которой, очевидно, должна зависеть от типа частицы.

При уменьшении пространственно-временных масштабов исследуемых систем качественные изменения в использовании образа «непрерывного» времени возможны лишь на масштабах ожидаемой дискретизации самого пространства-времени, которые вводятся при построении квантовой теории гравитации [126] и связываются с



характерными планковскими величинами. Указанные величины – характерные единицы длины  $l_{Pl}$ , времени  $t_{Pl}$ , массы  $m_{Pl}$  и плотности  $\rho_{Pl}$  были введены Планком в 1899 г. комбинированием трех фундаментальных физических постоянных  $\hbar$ ,  $c$  и  $G$ , где  $\hbar$  – постоянная Планка и  $G$  – гравитационная постоянная. Планковские величины (за исключением «планковской» массы,  $m_{Pl} \approx 2.2 \cdot 10^{-52}$ ) традиционно воспринимаются как некие пределы принципиальной недостижимости соответствующих величин в экспериментах (любых и во все времена). Так, для тестирования материи (протонов) на планковских масштабах длины необходим «ускоритель размером со всю Вселенную» [111]. Для того, чтобы образ недостижимости формально сохранить для всей четверки планковских чисел, в [127] «планковская» масса  $m_{Pl}$  была заменена на планковскую мощность  $w_{Pl}$ , а также для единообразия всей совокупности вместо планковской плотности  $\rho_{Pl}$  была введена величина планковской плотности энергии  $\sigma_{Pl}$ :

$$l_{Pl} = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ см}; \quad t_{Pl} = \frac{l_{Pl}}{c} = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^5}} \approx 5.3 \cdot 10^{-44} \text{ с};$$

$$\sigma_{Pl} = \frac{c^7}{G^2\hbar} \approx 4.5 \cdot 10^{114} \text{ эрг/см}^3; \quad w_{Pl} = \frac{c^5}{G} \approx 3.7 \cdot 10^{59} \text{ эрг/с}. \quad (37)$$

Именно с искажениями геометрии пространства-времени на планковских масштабах  $l_{Pl}$  и  $t_{Pl}$  современные теории связывают феномен гравитации [126]. Естественно, лишь три из указанных 4-х планковских параметров, сформированных на основе  $\hbar$ ,  $c$  и  $G$ , являются линейно независимыми. В силу ниже изложенных аргументов за «базовую» тройку мировых констант будем принимать  $l_{Pl}$ ,  $w_{Pl}$  и  $c$ . В этом случае  $\sigma_{Pl} = w_{Pl} \cdot l_{Pl}^{-2} \cdot c^{-1}$ .

Поскольку параметры  $l_{Pl}$  и  $t_{Pl}$  на равных основаниях определяют пространственно-временные ячейки нашего мира, своего рода «атомы пространства-времени» [126], форма которых динамически изменяется под воздействием инерционной массы или электромагнитного поля, то время и координата должны входить в будущую квантовую теорию гравитации на паритетной основе, то есть как операторы. Поэтому именно на планковских масштабах должен исчезнуть субъективный образ времени, вводимый в физические модели. Напомним, что именно аналогичная ситуация имеет место при переходе от макро-масштабов классической физики к атомным масштабам квантовой механики, когда субъективно вводимый образ пространственной координаты трансформируется в оператор. Возможно, именно при введении времени как оператора на планковских масштабах откроется сущность и ограниченность вводимых в современную теорию представлений о пространственно-временной симметрии сильных и электрослабых взаимодействий – их инвариантность относительно комбинаций  $C$

(зарядовое сопряжение),  $P$  (пространственное отражение) и  $T$  (отражение во времени) преобразований [128], а одновременный учет всей совокупности планковских чисел поможет осознать «равноправие» (скорее, пределы такого равноправия) всех координат в 4-мерном пространстве-времени Минковского, равно как и сущность требования релятивистской инвариантности, предъявляемого (при соответствующих обобщениях) к современным теориям [129]. Можно полагать, что введение в теорию динамики пространственно-временных взаимосвязей, охватывающих не только все возможные формы материи и энергии, но и саму изменяющуюся структуру пространства-времени на всех возможных масштабах, позволит перейти на более глубокий уровень понимания мира как единой динамической сущности [47].

Здесь имеется в виду и проникновение в природу закона Всемирного тяготения Ньютона, и понимание космологической природы принципа Маха, связывающего генезис инерции материального объекта с его взаимодействием со всей остальной материей Вселенной [130-133]. При этом в качестве единственной материальной сущности, посредством которой осуществляется такое взаимодействие каждой частицы с остальной Вселенной, может рассматриваться энергонасыщенный физический вакуум. Введение в теоретические модели физического вакуума как реальной материальной сущности, способной проявлять себя не только в виртуальных процессах, позволило бы в большей степени осознать не только этот феномен, но и лучше «почувствовать» генезис принципа Маха. Именно на такой основе может формироваться концепция о *наблюдаемой Вселенной* как единой динамической диссипативной системе, эволюция которой протекает [47] в условиях мощных *сторонних* воздействий при перераспределении энергии между взаимодействующими перестраивающимися подсистемами.

## **6.2. Роль гамма-всплесков в формировании видимой Вселенной как единой динамической системы.**

Если следовать логике «недостижимости» в экспериментах тех величин, которые определяются планковскими числами, то при формировании концепции об открытой Вселенной введенная «планковская мощность»  $w_{Pl}$  могла бы рассматриваться как характеристика гипотетических источников энергии, определяющих эволюцию наблюдаемой Вселенной и обуславливающих наряду с «подпиткой» энергии, теряемой на диссипацию, «энергонасыщение» вновь образующихся областей расширяющейся Вселенной. Кандидатами на роль таких сторонних источников энергии могли бы рассматривать гамма-всплески (ГВ) [47, 127], (gamma-ray bursts - GRBs), самые загадочные объекты современной астрофизики, которые являются кратковременными

(продолжительность вспышек - от  $10^{-2}$  до  $10^2$  с) источниками жесткого рентгеновского и гамма-излучения (от десятков КэВ до МеВ) аномально высокой интенсивности [133, 134]. Появляются ГВ некоррелированно со средней периодичностью – один раз в земные сутки, а распределение их по небосводу характеризуется пространственной изотропией. Условно ГВ делятся на две группы: длительной продолжительности ( $T_{90} > 2$  с) и короткой продолжительности ( $T_{90} < 2$  с), где  $T_{90}$  – время детектирования наблюдаемого влияния. Заключение о космологической природе ГВ было сделано на основе «привязки» выявляемых областей локализации ГВ к видимым далеким галактиками, в которых после вспышек фиксировались «послесвечения» – разнообразные переходные процессы, проявляющиеся в генерации длительных, изменяющихся в течении часов, многих суток и даже месяцев излучений в широком частотном интервале – от рентгеновского до радиодиапазона. Самая дальняя из таких галактик, к которой был «привязан» ГВ, характеризовалась «красным смещением»  $z = 6.295$  [116, 135], означаящим, что ГВ произошел примерно через 890 млн лет после «Большого взрыва» [135]. Иногда при ГВ длительной продолжительности наблюдается возникновение сверхновой с характерными для таких объектов энергиями  $\sim 10^{51}$  эрг и рождением новых элементов (магний, сера, кальций, аргон, кремний, никель и др.), испускаемых со скоростями порядка  $0.1 c$  [136]. Именно указанные «привязки» позволили оценить интегральную светимость ГВ. Характерные интегральные энергии излучения ГВ в гамма-диапазоне, оцениваемые в предположении изотропии излучения, обычно составляют соответственно  $10^{48}$ - $10^{51}$  эрг для ГВ короткой продолжительности и  $10^{52}$ - $10^{54}$  эрг для ГВ длительной продолжительности [137-140], т.е. в последнем случае превышают значения, характерные для взрывов сверхновых звезд. В частности, для вспышки, зафиксированной 14 декабря 1997 года, энергосвечение в одних лишь гамма-лучах составило  $3 \cdot 10^{53}$  эрг при условии его изотропии, то есть величину, равную  $1/6$  от полной «энергии покоя» Солнца  $E_{\oplus} = M_{\oplus} c^2$ , где  $M_{\oplus}$  – масса Солнца [141].

