

А. Орлов

# Категория смысла как недостающая компонента в описании физической реальности

## Содержание.

1. Представление об асимметрии отношений микро- и макромира как препятствие в практическом использовании достижений фундаментальной физики. ....	2
2. Подход И. Пригожина к унификации описания микро- и макромира. ....	6
3. Проблема негэнтропии. ....	10
4. Энтропия и негэнтропия как две взаимосвязанные компоненты необратимого процесса формообразования. ....	11
5. Взаимосвязь граничных условий и состояний в неравновесной динамике. ....	16
6. Смысл и физическая реальность. ....	18
7. Диссипативные составляющие полей и калибровочные теории. ....	43
8. Диссипативные поля и неравновесные фазовые переходы. ....	55
9. Заключительные замечания. Возможные перспективы применения данного подхода. ....	63
10. Основные направления исследований. ....	64
11. Литература. ....	67

**1. Представление об асимметрии отношений микро- и макромира как препятствие в практическом использовании достижений фундаментальной физики.**

За последние десятилетия фундаментальные науки, и в первую очередь физика, осуществили колоссальное продвижение в познании реальности. Физики уже стоят на пороге создания единой теории поля, достигнуты большие успехи в изучении внутренней структуры элементарных частиц, исследуются глубинные свойства вакуума и т.д. Но если сравнить развитие физики в первой и второй половинах 20-го века, то можно увидеть одно весьма существенное различие. И это различие связано со степенью использования результатов фундаментальных исследований в технологической деятельности человечества.

Научные результаты прорыва в познании реальности, совершенный физиками в первой половине 20-го века (квантовая и ядерная физика, теория относительности) достаточно быстро нашли техническое применение, приведя фактически к революции в области технологии (наиболее яркое и быстрое их приложение - создание атомной бомбы и, в дальнейшем, атомной энергетики).

Но, когда мы переходим ко второй половине двадцатого века, ситуация меняется. Дальнейшее углубление понимания микромира, выход на его все более глубинные структурные уровни не находит практически никаких технических применений. Мы все лучше понимаем, как устроены элементарные частицы, что такое вакуум, но совершенно не понимаем, что со всем этим знанием делать практически. Можно заметить, что в основном все наиболее интересные технологические разработки последнего времени, использующие свойства микромира (лазерные технологии, сверхпроводимость и т.д.), основаны на развитии тех концепций, которые были сформулированы в первой половине 20-го века. Современные же концепции (калибровочные теории, суперструны, физика вакуума и т.д.) так и остаются всего лишь интересными интеллектуальными построениями, из которых не следует никаких технических приложений.

Чтобы не возникло недопонимания, следует остановиться на следующем моменте. Мы не в коей мере не хотим сказать, что современная физика не способствует развитию техники. Сейчас наблюдается ряд прорывов

теоретической мысли, которые со всей очевидностью имеют и будут иметь большие практические применения. К таковым в первую очередь следует отнести синергетику, теорию динамического хаоса и т.д. Но это все касается результатов исследований в поведении нелинейных систем разного уровня сложности, находящихся на структурных уровнях материи, освоенных еще в начале века (электронные облака, ионы, атомы, молекулы, кристаллические структуры и т.д.). Более глубокие структурные уровни, исследованием которых занимается современная фундаментальная физика, в приложениях не используются.

Естественно, возникает вопрос - в чем причина такой странной ситуации и как выйти из возникшего тупика? Как нам кажется, тупиковая с технологической точки зрения ситуация, в которой оказалась современная фундаментальная физика, носит закономерный характер и связана с необходимостью преодолеть ряд предрассудков, с давних пор довлеющих над научной мыслью Запада. Вообще, если посмотреть на историю физики, особенно начиная с конца 19-го века, то можно заметить, что прорывы в познании были связаны с отказом от неких ограничений, внешних по отношению к науке как таковой и носящих по большому счету религиозно-метафизический характер.

Так, теория относительности (как специальная, так и общая) являлась отказом от ранее довлевшей над умами концепцией абсолютного пространства-времени, независимого от материи. Отношения между пространством-временем и материей в классической физике носили ассиметричный характер, т.е. движение материи определялось свойствами пространства-времени, но свойства последнего не определялись характером движения материи. То, что является по настоящему ценным в теории относительности - так это переход к представлениям о “симметричном” взаимоотношении между материей и геометрией, их взаимном влиянии друг на друга.

В основе прорыва, связанного с возникновением квантовой физики, лежит отказ как от представлений об абсолютном детерминизме, полной предопределенности всех событий, так и от веры в то, что мир описывается двухзначной логикой, его законы носят “наглядный” характер. Фактически это - отказ от ассиметрии во взаимоотношении формы и содержания, когда формальная, логическая сторона реальности абсолютизируется, полностью подчиняет себе содержательную.

То есть мы видим, что прорывы в познании были связаны с преодолением того, что принято называть “классической физикой”. Можно заметить, что то главное, что было в классике - так это стремление выделять нечто неизменное, абсолютное, то, на что нельзя или же по крайней мере практически невозможно повлиять, отношения с чем носят принципиально ассиметричный характер. Корни этого мировосприятия имеют религиозную, метафизическую природу. Ранее в качестве такого рода “абсолюта” выступал Бог. Но Бог был вне материи, вне мира. В дальнейшем же, с отказом от религии, абсолютное стало “овеществляться”, уже в самой материальной реальности стали выискиваться некие базисы, основы, которые определяют наше существование, но сами же недоступны нашему воздействию.

Знание, основанное на такого рода идеях, носит принципиально не технологический характер. Изучение того, на что нельзя повлиять, с технологической точки зрения малоперспективно, ибо в лучшем случае даст нам лишь возможность познать наложенные на нашу деятельность ограничения со стороны некоего “базиса мира”.

Поэтому, как нам кажется, описанные выше проблемы современной науки связаны с тем, что она подошла к той критической точке своего развития, в

которой должна осознать свою собственную природу и отказаться от наложенных на нее ограничений со стороны чуждого духу науки религиозного мировосприятия. И в первую очередь необходимо признать, что в сфере материального нет полностью ассиметричных отношений, когда “А” влияет на “В”, но “В” не может повлиять на “А”. Каналы влияния есть всегда, их просто необходимо найти.

Вернемся теперь к поставленной нами вначале проблеме о трудностях практического использования нашего знания о глубинных свойствах микромира. Прежде всего следует остановиться на следующем вопросе: а какие в принципе приложения могли бы иметь современные исследования в фундаментальной физике? Но чтобы ответить на этот вопрос, предварительно следует понять, в чем же состоит суть тех проблем, которые решают физики, исследующие основу, фундамент нашего мира?

Очевидно, что главные проблемы, над которыми бьются ученые - это единая теория поля, космогония, физика вакуума, причем эти три “компоненты” находятся в неразрывной взаимосвязи друг с другом. Физики стремятся постичь ту единую основу и те законы, в соответствии с которыми возник наш мир. Тот вопрос, который стоял в начале пути современной физики, хорошо сформулировал А.Эйнштейн: “Мы хотим не только знать, *как* устроена природа (и *как* происходят природные явления), но и по возможности достичь цели, может быть, утопической и дерзкой на вид, - узнать, почему природа является именно такой, а не другой” ([1], стр. 33). Теперь, спустя несколько десятилетий, постановка вопроса несколько изменилась. Ученые пришли к пониманию того, что из так называемой основы мира может возникнуть и возникает не одна, а бесконечно много разных вселенных с разными законами природы, мировыми константами и т.д. Как пишет А.Д.Линде, “вселенная, раз возникнув (или существуя вечно), сама создает экспоненциально большие области (мини-вселенные) с разными свойствами элементарных частиц и пространства-времени внутри каждой из них”([1], стр. 60). Ученые теперь исследуют вопрос о принципах, в соответствии с которыми из основы мира (вакуума) могут формироваться различные варианты законов природы, частным случаем которых являются те, которые мы наблюдаем в нашей области вселенной. Те уравнения, которые описывают известные нам поля (электромагнитное, гравитационное и т.д.), не являются единственно возможными, при другой фазовой перестройке вакуума они могли бы быть совершенно другими.

Теперь перейдем к рассмотрению вопроса о возможном практическом использовании такого рода исследований. Напрашивается логичный ответ: практическое использование исследований основы мира, из которой могут при изменении ее состояния порождаться различные виды полей, частиц, законов и т.д. - это ни что иное, как овладение способами конструктивного воздействия на нее. Фактически вполне естественной является постановка задачи конструирования законов нашей реальности, создания силовых полей с заданными свойствами, использование энергии вакуума и т.д. Все это может показаться фантастичным, но такая постановка вопроса просто следует из тех проблем, решением которых занимается современная фундаментальная физика. И вновь мы возвращаемся к поставленному ранее вопросу: что же является препятствием на этом пути?

Как следует из проведенного нами выше методологического анализа природы преград на пути развития физики, наиболее вероятным препятствием, как и во всех других случаях, является неявное постулирование ассиметрии тех или иных взаимоотношений. А именно, в данном конкретном случае можно с

уверенностью сказать, что таковым является априорное представление об ассиметричном характере взаимоотношений микромира и макромира.

Мы все привыкли к тому, что есть микромир и макромир, причем микромир есть нечто вроде базы, фундамента, а макромир - некая надстройка на этой базе. Истинные законы реальности - это законы микромира, законы же макромира - это всего лишь разной сложности комбинации действий законов микромира. Взаимодействие между макромиром и микромиром носит ассиметричный характер: состояние микромира влияет на макромир (так, достаточно произойти изменению фазового состояния вакуума, чтобы весь видимый нами мир, его законы полностью изменились), но состояние макромира на микромир (то есть на его законы) никакого влияния не осуществляет.

На последнем моменте следует остановиться подробнее. Когда мы говорим, что состояние макромира не осуществляет никакого влияния на микромир, то это отнюдь не означает, что, находясь в макромире, мы не можем повлиять на микромир. Так, ученые вполне серьезно говорят об экспериментах по созданию зародышей новых вселенных, для чего следует, к примеру, взять небольшую массу и сжать ее до плотностей порядка планковской плотности, когда возникнет вакуумно-подобное состояние([3], стр. 159). Как отмечает Линде, “нет практически никаких экспериментальных оснований полагать, что вакуумное состояние, в котором мы сейчас находимся, должно отвечать абсолютному минимуму энергии. В принципе, можно было бы провести эксперимент по проверке стабильности нашего вакуума, сделав попытку создать зародыш новой фазы. Однако как техническая осуществимость такого эксперимента, так и его целесообразность по понятным причинам вызывают сильные сомнения: зародыш новой фазы вскоре после его образования начнет расширяться со скоростью, близкой к скорости света, и через весьма малое время экспериментатор вместе с окружающей его частью Вселенной будет переведен в более энергетически выгодное вакуумное состояние.”([1], стр. 103).

