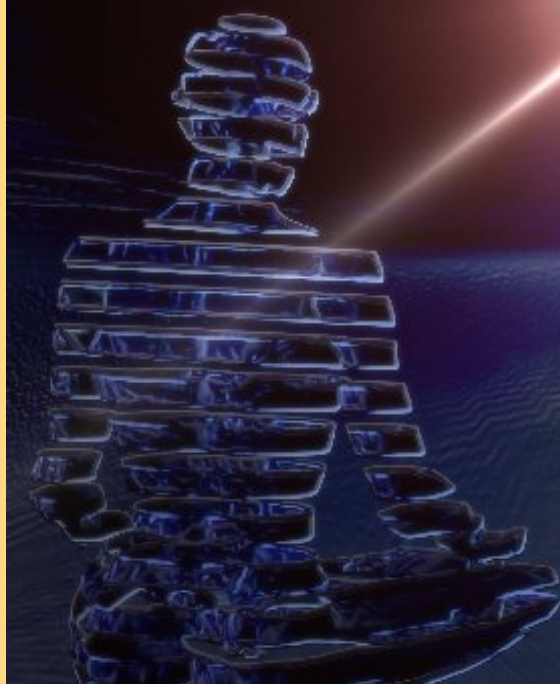


МИР КАК «ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ» ФЛУКТУАЦИЙ ВАКУУМА



*А зарожденья жизни где истоки,
Что движут миром,
Не в самом ль движеньи?
А может это просто отраженье
Таинственного т а н ц а Бытия,
Что Фауст не постиг,
Ни ты, ни я.
Ответ – он есть, иль нет?
Летит за веком век...
Но вечен мир, и вечны мы...
В чем к вечности стремленья
смысл?
Суть – в новом Мира появленьи.
Как дети наши – наше
повторенье,
Так движется сонатное аллегро
К концу – р е п р и з е – мира
зарожденью!*

Валерий Козлов, 1979

© Sharon Webb '96

В. И. Козлов



Валерий Игнатьевич Козлов,
доктор физико-
математических наук,
главный научный сотрудник
лаборатории теории
космической плазмы Института
космофизических исследований
и астрономии им. Ю.Г. Шафера
СО РАН.

ОЖИВШАЯ СТАТУЯ

Последовательность событий, которая привела к созданию стандартной модели Большого взрыва при образовании нашей Вселенной, может служить великолепным примером вторжения понятия *Времени* в область науки, из которой оно казалось навсегда исключенным. В 1917 г. А. Эйнштейн предложил статическую модель Вселенной в духе того идеала вневременности, которым он руководствовался всю свою научную жизнь.

Однако в 1922 г. российский физик и математик А.А. Фридман показал, что предложенное Эйнштейном статическое решение неустойчиво. Он же доказал существование решений, соответствующих расширению и сжатию Вселенной. Вселенная Нью-

тона и Эйнштейна была безжизненным манекеном. Фридман вдохнул в нее жизнь – Вселенная ожила, у нее появилась история. И в этом он подобен Пигмалиону, «оживившему» статую Галатеи [1].

«Красное смещение», открытое в 1929 г. Э. Хабблом, для многих физиков стало решающим свидетельством того, что Вселенная расширяется. Возможное чередование стадий расширения и сжатия наглядно иллюстрирует обратимость во времени основных уравнений теории относительности.

Проследившая динамику Вселенной вспять во времени, мы приходим к особой, так называемой «сингулярной точке», в которой плотность, температура и кривизна обращаются в бесконечность! По наблюдаемой сегодня скорости разлета галактик можно

оценить время образования Вселенной – около 15 миллиардов лет. Вывод о *рождении* Вселенной заведомо принадлежит к числу наиболее неожиданных результатов, когда-либо полученных наукой. Физика занимается изучением только классов явлений. Но Большой взрыв не принадлежит ни одному из таких классов. Он является уникальным событием, особой точкой отсчета, не имеющей параллелей и аналогов в физике!