В настоящее время большинство исследователей полагает, что ореол загадочности, окружающий ГВ особенно после февраля 1997 года, когда впервые была доказана космологическая удаленность ГВ, исчезает. Считается, что ГВ обоих типов возникают при слиянии компактных объектов – двух нейтронных звезд в бинарной системе с образованием «файрбола» или нейтронной звезды и черной дыры. При этом не исключается, что выбрасываемые при таких слияниях ультрарелятивистские потоки заряженных частиц могут иметь вид струй. Далее, на расстояниях около  $10^8$  км от источника часть энергии конвертируется в  $\gamma$ -эмиссию (как синхротронное излучение, например), а на расстояниях порядка  $10^{10}$  км от источника ГВ в соответствующей

галактике могут инициироваться разнообразные переходные процессы, включающие излучения в рентгеновском, оптическом и радиодиапазонах [142]. Но поскольку такого типа переходные процессы, физическая сущность которых известна, происходят на больших расстояниях от источника ГВ, механизмы предполагаемого высвобождения гравитационной энергии при слиянии указанных компактных объектов остаются пока дискуссионными. Действительно, если взрывы сверхновых, при которых основная энергия выделяется в виде потоков заряженных частиц, а вклад  $\gamma$ -эмиссии в общий энергетический баланс ГВ мал, могут быть поняты на основе современных физических представлений, то при ГВ ситуация иная. В тех случаях, когда ГВ сопровождается взрывом сверхновой с генерацией потоков заряженных частиц, доля энергии последних ( $\sim 10^{51}$  эрг) сопоставима с долей  $\gamma$ -эмиссии в общем энергетическом балансе ГВ. Однако характерные мощности излучения ГВ в гамма-диапазоне, достигающие величин  $10^{50}$ - $10^{53}$  эрг/с, превышают на порядки соответствующие величины при взрывах сверхновых, и «всего» на 6-9 порядков меньше планковской мощности.

Вся совокупность имеющихся по ГВ данных дает основание не исключать иных механизмов возникновения ГВ [143]. В частности, ряд данных не согласуется с выше представленным синхротронным механизмом генерации  $\gamma$ -излучения [144]. Более того, выделяемая при взрывах ГВ общая энергия может на несколько порядков превосходить указанные выше значения. Есть основания полагать [133], что ГВ (их местоположение коррелирует со скоплениями галактик) являются теми космологическими объектами, которые производят высокоэнергетические, с энергией  $10^{18} - 10^{21}$  эВ, космические лучи, генезис формирования которых пока остается загадочным [145]. В последнем случае общее энерговыделение при ГВ должно на порядки превосходить приведенные выше значения, так что для моделирования гамма-барстеров возможно потребуются привлечение принципиально новых идей, которыми современная физика пока не располагает.

Поскольку основным барионным компонентом космических лучей являются протоны, в этом случае ГВ могут рассматриваться и как мощные локальные источники исходного материала для ядерного синтеза элементов во Вселенной. Тем самым ГВ фактически представляют собой «микро-Большие взрывы», «подпитывающие» энергией и веществом всю видимую Вселенную, включая ее «энергонасыщенную» вакуумную составляющую. Принятие такого предположения означает, что фиксируемую (далеко не во всех случаях) привязку ГВ к далеким галактикам, в которых инициируются переходные процессы, следует связывать не с непосредственной локализацией ГВ в этих галактиках, а с релаксационными процессами, происходящими после возбуждения гамма-всплеском вещества в галактиках, «случайно оказавшихся» на прямой, соединяющей ГВ и

Солнечную систему. Проверка такой гипотезы могла бы состоять в обнаружении переходных процессов, сопровождающих появление ГВ, в группе компактно расположенных галактик или в достаточно разделенных (не связанных информационно за время наблюдения) областях одной галактики.

В [47, 127] обсуждается возможность отнесения ежедневно «зажигаются» ГВ к гипотетическим межгалактическим объектам с планковской мощностью – флуктуациям энергонасыщенного физического вакуума на относительно ранних стадиях формирования Вселенной, который в соответствии с современными представлениями [146] является высокоструктурированной, энергетически метастабильной средой. Такие источники могут оказаться «сторонними» для видимой части Вселенной. Именно в связи с такой аномально высокой интенсивностью источников энергии, перманентно возникающих на космологических расстояниях, можно обсуждать проблемы открытости и нестационарного расширения видимой Вселенной. Это демонстрирует простая оценка.

За время  $T^*$  существования Вселенной такие источники, «зажигаясь» в среднем один раз в земные сутки (нынешний темп появления ГВ) на некоторое время, составляющее долю  $\xi$  от суток, за суммарное время  $\xi \cdot T^*$  действия произведут такое количество энергии в пересчете на массу вещества, которое соответствует появлению вещества во Вселенной со средней плотностью:

$$\rho_{GRB} = \frac{3w_{pl}\xi T^*}{4\pi R^3 c^2} \approx \frac{3H^3 \xi T^*}{4\pi G} = 2\rho_c^* \xi T^* H, \quad \rho_c^* \equiv \frac{3H^2}{8\pi G}, \quad (38)$$

где  $\rho_c^*$  – «критическая плотность» вещества, при которой Вселенная является евклидовой [147];  $R = c/H$  и  $H$  – соответственно оценочное значение «радиуса» Вселенной и постоянная Хаббла в момент времени  $T^*$ .

Если принять, что такие источники появляются в течение всего времени  $T^* = T_0 = 13.7$  млрд. лет [148] существования Вселенной, то при  $H = H_0 = 73$  км/(с·Мпк)  $\approx 2.36 \cdot 10^{-18}$  с<sup>-1</sup> в настоящую эпоху [149] и длительности каждого ГВ, равной 1 мин, так что  $\xi \sim 0.7 \cdot 10^{-3}$ , получаем оценку  $\rho_{GRB} \sim 10^{-32}$  э/см<sup>-3</sup>, что всего на 3 порядка меньше средней плотности энергии (при пересчете на массу) видимой Вселенной, включая энергию физического вакуума [150].

Такие оценки дают основание гипотетически связывать, как указывалось выше, ГВ с «микро-Большими взрывами», «подпитываемыми» энергией и веществом всю видимую Вселенную, включая ее «энергонасыщенную» вакуумную составляющую. Здесь можно провести аналогию между динамикой развития Вселенной и полностью развитой Колмогоровской турбулентностью, когда в качестве базового параметра вводится удельная (приходящаяся на единицу массы в единицу времени) энергия диссипации  $\epsilon_K$

[151]. Для соответствующего сопоставления удобно рассматривать введенные в [46] специфические частоты  $K_0$ , обратная величина которых характеризует время релаксации в открытых системах, которое определяет установление стационарного состояния. В случае полностью развитой турбулентности частота  $K_0 = \varepsilon_K / w_S$  [1/сек], где параметр  $w_S$  [см<sup>2</sup>/сек<sup>2</sup>] характеризует «энергосодержание» пульсаций турбулентного потока. При рассмотрении Вселенной как открытой системы, состояние которой определяется скоростью подвода энергии  $\xi \cdot w_{Pl}$ , расходуемой на диссипационные процессы и «энергонасыщение» образующихся при расширении областей Вселенной, аналогичная частота  $K_U$  определяется как

$$K_U = \frac{3\xi w_{Pl}}{4\pi R^3 \rho_c^* c^2} = 2\xi H. \quad (39)$$

Полученное выражение (39) связывает эмпирическую константу Хаббла со специфической частотой, определяющей время установления в нашей Вселенной стационарного режима эволюции. Выбирая для оценки  $H \approx 2.36 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$ , получаем  $K_U^{-1} \sim \xi^{-1} \cdot 6.7$  млрд. лет. Видно, что именно параметр  $\xi$ , характеризующий долю времени, когда во Вселенную вкачивается энергия от планковских источников, определяет степень стационарности эволюционного расширения Вселенной. При указанном выше выборе  $\xi \sim 0.7 \cdot 10^{-3}$ , что соответствует «включению» планковских источников в течение 1 мин в каждые земные сутки существования Вселенной,  $K_U^{-1} \sim 10^4$  млрд. лет, то есть на два порядка превышает  $T_0$ . Не исключено, что на более ранних стадиях формирования Вселенной с энергонасыщенным вакуумом частота включения ГВ была больше. Необходимо указать, что на основе приведенных соотношений о генезисе «Большого взрыва» ничего сказать нельзя, поскольку в «нулевой» момент времени мировых констант, определяющих планковские числа, еще не существовало, и они стали обретать свое физическое содержание на стадиях формирования барионной компоненты и физического вакуума.