Но на самом деле это не есть то, что можно назвать воздействием макромира на микромир. Ведь все объекты макромира также состоят из элементарных частиц и в определенном смысле являются микромиром. Водораздел между макромиром и микромиром происходит не в сфере большого и малого (так, наша Вселенная весьма велика, но ее эволюцию тем не менее рассматривает квантовая космогония), а в сфере способов описания, а также тех качеств, которые являются существенными при их описании. Фундаментальной чертой макромира, той сферы существования, в которой живем мы, люди, является непрерывный процесс самоорганизации, эволюционного формообразования, в котором фундаментальную роль играет то, что принято называть информацией, негэнтропией. Энергия, сила здесь уже не играют столь самодовлеющей роли, каковую они играют в микромире. Так, в сложных неравновесных системах крайне малые по величине, но информационно резонансные воздействия могут оказать огромное влияние на ход процессов.

Поэтому, когда говорят, что изменить фазовое состояние вакуума возможно, но для этого требуется создать колоссальные плотности вещества, использовать огромные энергетические ресурсы, то это означает, что мы с микромиром “говорим на его языке”, воздействуем на него его же средствами, используем тот аспект макромира, который есть ни что иное, как проявление того же самого микромира.

О воздействии собственно макромира на микромир можно говорить в том случае, если бы процессы, специфически присущие макромиру (самоорганизация, формообразование и т.д.), оказывали бы воздействие на микромир (меняли бы

фазовое состояние вакуума, свойства полей и т.д.). Но это большинством ученых априорно считается невозможным, они заранее исходят из асимметрии взаимоотношений. Считается как бы вполне очевидным, что законы микромира, имеющиеся в наличии фазовое состояние вакуума оказывают воздействие на макропроцессы на своем “языке” (мировые константы, уравнения поля и т.д.), в то время как макропроцессы такой возможности не имеют. Это - именно априорное утверждение, не имеющее под собой никакой экспериментальной базы. Скорее наоборот, имеются многочисленные эксперименты, говорящие, что аспект формы макрообъектов, неравновесные процессы и т.д. оказывают влияние на микромир, меняя локально законы физики, осуществляя как бы дрейф законов.<sup>1</sup> То, что эти эксперименты игнорировались, связано с априорной верой большинства физиков в асимметрию взаимоотношений микромира и макромира.

Но если исходить из методологического принципа симметрии взаимоотношений, то следует полагать, что канал обратного влияния макромира на микромир должен быть, его просто необходимо найти. При этом, как мы увидим в дальнейшем, ответ на вопрос о природе такого рода канала влияния практически сформулирован, просто разные “составляющие” ответа разбросаны по нескольким независимо развиваемым научным направлениям. В данной работе мы постараемся их выявить и свести воедино, а также кратко опишем пути, двигаясь по которым мы сможем конструктивно использовать фундаментальные законы микромира, или, если выразиться более точно, те законы, которые регулируют взаимоотношение микромира и макромира.

## 2.       Подход И. Пригожина к унификации описания микро- и макромира.

В первую очередь следует остановиться на выдающихся достижениях школы И.Пригожина, который сумел разработать общий подход к описанию процессов как в микро-, так и в макромире. Данный подход основывается на том, что необратимость процессов во времени носит фундаментальный характер и, в определенном смысле, является причиной возникновения и существования нашего мира.

Как известно, физиков уже с давних пор волновала проблема времени. Как отмечает И. Пригожин, “во второй половине 19-го века возникли две концепции времени, соответствующие противоположным картинам физического мира. Одна из концепций времени восходит к динамике, основы которой были заложены в 17-м и 18-м вв., другая - к термодинамике, возникшей в 19-м веке. Подобно идеальному объекту - маятнику без трения, совершающему незатухающие колебания вокруг положения равновесия, мир, управляемый законами динамики, подтверждает свое неизменяющееся тождество. С другой стороны, термодинамическая Вселенная включает в себя становление, но становление ограниченное, негативное: Вселенная неуклонно движется к своей тепловой смерти, нивелируя все различия. Возникло столкновение теорий: обратимые во времени законы динамики против второго начала термодинамики, связанного с необратимой эволюцией к равновесию.”([4], стр. 26).

Да, второе начало термодинамики было открыто, но при этом оставалось совершенно непонятным, в чем его природа, где, собственно говоря, возникает необратимость времени. Ведь законы динамики обратимы во времени, и именно

---

<sup>1</sup> К таковому относится “эффект формы”, эксперименты Козырева и т.д.

они, как полагали физики, являются базисом для описания всех материальных процессов.

Также следует заметить, что именно в классической физике и возникло то представление об асимметрии микро- и макромира, о котором мы говорили выше. Ученые стремились свести все наблюдаемые нами процессы к движениям микрочастиц по законам динамики, и “любой вопрос, на который динамика не могла дать ответ, отвергался как псевдопроблема почти по определению. Тем самым создавалось впечатление, что динамика позволяет человеку получить доступ к первоосновам реальности. В такой картине все остальное (включая человека) представлялось лишь своего рода иллюзией, лишенной фундаментального значения. Соответственно, главную цель физики усматривали в установлении микроскопического уровня, к которому была бы применима динамика. Такой микроскопический мир можно было бы затем использовать как основу для объяснения всех наблюдаемых явлений.”([5], стр. 23).

В дальнейшем было выяснено, что законы динамики действуют лишь в ограниченной области, а именно, при скоростях, значительно меньших скорости света и в макроскопических масштабах. Как только мы переходим к микроскопическим масштабам (атомы, элементарные частицы), классическую динамику необходимо заменить на квантовую механику. Но, как отмечает Пригожин, “... эти новые формы динамики, сами по себе вполне революционные, унаследовали основную идею ньютоновской физики: представление о статической Вселенной, Вселенной *существующего без возникающего*”([5], стр. 24). Это проявляется в первую очередь в том, что как уравнения квантовой механики, так и квантовой теории поля продолжают, аналогично уравнениям классической динамики, оставаться обратимыми во времени. Кроме этого, квантовая физика унаследовала и такой принцип классики, как асимметрию между макромиром и микромиром, стремясь во всех случаях осуществить редукцию макропроцессов к простой комбинации процессов на микроуровне.

При этом в физике складывалась явно парадоксальная ситуация. Ведь в 20-м веке началось бурное развитие термодинамики, статистической физики, нелинейной динамики и т.д., в которых необратимость процессов и связанное с ней производство энтропии являлась сущностной стороной изучаемых явлений. В то же время, как и в эпоху классики, было совершенно не ясно, где же, на каком уровне возникает необратимость. В этом смысле интересно отметить, что создатель синергетики Г.Хакен назвал энтропию “проклятием статистической механики”([6], стр. 91).

Важно отметить, что в квантовой механике имелось также свое “проклятие”, каковым являлась проблема измерения. Как известно, уравнение Шредингера обратимо во времени, и в этом смысле в квантовой механике, также как и в динамике Гамильтона, ничего не происходит, все заранее предопределено. Но в то же время неустранимой составляющей описания квантовых процессов является так называемая редукция волнового пакета (“коллапс” волновой функции), причем это преобразование не принадлежит к типу унитарных, описываемых решением уравнения Шредингера. “Коллапс” волновой функции неразрывно связан с актом измерения, который “отождествлялся с преобразованием потенциальных возможностей, содержащихся в волновой функции (т.е., к примеру, возможных значений энергии) в “актуальности”, содержащиеся в смешанном состоянии и обнаруживаемые в результате процесса измерения.”([4], стр. 154). Акт измерения фактически создает квантовые состояния систем и является принципиально необратимым во времени. Какова его природа, было непонятно. Физикам в высшей степени не хотелось

отказываться от классической причинности, они пытались решить проблему путем введения дополнительных, скрытых переменных, но, как замечает И.Пригожин, “несмотря на все затраченные усилия, до сих пор не удалось достичь заметного успеха в их решении.”([5], стр. 82).

Итак, мы видим, что как в статистической физике, так и в квантовой механике основные, принципиальные трудности в описании процессов были связаны с неустранимостью необратимости, “стрелы” времени. Попытки разрешения этих трудностей в обоих разделах физики носили весьма похожий характер. По большому счету, не сумев создать конструктивных моделей описания необратимости, физики в большинстве своем временно сошлись на том, что необратимость носит субъективный характер. Так, в статистической физике энтропия связывалась с неполнотой описания системы, с нехваткой информации о состоянии исследуемых объектов у экспериментатора. В квантовой физике для объяснения акта измерения апеллировали к наблюдателю, то есть, фактически, к человеку, осуществляющему измерение свойств квантовой системы, лишь после чего, фактически, квантовая система и начинает обладать этими свойствами.

Ясно, что такого рода объяснения являются, мягко говоря, неудовлетворительными, ибо совершенно очевидно, что необратимые процессы в природе прекращаются происходили и происходят без обязательного присутствия физиков-экспериментаторов. Но такова была цена за стремление следовать идеалам классической физики, нежелание признать, что время является фундаментальным фактором в описании реальности, нежелание отказываться от редукции всех процессов к элементарным микропроцессам, описываемых обратимыми во времени уравнениями.

По этой причине крайне важным является то, что совершил И.Пригожин. А именно, он принципиально отказался от идеалов классической физики, от стремления редуцировать все к обратимым во времени уравнениям движения. Более того, он фактически создал новую форму динамики, описывающую как микро-, так и макропроцессы, то есть осуществил унификацию описания микро- и макромира. Существенной чертой этой динамики является то, что в ее формализм с самого начала заложена возможность необратимых во времени процессов, причем как на микро-, так и на макроуровне. Но ценой за такого рода революцию в физике было существенное изменение способа описания процессов.

Так, в статистической физике энтропия возникала, когда мы переходили к описанию систем, состоящих из многих частиц, в то время как движение отдельных частиц или систем из малого числа частиц описывались обратимыми во времени уравнениями. То есть энтропия в прежнем способе описания - это некий эпифеномен перехода к большим системам, точное знание состояния отдельных элементов в которых практически невозможен. В подходе Пригожина энтропия производится именно на микроуровне, то есть на уровне взаимодействия отдельных частиц, и ее производство связано с принципиальной неустойчивостью движения отдельных частиц. Вводится представление о микроскопической энтропии, то есть энтропии, производимой на уровне взаимодействия отдельных микрочастиц, причем ей теперь сопоставляется уже не функция координат и импульсов (как было ранее), а оператор. Обычная макроскопическая энтропия теперь есть не что иное, как усреднение микроскопической энтропии, то есть она носит вторичный, производный характер.

Известно, что в квантовой физике наблюдаемым физическим величинам сопоставляется оператор, собственными значениями которого они являются. Но при этом время так и оставалось параметром. В подходе Пригожина времени



также сопоставляется оператор, а то время, которое рассматривалось ранее как параметр, теперь есть ни что иное, как среднее значение оператора времени. Фактически оператор времени есть внутреннее время той или иной системы, связанное с необратимыми процессами, а собственные значения этого оператора - это различные “возраста” системы в рамках того процесса, в котором она участвует (так, здесь имеется аналогия с биологическим возрастом человека).

Ранее в классической динамике описание движения систем осуществлялось посредством траекторий, переход же к описаниям через функцию распределения был связан со статистическим описанием больших систем, причем предполагалось, что каждый из элементов этой системы движется по траектории, определяемой законами динамики. В квантовой физике аналогом траекторий были волновые функции, динамика во времени которых определялась обратимым во времени уравнением Шредингера. Теперь же положение изменилось. В том случае, если в системе производится энтропия, то и на микроуровне движение отдельных частиц в принципе не может описываться посредством траекторий, для их описания используется функция распределения. В случае квантовой физики описание в терминах волновой функции заменяется описанием посредством матрицы плотности.