ВСЯ ЭНТРОПИЯ УЖЕ ПРОИЗВЕДЕНА!

Модель «горячей Вселенной» была предложена в 1948 г. Г.А. Гамовым – учеником А. Фридмана. Он сделал замечательное предсказание о том, что излучение (в виде фотонов), испущенное на очень ранних стадиях развития Вселенной (так называемое реликтовое излучение), должно до сих пор существовать вокруг нас, но с более низкой температурой – всего лишь несколько градусов выше абсолютного нуля. Именно это излучение обнаружили Пензиас и Вильсон в 1965 г.

Открытие реликтового излучения с его огромным энтропийным содержанием не позволяет игнорировать термодинамический, диссипативный аспект расширения. Более того, мы вынуждены даже прийти к заключению, что *почти вся энтропия уже произведена!* По оценкам специалистов, превращение имеющейся во Вселенной *материи* в фотоны изменило бы энтропию всего на одну сотую долю процента! Как понять столь гигантское производство энтропии, несомненно, являющееся одной из главных характеристик рождения Вселенной? [2].

ЧТО БЫЛО РАНЬШЕ...?

Картина, в которой Вселенная сначала была очень горячей, а затем охлаждалась по мере своего расширения, на сегодняшний день согласуется с результатами наблюдений. *А что было раньше, до Большого взрыва?* Ответить на этот вопрос совсем не просто. Трудности связаны с *экстремальностью условий, полностью меняющих фундаментальные свойства таких всеобщих категорий существования материи, как пространство и время.* В сингулярности, или мировой точке, теряют силу физические законы, и что происходило в самом начале времени, как возник Большой взрыв, нельзя понять, оставаясь в рамках обычной модели Вселенной Фридмана.

ГИПОТЕЗА АВТОРА

В философии проблема возможности и действительности решена положительно в том смысле, что физическая теория может исходить из возможностей, но предусматривает их переход в действительность при известных условиях. В качестве такой возможности мною в конце семидесятых годов и была выдвинута гипотеза о состоянии материи с нулевой энтропией как исходном, основном ее состоянии [3, 4]. Энтропия S , как известно, определяется через число квантовых состояний системы:

$$S = \ln \Delta \Gamma,$$

где $\Delta \Gamma = \Delta p \Delta q / (2\pi\hbar)^\alpha$ – число состояний в квазиклассическом случае, $\Delta p \Delta q$ – фазовый объем, α – число степеней свободы. Если $S=0$, то $\Delta \Gamma=1$, $\Delta p \Delta q \sim h$, то есть в этом случае имеется единственное состояние системы, определяемое квантом действия h .

Введение исходного состояния материи с нулевой энтропией как кванта действия выражает лишь возможность, но еще не действительность. Представим себе сценарий, в котором подобная возможность могла бы осуществиться.

Несмотря на неоднократную проверку в широчайших диапазонах энергии, времени, координат и импульсов, нарушений знаменитого соотношения неопределенностей Гейзенберга так и не было обнаружено. «Самым поразительным его следствием стало исключение из нашей картины мира понятия «ничто», которое мы невинно называли вакуумом (вакуум в его классическом понимании не содержит ни материи, ни энергии). Но нулевая энергия значит точно определенная энергия, а это запрещено принципом неопределенности. Поэтому в современном квантово-механическом вакууме имеются конечные флуктуации энергии, в соответствии с предписанием Гейзенберга» [5, стр. 164].

Таким образом, элемент фазового объема испытывает флуктуации, то есть *изменение фазового объема, что означает нарушение соотношения $\Delta p \Delta q \sim h$, справедливо только при нулевой энтропии. Неотвратимым следствием этого становится «возникновение» энтропии!*

В нашем случае энтропия появляется из-за флуктуаций фазового объема в силу свойств, присущих материи на квантовом уровне. Следовательно, наблюдаемый Мир можно представить как одну из множества возможных флуктуаций «протоквантона» – постулируемого исходного состояния материи. Вследствие того, что в состоянии флуктуации $S \neq 0$, *характер процессов становится необратимым, что в свою очередь определяет «стрелу времени»!*

Если полагать, что Н-теорема Больцмана о неубывании энтропии $dH/dt \leq 0$ является инвариантом, то изменение знака энтропии на нисходящей ветви кривой энтропии с необходимостью компенсируется изменением знака времени в неравенстве Больцмана, то есть мы имеем *нарушение T-инвариантности.* По А.Д. Сахарову [6], инвариантом может быть лишь СРТ-инверсия*.