### **6.3. «Энергонасыщенный» физический вакуум как фактор, определяющий динамическое единство видимой Вселенной.**

Действительно, именно на этих стадиях проявляется физическое содержание мировых констант, в частности,  $w_{Pl}$  и  $c$ , что частично демонстрируют соотношения (38) и (39). Чтобы продвинуться дальше, необходимо в большей мере осознать физическое содержание космологической константы  $\Lambda$ , введенной Эйнштейном и связанной с энергетической плотностью физического вакуума  $\varepsilon_V = \rho_V c^2$  соотношением [147]:

$$\Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} \varepsilon_V. \quad (40)$$

Примем [149], что относительные доли энергетических составляющих расширяющейся Вселенной – физического вакуума, темной материи и барионной компоненты соответственно равны  $\Omega_\Lambda = \rho_V / \rho_c = 0.75$ ,  $\Omega_{dm} = \rho_{dm} / \rho_c = 0.205$  и  $\Omega_b = \rho_b / \rho_c = 0.045$  ( $\rho_{dm}$  и  $\rho_b$  – соответственно средняя плотность темной материи и барионной составляющей), и выполнено условие  $\Omega_\Lambda + \Omega_{dm} + \Omega_b = 1$  евклидовости Вселенной. В этом случае получаем оценку  $\Lambda \approx 1.39 \cdot 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ .

Концепция энергонасыщенного физического вакуума позволяет вернуться к общей идее Маха о воздействии всей массы Вселенной на динамику материального объекта, если отвлечься от более сложной проблемы генезиса инерции материальных тел. Естественно предположить, что такое воздействие должно реализоваться через «материализованный» физический вакуум, связывающий любой материальный объект с остальной Вселенной. Введение единого источника энергии, «подпитывающего» все три указанные энергетические составляющие расширяющейся Вселенной, фактически означает наличие взаимосвязи указанных составляющих. По этой причине космологическая константа  $\Lambda$  и общая масса  $M = 4\pi R^3 \rho_b / 3$  барионной составляющей видимой Вселенной оказываются взаимосвязанными, а гравитационную постоянную можно определить через параметры физического вакуума:

$$\Lambda = \frac{6\Omega_\Lambda}{\Omega_b} \frac{MGH_0^3}{c^5} \rightarrow G = \frac{\Lambda c^2}{8\pi \rho_V}. \quad (41)$$

Очевидно, что на основе закона Всемирного тяготения для произвольного тела может быть введена величина ускорения свободного падения  $g_U$  «на Вселенную». В соответствии с (41):

$$g_U = \frac{GM}{R^2} = \frac{\Omega_b}{6\Omega_\Lambda} \cdot \frac{\Lambda c^3}{H_0}, \quad (42)$$

так что энергонасыщенный вакуум может оказывать малые ( $g_U \approx 1.6 \cdot 10^{-9} \text{ см/с}^2$ ) флуктуирующие гравитационные воздействия Вселенной на любое материальное тело.

Величине энергетической плотности физического вакуума  $\varepsilon_V \equiv \rho_V c^2$  можно поставить в соответствие характерный пространственный масштаб [152]:

$$l_V \sim (\hbar / \rho_V c)^{1/4} \sim 10^{-2} \text{ см}. \quad (43)$$

Естественно связывать эту макроскопическую величину с расстояниями, на которых проявляется в виде сил Казимира электромагнитная составляющая вакуума. В силу

последнего обстоятельства соответствующая характерная длина  $l_C$  должна содержать постоянную тонкой структуры  $\alpha$ , так что:

$$l_C = \alpha l_V \sim \alpha \cdot (\hbar / \rho_V c)^{1/4} \sim 10^{-4} \text{ см} \quad (43a)$$

в согласии с приведенными выше данными. Такой «казимировской» длине  $l_C$  соответствует характерное время  $t_C = l_C/c \sim 0.3 \cdot 10^{-6}$  с.

Указанным характерным масштабам длины и времени соответствует широкий класс макроскопических явлений в физической и коллоидной химии, электрохимии. Некоторые из них могут быть обусловлены силами Казимира. Иногда вклад сил Казимира формально вводится при анализе взаимодействия чувствительного элемента сканирующих зондовых микроскопов с исследуемыми поверхностями. Силы Казимира могут частично обуславливать «трение покоя» и адгезионные связи наряду с традиционно рассматриваемыми поверхностными силами [153], обусловленными ван-дер-ваальсовыми (взаимодействие наведенных диполей), полярными и ионными взаимодействиями. Конечно, всесторонние экспериментальные исследования соответствующих явлений с фиксацией флуктуационных составляющих измеряемых динамических характеристик позволил бы сделать более определенные заключения об универсальности проявления сил Казимира, а более интригующе – энергонасыщенного вакуума, в таких, «чисто земных» процессах.

Как указывалось выше, при введении представлений о физическом вакууме как материальной среде квантово-механические явления, прежде всего, формирование волны де Бройля, могут связываться с «поляризацией вакуума» в окрестности материальных объектов. Это означает, что постоянная Планка должна иметь космологическую природу. Такая возможность обсуждалась в [154], где полагалось, что постоянная Планка формируется гравитационным взаимодействием между всеми  $N$  барионами нашей Вселенной с общей массой  $M$ , заключенными в сфере радиуса  $R \approx c/H$ . В соответствии с такими представлениями на основе теории размерности для «планковского действия» было получено выражение [154]:

$$\hbar = \frac{1}{2\pi} G^{1/2} N^{-3/2} M^{3/2} R^{1/2}. \quad (44)$$

Получаемая на основе (44) величина лишь на порядок отличается от константы Планка  $\hbar$ . В соответствии с логикой, развиваемой в данной работе, соотношению (44) следует придать несколько иной вид и представить в форме:

$$\hbar = \frac{1}{2\pi} G^{1/2} m_0^{3/2} R^{1/2} = \frac{G^{1/2} \varepsilon_0^{3/2}}{2\pi c^{5/2} H_0^{1/2}}, \quad \varepsilon_0 \equiv m_0 c^2. \quad (44a)$$



Здесь введен энергетический параметр  $\varepsilon_0 \approx 200$  МэВ, характеризующий удельную «энергию реорганизации» физического вакуума при помещении в него материального объекта. Величина  $\varepsilon_0$  определена таким образом, чтобы имела место известная связь между длиной волны де Бройля и импульсом частицы. Параметру  $\varepsilon_0$  можно поставить в соответствие характерные для ядерных процессов параметры длины  $l_0 = \hbar / m_0 c \sim 10^{-13}$  см (ферми) и времени  $t_0 = \hbar / m_0 c^2 \sim 1$  ферми /  $c \approx 0.3 \cdot 10^{-23}$  с.