Что особенно замечательно, подход Пригожина позволяет наконец разрешить проблему “коллапса” волновой функции, когда чистое состояние становится смешанным. Дело в том, что в прежнем варианте квантовой механики динамика во времени описывалась унитарным оператором, который чистые состояния всегда оставлял чистыми, а смешанные - смешанными. Теперь динамика описывается неунитарным оператором, способным переводить смешанные состояния в чистые и наоборот, то есть теперь новый вариант динамики вполне способен описывать необратимый во времени коллапс волновой функции без всякой апелляции к действиям физика-экспериментатора.

Выше мы писали, что существенной чертой макроуровня является наличие в нем непрерывно протекающих диссипативных процессов, носящих необратимый во времени характер. То, что определяет ход процессов - это производство энтропии и приток неэнтропии (информации). То же, что определяет процессы в микромире - это в первую очередь энергия, сила, ибо в рамках прежнего описания уравнения, описывающий микромир, носят обратимый во времени характер, и по этой причине информация и энтропия играют в нем малозначительную роль. Именно это и являлось, как отмечалось выше, препятствием на пути практического использования микромира.

В рамках же подхода Пригожина ситуация кардинально изменилась. Оказалось, что необратимость процессов является сущностной чертой микромира, причем она присутствует практически на всех его уровнях, вплоть до самых фундаментальных. Пригожин успешно распространяет свой подход на такие уровни, как описание взаимодействия и структуры элементарных частиц, физику вакуума, космогонию и т.д. Так, он пишет: “С нашей точки зрения рождение нашей Вселенной является наиболее наглядным примером неустойчивости, приводящей к необратимости. Какова судьба нашей Вселенной сейчас? Стандартная модель предсказывает, что в конце концов наша Вселенная обречена на смерть либо в результате непрерывного расширения (тепловая смерть), либо в результате последующего сжатия. Для Вселенной, родившейся под знаком неустойчивости из вакуума Минковского, это уже не так. Ничто в настоящее время не мешает нам предположить возможность *повторных неустойчивостей*. Эти неустойчивости могут развиваться в *различных масштабах*. Простой пример показывает, что мы имеем в виду. Современная

теория поля считает, что помимо частиц (с положительной энергией), которые мы наблюдаем, существуют полностью заполненные состояния с отрицательной энергией. При некоторых условиях, например в сильных полях, пара частиц переходит из вакуума в состояния с положительной энергией. Таким образом Вселенная (рассматриваемая как совокупность частиц с положительной энергией) *не замкнута*. Следовательно, предложенная Клаузиусом формулировка второго начала неприменима! *Даже Вселенная в целом представляет собой открытую систему.*"([4], стр. 244).

Итак, теперь Вселенная в целом, как на микро-, так и на макроуровнях, рассматривается как неравновесная система, и процесс образования всех ее структур (от элементарных частиц до галактик) аналогичен тому, как образуются диссипативные структуры в ходе процессов самоорганизации в неравновесных системах. Но, как известно, в случае неравновесных систем значимость результата воздействия определяется отнюдь не только его силой, но и, в первую очередь, его резонансностью той системе, на которую осуществляется воздействие. Отсюда следует, что для осуществления успешного воздействия на микроуровень можно идти иным путем, чем принято ныне (то есть непрерывным наращиванием энергетической мощи, созданием все более энергозатратных ускорителей и т.д.). А именно, путем поиска резонансов, задействуя которые, можно оказывать существенное влияние на микромир. Но к более подробному рассмотрению этого вопроса мы вернемся ниже. Сейчас же остановимся еще на одном весьма важном моменте.

### 3. Проблема негэнтропии<sup>2</sup>.

Мы выше писали, что традиционно существует как бы две альтернативные концепции времени: или отсутствие необратимости, или же необратимость, которая все приводит к состоянию равновесия и перспектива которой - тепловая смерть вселенной. То есть необратимость, стрелу времени обычно связывали с постепенным переходом Вселенной в полностью неупорядоченное состояние, что являлось следствием второго закона термодинамики. Но, как замечает Пригожин, второе начало отнюдь не является тем фактором, "злым роком", который неминуемо ведет к тепловой смерти Вселенной. Если посмотреть на окружающий нас мир, то ситуация выглядит иначе: мир эволюционирует в сторону усложнения, создания все новых и новых форм. Возможность прогрессирующего формообразования связана с тем, что "изменение энтропии со временем всегда можно разделить на вклады двух типов: "поток энтропии", зависящий от обмена системы с окружающей средой, и "производство энтропии", обусловленное необратимыми процессами внутри системы." То есть мы имеем:

$$dS = dS(\text{внешн}) + dS(\text{внутр})$$

где  $dS$  - общее изменение энтропии системы,  $dS(\text{внешн})$  - обмен энтропией между системой и окружающей средой, а  $dS(\text{внутр})$  - производство энтропии внутри системы в результате необратимых процессов.

Второе начало термодинамики требует, чтобы производство энтропии - то есть  $dS(\text{внутр})$ , - было положительным или обращалось в ноль при достижении системой равновесия. На поток энтропии, возникающий в результате взаимодействия с окружающей средой, второе начало не налагает никаких условий. Таким образом, как замечает Пригожин, "в стационарном состоянии

<sup>2</sup> Здесь негэнтропия понимается в весьма широком смысле как просто отрицательная энтропия. В более узком смысле мы ее определим в 6-м параграфе.

положительное производство энтропии компенсируется отрицательным потоком энтропии: активность, производящая энтропию, постоянно поддерживается за счет обмена с окружающей средой. Состояние равновесия соответствует частному случаю, когда и поток энтропии, и производство энтропии обращаются в ноль.”([4], стр. 56).

Обычно считалось, что Вселенная движется от более упорядоченного состояния вначале ее существования к полному разупорядочиванию в конце. Но, как отмечает И.Пригожин, реальная ситуация оказывается совершенно другой. Так, “в нашей Вселенной на каждую из массивных частиц приходится около 100000000 или 1000000000 фотонов. Эти фотоны образуют “реликтовое излучение” абсолютно черного тела... Удивительно, но энтропия, связанная с реликтовым излучением, составляет *основную часть* энтропии Вселенной. Так как фотоны рождаются на ранней стадии развития Вселенной, мы приходим к картине мира, сильно отличающейся от той, которая ассоциируется с интерпретацией Больцмана... Мы видим теперь, что рождение Вселенной скорее всего сопровождалось чудовищным взрывом энтропии. Не стало ли возможным тогда рождение элементарных частиц, населяющих нашу Вселенную, именно благодаря столь интенсивному производству энтропии? В самом деле, элементарные частицы, например, барионы, обладают необычайно сложной структурой (в этом смысле было бы весьма непросто решить, чья структура сложнее - протона или молекулы ДНК). Если материю позволительно рассматривать как разновидность порядка, “оплачиваемого” ценой возрастания энтропии, то мы пришли к картине, прямо противоположной традиционной перспективе. Диссипативное становление, понимаемое отнюдь не как аппроксимация, оказалось бы у самых корней физического существования.”([4], стр. 58).

Итак, мы видим крайне интересную картину: возникновение порядка неразрывно связано с предшествующим ему производством энтропии. При этом производство энтропии связано с необратимыми процессами внутри системы, порядок же привносится посредством потоков негэнтропии извне. Второе начало термодинамики не запрещает приток негэнтропии в систему, но оно и не говорит, откуда этот поток приходит. Рассматривая локальные, ограниченные системы, можно источник негэнтропии выносить все дальше и дальше в окружающее пространство (так, в случае Земли таковым может быть хорошо организованное движение планет солнечной системы и т.д.). Но вряд ли такой решение является приемлимым. Особенно проблематичным оно выглядит, когда мы подходим к рассмотрению космогонической проблематики, о которой упоминал Пригожин. В ее контексте вопрос о внешнем источнике становится парадоксальным.

#### **4. Энтропия и негэнтропия как две взаимосвязанные компоненты необратимого процесса формообразования.**

Чтобы лучше увидеть суть проблемы, постараемся более четко сформулировать две основные точки зрения на статус необратимости во Вселенной, которые стремился преодолеть Пригожин.

Первая позиция, идущая из “классического прошлого”, полагает, что необратимые процессы и связанная с ними энтропия есть в некоем роде иллюзия, Вселенная изначально определенным образом упорядочена и этот порядок в никакой мере не нарушается. Космос вечен и неизменен, стрелы времени нет. То

есть мы имеем абсолютизацию негэнтропии, порядка. Данная позиция последовательна и внутренне логична, но противоречит всему нашему опыту, ибо как мы сами, так и видимый нами мир существуем во многом благодаря необратимости.

Вторая позиция делает упор на втором начале термодинамики и предполагает реальность стрелы времени. В рамках нее полагается, что Вселенная изначально упорядочена, но имеющейся в ней порядок разрушается в ходе необратимых процессов, связанных с производством энтропии. Стрела времени направлена от упорядоченного прошлого к разупорядоченному будущему и то, что ждет Вселенную в будущем - это тепловая смерть. То есть мы имеем абсолютизацию производства энтропии, хаоса. Также как и предшествующая, данная позиция находится в глубоком противоречии с нашим опытом. Так, если рассмотреть ход такого необратимого процесса, как эволюция биологических форм, то мы видим отнюдь не деградацию от совершенных форм в прошлом к примитивным в будущем, а нечто прямо противоположное.

Итак, первая позиция абсолютизирует порядок, негэнтропию, причем внутри себя с формальной точки зрения она в достаточной мере обоснована, логична, а также в рамках нее был разработан весьма совершенный формализм описания. Вторая позиция абсолютизирует энтропию, хаос, но уровень ее обоснования до появления работ Пригожина оставлял желать лучшего. По этой причине господствующее положение в умах ученых занимала именно первая позиция. Но то, что объединяет эти две позиции, так это принципиальное нежелание считаться с коллективным опытом человечества, с наблюдаемой нами реальностью, взятой в ее полноте.

Пригожин стремится выйти за рамки данных двух альтернативных позиций. Но в первую очередь он стремится преодолеть первую из них, вскрыть глубинную природу необратимости, показать, что она носит фундаментальный, основополагающий характер. На этом пути Пригожин и его школа достигают впечатляющих успехов, он делает то, что в свое время не смог сделать Больцман. Фактически он обосновывает кинетическую теорию Больцмана, тем самым преодолевая власть детерминизма, обратимости классической физики. Но это - пока что лишь еще обоснование второй позиции. Чтобы преодолеть и ее, требуется показать, каким образом возникает возможность избежать тепловой смерти Вселенной, то есть фактически объяснить, как происходит эволюция природы, процесс все более усложняющегося формообразования. Для этой цели Пригожин выдвинул концепцию, формулировка которой в наиболее яркой форме послужила названием одной из его книг: "Порядок из хаоса". То есть он рассматривает производство энтропии как фактор, приводящий не к результирующему равновесному состоянию, а как фактор, являющийся причиной формообразования. Согласно его концепциям, начиная с определенного уровня интенсивности производства энтропии поведение неравновесных систем качественно меняется и в них начинаются процессы самоорганизации. Но тут мы подходим к крайне важному моменту. Для того, чтобы такое было возможным, требуется поток негэнтропии извне. Но природа источника негэнтропии не ясна. Если в качестве такового рассматривать изначально имеющийся во Вселенной порядок (а что таковой есть, никто не сомневается), то ситуация заходит в тупик, ибо любой запас негэнтропии при условии непрерывного производства энтропии так или иначе придет к концу, и мы снова будем иметь в результате как перспективу тепловую смерть Вселенной.