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

Согласно М. Планку [7], неизменными элементами системы физики, основанной на принципе относительности, служат так называемые мировые постоянные (универсальные константы), прежде всего скорость света, постоянная Планка, постоянная тяготения, а также ряд других. Эти величины имеют реальные значения постольку, поскольку численно не зависят от свойств, точки зрения и скорости движения пресловутого «наблюдателя» из квантовой механики (что должно быть очень странно).

* СРТ-инверсия, когда одновременно частицы меняются на античастицы (С), обычные частицы меняются на зеркально отраженные (Р), меняется направление течения процессов (Т).

По мнению А. Зоммерфельда [8], интеграл по времени от энергии не имеет никакого иного абсолютного физического значения, кроме величины действия, пропорционального константе излучения h . При этом он обращал внимание на то, что действие есть в то же время и инвариант теории относительности.

Аналогичный вывод о роли действия как связующего звена между теорией относительности и квантовой механикой, мы находим у М. Планка [9]. Он отмечал, что действие есть абсолютный, центральный пункт квантовой теории и инвариант теории относительности.

Мнение об абсолютности понятия действия, но уже с явным распространением на мир в целом, высказывал и А. Эддингтон [10]. «Говоря о непрерывной материи, находящейся в некоторой точке пространства и времени, – указывал он, – мы должны употребить слово плотность. Плотность, умноженная на объем некоторой части пространства, дает нам массу, или, что то же самое – энергию. С пространственно-временной точки зрения, гораздо большее значение имеет плотность, умноженная на четырехмерный объем некоторой части пространства-времени. Это и есть действие» [10, стр. 149]. Таким образом, Эддингтон рассматривал *действие как абсолютную величину для описания мира в целом!* «С нашей точки зрения, – подчеркивал он, – вполне понятно, что если действие есть нечто абсолютное, то можно абсолютно задать некоторую конфигурацию тем ее свойством, что ей отвечает наименьшее действие; поэтому, естественно, мы ожидаем, что законы мира возможно выразить в таком виде или форме» [там же, стр. 149].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Претендентом на математическую модель «прото-квантона» не может служить ни один из объектов упорядоченного (означающего направленность процесса) типа. Представляется, что наиболее подходящим математическим образом для подобного необычного (для обычного наблюдателя из наблюдаемого Мира) исходного состояния материи должен быть не менее необычный математический объект – *канторово (фрактальное) множество*.

Необратимость наблюдаемого «мира-флуктуации» с ненулевой энтропией является физическим выражением теоремы о вполне упорядочении (известной аксиомы выбора в математике). В этом смысле «миры-флуктуации» – суть *счетное* множество, в отличие от исходного состояния материи с нулевой энтропией, обладающего мощностью** *континуума* (наибольшей, или бесконечной мощностью).

АКСИОМА БЕСКОНЕЧНОСТИ

Таким образом, наблюдаемый Мир есть лишь форма существования неупорядоченного мира, описываемого канторовым множеством. *Континуум-бесконечное* должен быть, следовательно, постулирован.

Этот вывод противоречит представлениям основателя аксиоматического подхода в теории множеств Давида Гильберта, считавшего, что бесконечность нигде не

реализуется, ее нет в природе и она недопустима как основа нашего мышления: «Здесь мы имеем, – подчеркивал он, – замечательную гармонию между бытием и мышлением» [11, стр. 34]. Д. Гильбертом была предложена особая математическая программа обоснования теории множеств, реализовать которую не удалось.