#### **6.4. «Космологический» индетерминизм в элементарных процессах микромира.**

Физический вакуум при выполнении соотношений (40) и (44a) оказывается реальной средой, с которой реальные частицы могут взаимодействовать необратимо. Это значит, что такие взаимодействия могут быть введены в соответствующий аппарат квантовой электродинамики и теории электрослабых взаимодействий, основанный на использовании фейнмановских диаграмм. Формально это может выражаться введением в вершинную часть «стороннего» взаимодействия, реализующегося с некоторой передачей («Вселенной») или получения (от «Вселенной») реальных импульса и энергии. При этом фактически полагается, что каждый процесс, в котором появляется реальная частица, инициируется взаимодействием рассматриваемой системы с электромагнитной или электрослабой составляющей физического вакуума. Аппарат современной физики ориентирован на  $T$ -инвариантность элементарных процессов и вершинных частей в фейнмановских диаграммах, в том числе, при образовании реальных частиц, которые можно наблюдать. Предлагаемый учет реального взаимодействия частиц с физическим вакуумом и передаче (получении) реальных импульса и энергии вводит *a priori* временную необратимость в исследуемый процесс.

Сразу же заметим, что введение таких «взаимодействий» в исходно замкнутые фрагменты в фейнмановских диаграммах позволит избежать использования разного рода «регуляризационных процедур» для компенсации расходящихся интегралов. При этом имеется в виду, что таким образом представленное взаимодействие, вводимое феноменологически, может отражать взаимосвязь каждого элементарного процесса со всей Вселенной. Фактически именно в этом состояла идея Уилера и Фейнмана, своего рода аналог принципа Маха в электродинамике, согласно которой любая ускоряющаяся заряженная точечная частица взаимодействует со всеми зарядами Вселенной, причем взаимодействие идет наполовину через запаздывающие, наполовину – через опережающие волны [155]. Согласно Уилеру и Фейнману, комбинация опережающих и запаздывающих волн фактически означает, что в тот момент, когда электрон ускоряется,

его заряд испытывает воздействие со стороны всех зарядов Вселенной, которые «приготовились поглотить излученные электроном волны».

При введении таких «взаимодействий» с вакуумом в фейнмановские диаграммы величины феноменологических параметров взаимосвязи, характеризующих степень необратимости с изменением энергии и импульса при фактуализации частицы, могут оцениваться на основе сопоставлений рассчитываемых характеристик с экспериментальными данными. Очевидно, что в случае квантовой электродинамики в качестве базовых примеров следует рассматривать Лэмбовский сдвиг и аномальный магнитный момент электрона. Экспериментальная оценка «энергетической» характеристики такого необратимого взаимодействия электрона с физическим вакуумом может следовать из величины Лэмбовского сдвига ( $\sim 10^{-6}$  эВ), различия в энергиях уровней  $2S_{1/2}$  и  $2P_{1/2}$  атома водорода. Такого рода феноменология с введением необратимости во времени в каждый элементарный процесс означала бы постулирование абсолютной необратимости реальных процессов уже на уровне первичных уравнений, еще до стадий взаимодействия исследуемых объектов с «прибором», фиксирующим соответствующий процесс для наблюдателя. При такой постановке проблемы динамическое содержание соотношения неопределенности Гейзенберга будет определяться двумя факторами – необратимым обменом энергией и импульсом между исследуемой квантовой подсистемой не только с «прибором», но и со всей Вселенной.

Открытие энергонасыщенного физического вакуума фактически возвращает в космологию образ эфира, который представлялся как «качественно особый вид материи, к изучению внутренних свойств которого физика только подходит» и который «обладает такой же объективной реальностью, как и все другие материальные тела» [156]. Эвристическая ценность этого достижения современной астрофизики несомненна. Введение физического вакуума как реальной материальной сущности позволило, как показано выше, не только осознать возможную природу квантовой механики и понять феномен ограничения скорости материальных тел величиной  $c$ , но представить общий механизм взаимосвязи микро- и макроскопических явлений в видимой Вселенной.

Правда, вопрос о величинах мировых констант с их «тонкой настройкой» на возможность появления жизни в нашей Вселенной пока выходит за рамки научных дискуссий. Тем не менее, уже осознание Вселенной как открытой системы и физического вакуума как фактора, формирующего ее динамическое единство, позволяет ставить вопрос о разработке более адекватных динамических моделей Вселенной, выходящих за рамки ОТО. Этот путь к осознанию Антропного принципа представляется физически

более оправданным, нежели ссылка на чисто статистическую возможность реализации именно «нашей Вселенной» из общего числа  $10^{500}$  возможностей, представляемых теорией струн [113].

## 7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ.

«Как будто не все пересчитаны звезды,  
Как будто наш мир не открыт до конца».  
*Н.С. Гумилев.*

Использование автокоррелятора как базового образа для получения феноменологической информации об эволюционной динамике и структурной организации сложных систем демонстрирует новый эпистемологический парадокс (*epistémé* – знание, *logos* – учение). Ранее в качестве «выдающегося примера эпистемологического парадокса, когда мы можем успешно применять наши базовые понятия, не имея их реального понимания» [157], рассматривалась вероятность. «Ее вхождение в познание привело к радикальным преобразованиям в научной картине мира, стиле научного мышления и в базовых моделях мироздания и его познания» [158]. Можно даже говорить о «вероятностной революции в науке» [159].

Уровень информации, содержащейся в автокорреляционной функции  $\psi(\tau)$  и относящейся к корреляционным взаимосвязям исследуемых сигналов на разных пространственно-временных интервалах, много глубже, чем в функции плотности вероятности. Однако корреляционные функции  $\psi(\tau)$ , а также корреляторы более высоких порядков, обычно вводятся в различные теоретические конструкции. В качестве основы для анализа измеряемых сигналов функции  $\psi(\tau)$  практически не используются. В рамках ФШС феноменологии удалось установить объективные трудности прямого извлечения информации, содержащейся в автокорреляторе  $\psi(\tau)$ , и разрешить данную проблему путем использования разных «проекций» автокоррелятора – его фурье-образа и структурных функций. ФШС подход позволяет выявлять как специфические (резонансные), так и неспецифические (хаотические) свойства анализируемых сигналов вне зависимости от априорного знания или незнания о сущности объекта исследования, продуцирующего эти сигналы (эпистемологический парадокс!).

Согласно традиции, идущей от Оккама (W. Ockham, 1285-1349), понятия, несводимые к интуитивному и опытному знанию, должны удаляться из науки. Такой критерий предъявляется и к новым вводимым сущностям. Поэтому следует еще раз пояснить, что обсуждаемая в данной статье необходимость «выхода» за рамки ортодоксальной статистической физики, обусловлена невозможностью решения на ее

основе проблем извлечения информации из сложных, в том числе, природных сигналов. Именно неортодоксальное, с отказом от образа идеального «термостата» рассмотрение эволюционной динамики как последовательности «шагов-событий», изначально необратимых на каждом уровне эволюции, позволило решить эту принципиальную и важную с точки зрения «опытного знания» проблему. Однако при этом фактически подвергается сомнению давно опробированный и продемонстрировавший свою высокую эффективность метод введения в уравнения динамики времени как непрерывно изменяющейся переменной.

Конечно, огромное число проблем решается успешно в рамках традиционных подходов без учета флуктуационных составляющих в динамике исследуемых систем из-за малости уровня проявляющегося «динамического шума», хотя последний с абсолютной неизбежностью всегда присутствует и при необходимости может быть зафиксирован. В то же время, при исследовании динамики сложных систем, когда флуктуационная составляющая измеряемых динамических переменных проявляется в большей, а иногда и в определяющей степени, представления об эволюции по Вайцеккеру могут оказаться востребованными. Так, при моделировании динамического процесса системой обыкновенных дифференциальных уравнений введение времени как непрерывного фактора предполагает возможность описания эволюционной динамики на любых, в том числе, бесконечно малых по длительности временных интервалах. Далеко не всегда такое представление оказывается адекватным, Достаточно представить обсуждаемую выше задачу кристаллизации из пересыщенного раствора. Не исключено, что образ эволюции «по Вайцеккеру» для задач такого типа, в которых необходимо учитывать возможность фазовых перестроек в структуре раствора на масштабах нанометров, окажется в большей степени адекватным.