Итак, мы видим, что на пути выхода за рамки двух указанных выше альтернативных позиций вновь возникли принципиальные трудности. Возникает

вопрос: в чем же их причина? Как нам кажется, причина кроется в том, что есть еще одно, идущее из “классического” периода заблуждение, которое до сих пор довлеет над нашими умами. Прежде чем перейти к его описанию, сделаем небольшое отступление.

Классическая физика исходит из того, что мир изначально упорядочен определенным образом и неизменен, в нем по большому счету ничего не происходит, то есть необратимых изменений не существует. В принципе можно выделить два типа необратимых изменений. Первый тип - это процесс производства энтропии, процесс необратимого “уменьшения” имеющейся изначально упорядоченности мира. Второй тип - это процесс “производства” неэнтропии, привнесения в мир нового порядка, такого, которого ранее не было. Можно сказать, что классическая позиция утверждает, что как изменения первого, так и второго типа не являются реальными, их проявления носят иллюзорный характер.

Неклассическая позиция заключается в том, что мир меняется, в нем происходят события, которые привносят в мир нечто принципиально новое, то, чего ранее не было и что не следует с жестким детерминизмом из предыдущего. То есть мир *необратимо* меняется. Полное преодоление “классики” означает, что как изменения первого, так и второго типа считаются реально происходящими.

Так вот, когда вопрос касается необратимых изменений, то обычно с необратимостью связывают лишь первый тип изменений. Второй же тип даже не рассматривается, он считается “нефизическим”, не имеющим отношения к реальности. И вот тут мы подходим к сути того заблуждения, о котором упоминалось выше. Она заключается в том, что необратимые процессы второго типа обычно (скорее всего подсознательно) путают с процессами упорядочения, связанными с обращением времени вспять. На этом вопросе следует остановиться подробнее.

Пригожин, рассматривая переход от обратимого во времени описания процессов к необратимому и излагая ставшую уже традиционной точку зрения, пишет, что в принципе при таком переходе может возникнуть два рода процессов. Первый из них характеризуется возрастанием энтропии в положительном направлении времени (то есть направленного от прошлого к будущему), а второй - с возрастанием энтропии в противоположном направлении времени (то есть идущего из будущего в прошлое). Первый процесс - это движение от более упорядоченного состояния в прошлом к менее упорядоченному в будущем. Второй процесс - это движение от менее упорядоченного состояния в прошлом к более упорядоченному состоянию в будущем. Излагая общепринятый взгляд на эту проблему, Пригожин пишет, что обычно мы наблюдаем в природе процесс первого типа. Невозможность же процесса второго типа нам интуитивно очевидна. Для пояснения своей мысли он приводит следующий пример: “Представим себе, что мы сняли на киноплёнку обширный участок водной поверхности. Первоначально она покоилась, а затем в воду бросили камень. Просматривая фильм от конца к началу, мы увидим на экране сходящиеся круговые волны все возрастающей амплитуды. После того, как в центре поднимется самая высокая волна, кольцо спокойной воды, окружающей возмущенный участок, сомкнется. Такую картину невозможно признать реализуемым физическим процессом.” ([5], стр. 221).

То есть мы видим, что движение от менее упорядоченного состояния к более упорядоченному обычно неразрывно связывается с обращением времени вспять. Это - ничто иное, как наследие “классики”, утверждающее, что упорядоченность дана изначально, с течением времени она может лишь уменьшаться, нам не дано

создавать новые виды порядка. Если же мы хотим ее увеличить, то нам не остается ничего другого, как постараться вернуться в прошлое, обратив время вспять. Естественно, те ученые, которые стремились обосновать необратимость времени, наложили запрет на такого рода процессы. А вследствие подсознательного отождествления любого возрастания упорядоченности с такого рода процессами тем самым было наложено как бы некое “табу” на саму мысль о возможном производстве негэнтропии. Именно по этой причине данный вопрос каждый раз “стыдливо” обходится стороной, а когда без негэнтропии не обойтись, то ее источник стараются вынести куда-нибудь вовне, не обсуждая его природы и происхождения.

Если мы хотим окончательно освободиться от ограничений, накладываемых классической физикой на наше мышление, то следует признать реальность обоих видов необратимых изменений, связанных как с производством энтропии, так и негэнтропии. При этом необходимо ясно осознавать, что производство негэнтропии и связанное с ним возрастание упорядоченности не имеет никакого отношения к обращению времени. Возникающие упорядоченные структуры - это нечто новое в нашем мире, а отнюдь не возвращение к старому.

Более того, можно с уверенностью утверждать, что производство энтропии и негэнтропии неразрывно связаны друг с другом, являются как бы двумя компонентами некоего одного процесса необратимых эволюционных изменений. Причем Пригожин был глубоко прав, утверждая, что порядок возникает из хаоса, и в истоке всякого процесса образования новых структур лежит всплеск производства энтропии. Можно сказать, что производство и приток негэнтропии есть как бы реакция на производство энтропии, причем для осуществления процессов самоорганизации между ними должна быть корреляция. Поясним это на широко используемом примере возникновения таких диссипативных структур как вихри Бенара.

Речь здесь идет о следующей системе. В тонком слое жидкости поддерживается разность температур между нижней, подогреваемой поверхностью и верхней поверхностью, которая находится при комнатной температуре. При малой разности температур, т.е. вблизи равновесия, перенос тепла осуществляется за счет теплопроводности. Выше определенного порога разности температур тепло начинает переноситься за счет конвекции, т.е. молекулы участвуют в коллективных движениях, соответствующих вихрям, разделяющим слой жидкости на регулярные ячейки, которые названы вихрями Бенара. То есть мы имеем здесь процесс самоорганизации, когда в ранее однородной среде возникают новые структуры.

Как отмечает Пригожин, “сильно неравновесные связи являются неперменным условием самоорганизации, но самоорганизация в свою очередь изменяет роль и смысл связей. Поток тепла или вещества, удерживающий систему от перехода в равновесное состояние, является связью в том смысле, что без него система эволюционировала бы к равновесию. Кроме того, вблизи равновесия такая связь, как поток тепла, однозначно определяет стационарное состояние и, можно сказать, “объясняет” диссипативную активность системы. По теореме о минимальном производстве энтропии, ..., стационарное состояние соответствует минимальному производству энтропии, совместимому с данной связью. Однако стоит переступить порог неустойчивости, как ситуация изменяется. Вихри Бенара производят больше энтропии, чем это следует из теоремы о минимуме производства энтропии. Тепло быстрее передается от нижних слоев к верхней поверхности жидкости. Иначе говоря, для поддержания той же разности

температур необходимо увеличить поток тепла, то есть поток отрицательной энтропии.”([4], стр. 67).

То есть мы видим, что процессы самоорганизации связаны со скачкообразным возрастанием производства энтропии, что автоматически является причиной возрастания потоков негэнтропии в систему. Если же возрастания последних не произойдет, то и процесс самоорганизации не реализуется. В данном эксперименте такого рода синхронизацию осуществлял экспериментатор. Но возникает вопрос: кто осуществляет такого рода синхронизацию в естественных условиях? Остается предположить, что имеются неизвестные пока что нам механизмы, осуществляющие синхронизацию процессов производства энтропии и негэнтропии.

Как выше мы уже говорили, возрастание упорядоченности в ходе эволюции - это привнесение в мир нового, ранее в нем не бывшего. И осуществляется такого рода необратимая эволюция в результате взаимодействия энтропийных и негэнтропийных потоков. Для осмысления природы этого явления вначале остановимся на выявленных Пригожиным механизмах производства энтропии.

Пригожин показал, что ее производство осуществляется на микроуровне, внутри неравновесных систем за счет развития внутренней неустойчивости движения, когда считываются все новые и новые аспекты начальных данных участвующих в движении частей системы (например, значений координат и импульсов частиц). Придание энтропии онтологического статуса связано с тем, что невозможность точно знать начальные данные становится фундаментальным фактором, выходящим за рамки субъективности наблюдателя. Можно сказать, что бесконечный источник энтропии - это бесконечная сложность начальных данных тех или иных систем и их составляющих. Через неустойчивости, точки бифуркации и т.д. эти данные считываются, объективизируются в нашем мире, тем самым привнося в него нечто новое. Но эти новые данные нескореллированы между собой, и поэтому их проявление может разрушать корреляции, привнося хаос.

Поток негэнтропии привносит корреляции, синхронизирует, упорядочивает привнесенное в систему “новое”, благодаря чему возникают все более и более сложные структуры. В этом смысле производство энтропии - это фактически процесс привнесения в систему нового, того, чего в ней раньше не было. Производство же и приток негэнтропии - это процесс упорядочения нового, закрепления его существования. В этом смысле его роль прямо противоположна тому типу упорядочения, которое связано с обращением времени, возвращением к старому, ранее бывшему порядку.

Итак, можно сказать, что Вселенная находится в движении, причем это движение связано с ее реальными изменениями, носящими необратимый характер. Стрела времени существует, но она направлена отнюдь не в сторону деградации и тотального равновесия - тепловой смерти Космоса. Ее направление связано с прогрессирующей эволюцией Вселенной в сторону все более сложных и совершенных видов порядка. Этот необратимый процесс изменения мира имеет две неразрывно связанных, синхронизированных компоненты - энтропийную и негэнтропийную составляющие. Производство энтропии связано с привнесением в мир нового, того, чего в нем раньше не было, и это новое разрушает старые формы упорядоченности. В этом смысле деструкция, разрушения - это цена за эволюционные изменения. Производство и приток негэнтропии связан с упорядочением нового, его закреплением, созданием на месте разрушенного порядка нового, более совершенного. Причем тем толчком, который вызывает производство и приток негэнтропии, является всплеск

производства энтропии. В этом смысле хаос выступает как причина нового порядка, давая как “материю” для создания новых структур, так и иницируя производство и приток в систему негеэнтропии. Наиболее кратко этот момент можно выразить словами Пригожина: “Порядок из хаоса”.