Нежелание Гильберта положить в основу аксиоматики теории множеств аксиому бесконечности кроется, скорее всего, в его неприятии реальной бесконечности. Предложенная автором настоящей статьи гипотеза о «протоквантоне» может, по-видимому, являться одной из множества моделей реально существующей бесконечности.

Представляется, что попытки решить шестую проблему Гильберта, касающуюся аксиоматизации физики, в том смысле, как он ее понимал, по всей видимости, несостоятельны по той же причине. Решение этой проблемы немыслимо без *постулата бесконечности*, физической моделью которой в нашем случае является квант действия при нулевой энтропии, а его математической моделью – *канторово множество*. В этом смысле, предложенную автором *гипотезу* можно рассматривать и как возможный путь решения шестой проблемы Гильберта.

«ПРЕДГЕОМЕТРИЯ» КАК ИСЧИСЛЕНИЕ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

Дж. Уиллер утверждал: «Геометрия не способна переправить физику через конечные стадии возможного возврата (гравитационного коллапса) наблюдаемого Мира к тому, что произойдет позднее, и «предгеометрия» должна занять ее место. Этот путь не обозначен вехами, единственный указатель – принцип простоты.

Среди всех принципов, которые можно выделить в мире Науки, трудно вообразить более привлекательный, чем принцип простоты. И среди всех видов простоты динамики жизни и движения ни один не является таким совершенным, как альтернатива «да-нет» или «истинный-ложный». Механизм комбинации элементов «да-нет» или «истинный-ложный» не нужно изобретать, он уже существует. И мы спрашиваем себя, чем еще может быть предгеометрия, как не исчислением высказываний!? С первого взгляда ничто не выглядит таким абсурдным, как мысль о том, что природа построена на таком эфемерном основании, как исчисление высказываний. Все же помимо побуждения к поиску в этом направлении, определяемому принципом простоты, имеется еще два мотива.

Во-первых, основы квантовой механики совершенно естественным образом формулируются на языке исчисления высказываний. Если бы квантовый принцип не содержался в некоторой предложенной модели предгеометрии и если бы, напротив, его надо было специально вводить, то отсюда можно было бы заключить, что эта модель нарушает принцип простоты, и от нее следует отказаться. Во-вторых, в погоне за реальностью, по-видимому, всегда отходят от реальности. Поэтому не стоит слишком удивляться, если описание природы приведет нас, в конце концов, к логике – «воздушному замку» в центре математики. Таким образом, казалось

** Мощность – единица измерения множеств.

бы парадокс: физика – как проявление логики или пред- геометрия – как исчисление высказываний?» [12].

УРАВНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ

Для реализации парадоксальной идеи Уиллера, канторово множество, представляющее собой математический образ кванта действия, обозначим через H , то есть как постулат, или *тезис*, – исходное состояние с нулевой энтропией. *Антитезис* или квант действия в состоянии флуктуации определим через логическую операцию дополнения (логическое отрицание) UH , где U – универсальное множество (основной постулат), т.е. Мир в целом – Вселенная. Интересно, что в древнейших индийских ведах отправное начало представляет собой полное *отрицание* Мира, являясь, в некоторой степени, аналогичным понятию «*нирвана*». *Синтез* исходного состояния материи и потенциальных «миров-флуктуаций» можно выразить логической операцией «произведения» множеств:

$$H(UH) = H(U-H).$$

После нормировки на U можно записать дискретное нелинейное логическое уравнение эволюции, где управляющим параметром (параметром порядка) является не что иное, как ... время T :

$$h_{n+1} = Th_n(1-h_n).$$

Полученное логическое уравнение эволюции совпадает по форме с известным дискретным «логистическим» уравнением Ферхюльста. Оно в самом общем виде отражает процесс нелинейно взаимодействующих систем, сводящийся к *фрактальному* процессу Мандельброта [13]. «Окна» порядка (рис. 1), существующие лишь при определенных значениях управляющего параметра и представляют собой, очевидно, искомые «Миры-флуктуации», обладающие *счетным* множеством, в отличие от канторового множества областей диаграммы вне «окон» порядка.