Представление о непрерывно изменяющейся временной переменной используется в широком классе задач, представляемых уравнениями в частных производных, в которых вводится образ субстанциональной производной по времени и в качестве «материальной точки» выступает достаточно неопределенный образ – «микро-макро» объем. Несмотря на многочисленные примеры успешного решения практических проблем на основе решения уравнений в частных производных, принципиально неразрешимые трудности встречаются и в такого типа задачах. Достаточно указать на восходящую к Лерею [160] нерешенную проблему описания полностью развитой турбулентности: «Мы попытались установить существование решения уравнений Навье-Стокса, соответствующего определенным начальным условиям. Нам это удалось только после того, как мы отказались от регулярности решения в некоторые моменты, выбранные соответствующим образом,

множество которых имеет меру нуль». Такое заключение может свидетельствовать о неадекватности использования уравнения Навье-Стокса в его «канонической» форме с введением «микро-макро» объемов с неизменной «внутренней структуре».

На возможность реализации последнего сценария указывает анализ флуктуационно-диссипационных соотношений, вводимых в ФШС [29]. Согласно [29], в режиме полностью развитой изотропной турбулентности формирование спектра мощности гидродинамических пульсаций в виде закона Колмогорова-Обухова  $S(k) \sim k^{-5/3}$  ( $k$  – волновое число) целиком определяется коррелированной последовательностью нерегулярностей-всплесков на всех пространственно-временных уровнях эволюции гидродинамического потока. Вклад от нерегулярностей-скачков в зависимость  $S(k)$  оказывался пренебрежимо малым. Возможно, в условиях полностью развитой турбулентности действительно проявляется «внутренняя динамика» «микро-макро» объемов, и происходящие при этом «структурные перестройки» более адекватно представлять как «шаги-события» по Вайцзеккеру.

В любом случае модельному описанию флуктуационной динамики в сложных системах должен предшествовать ФШС анализ, позволяющий устанавливать информационную значимость флуктуаций. Выявление в исследуемой системе существующих нелинейных взаимосвязей, ответственных за флуктуационную динамику («детерминированный хаос») [13, 161, 162], равно как и установление специфических для данной системы «резонансов» [72], может стать основой для последующего моделирования динамики сложных систем или структур. При этом возникает комплекс открытых проблем, связанных с представлением динамики в соответствии со схемой Вайцзеккера и рис. 1, что выходит за рамки привычного моделирования динамических процессов с использованием переменной времени как непрерывно изменяющейся величины. Здесь вполне оправданными могут выглядеть попытки введения изначально необратимого относительно инверсии времени дискретного характера эволюции с использованием образов фракталов («диффузия по фракталам» [163-165]), а также применение дробного исчисления при введении кинетических уравнений с дробными производными и дробным интегралом Римана-Лиувилля [166, 167]. В связи с указанными теоретическими поисками уравнений эволюции вне рамок стандартных дифференциальных уравнений заметим, что Эйнштейн не исключал такой возможности в будущем, считая «вполне вероятным, что физика может и не основываться на концепции поля» [12].

Все же более принципиальным Эйнштейн считал сохранение принципа причинности в физике будущего. И так оказывается, что именно использование базовой

идеи Вайцзеккера о «шагах-событиях» в динамике эволюции позволило подойти к решению этой важной с точки зрения Эйнштейна проблемы на основе переосмысления образа другого вводимого в теоретической физике идеального объекта – прибора для квантово-механических измерений. Оказалось, что такой прибор нельзя рассматривать как классический объект. Можно надеяться, что совместный анализ одновременно происходящих явлений в исследуемой квантово-механической подсистеме и динамики «шумов» в приборе на основе ФШС подхода позволит установить реализующиеся в этих подсистемах взаимосвязи и выявить основные факторы, определяющие степень фиксируемого в квантовой подсистеме индетерминизма. Тем самым, может быть оценена мера нарушения классического принципа причинности в квантовой подсистеме. Здесь важно подчеркнуть, что речь идет об установлении количественных взаимосвязей квантовой подсистемы с прибором во все время процесса измерения. Это тем более важно, что при таком анализе остается еще неучтенный фактор – необратимый обмен энергией и импульсом между исследуемой квантовой подсистемой со всей Вселенной, реализующийся посредством эргонасыщенного физического вакуума («космологический индетерминизм»).

Поскольку величины соответствующих феноменологических параметров взаимосвязи, характеризующих степень необратимости с изменением энергии и импульса при фактуализации квантовой частицы, могут оцениваться при сопоставлении рассчитываемых характеристик с экспериментальными данными, то такой «космологический» вклад в соотношения неопределенности Гейзенберга может быть представлен количественно наряду с вкладом от квантовой подсистемы «прибора». При такой логике вся таинственность из соотношения Гейзенберга исчезает и, действительно, «Бог не играет в кости!».

Автор с благодарностью и теплотой вспоминает своих рано ушедших друзей-коллег А.А. Овчинникова и В.А. Онищука, внесших выдающийся вклад в понимание динамики реальных твердотельных систем, что позволило переосмыслить пределы использования в естественных науках базовых образов «термостата» и «прибора» для квантово-механических измерений.

Автор признателен В.Н. Баграташвили и А.Б. Соловьевой за обсуждения и общую поддержку этой работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Л. Гинзбург. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными (тридцать лет спустя, причем уже на пороге XXI века // Успехи физических наук. 1999. Т. 169. С. 419-442.
2. В.Л. Гинзбург. О некоторых успехах физики и астрономии за последние три года // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. С. 214-219.
3. Менский М.Б. Квантовое измерение: декогеренция и сознание // Успехи физических наук. 2001. Т. 171, № 4.
4. Менский М.Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики // Успехи физических наук. 2005. Т. 175. №4. С. 413-435.
5. Липкин А.И. Существует ли явление «редукции волновой функции» при измерении в квантовой механике? // Успехи физических наук. Т. 171. №4. 2001. С. 437-441
6. Клышко Д.Н., Липкин А.И. «О «коллапсе волновой функции», «квантовой теории измерений» и «непонимаемости» квантовой механики» // Электронный журнал «Исследовано в России». 2000. Т. 53. С. 736-785.)
7. Менский М.Б. Квантовая механика, сознание и мост между двумя культурами // Вопросы философии. 2004, № 6. С. 64-74.
8. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с Природой. М.: Эдиториал УРСС, 2000, 310 с.
9. Беркли Дж. Трактат о началах человеческого знания. С.-Птб.: Изд-во О.Н. Поповой, 1905. 184 с.
10. Кузнецов Б.Г. Эйнштейн. Жизнь, смерть, бессмертие. М.: «Наука», 1979, 680 с.
11. Перминов В.Я. Априорность математики // Вопросы философии. 2005, № 3. С. 103-117
12. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1989, 568 с.
13. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир. 1988, 240 с.
14. Bak P. How Nature works. The Science of Self-Organized Criticality. Oxford: Oxford University Press. 1997. 212 p.
15. Stephen Wolfram. A New Kind of Science. Wolfram Media, 2002, 1196 p
16. Рейхенбах Г. Направление Времени. М.: УРСС, 2003, 362 с.
17. Гуров К.П. Основания кинетической теории. М.: «Наука», 1966.
18. Penrose O. An asymmetric world // Nature. 2005. V. 438. P. 919
19. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М. : Наука., 1979, 528 с.

20. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика открытых систем. Том 2. Б.: «Янус-К», 1999, 438 с.
21. Рудой Ю.Г., Суханов А.Д. Термодинамические флуктуации в подходах Гиббса и Эйнштейна // Успехи физических наук. 2000, т. 170, № 12, с. 1265-1296.
22. Cori R., Lascar D. Mathematical Logic. A course with Exercises. Part 2. Recursion Theory, Godel's Theorems, Set Theory, Model Theory. Oxford: Oxford University Press, 2001, 342 p.
23. Паршин А.Н. Размышления над теоремой Геделя // Вопросы философии. 2000, № 6, с. 92-109.
24. Weizsäcker C.F. von. Time – Empirical Mathematics – Quantum Theory. In: Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective. Harald Atmanspacher, Eva Ruhnau, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P.91-104.
25. Тимашев С.Ф. Фликкер-шум как индикатор «стрелы времени». Методология анализа временных рядов на основе теории детерминированного хаоса // Российский химический журнал. 1997. Т.41. №3. С.17-29.
26. Timashev S.F. On the microscopic origin of the Second Law. In: Quantum Limits to the Second Law. First International Conference on Quantum Limits to the Second Law. San Diego, California 2002. Daniel P. Sheehan, Ed; American Institute of Physics, Melville, New York. Vol. 643. P. 367-372. 2002.
27. Voss R.F., Clarke J.  $1/f$  noise from systems in thermal equilibrium // Physical Review Letters. 1976. V. 36. N. 31. P. 42-45.
28. Жигальский Г.П. Неравновесный  $1/f^\nu$  шум в проводящих пленках и контактах // Успехи физических наук. 2003. Т.173. С.465-490.
29. Тимашев С.Ф. Обобщение флуктуационно-диссипационных соотношений // Журнал физической химии. 2005. Т. 79. № 11. С. 1938-1947.
30. Овчинников А.А., Онишук В.А. Кинетика химических реакций в стеклах // Химическая физика, 1984. Т. 3, № 4. С. 511-526.
31. Kargin V.A., Kabanov V.A., Rappisov J.M. Effect of phase transition on polymerization of monomers below their melting point // Polymer Sci. 1964. V.C4. P. 767-787.
32. Тимашев С.Ф. О роли атермических флуктуаций в кинетике низкотемпературных твердофазных процессов // Доклады АН СССР. 1985. Т. 281. № 1. С. 112-117.
33. Тимашев С.Ф. Интермиттанс в кинетике химических реакций в твердом теле // Журнал физической химии. 1992. Т. 66. С. 846-850.



34. Тимашев С.Ф., Трахтенберг Л.И. Классический надбарьерный механизм низкотемпературного предела скорости химических реакций // Журнал физической химии. 1993. Т.67. С.448-451.
35. Trakhtenberg L.I. Do heavy atomic particles tunnel? // Chem. Phys. Reports. 1995. V. 14(8). P. 1177-1190.
36. Mitsui T., Rose M.K., Fomin E., Ogletree D.F, Salmeron M. Dissociative hydrogen adsorption on palladium requires aggregates of three or more vacancies // Nature. 2003. V. 422. P. 705.
37. Horch S., Lorensen H.T., Helveg S., Lægsgaard E., Stensgaard I., Jacobsen K. W., Nørskov J. K., Besenbacher F. Enhancement of surface self-diffusion of platinum atoms by adsorbed hydrogen // Nature. 1999. V. 398. P. 134-136.
38. Соловьева А.Б., Тимашев С.Ф. Каталитические системы на основе иммобилизованных порфиринов и металлопорфиринов // Успехи химии. 2003. Т. 72. № 11. С. 1081-1102.
39. Srianand R., Petitjean P., Ledoux C. The cosmic microwave back ground radiation temperature at a redshift of 2.34. // Nature. 2000. V. 408. P. 931-935.
40. Гоголь Н.В. Старосветские помещики. Собрание художественных произведений в пяти томах. Том II. М.: Изд-во АН СССР, 1951, 438 с.
41. Аристотель. Метафизика. Пер. А.В. Кубицкого. Ростов-на-Дону: «Феникс», 1999. 601 с.
42. Wavelets in Physics. Ed. Van den Berg J.C. Cambridge: Cambridge University Press. 1998.
43. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2006, 272 с.
44. Новиков И.Я., Протасов В.Ю., Скопина М.А. Теория всплесков. М.: Физматлит, 2005, 612 с.
45. Тимашев С.Ф. Информационная значимость хаотических сигналов: фликкер-шумовая спектроскопия и ее приложения // Электрохимия. 2006. Т.42. №5.
46. Timashev S.F., Polyakov Yu.S. Flicker Noise Spectroscopy: Extraction of information from chaotic series generated by complex nonlinear systems. Advances in Colloid and Interface Science, in press.
47. Тимашев С.Ф. О базовых принципах «Нового диалога с Природой». В сб. Проблемы геофизики XXI века. Отв. ред. чл.-корр. РАН А.В. Николаев. М.: «Наука». С. 104-141. 2003.

48. Тимашев С.Ф., Встовский Г.В. Фликкер-шумовая спектроскопия в анализе хаотических временных рядов динамических переменных и проблема отношения «сигнал-шум» // Электрохимия. 2003. Т.39. №2. С.149-162.
49. Descherevsky A.V., Lukk A.A., Sidorin A.Ya., Vstovsky G.V., Timashev S.F. Flicker-noise spectroscopy in earthquake prediction research // Natural Hazard and Earth System Sciences. 2003, V. 3, N 3/4, P.159-164.
50. Telesca L., Lapenna V., Timashev S., Vstovsky G., Martinelli G., Flicker-Noise spectroscopy as a new approach to investigate the time dynamics of geoelectric signals measures in seismic areas // Physics and Chemistry of the Earth. 2004. V.29. P. 389-395.
51. Timashev S.F., Vstovsky G.V. and Solovieva A.B. Informative essence of chaos. In: Unsolved problems of noise and fluctuations in physics, biology and high technology – UPoN 2005. L. Reggiani, C. Penneta, V. Akimov, E. Alfinito, M. Rosini (eds). Melville, New York: AIP Conference Proceedings. 800. 2005. P. 368-374.
52. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М.: Мир, 1989. 488 с.
53. Лазарев С.С. Онтология точности и прогностичности // Вопросы философии. 2004, № 1, с. 113-127.
54. Сачков Ю.В. Эволюция учения о причинности // Вопросы философии. 2003, № 4, с. 101-118.
55. Турчин В.Ф. Феномен науки. М.: изд-во «ЭТС», 2000, 368 с.
56. Гайденко П.П. Время и вечность // Вопросы философии. 2000, № 6, с. 110-136.
57. Гайденко П.П. От онтологизма к психологизму: понятие времени и длительности в XVII-XVIII вв. // Вопросы философии. 2001, №7, 77-99.
58. Ruhnau E. The Deconstruction of Time and the Emergence of Temporality. In: Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective. Harald Atmanspacher, Eva Ruhnau, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P.53-69.
59. Бергсон А. Творческая эволюция. М.: Канон-Пресс, Кучково поле, 1998, 384 с.
60. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1967.
61. Фракталы в прикладной физике. Под ред. А.Е. Дубинова. Арзамас-16: ВНИИЭФ. 1995. 219 с.
62. Пархутик В.П., Тимашев С.Ф. Информативная сущность шума: новое в электрохимии кремния // Электрохимия. 2000. Т.36. №.11. С.1378-1394.

63. Встовский Г.В., Дещеревский А.В., Лукк А.А., Сидорин А.Я., Тимашев С.Ф. Поиск электрических предвестников землетрясений методом фликкер-шумовой спектроскопии // Физика Земли. 2005. № 7. С. 3-14.
64. Timashev S.F., Vstovsky G.V. Kaplan A.Ya and Solovieva A.B. What Information is hidden in chaotic signals of biological systems? In: Noise and Fluctuations – ICNF-2005. T. Gonzalez, J. Mateos, D. Pardo (eds). Melville, New York: AIP Conference Proceedings. 780. 2005. P. 579-582.
65. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия в анализе хаотических потоков в распределенных динамических диссипативных системах // Журнал физической химии. 2001. Т. 75, №10. С.1900-1908.
66. Тимашев С.Ф., Встовский Г.В. Информационная сущность хаоса. В сб. Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах. Материалы международного научно-методического семинара. (3–6 декабря 2002 г., МЭИ, Москва). МНТОРЭС им. А.С.Попова, МЭИ. М.: 2003. С. 26-39.
67. Будников Е.Ю., С.В. Козлов, Колюбин А.В., Тимашев С.Ф. Анализ флуктуационных явлений в процессе электрохимического выделения водорода на платине // Журнал физ. химии. 1999. Т.73. №3. С.530-537.
68. Будников Е.Ю., Максимычев А.В., Колюбин А.В., Тимашев С.Ф. Пространственно-временные корреляции в диссипативной структуре, формирующейся в электрохимической системе с катионообменной мембраной // Электрохимия. 2001. Т.37. С. 84-90.
69. Kostuchenko I.G., Timashev S.F. The Comparative Analysis of Dynamic Characteristics of Solar-Terrestrial Processes. The Chaotic Universe: Proceedings of the Second ICRA Network Workshop. Advanced Series in Astrophysics and Cosmology, Vol. 10. Eds. V.G. Gurzadyan and R. Ruffini. Singapore: World Scientific. 2000. P.579-589.
70. Yulmetyev R.M., Demin S.A., Panishev O.Yu., P. Hänggi, Timashev S.F., Vstovsky G.V. Regularities and stochastic behavior in Parkinsonian pathological tremor signals // Physica A. 2006. Принято к печати.
71. Летникова А.Ф., Встовский Г.В., Тимашев С.Ф. Образование анизотропных фрактальных структур при растворении кристаллов LiF // Журнал физической химии, 2001, т.75, №10, 1895-1899.
72. Timashev S.F., Belyaev V.E., Timashev P.S., Solovieva A.B. On parameterization of surface structures // Colloid Journal. 2006. V. 68. N. 5.
73. Timashev S.F., Solovieva A.B., Vstovsky G.V. Informative “passport data” of surface nano- and microstructures, in: J. Sikula and Levinshtein M. eds. Advanced Experimental