##### 5. Взаимосвязь граничных условий и состояний в неравновесной динамике.

Как отмечает Пригожин, в традиционном подходе к динамике существует различие между начальными условиями и законами движения. Начальные условия соответствуют заданию некоторого состояния (в классической механике - точки в фазовом пространстве, в квантовой механике - волновой функции). При этом начальные условия могут фактически быть какие угодно, они ни в коей мере не следуют из законов движения. Это связано с тем, что оператор эволюции (то есть тот оператор, который осуществляет сдвиг во времени) просто обратимо меняет то начальное состояние, которое мы ему предоставили. Но в то же время ясно, что такого рода отсутствие связи между начальными условиями и законами движения есть лишь удобное упрощение, используемое в теории, поскольку в реальном мире состояния возникают в результате предшествующей динамической эволюции. Допустимое в случае обратимых во времени уравнений движения, такого рода упрощение в случае необратимой эволюции становится уже малоприемлимым. Так, Пригожин показал, что “из существования законов, ориентированных во времени, таких, как возрастание энтропии по направлению к будущему, следует существование в такого рода системах состояний, ориентированных во времени.”([5], стр. 250). То есть характер законов динамики делает одни классы начальных условий более предпочтительными (и чаще встречаемыми), чем другие. Вообще-то говоря, это является вполне естественным, ибо неравновесная нелинейная динамика характеризуется наличием аттракторов, стягивающих к себе траектории систем. Тем самым уравнения движения (в которых уже заложена система разного рода аттракторов) как бы создают свои классы начальных условий для дальнейшей эволюции.

Но, когда мы приходим к проблеме взаимодействия энтропии и негеэнтропии, оказывается, что возникает необходимость связать с законами движения и текущими состояниями не только начальные, но и граничные условия. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Как уже указывалось выше, производство энтропии второе начало термодинамики связывает с необратимыми процессами, происходящими внутри системы, в то время как поток негеэнтропии в систему приходит извне. Так, в приводимом выше примере образования вихрей Бенара приток негеэнтропии неразрывно связывался с поддержанием неравновесных граничных условий. Это - не частный случай, а общая закономерность. Можно сказать, что производство энтропии связано с взаимодействием частей системы и поэтому носит внутренний характер, а приток негеэнтропии есть реакция системы как целого, соотносимого с окружающим миром, и поэтому осуществляется через создание специфических граничных условий.

Также выше уже было замечено, что для возможности протекания процессов самоорганизации должна осуществляться синхронизация величин производства энтропии и потоков негеэнтропии в самоорганизующейся системе. Но, исходя из вышесказанного, это означает, что должны быть синхронизированы необратимые процессы, протекающие внутри системы, и граничные условия протекания этих



процессов. Остановимся на этом моменте несколько подробнее, взяв в качестве примера процесс самоорганизации в такой системе как лазер ([6], стр. 265-285).

С математической точки зрения процессы самоорганизации описываются нелинейными уравнениями. В эти уравнения входят два рода величин: переменные, описывающие состояние системы, и параметры, определяющие структуру уравнения. Так, например, в случае с процессами в лазере в качестве переменных выступают амплитуды мод электромагнитного поля, инверсия населенностей атомных уровней и т.д. В качестве же параметра выступает интенсивность накачки.

Переменные и параметры играют качественно разную роль. Переменные - это величины, которые определяют состояние системы и меняются во времени в соответствии с уравнениями, описывающими данный процесс. Параметры задаются извне, их динамика не определяется уравнениями, но зато сами параметры определяют структуру уравнений. Так, в случае с лазером интенсивность накачки задается в ходе эксперимента извне и на нее не влияют процессы, происходящие в лазере. Можно сказать, что параметры выступают в качестве граничных условий процесса (естественно, граничные условия здесь понимаются шире, чем просто фиксация значений переменных, их производных и т.д. на некой пространственной границе, как это обычно понимается в уравнениях математической физики. Граничные условия здесь - это условия, накладываемые на процесс извне).

Определенным интервалам значений параметра соответствует свой тип решений нелинейных уравнений, описывающих ход процесса. Так, в случае лазера до некоторого критического значения интенсивности накачки никакого когерентного излучения не возникает, атомы излучают вразнобой, и лишь при достижении критического значения поведение системы качественно меняется: возникает синхронизация процессов излучения разных атомов и система входит в режим генерации когерентных электромагнитных волн. Это означает, что при переходе через критическое значение параметра (в данном случае интенсивности накачки) характер устойчивых решений уравнений, описывающих процесс, качественно меняется. Это критическое значение параметра рассматривается как точка бифуркации. Важно отметить, что вблизи критической точки даже незначительные по величине, но резонансные воздействия могут оказать существенное влияние на систему.

В более общем случае можно сказать, что имеется некое пространство параметров, различным областям которого соответствуют различные стационарные решения уравнений динамики ([2], стр. 113). При прохождении через границу областей прежние, ранее устойчивые решения становятся неустойчивыми, и, наоборот, ранее неустойчивые решения могут стать устойчивыми, и именно в них перейдет состояние системы при прохождении через границу областей в параметрическом пространстве.

Более того, можно сказать, что значения параметров определяют структуру уравнений, соотношения между их различными членами. То есть вхождение в определенные области параметрического пространства может привести к тому, что ряд структурных составляющих уравнений практически перестанут сказываться на ходе процесса, перейдут в латентное состояние. На этом моменте более подробно мы остановимся в следующем разделе, где увидим, какие нетривиальные возможности он нам открывает в понимании природы диссипативных полей.

Таким образом, можно сказать, что синхронизация необратимых процессов, протекающих внутри системы, и граничных условий протекания этих процессов

означает с точки зрения математического описания самоорганизации наличие некоего закона, осуществляющего синхронизацию динамики переменных, описывающих состояние системы, и параметров, определяющих структуру уравнений динамики.

Ясно, что эти законы не могут жестко детерминировать процесс. Это означает, что закон, регулирующий процессы самоорганизации, должен задавать лишь общую тенденцию, делать более вероятным оптимальное течение процесса, но отнюдь не гарантировать таковое. То есть этот закон должен носить принципиально вероятностный характер.

Интересно отметить, что такого рода законы уже применялись в современной физике. В качестве примера можно привести использование принципа наименьшего действия в квантовой механике.

Как мы помним, в классической механике принцип наименьшего действия заключался в том, что каждой траектории частицы сопоставлялась некая величина - действие, и в качестве истинной отбиралась та траектория, на которой действие принимало минимальное значение. В квантовой механике ситуация менялась в том смысле, что каждой возможной траектории ставилась в соответствие амплитуда вероятности, значение которой определялось величиной действия на соответствующей траектории [9]. В этом смысле траектория с наименьшим действием - эта не та траектория, по которой движется частица, а лишь та, движение по которой наиболее вероятно.

Скорее всего, действие закона, регулирующего процессы самоорганизации, должно быть подобно приведенному в данном примере. То есть он выступает как некий критерий оптимизации процесса, но оптимизация носит вероятностный, статистический характер. Нахождение конкретной формы данного закона - дело будущих исследований. Несколько более подробно мы рассмотрим этот вопрос в следующем параграфе.

## **6. Смысл и физическая реальность.**

Выше мы рассмотрели проблемы взаимодействия энтропии и негэнтропии, их роль в создании новых структур с весьма общей точки зрения. Теперь, чтобы более ясно понять суть проблемы и возможных подходов к ее решению, обратимся к моделям, используемых в своих работах Хакенем и Пригожиным. Вначале кратко остановимся на смысле понятий энтропии и информации, следуя работам Хакена [6] и [12].

### **6.1. Информация и энтропия. Основные определения.**

Как отмечает Хакен, введенная Больцманом статистическая энтропия тесно связана с Шенноновской информацией. Принцип максимума энтропии, используемый в термодинамике, является частным случаем принципа максимума информационной энтропии, из которого, как было показано Джейнсом, можно изящно вывести основные соотношения термодинамики и который Хакен положил в основу развиваемого им подхода к моделированию неравновесных систем.

Для введения понятия информации и информационной энтропии рассмотрим следующие примеры.

Пусть имеется  $R_0$  различных возможных событий ("реализаций"), которые априори равновероятны. Например, при бросании монеты мы имеем две возможных реализации: орел или решка, и в этом случае  $R_0=2$ . В случае

игральной кости число исходов равно 6 и здесь  $R_0=6$ . Таким образом, исход бросания монеты или игральной кости интерпретируется как рецепт получения сообщения, и реализуется только один из возможных исходов  $R_0$ . Ясно, что чем больше  $R_0$ , тем выше неопределенность до получения сообщения и тем большее количество информации приобретается после получения сообщения. В этом смысле приход информации можно рассматривать как снятие (уменьшение) неопределенности. Мерой получаемой информации служит величина

$$I=K\ln R_0, \quad (1) \quad \text{где } K -$$

некая константа. Это определение информации можно обобщить на случай, когда мы имеем вначале  $R_0$  равновероятных выборов, а в конце -  $R_1$  равновероятных выборов. Информация при этом оказывается равной

$$I=K\ln R_0 - K\ln R_1. \quad (2)$$

Это выражение сводится к предыдущему при  $R_1=1$ .

Можно заметить, что определение величины информации (1) аналогично определению величины энтропии в статистической физике, данной Больцманом:

$$S= k\ln W, \quad (3) \quad \text{где } k -$$

постоянная Больцмана, а  $W$  - число различных микроскопических состояний, порождающих одно и то же макроскопическое состояние системы. Здесь величина  $W$  характеризует степень неопределенности в системе, и энтропия  $S$  фактически является мерой информации, которую можно получить, если снять неопределенность, то есть если бы мы точно узнали, в каком микросостоянии находится система.

Перейдем теперь к другому примеру, который позволит нам уточнить введенные выше понятия. Пусть у нас имеется азбука Морзе, состоящая всего из двух символов – точки и тире, и посредством этого алфавита мы передаем некое сообщение длины  $G$ . Пусть это сообщение содержит  $N_1$  тире и  $N_2$  точек, причем

$$N_1 + N_2 = N.$$

Спрашивается, какую информацию мы получим, приняв такое слово. Для ее определения надо посчитать число возможных конкретных сообщений  $R$ , которые могут быть образованы из этих двух символов при фиксированных  $N_1$  и  $N_2$ . Оно равно:

$$R=N!/(N_1!N_2!)$$

В этом случае информация, приходящаяся на один символ, определяется выражением:

$$i=(K\ln R)/N.$$

Если  $N$  велико, то имеем:

$$i \approx -K[(N_1/N)\ln(N_1/N) + (N_2/N)\ln(N_2/N)].$$

Введем теперь вероятность найти знак тире или точка. Эта вероятность равна относительной частоте, с которой встречается тире или точка:

$$p_j=N_j/N, \quad j=1,2.$$

В этом случае информация, приходящаяся на один символ, в нашем примере определяется формулой:

$$i= -K(p_1\ln p_1 + p_2\ln p_2).$$

Теперь обобщим данное выражение на случай, когда алфавит содержит произвольное количество символов. Имеем:

$$i=-K\sum_j p_j \ln p_j, \quad (4) \quad \text{где } p_j -$$

относительная частота, с которой встречается  $j$ -й символ.

Здесь мы имеем весьма общее выражение для количества информации, которое может быть использовано в различных областях знания. Но если вернуться к приложениям концепции информации для описания физических

процессов, то, отождествив константу  $K$  с постоянной Больцмана  $k_b$ , мы получаем выражение для так называемой информационной энтропии:

$$S = -k_b \sum p_i \ln p_i. \quad (5)$$

Рассмотрим смысл этого выражения, а также связь информации с энтропией Больцмана на простом примере. Пусть у нас имеется многочастичная система из  $N$  частиц, имеющая дискретный энергетический спектр, состоящий из двух уровней  $E_i$ ,  $i=1,2$ . То есть каждая из частиц системы может находиться на одном из двух энергетических уровней  $E_i$ . Макросостояние системы будем характеризовать точным значением чисел заполнения  $N_i$  каждого из уровней  $E_i$ , причем, очевидно,  $N_1 + N_2 = N$ . Также важно отметить, что для макросостояния не играет роли, какая конкретно из частиц находится на том или ином уровне. Микросостояние же задается знанием состояния каждой из частиц, то есть тем, на каком энергетическом уровне находится каждая частица.