Фрактальный, другими словами, самоподобный (масштабно-инвариантный), или скейлинговый, характер процесса можно увидеть при *большем* разрешении (рис. 2).

Возможно, что регулярный характер «окон» порядка

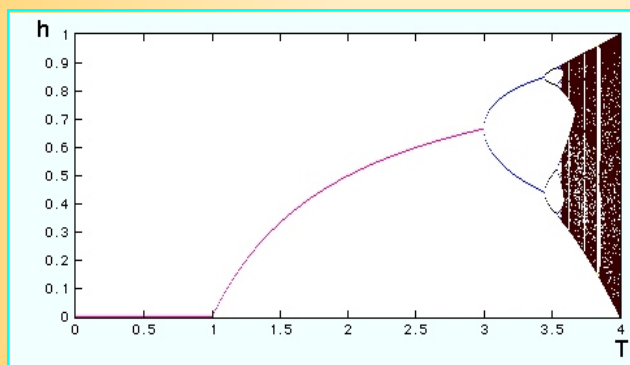


Рис. 1. Бифуркационная диаграмма логистического уравнения при различных значениях управляющего параметра T [13, стр. 92].

Светлые вертикальные полосы – «окна» порядка или области регулярного аттрактора. Заштрихованные области – зоны хаотического аттрактора.

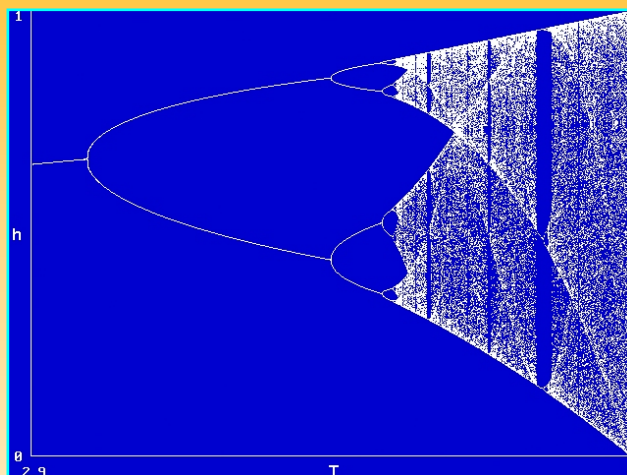


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма логистического уравнения с большим разрешением [13].

уравнения эволюции проявляется в поразительно «тонкой подстройке» наблюдаемого Мира (рис. 3): в удивительном синхронизме движений орбит планет солнечной системы и их спутников, «колец» Сатурна, геосфер (оболочек) Земли, существовании генетического кода, наконец.

ВРЕМЯ КАК ПАРАМЕТР И НЕ ТОЛЬКО

Расширение понятия энтропии Леон Бриллюэн [14] относит к проблеме первостепенной важности. «Мы до сих пор ищем, – отмечал он, – физико-химическую интерпретацию жизни. Но с таким же успехом может оказаться, что новые принципы или законы в биологии будут открыты в результате новой формулировки нынешних законов химии и физики, выражающей новую точку зрения на науку. Старая классическая идея физической энтропии нуждается сейчас в нескольких смелых, широких обобщениях, которые позволят применить ее для описания основных проблем жизни и разума» [14, стр. 37]. Представляется, что «возникновение» энтропии в «мирах-флуктуациях» в рамках предложенной гипотезы создает *предпосылки возникновения жизни космологического характера*.

Возникновение жизни происходит, возможно, при переходе системы из хаотического состояния в регулярное («окно» порядка) при достижении управляющим параметром T определенного значения в соответствии с уравнением эволюции. В этом случае, наблюдаемый Мир – «окно» *периодичности* в дискретном (логистическом) уравнении эволюции $h_{n+1} = Th_n(1-h_n)$ – есть своеобразная «*интерференция*» квантовых флуктуаций Вакуума, где время T играет роль *управляющего параметра*. Интерференция – свойство, естественное для квантового мира, так как только в квантовой теории существует *соотношение*, связывающее импульс частицы с длиной волны – двумя переменными, которые в классической теории считаются *независимыми*.