- Method for Noise Research in Nanoscale Devices, Kluwer Academic Publisher. Printed in Netherlands. 2004. P. 177-186.
74. Parkhutik V., Collins B., Sailor M., Vstovsky G., Timashev S. Analysis of morphology of porous silicon layers using flicker-noise spectroscopy // *Physica Status Solidi (a)*. 2003. V.197. N 1. P.88-92.
  75. Letnikova A.F., Vstovsky G.V., Timashev S.F., Formation of anisotropic fractal structures during the dissolution of LiF crystals // *Materials Science (Medziagotyra) (Kaunas)*, 7 (2001) 98-103.
  76. Timashev S.F., Bessarabov D.G., Sanderson R.D., Marais S., Lakeev S.G. Description of non-regular membrane structures: a novel phenomenological approach // *Journal of Membrane Science*. 2000. V.170(2), P.191-203.
  77. Timashev S.F., Kotova S.L., Solovieva A.B., Timashev P.S., Luzgina V.N., Rumyantseva T.N., Evstigneeva R.P. Deterministic Quantum Chaos in the System of Vibration-Rotation Levels of Porphyrin Molecules According to IR Spectroscopy Data // *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2000. V.74. Suppl. 1. P.S1-S12.
  78. Parkhutik V., Rayon E., Ferrer C., Timashev S., Vstovsky G. Forecasting of electrical breakdown in porous silicon using flicker-noise spectroscopy // *Physica Status Solidi (a)*. 2003. V.197. N 2. P. 471-475.
  79. Hayakawa M, Timashev SF. An attempt to find precursors in the ULF geomagnetic data by means of Flicker Noise Spectroscopy // *Nonlinear Process Geophys.* 2006. Принято к печати.
  80. Lure H. Time and Information. In: *Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective*. Harald Atmanspacher, Eva Ruhнау, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P.81-89.
  81. Hiley B.J., Fernandes M. Process and Time. In: *Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective*. Harald Atmanspacher, Eva Ruhнау, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P.365-383.
  82. Тимашев С.Ф. Что же такое фликкер-шум в электроннопроводящих системах? Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах. Материалы докладов международного научно-технического семинара (16-19 ноября 1998 г., МЭИ, Москва). МНТОРЭС им. А.С.Попова, МЭИ. М.: 1999. С.239-260.
  83. Buckingham M.J. *Noises in the electronic devices and systems*. Chichester: Ellis Horwood, 1983

84. Klose J. Whitehead's Theory of Perception // Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective. Harald Atmanspacher, Eva Ruhnau, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P. 23-42.
85. Платон. Диалоги. М.: ООО «Изд. АСТ» Фолио. 2001, 384 с.
86. Мамчур Е.А. Тьян Ю. Цао. История полевых концепций XX века // Вопросы философии. 1998. №4. С.150-155.
87. Селиванов А.И. Метафизика в культурологическом измерении // Вопросы философии. 2006. № 3. С. 49-63.
88. Гессен С.И. Мистика и метафизика // Логос (Международный ежегодник по философии культуры). Книга первая. М.: Мусагет, 1910. С. 118 - 156.
89. Dalenoort G.J. Cognitive Aspects of the Representation of Time // Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concept of Time in an Interdisciplinary Perspective. Harald Atmanspacher, Eva Ruhnau, Eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P.179-188.
90. Огурцов А.П. От натурфилософии к теории науки. М.: Изд-во ИФРАН, 1995. 151 с.
91. Перминов В.Я. Об аргументах Л. Бауэра против закона исключения третьего // Бесконечность в математике: философские и исторические аспекты / Под ред. А.Г. Барбашова. М.: «Янус-К», 1997. С. 199-221.
92. Арлычев А.Н. Об иррационализме как философии изменчивости // Вопросы философии. 1998. №6. С.133-142.
93. Франк С.Л. <О Хайдеггере> // Вопросы философии. 1995. №9. С.178-179. .
94. Wilczek F. The third culture. Is quantum physics, like science and literature, in a world of its own? // Nature. 2003, v. 424, p. 997-998.
95. Кант И. Прологомены ко всякой метафизике, могущей возникнуть в смысле науки. М.: Изд. группа «Прогресс»-VIA, 1993, 238 с.
96. Гоголь Н.В. Сочинения. Т.12. С.-Петербург: Издание А.Ф. Маркса, 1900, 260 с.
97. Френч М. Трансцендентность и троичность // Вопросы философии. 2003, № 11, с.117-134.
98. Гайденко П.П. Проблема времени у Канта: время как априорная форма чувственности и вневременность вещей в себе // Вопросы философии. 2003, № 9, с. 134-150.
99. Эпштейн Э.М. Друде теория металлов. Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 1990. Т.2. С. 20-21
100. Вихман Э. Квантовая физика. М.: Наука, 1986, 392 с.

101. Тягай В.А., Снитко О.В. Электроотражение света в полупроводниках. Киев: Наукова думка, 1980, 302 с.
102. Кардона М. Модуляционная спектроскопия. М.: «Мир». 1972, 416 с.
103. Крыкин М.А., Тимашев С.Ф. Об электроотражении света в системе металл-среда // Физика металлов и металловедение. 1975. Т. 40. С. 958-967.
104. Крыкин М.А., Тимашев С.Ф. Об электроотражении света на границе раздела металл/электролит // Электрохимия. 1976. Т. 12. С. 323-326.
105. Гамбош П. Статистическая теория атома и ее приложения. М.: Изд-во иностр. лит., 1951.
106. Тимашев С.Ф. О распределении электронной плотности на границе раздела металл/вакуум // Электрохимия. 1979. Т. 15. С. 730-732.
107. Gräf H. A modified Thomas-Fermi approximation valid beyond the classical allowed region // Nuclear physics, 1980. V. A349. P.349-358.
108. Englert B.-G., Schwinger J. Statistical atom: some quantum improvements // Physical Rev. A. 1984. V.29. N.5. P. 2339-2352.
109. Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Квантовая механика. М.: Физматлит, 1963, 702 с.
110. Ying S.Y., Smith J.R., Kohn W. Density-functional theory of chemisorption on metal surfaces // Physical Rev. 1975. V. B11. P. 1483.
111. Грин Б. Элегантная Вселенная. М.: УРСС. 2004. 286 с.
112. Фейнман Р. Характер физических законов. М.: «Мир», 1968, 232 с.
113. Brumfield G. Outrageous fortune // Nature. 2006. V. 439. P. 10-12.
114. Weinberg S. The cosmological constant problem // Rev. Mod. Phys. 1989. V. 6. P. 1-22.
115. Coles P. The state of the Universe // Nature. 2005. V. 433. P.248-256.
116. Ramirez-Ruiz E. Ancient blast comes to light // Nature. 2006. V. 440. P. 154-155.
117. Fukugita M. The dark side // Nature. 2003. V. 422. P. 489-491.
118. Mohideen U., Roy A. Precision measurement of the Casimir force from 0.1 to 0.9  $\mu\text{m}$  // Phys. Rev. Letters, 1998. V.81. N21. P.4549-4552.
119. Plunien G., Muller B., Greiner W. The Casimir effect // Physics Reports. 1986. V.134. N2-3. P.87-193
120. Hushwater V. Repulsive Casimir force as a result of vacuum radiation pressure // Am. J. Phys. 1997. V.65. N5. P.381-384.
121. Cole D.C., Puthoff H.E. Extracting energy and heat from the vacuum // Phys. Rev. E. 1993. V.48. N2. P.1562-1565.