Тогда число микроскопических состояний  $W$ , порождающих одно и то же макроскопическое состояние, определяется выражением  $W = N! / (N_1! N_2!)$ , и энтропия Больцмана в соответствии с формулой (3) определяется как

$$S = k_b \ln(N! / (N_1! N_2!)).$$

Теперь, если мы хотим определить энтропию, приходящуюся на одну частицу, то при больших  $N$  мы вновь придем к выражению

$$S = -k_b (p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2).$$

Мы видим, что это выражение с точностью до константы  $K$  аналогично выражению (4) для информации, приходящейся на один символ в сообщении, составленном из точек и тире.

В более общем случае, когда у нас есть  $M$  энергетических уровней, мы имеем:

$$S = -k_b \sum p_i \ln p_i, \quad \text{то есть}$$

мы получаем выражение (5) для информационной энтропии.

Теперь перейдем к вопросу, касающемуся принципа максимума энтропии в статистической физике. Как известно, второе начало термодинамики утверждает, что в замкнутой системе энтропия никогда не может убывать, а лишь возрастает до тех пор, пока не достигнет максимума. То есть равновесное состояние замкнутых систем характеризуется максимумом величины  $S = k_b \ln W$ , что означает, что система с наибольшей вероятностью находится в таком макросостоянии, которому соответствует максимальное число микросостояний. Данный принцип позволяет определить функцию распределения  $p_i$  системы, находящейся в равновесии.

Для этой цели перейдем к выражению (5) для информационной энтропии и будем рассматривать  $S$  как функцию от  $p_i$ . Согласно принципу максимума энтропии, с подавляюще большой вероятностью будут реализовываться те распределения, для которых выражение (5) имеет максимум. Но при этом не следует забывать, что не все распределения следует принимать в расчет, а лишь те, которые удовлетворяют ряду необходимых условий. Например, к такого рода условиям относится закон сохранения энергии, импульса и т.д. И поэтому задача нахождения наиболее вероятной функции распределения  $p_i$  - это задача о нахождении экстремума  $S$ , рассматриваемой как функция от  $p_i$ , при наличии ряда наложенных на систему условий. Сформулируем эту задачу в достаточно общем виде.

Пусть у нас имеется система, которая может находиться в  $N$  состояниях (таковой в нашем примере является одна из частиц в многочастичной системе, состояние которой характеризуется значением энергии), и вероятность ее нахождения в  $i$ -м состоянии есть  $p_i$ ,  $i=1, N$ . Пусть также система характеризуется набором величин  $f^{(k)}$ ,  $k=1, M$ , и  $f_i^{(k)}$  - значение величины  $f^{(k)}$  в  $i$ -м состоянии.

Тогда задача нахождения распределения  $p_i$  - это задача нахождения экстремума  $S = -k_B \sum p_i \ln p_i$  при следующих ограничивающих условиях:

$$\sum p_i f_i^{(k)} = f_k, \quad (6) \quad \text{то}$$

есть при заданных средних значениях  $f_k$  величин  $f^{(k)}$ . Кроме этого имеется обычное условие нормировки распределения вероятностей:

$$\sum p_i = 1.$$

При этих условиях после решения задачи на экстремум мы получаем следующее равновесное распределение вероятностей:

$$p_i = \exp(-\lambda - \sum \lambda_k f_i^{(k)}). \quad (7)$$

В том случае, если в качестве  $f^{(k)}$  мы имеем значение энергии, то у нас получается хорошо известное распределение Больцмана:

$$p_i = \exp(-\lambda - \beta E_i).$$

Теперь остановимся на вопросе об уточнении введенных выше понятий. Сначала заметим, что, что Хакен в своих работах использует термин “информационная энтропия” вместо просто “энтропия”. Этот момент он связывает с тем, что термин “энтропия” исторически связан с термодинамикой обратимых и необратимых процессов, в которой в число ограничений на функцию распределения всегда входило ограничение по энергии. Хакен же распространил использование принципа максимума энтропии на область неравновесных фазовых переходов, где приходится иметь дело не с энергией системы, а с входными и выходными интенсивностями потоков излучения, тепла и т.д., и ограничения соответственно вводятся уже именно по этим величинам.

Есть еще один важный момент, на котором следует остановиться. Читая работы Хакена, из-за весьма свободного обращения автора с терминологией часто может сложиться впечатление, что информация и информационная энтропия совпадают, что это одно и то же. Но это далеко не так. Состояние, в котором велика информационная энтропия, характеризуется высокой степенью неопределенности. Приход же информации всегда увеличивает определенность, то есть уменьшает информационную энтропию. Чтобы лучше понять этот момент, следует вспомнить, что получение информации всегда предполагает, что есть то, о чем приходит информация, и есть тот, к кому она приходит.

Представим себе, что есть некто, ждущий информацию о состоянии той или иной системы. Таковым, например, может быть игрок в орел или решку. Перед тем, как бросить монету, он находится в неопределенности относительно того, какая ее сторона выпадет. После того же, как монета упала, он получает информацию о ее состоянии, и неопределенность устраняется. Но что с объективной точки зрения означает, что игрок находится в неопределенности и ждет получения информации? Это означает, что его состояние отражает неопределенность данной ситуации, и после получения информации его состояние меняется, становится более определенным. Например, такого рода неопределенное состояние, находящееся в ждущем режиме, можно промоделировать системой, находящейся в точке бифуркации, а приход информации - ее переходом в одно из возможных новых устойчивых состояний.

На этом примере можно увидеть, что большой информационной энтропией характеризовалось состояние игрока, находящегося в ожидании информации о состоянии монеты. После же прихода информации состояние игрока стало более определенным, и его информационная энтропия уменьшилась (в данном случае стала равной нулю).

Причем следует заметить, что информация и информационная энтропия неразрывно связаны друг с другом. Для того, чтобы некая система могла получить информацию, необходимо, чтобы ее состояние характеризовалось

отличной от нуля информационной энтропией. При этом чем больше информационная энтропия состояния системы, тем больше информации она может получить. Но приходящая информация всегда уменьшает информационную энтропию той системы, в которую информация пришла. Причем разница в значении информационной энтропии системы до и после прихода информации равна величине пришедшей в систему информации.

После описания смысла понятий, которые мы использовали ранее и которые будут использоваться в дальнейшем, перейдем к более конкретному рассмотрению затронутых в предыдущих параграфах вопросов.

## 6.2. Проблема возникновения новой информации.

Одним из вопросов, который был поднят выше - это вопрос о том, каким образом в мире возникает нечто новое, происходит его эволюция в сторону возникновения все более сложных и совершенных структур. Как Пригожин, так и Хакен процесс создания нового неразрывно связывают с необратимостью. В частности, одним из процессов, носящий необратимый характер и приводящий к появлению в системе новой информации, Пригожин считает бифуркацию.

Рассмотрим в качестве примера уравнение

$$dx/dt=f(x,\lambda)=-x^3+\lambda x \quad (8) \quad \text{где } x -$$

переменная, описывающая состояние системы, а  $\lambda$  - так называемый управляющий параметр, который может быть изменен внешним миром [2].

Прежде всего рассмотрим стационарные состояния системы, находимые из условия:

$$\begin{aligned} -x_s^3 + \lambda x_s &= 0, \text{ или} \\ x_s(\lambda - x_s^2) &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

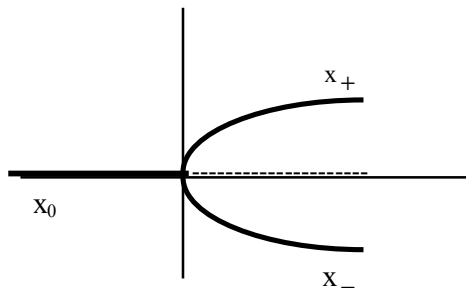
Характер решений этого уравнения зависит от значения управляющего параметра  $\lambda$ . При отрицательном  $\lambda$  уравнение имеет лишь одно тривиальное решение:

$$x_0=0.$$

Однако при положительных  $\lambda$  это уравнение допускает следующие два решения:

$$x_{\pm}=\pm\sqrt{\lambda} \quad (10)$$

Эти решения сливаются с  $x_0$  при  $\lambda=0$  и ответвляются от него при  $\lambda>0$ . Это так называемое явление бифуркации.



На рисунке сплошной и штриховой линиями обозначены соответственно устойчивое и неустойчивое решения. Здесь решение  $x_0$  является устойчивым при

$\lambda < 0$  и в этой области значений параметра является единственным стационарным решением. В точке  $\lambda = 0$  происходит бифуркация, решение  $x_0$  теряет устойчивость, и одновременно с этим при  $\lambda > 0$  появляется два новых устойчивых решения.

Представим теперь поведение системы при изменении параметра  $\lambda$ . При  $\lambda < 0$  она находилась с устойчивом стационарном состоянии  $x_0$ . Но при переходе через  $\lambda = 0$  это решение перестает быть устойчивым, и самая ничтожная флуктуация выведет систему из данного стационарного состояния. Но вот тут мы подходим к весьма интересному моменту. То, в какое из двух возможных стационарных состояний перейдет система, не следует из уравнений ее динамики. С их точки зрения они совершенно равноценны. Выбор одного из двух решений осуществляет или сама система (специфика ее начальных данных), или внешние флуктуации, воздействующие на систему. Таким образом мы видим, что акт выбора одного из решений - это фактически акт получения информации, возникновение нового, того, чего раньше не было. Данная ситуация аналогично той, которую мы описывали в примере игры в орел или решку. До момента выбора частицей одного из возможных решений наша система характеризовалась информационной энтропией  $S = -k(p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2)$ , где  $p_1$  и  $p_2$  - вероятности, соответствующие каждому из решений. В этом смысле можно сказать, что состояние системы в смысле предсказания ее будущего поведения было неопределенным. Акт выбора - это рождение информации, после которого состояние системы определилось. Максимум информации возникает тогда, когда  $p_1 = p_2 = 0.5$ .

Как отмечает Пригожин, бифуркация в некотором смысле вводит в физику и химию историю - элемент, который прежде считался прерогативой наук, занимающихся изучением биологических, общественных и культурных явлений. Чтобы понять, как система пришла в настоящее состояние, нам уже недостаточно знать последнее, мы не можем по нему восстановить траекторию системы. Ведь, как мы видели, в точках бифуркации осуществляется выбор одной из возможных термодинамических ветвей, и этот выбор уникален, он не следует из детерминистических законов. Каждая бифуркация является в некоем роде историческим событием, и набор таких событий, в которых участвовала наша система, составляет историю данной системы, каковую нельзя вывести из каких-либо детерминистических закономерностей.