Счетное множество «окон» порядка – есть счетное множество потенциальных «миров-интерференций». «Окна» порядка существуют лишь при *определенных*

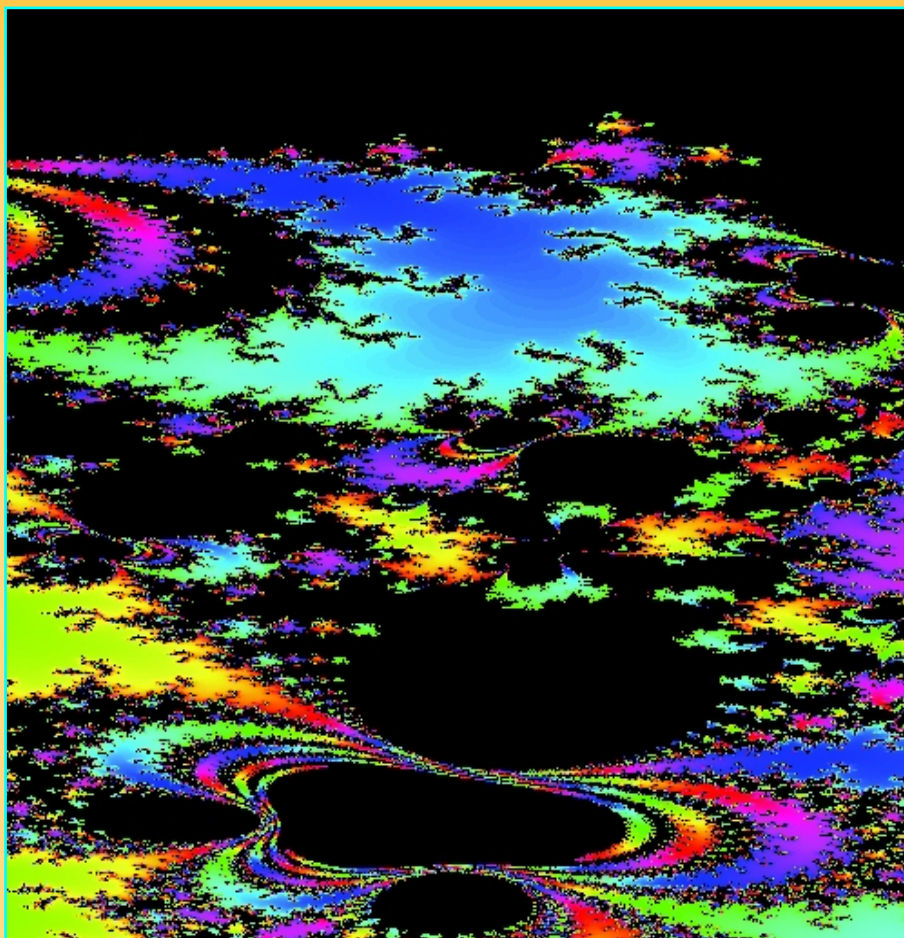


Рис. 3. Мир как «интерференция» флуктуаций квантово-механического Вакуума.

значениях управляющего параметра T , что указывает на *уникальность* наблюдаемого Мира, *дискретного* во времени.

Связанная с управляющим параметром T нэгэнтропия «- S » и есть, по сути, генетический Код. Другими словами, код – есть ценная информация, сгенерированная при смене хаотического аттрактора на регулярный («окно» порядка) – своеобразный *фазовый переход*! Код, в сущности, есть «ген» эволюции, в котором и заложена последующая эволюция форм движения материи. «Плата» или «цена» за подобный фазовый переход – Энтропия. И как итог эволюции – асимметричная форма движения материи, *осознающая самое себя* (по понедельникам хуже).