122. Forward R.L. Extracting electrical energy from the vacuum by cohesion of charged foliated conductors // *Phys. Rev. B*. 1984. V.30. N4. P.1700-1702.
123. Golestanian R., Kardar M. Mechanical Response of vacuum // *Phys. Rev. Letters*. 1997. V.78. N18. P.3421-3425.
124. Casimir H.B.G. On the attraction between two perfectly conducting plates // *Proc. K. Ned. Akad. Wet.* 1948. V. 51. P. 793-795
125. Оганян Х. Что такое спин? Сб.: Физика за рубежом. М.: «Мир». 1988. С. 68-79.
126. Smolin L. Atoms of Space and Time // *Scientific American*. 2004. January, p. 56-65.
127. С.Ф. Тимашев. Принципы эволюции нелинейных систем (в поисках языка общения с Природой) // *Российский химический журнал*. 1998. Т.42. N3. С.18-35.
128. Герштейн С.С. Симметрия в физике. Физическая энциклопедия. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1994, Т. 4. С. 505-509.
129. Кобзарев И.Ю. Релятивистская инвариантность. Физическая энциклопедия. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1994, Т. 4. С. 332-333.
130. Mach's Principle: From Newton's Bucket to Quantum Gravity. J. Barbour and H. Pfister eds. Birkhauser, Boston. 1995. 536p.
131. Bondi H., Samuel J. The Lense-Thirring effect and Mach's principle // *Physics Letters A*, 1997, V.228, P.121-126.
132. Berman M.S. Mach's principle and the deseleration parameter // *Intern. J. Theoretical Physics*, 1997, V.36, P.1435-1439.
133. Prian T. Gamma-ray bursts and the fireball model // *Physics Reports*. 1999. V. 314. P. 575-667.
134. Gonzalez M.M., Dingus B.L., Kaneko Y., Preece R.D., Dermer S.D., Briggs M.S. A  $\gamma$ -ray burst with a high energy spectral component inconsistent with the synchrotron shock model. *Nature*. 2003. V.424. P.749-751
135. Gusumano G., Mangano V., Chincarini G., Panaitescu A., Burrows D.N., La Parola V. Huge explosion in the early Universe // *Nature*. 2006. V.440. P.164.
136. Reeves J.N, Watson D., Osborne J.P. et al. The signature of the supernova ejecta in the ray afterglow of the  $\gamma$ -ray burst 011211 // *Nature*. 2002. V. 416. P.512-515
137. Piro L. Short-burst sources // *Nature*. 2005. V. 437. P. 822-823.
138. Fox D.B., Frail D.A., Price P.A., Kulkarni S.R. et al. The afterglow of GRB 050709 and the nature of the short-hard  $\gamma$ -ray bursts // *Nature*. 2005. V. 437. P. 845-850.
139. Barthelmu S.D., Chincarini G., Burrows D.N., Gehrels N. et al. *Nature*. An origin for short  $\gamma$ -ray bursts unassociated with current star formation // *Nature*. 2005. V. 438. P. 994-996.

140. Sazonov S.Yu., Lutovinov A.A., Sunyaev R.A. An apparently normal  $\gamma$ -ray burst with an unusually low luminosity // *Nature*. 2004. V. 430. P. 646-648.
141. Odewahn S.C., Djorgovski S.G., Kulkarni S.R. et al. The host galaxy of the gamma-ray burst 971214 // *Astrophys. Journal*. 1998. V. 509. P. L5-L8
142. Waxman E. New direction for  $\gamma$ -rays // *Nature*. 2003. V. 423. P. 388-389.
143. Berger E., Kulkarni S.R., Pooley G. et al. A common origin for cosmic explosions inferred from calorimetry of GRB030329 // *Nature*. 2003. V. 426. P. 154-157
144. Gonzalez M.M., Dingus B.L., Kaneko Y., Preece R.D., Dermer S.D., Briggs M.S. A  $\gamma$ -ray burst with a high energy spectral component inconsistent with the synchrotron shock model // *Nature*. 2003. V.424. P.749-751
145. Falcke H., Apel W.D., Badea A.F., Bahren L. et al // Detection and imaging of atmospheric radio flashes from cosmic ray air showers // *Nature*. 2005. V. 435. P. 313-316.
146. Jaffe R.L., Busza W., Wilczek F. Review of speculative “disaster scenarios” at RHIC // *Rev. Modern Physics*. 2000. V. 72. P. 1125-1141.
147. Клапдор-Клайнротхаус Г.В., Цюбер К. *Астрофизика элементарных частиц*. Москва: Ред. ж-ла УФН. 2000. 496 с.
148. Reichhardt T. Cosmologists look forward to clear picture // *Nature*. 2003. V. 421. P. 777
149. Springer V., White S.D.M., Jenkins A. et al. Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars // *Nature*. 2005. V. 435. P. 629-636
150. Kaplinghat M, Turner M.S. Precision cosmology and the density of baryons in the Universe // *Phys. Rev. Letters*. 2001. V. 86. P. 385-388
151. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*. М.: «Наука». 1986. 736 с.
152. Carroll S.M. Is our Universe natural? // *Nature*. 2006. V. 440. P. 1132-1136. Carroll S.M. Is our Universe natural? // *Nature*. 2006. V. 440. P. 1132-1136.
153. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. *Поверхностные силы*. М.: Наука. 1985.
154. Calogero F. Cosmic origin of quantization // *Physics Letters A*, 1997, V.228, P.335-346.
155. Швебер С. *Введение в релятивистскую квантовую теорию поля*. М.: Инлитиздат. 1963. С.488.
156. Гессен Б.М. *Эфир* // *Большая советская энциклопедия*. 1931. Т.65. С. 15-18.
157. Weizsäcker C.F. von. *Probability and Quantum Mechanics*. *Brit. J. Phil. Sci.* 1973. V. 24. P. 321



158. Сачков Ю.В. Вероятность как загадка бытия и познания. Вопросы философии. 2006. № 1. С. 80-94.
159. The Probabilistic Revolution. Vol. 1. Ideas in History. Vol. 2. Ideas in Sciences. Massachusetts. The MIT Press, 1987
160. Leray J. On the motion of a viscous liquid filling space // Acta Mathematica. 1934. V. 63. Printed July 5. P. 193-248.
161. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе к турбулентности. М.: Мир. 1991. 368 с.
162. Hegger R., Kantz H., Schreiber T. // Practical implementation of nonlinear time series methods: the TISEAN package. Chaos. 1999. V.9. P.413.
163. Фракталы в физике. Ред. Л. Пьетронеро, Л.М. Тозатти. М.: «Мир», 1988, 670 с.
164. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Бунин И.Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. Москва-Ижевск: РХД, 2001, 116 с.
165. Sukhanov A.D., Timashev S.F. On the fractal meaning of the anomalous diffusion. Communications of the Joint Inst. for Nuclear research. Dubna, E4-99-167, 1999, 7 p.
166. Hilfer R. Applications of Fractional Calculus in Physics. World Scientific Publishers. Singapore. 2000.
167. Nigmatullin R.R. “Fractional” kinetic equations and “universal” decoupling of a memory function in mesoscale region // Physica A. 2006. V. 363. P. 282-298.