Теперь остановимся на вопросе, касающемся информационного аспекта процессов самоорганизации, приводящего к кооперативному поведению элементов системы. В качестве примера возьмем лазер и кратко в наиболее общих чертах опишем, следуя Хакену [12], происходящий в нем процесс самоорганизации:

“В лазере большое число атомов погружены в активную среду, например такой кристалл как рубин. После накачки извне атомы возбуждаются и могут испускать отдельные цуги световых волн. Таким образом, каждый атом испускает сигнал, т.е. создает информацию, переносимую световым полем. В полости лазера испущенные цуги волн могут столкнуться с другим возбужденным атомом, что приводит к усилению испускаемой им волны. Следовательно, информация может использоваться для усиления сигнала. Так как отдельные атомы могут испускать световые волны независимо друг от друга и так как эти волны могут усиливаться другими возбужденными атомами, возникает суперпозиция некоррелированных, хотя и усиленных цугов волн, и мы наблюдаем совершенно нерегулярную картину.

Но, когда амплитуда сигнала становится достаточно большой, начинается совершенно новый процесс. Атомы начинают когерентно осциллировать, и само

поле становится когерентным, т.е. оно не состоит более из отдельных некоррелированных цугов волн, а превращается в одну практически бесконечно длинную синусоиду.

Перед нами типичный пример самоорганизации: временная структура когерентной волны возникает без вмешательства извне. На смену хаосу приходит порядок. Подробная математическая теория показывает, что возникающая когерентная световая волна служит своего рода параметром порядка, вынуждающим атомы осцилировать когерентно, или, иначе говоря, подчиняет себе атомы.

...Мы имеем здесь дело с циклической причинностью: с одной стороны, параметр порядка подчиняет себе атомы, а, с другой стороны, сам оказывается порожденным совместным действием атомов.

С точки зрения информации параметр порядка играет двойную роль: он сообщает атомам о том, как им надлежит вести себя, и, кроме того, доводит до сведения наблюдателя о макроскопически упорядоченном состоянии системы. Если для описания состояния отдельных атомов требуется огромное количество информации, то после установления упорядоченного состояния необходима лишь одна величина, а именно фаза общего светового поля, то есть происходит сильное сокращение информации. Мы можем назвать параметр порядка информатором”.

Если посмотреть на атом, находящийся в возбужденном состоянии, то можно заметить, что он во многом аналогичен рассмотренной выше системе в окрестности точки бифуркации. Действительно, если взять спонтанную компоненту излучения возбужденным атомом фотона, то спонтанно излученный фотон может иметь любую ориентацию волнового вектора, разрешенную геометрией граничных условий. Акт излучения конкретного фотона с конкретным волновым вектором есть реализация одной из возможностей, также как и переход в одно из двух возможных состояний в вышерассмотренном примере с бифуркацией. В этом смысле здесь можно также как и в случае с бифуркацией сказать, что в момент испускания атомом фотона произошло рождение новой информации.

Но испущенный фотон может провзаимодействовать с другим атомом, спровацировав в последнем акт вынужденного излучения. При вынужденном излучении фотон имеет такой же волновой вектор и такое же направление поляризации, что и свет, оказавший воздействие на атом. То есть получается, что информация, рожденная в одном из атомов, превращается в управляющий сигнал по отношению к другому атому. В пределе завершившейся самоорганизации мы имеем, что спонтанный акт выбора, осуществленный одним из атомов, навязывается всем остальным. Рожденная на микроуровне информация закрепляется на макроуровне в виде параметра порядка, синхронизирующего деятельность отдельных атомов, входящих в систему.

Таким образом на этом примере мы видим, что процессы самоорганизации переводят информацию, рожденную на микроуровне, на макроуровень посредством навязывания выбранной одной (или нескольких в общем случае) альтернативы поведения всем другим элементам системы. При этом возникает один или несколько параметров порядка, являющихся по сути своей “материальным воплощением” свершенных выборов, “кристаллизацией”, закреплением возникшей на микроуровне и перенесенной на макроуровень информации. Эти параметры порядка синхронизируют деятельность отдельных элементов системы, вновь и вновь заставляя их повторять сделанный когда-то выбор.



На этот процесс можно взглянуть и с несколько иной точки зрения, как бы сверху. Та или иная самоорганизующаяся система, состоящая из многих взаимодействующих элементов, описывается системой взаимосвязанных уравнений. Эти уравнения имеют множество возможных устойчивых стационарных решений (аттракторов). При изменении тех или иных параметров система в целом оказывается в неустойчивом бифуркационном состоянии, исходя из которого она может перейти в какой-либо из достижимых для нее аттракторов. В таком состоянии система оказывается чувствительной к весьма незначительным воздействиям, и по этой причине акт выбора, свершенный одним из ее элементов, может определить и выбор одного из возможных аттракторов всей системой в целом. Тем самым информация, рожденная на микроуровне, переносится и воспроизводится на макроуровне, делаясь системообразующим фактором.

Теперь остановимся на одном интересном вопросе, касающемся применению принципа максимума информационной энтропии в области неравновесных фазовых переходов. Как мы помним, он заключается в том, что в равновесном состоянии функция распределения системы определяется экстремумом выражения  $S = -k_B \sum p_i \ln p_i$  при определенных ограничивающих условиях типа фиксированного среднего значения энергии и т.д. Но, что важно, эти условия на систему накладывали извне, появление или исчезновение того или иного условия ни в коей мере не определялось поведением элементов системы.

Хакен обобщил принцип максимума информационной энтропии на случай неравновесных фазовых переходов [12]. В этом случае в соответствии с ним определялась функция распределения, соответствующая стационарному состоянию системы. Она также определялась экстремумом информационной энтропии  $S = -k_B \sum p_i \ln p_i$ , но в случае неравновесных фазовых переходов ограничивающие условия уже не являются внешними, они теперь определяются процессами, происходящими в системе в ходе самоорганизации. Как отмечает Хакен, адекватные ограничения в этом случае должны включать параметры порядка, являющиеся макроскопическими переменными, описывающими состояние системы. В качестве примера рассмотрим случай одномодового лазера.

Итак, пусть мы имеем одномодовый лазер, находящийся в стационарном режиме когерентного излучения. Зависящую от пространственных координат и времени напряженность электрического поля одномодового лазера, являющегося его параметром порядка, можно записать в виде:

$$E(x,t) = E(t) \sin(kx), \quad (11) \quad \text{где}$$

амплитуда  $E(t)$  может быть разложена на части, соответствующие положительным и отрицательным частотам:

$$E(t) = V \exp(-i\omega t) + V^* \exp(i\omega t) \quad (12)$$

Вследствии флуктуаций в лазере  $V$  и  $V^*$  - случайные переменные, соответствующие стационарному процессу. Поэтому для них можно записать выражение информационной энтропии. Поскольку случайные переменные  $V$  теперь не дискретные, имеем:

$$S = - \int p(V, V^*) \ln p(V, V^*) d^2 V. \quad (13)$$

В случае одномодового лазера экспериментально наблюдаемой величиной являются интенсивность излучения и второй момент интенсивности в случае стационарного состояния. Для них имеем:

$$\begin{aligned} I &= 2\chi V V^*; \\ I^2 &= 4\chi^2 V^2 V^{*2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Именно средние значения этих двух величин, являющихся функциями от параметра порядка  $B$ , и будут теми ограничениями, которые накладываются на  $S = -\int p(B, B^*) \ln p(B, B^*) d^2 B$ . А именно, мы имеем следующие два ограничения:

$$f_1 = \langle 2\chi B B^* \rangle, \quad (15)$$

$$f_2 = \langle 4\chi^2 B^2 B^{*2} \rangle. \quad (16)$$

Находя экстремум информационной энтропии при таких ограничениях, мы получим следующую функцию распределения:

$$p(B, B^*) = \exp(-\lambda - \lambda_1 2\chi B B^* - \lambda_2 4\chi^2 (B B^*)^2), \quad (17) \quad \text{хорошо}$$

известную в лазерной физике.

Если бы мы рассмотрели фотонное поле в лазере до начал процессов самоорганизации и применили бы к нему принцип максимума информационной энтропии, то в число бы ограничений на функцию распределения ни в коей мере не входили бы описанные выше условия (15) и (16). Эти условия, также как и параметр порядка, возникли в результате процессов самоорганизации внутри системы; они не были даны априорно (типа закона сохранения энергии) и не были заданы извне.

Итак, мы видим весьма интересную тенденцию. В случае неравновесных фазовых переходов процессы на микроуровне, связанные с рождением новой информации, определяют макроуровень системы, фактически создают его. Последний же в виде параметров порядка, ограничивающих условий и т.д. управляет поведением системы на микроуровне, определяя состояние отдельных элементов системы. То есть мы получаем то, что Хакен назвал циклической причинностью, когда некое действие порождает следствие, а последнее становится той причиной, которая вновь порождает свершенное вначале действие. Если данную ситуацию выразить символически, то мы имеем хорошо известный из мифологии символ: змею, кусающую себя за хвост. Логичным развитием данной тенденции была бы ситуация, когда граничные условия, внешние управляющие параметры (к таковым относится, например, величина накачки в случае лазера) не были бы внешними по отношению к описываемой на основе синергетической парадигмы системе. Это означает необходимость описания динамики Вселенной в целом исходя из принципов самоорганизации. В этом случае различного рода внешние условия по отношению к тем или иным конкретным системам можно было бы рассматривать как проявление параметров порядка, различных ограничивающих условий со стороны более высоких иерархических уровней организации такой системы как Вселенная.

### **6.3. Спонтанная активность материи как взаимодействие формы и содержания.**

Рассмотрим теперь несколько более глубоко природу необратимых процессов, приводящих к рождению информации. Элементарным процессом такого рода является описанный выше акт спонтанного нарушения симметрии при бифуркации. В нем можно выделить следующие составляющие. С одной стороны, мы имеем уравнение, в котором при определенном значении параметра прежнее решение становится неустойчивым и одновременно с этим возникает два или несколько новых устойчивых решений. С другой стороны, мы имеем некую конкретную систему, динамика которой определялась этим уравнением.

Уравнение можно рассматривать как некую форму, конкретную систему - как содержание, находящееся в данной форме. Точнее говоря, под той формой, в которой находится содержание, следует понимать то решение уравнения, которое реализовалось в текущем актуальном состоянии системы. Само же по себе уравнение можно рассматривать как совокупность форм (множество возможных

решений) в потенциальном состоянии. Переход формы из потенциального состояния в актуальное происходит тогда, когда конкретная система находится в состоянии, определяемом данной формой.

Как известно, то, какие решения имеет уравнение, в общем случае зависит от значения одного или нескольких управляющих параметров. Тогда обозначим  $\{\Psi_i(\lambda)\}$  совокупность решений данного уравнения, соответствующих определенному значению управляющего параметра.

Пусть мы имеем определенное значение управляющего параметра и пусть в момент времени  $t$  система находится в состоянии, соответствующем решению  $\Psi_j$ . Введем условную вероятность  $P_{ij}=P(t+dt, \Psi_i | t, \Psi_j)$  того, что система в последующий момент  $t+dt$  будет находиться в состоянии, соответствующем решению  $\Psi_i$ , при условии, что в настоящий момент времени система находилась в состоянии, соответствующим решению  $\Psi_j$ . Теперь введем информационную энтропию, определяемую формулой:

$$S = -k \sum_i P(t+dt, \Psi_i | t, \Psi_j) \ln P(t+dt, \Psi_i | t, \Psi_j) \quad (18)$$

Очевидно, что в том случае, когда мы имеем чисто детерминистический процесс, в котором отсутствуют точки бифуркации, данная энтропия равна нулю.