Таким образом, случайность возникновения жизни перенесена на космологический уровень. Представляется естественным следующее определение жизни. *Жизнь – это асимметричная форма движения материи, случайная лишь на космологическом уровне.* Подобный космологический принцип сущности жизни как бы наполняет физическим содержанием учение эпохи Возрождения (Николай Кузанский) о микрокосме (человеке), в котором отражается бесконечность.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

*Наблюдаемый Мир – «окно» порядка уравнения эволюции $h_{n+1} = Th_n(1-h_n)$ – есть своеобразная «интерференция» квантовых флуктуаций Вакуума, где время T – управляющий параметр. «Окна» порядка существуют лишь при определенных значениях управляющего параметра (времени). Это указывает на *уникальность* наблюдаемого Мира, *дискретного* во времени.*

Нэгэнтропия «- S », связанная с управляющим параметром T , по сути, есть код (ценная информация) или «ген» эволюции, в котором и заложена последующая эволюция форм движения материи. «Цена» за код – Энтропия. *Жизнь – есть асимметричная форма движения материи, случайная лишь на космологическом уровне.*

ЭПИЛОГ

С момента представления автором основных положений своей гипотезы в Институт философии АН СССР в 1979 г. прошло четверть века. Время вполне достаточное, чтобы оценить «содеянное» с сегодняшних позиций. Удивительно, но представленный сценарий «сотворения» Мира ока-

зался в русле того, что было предложено позднее и ... даже ранее (*здесь имеется ввиду идея А.Д. Сахарова конца шестидесятых годов об инвариантности H -теоремы Больцмана на восходящей и нисходящей ветвях зависимости энтропии от времени и СРТ-симметрии Вселенной*).

«В конце 70-х годов во фридмановской космологии назрела кризисная ситуация... Все началось с 1978 г., когда специалисты по теории элементарных частиц стали задавать вопросы, которые раньше казались почти метафизическими: что было до начала расширения Вселенной? Почему она так однородна и изотропна? Почему разные ее части, далеко удаленные друг от друга, так похожи, хотя формировались независимо? Именно поэтому столь большой интерес вызвала предложенная в начале 80-х годов теория инфляционной, раздувающейся Вселенной. Общая черта различных вариантов инфляционной теории – существование стадии очень быстрого (экспоненциального) расширения Вселенной в вакуумноподобном состоянии с огромной плотностью энергии» [15, стр. 9].

«Но если речь идет о раннем времени 10^{-44} с, то тут мы пока ничего определенного не знаем. Возможно, в

этот момент был абсолютный вакуум... обладающий энергией и отрицательным давлением» [6, стр.10]. «То течение времени, которое мы наблюдаем в повседневной жизни, целиком связано со статистической необратимостью, т.е. с ростом энтропии. Пусть при $t=0$ имеет место состояние «ложного вакуума» с минимальной, нулевой энтропией. Энтропия, по определению, всегда неотрицательна, т.е. при $t>0$ и $t<0$ она возрастает при удалении от точки $t=0$ » [16, стр. 17].

В свете вышеизложенного, стоит упомянуть и интересную гипотезу известного физика Ильи Пригожина об «энтропийном взрыве» Вселенной: «В этом случае, энергия Вселенной может быть равной нулю, а «Большой Взрыв» был бы тогда связан с флуктуациями в вакууме, сохраняющими энергию... ибо цена неравновесной структуры (Вселенной) не энергия, а энтропия» [17, стр. 153]. С лекцией об этой идее нобелевский лауреат И. Пригожин впервые выступил в МГУ в 1988 г.

Статья «Мир как квантовая флуктуация» [4] была отправлена И. Пригожину в Брюссель, на которую вскоре был получен его положительный отзыв.

Идея о сущности времени как управляющем параметре (в логистическом уравнении) возникла у меня позже, во время чтения спецкурса студентам физического факультета ЯГУ в 1995-1996 гг. «Сотворение» Мира происходит при смене хаотического аттрактора на регулярный – «окно» порядка. В данном случае, обращается внимание на связь параметра порядка – времени T – с неэнтропией «-S» или ценной информацией, сгенерированной в момент выхода на «окно» порядка. В этой связи представляет интерес вывод В.Н. Жигулева [13]: «Именно время T и определяет оценку количества информации о системе, заключенной в начальных данных о ней. Следовательно, логично принять, что количественной мерой информации, определением ее величины, является безразмерное «время релаксации» системы» [13, стр. 92].

Но, только в рамках уравнения эволюции, куда время органично входит как управляющий параметр T , и его связи с неэнтропией «-S» (информацией) в «окнах» порядка (своеобразных «фазовых переходах») можно последовательно говорить о времени, как о количественной мере информации. И, что немаловажно, в рамках предложенного сценария эволюции отпадает необходимость в так называемом «антропном космологическом принципе». В нашем случае, определяющую роль играет управляющий параметр T в уравнении эволюции. Достижение управляющим параметром определенного значения, при котором происходит выход на «окно» порядка является необходимым и достаточным условием возникновения наблюдаемого Мира. Кроме того, в рамках уравнения эволюции представляется совершенно естественным следующий вывод: время T – есть не континуум всех значений параметра порядка T , а дискретная последовательность точек бифуркаций, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Подобное «событийное» определение времени как нельзя лучше ассоциируется с подсознательным представлением о времени как совокупности «значимых» событий или «выборов», часто случайных и, к сожалению, в редких случаях осознанных, если речь идет о

человеке. Информационная сущность времени наиболее ярко проявилась в ставшем крылатым выражении – «время покажет».

В заключение следует привести сообщение New Scientist из разряда научных сенсаций, имеющее, как мне представляется непосредственное отношение к предложенной гипотезе. Рядом зарубежных физиков выдвинута «...новая теория позволяющая объяснить феномен ускоренного расширения Вселенной без привлечения гипотезы о наличии таинственной «темной энергии». Причиной ускорения могут являться гигантские волны пространства-времени, масштаб которых превышает размер видимой части Вселенной» [18].

Литература

1. Марков М.А., Линде А.Д. Горячие точки космологии // Природа. – 1989. – №7. – С. 3-18.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Время, Хаос, Квант. Крешению парадокса времени. – М., 2000. – 239 с.
3. Козлов В.И. К диалектике в космологии // Препринт реферата канд. минимума по философии. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, 1981. – 24 с.
4. Козлов В.И. Мир как квантовая флуктуация // Методологические проблемы развития науки в регионе. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 209-225.
5. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Москва-Ижевск: Изд-во РХД, 2001. – 527 с.
6. Сахаров А.Д. Симметрия Вселенной // Природа. – 1990. – №8. – С. 56-59.
7. Планк М. Единство физической картины мира. – М.: Наука, 1966.
8. Зоммерфельд А. Квант действия Планка и его всеобщее значение // Вариационные принципы в механике. – М.: Изд-во ИЛ, 1959. – 779 с..
9. Планк М. Научная автобиография. – М.: Наука, 1980 г.
10. Эддингтон А. Пространство, время и тяготение. – Одесса, 1923 г.
11. Гильберт Д. Основания геометрии. – М.-Л., 1948.
12. Уиллер Дж. За границей времени // Черные дыры, гравитационные волны и космология. – М.: Мир, 1977.
13. Жигулев В.Н. Динамика неустойчивостей. Физические основы нелинейной динамики. – М.: Изд-во МФТИ, 1996. – 344 с.
14. Бриллюэн Л. Термодинамика – кибернетика – жизнь // Кибернетика. Современное состояние. – М.: Наука, 1980.
15. Линде А.Д. Горячие точки космологии // Природа. – 1989. – №7. – С. 3-18.
16. Сахаров А.Д. Горячие точки космологии // Природа. – 1989. – №7. – С. 3-18.
17. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. – Москва-Ижевск: Изд-во РХД, 2001. – 207 с.
18. <http://www.cnews.ru/newtop/index.shtml?2005/03/22/176132>