Теперь рассмотрим случай, когда система находится в точке бифуркации. В ней уравнение как бы предоставляет системе выбор одного из нескольких возможных решений, и энтропия (18) будет уже отличной от нуля. В момент, когда выбор осуществлен и одно из возможных решений перешло из потенциального в актуальное состояние, энтропия вновь становится равной нулю, и у нас в результате акта бифуркации рождается новая информация.

Но возникает вопрос: кто осуществляет выбор? Очевидно, что сама система. Но если предположить, что все содержание, которое заключено в системе, тождественно описанию ее состояния в рамках уравнения, то очевидно, что никакого выбора система совершить не сможет и что она будет вечно пребывать в ставшем неустойчивым решении. Или же это будет не спонтанный выбор, а просто переход в одно из новых устойчивых состояний, причем то, в какое из состояний будет осуществлен переход, заранее известно из уравнения. Поясним, что мы имеем здесь в виду.

В качестве примера возьмем бифуркацию, происходящую в уравнении (8). То, как будет происходить процесс, зависит от начальных данных той конкретной системы, которая описывается данным уравнением.

Пусть вначале у нас  $\lambda < 0$ , и устойчивым является тривиальное решение  $x_0 = 0$ . То, каково будет реальное состояние системы, зависит от ее начальных данных. Если ее начальные данные совпадают с тривиальным решением  $x_0 = 0$ , то она и дальше будет без изменения в нем пребывать. Если же ее начальные данные с ним не совпадают, то со временем при достаточно больших  $t$  она будет асимптотически приближаться к  $x_0 = 0$ , но при любом конечном  $t$  ее состояние будет характеризоваться неким  $x \neq 0$ .

Итак, к моменту бифуркации мы можем иметь три возможных состояния нашей системы:  $x = 0$ ;  $x < 0$ ;  $x > 0$ . После того, как бифуркация произошла и решение  $x_0 = 0$  стало неустойчивым, каждому из трех случаев соответствует свое развитие событий. Первому - система сколь угодно долго может оставаться в неустойчивом состоянии (мы сейчас не рассматриваем случай воздействий извне, к нему мы вернемся несколько позже). Второму - система перейдет в состояние  $x_- = -\sqrt{\lambda}$ . Третьему - система перейдет в состояние  $x_+ = +\sqrt{\lambda}$ . Но в любом случае ни о каком выборе речь не идет и никакая информация не рождается.

В данном примере мы имели так раз ситуацию, когда все содержание, которое заключено в системе, тождественно описанию ее состояния в рамках уравнения.

Здесь содержанием системы было ее конкретное состояние, которое характеризовалось переменной “ $x$ ”. Описанием ее состояния в рамках уравнения было задание начального значения “ $x$ ”, исходя из которого в любой последующий момент времени определялось  $x(t)$ . Тожество содержания и описания здесь - это фактически точное знание начального состояния системы. Если имеется точное знание начальных данных, то, как мы видели, никакой необратимости, никакого рождения новой информации не происходит. Также и энтропия (18) будет равна нулю.

Лишь в том случае, если начальные данные заданы неточно и состояние системы с самого начала описывается функцией распределения, то информационная энтропия (18) становится отличной от нуля. Действительно, в общем случае распределения имеем:

$$P(t+dt, x_+ | t, x_0) = P(x(t) > 0) \neq 0 \quad \text{и} \quad (19)$$

$$P(t+dt, x_- | t, x_0) = P(x(t) < 0) \neq 0 \quad \text{то есть}$$

вероятность того, что в момент бифуркации система перейдет в решение “ $x_+$ ” при условии, что в предыдущий момент она была в неустойчивом состоянии  $x_0$ , равна вероятности того, что в этот предыдущий момент конкретное значение  $x(t)$  было больше нуля. Вероятность же оказаться в “ $x_-$ ” равна вероятности того, что в предыдущий момент конкретное значение  $x(t)$  было меньше нуля. Очевидно, что с такими значениями вероятностей информационная энтропия будет не равна нулю. После же осуществления перехода она станет равной нулю, что означает снятие неопределенности и рождение новой информации.

Но тут может возникнуть впечатление, что и после осуществления перехода информационная энтропия не будет равна нулю, ибо у нас просто возникнет двухгорбая функция распределения с максимумами в “ $x_+$ ” и в “ $x_-$ ”. Такого рода логика возникает тогда, когда речь идет о нашем незнании точного значения начальных данных. Очевидно, что из этого незнания следует последующее незнание, какое из двух возможных решений выбрано. В результате такого подхода у нас так раз и получается, что информация в момент перехода не рождается, неопределенность не снимается. Более того, информационная энтропия даже возрастает. И если мы представим, что у нас есть уравнение, в котором происходит каскад следующих одной за другой бифуркаций, то неопределенность может охватить весьма большие области фазового пространства.

Но в нашем рассмотрении мы придерживаемся другой логики. Мы полагаем, что незнание начальных данных носит не субъективный, а объективный характер. Остановимся на этом моменте .

Выше мы в любой наблюдаемой системе выделили форму (уравнение) и содержание (конкретная система). Объективное отсутствие точного знания начальных данных означает, что содержание не полностью охватывается данной формой. Неполный охват содержания формой в данном случае означает, что данная форма имеет ограниченную различающую способность. Пусть в рассматриваемом выше примере она равна  $\Delta x$ . Это означает, что функция распределения  $P(x)$  такова, что за пределами области  $\Delta x$  она становится равной нулю. Пусть у нас произошла бифуркация. Обозначим  $\lambda_1$  такое значение управляющего параметра, при котором расстояние между двумя решениями равно  $\Delta x$ . Тогда для всех  $\lambda > \lambda_1$  данная форма (уравнение) способно различить, на какой из ветвей находится наша система. Таким образом, после осуществления перехода в точке бифуркации происходит возникновение новой информации и возрастание определенности.

Итак, на данном примере мы видим, что для того, чтобы в системе на самом деле происходило рождение новой информации, необходимо, чтобы все содержание, которое заключено в системе, не было тождественно описанию ее состояния в рамках уравнения, то есть чтобы это содержание выходило за рамки заключающих его форм. В рассмотренном выше примере мы остановились только на неопределенности содержания, связанного с начальными данными. Но, как известно, выбор одного из новых решений в точке бифуркации может происходить и за счет воздействия на систему извне. Например, это могут быть флуктуации вакуума и т.д. Но, рассматривая этот аспект проблемы, сразу хотелось бы остановиться на одном принципиальном вопросе.

Представим себе, что у нас есть некая система (например, химические реагенты) и некая форма, в соответствии с которой происходит динамика системы (уравнения химической кинетики и диффузии). Примером внешнего воздействия может быть действие электромагнитного излучения. Но взаимодействие электромагнитного поля и вещества также описывается некими уравнениями. То есть мы, учитывая такого рода воздействие извне, просто переходим к формам больших масштабов, но отнюдь не выходим за рамки детерминистического описания. Чтобы объективно выйти за эти рамки, следует признать, что несводимость содержания к его представленности в рамках той или иной формы носит принципиальный, объективный и всеобщий характер. Это означает, что любая система лишь частично проявлена (то есть представлена в той или иной форме), но основная часть ее содержания находится в потенциальном, непроявленном состоянии. Например, мы знаем, что любая микрочастица как бы частично погружена в вакуум, являясь неким возбуждением над вакуумным состоянием. В этом смысле можно было бы считать вакуум источником спонтанной активности, несводимой ни к каким формальным описаниям. Особенно продуктивным такой подход может быть в случае рассмотрения вакуума как неравновесной системы, что будет обсуждаться ниже.

Интересно отметить, что здесь мы приходим к идеям, близким к философии Аристотеля<sup>3</sup>. Великий греческий философ в природе выделял два основных начала: материю и форму. Материя находится в непрерывном процессе становления, в стремлении оформиться, определиться. Она сама по себе представляет собой потенцию, возможность возникновения конкретных вещей. Но эта потенция реализуется (актуализируется) лишь при ее взаимодействии с той или иной формой, и тогда возникает конкретная вещь. Но даже получив оформление, материя никогда не оформляется до конца. В ней действует некий принцип неопределенности, всегда сохраняющий основную “массу” материи в неоформленном, потенциальном состоянии. И именно эта неоформленная материя, всегда стоящая за любым конкретным объектом, является движущей силой становления, ибо благодаря ей материя никогда не удовлетворяется теми формами, в которые она воплотилась, всегда стремится к новым формам, дающим дополнительные возможности для проявления скрытого в материи содержания.

Итак, в рамках развиваемого нами подхода можно утверждать, что источником спонтанной активности той или иной системы, приводящей к рождению новой информации при прохождении ею точки бифуркации, является потенциальный, скрытый аспект стоящего за данной системой содержания. Можно сказать, что рождение новой информации и есть проявление этого

---

<sup>3</sup> Примечательно, что И.Пригожин утверждал, что его школа, развивая теорию самоорганизации, во многом следует идеям философской системы Аристотеля.

скрытого содержания. В этом смысле нелинейные уравнения, описывающие неравновесные процессы, есть формы, несущие в себе способность к раскрытию, актуализации потенций материи. Они ее проявляют, делают наблюдаемой.

#### **6.4. Накопление информации. Проблема отбора.**

В предыдущих пунктах мы видели, что в ходе необратимых процессов на микроуровне происходит рождение новой информации. Далее на примере с лазером было показано, что в результате процессов самоорганизации происходит синхронизация отдельных элементов системы, и информация, рожденная на микроуровне, может проявиться на макроуровне. Возникает один или несколько параметров порядка, подчиняющих себе поведение отдельных элементов системы. Тем самым сделанный спонтанно выбор закрепляется и определяет дальнейшее поведение системы. Таким образом возникает то, что можно назвать историей. Но это - лишь возможность истории, но еще не сама история. Ибо закрепление выбора здесь носит лишь относительный характер.

Для пояснения данной мысли можно привести, следуя Пригожину [2], в качестве примера реакцию Белоусова-Жаботинского, когда в ранее пространственно однородной химической системе при изменении управляющих параметров возникает развитие пространственной неоднородности. Последняя проявляется в виде регулярной пространственно-временной картины распространяющихся волновых фронтов концентраций реагентов. Эти волны бывают двух разных видов, один из которых представляет собой спиральную волну, вращающуюся в пространстве по или против часовой стрелки. В каждой достаточно малой области пространства может реализоваться лишь одно такое решение. Если взять конкретную малую область, то одна из ее точек может стать тем центром, из которого раскручивается спираль. Но то, какой конкретной хиральностью - правосторонней или левосторонней - будет обладать спираль, в самом уравнении не заключено, и выбор конкретным решением типа хиральности является актом спонтанного нарушения симметрии. Далее после такого акта выбора спираль уже не может изменить хиральность, то есть выбор в определенном смысле закреплен. Но это закрепление относительно, ибо если ту же часть системы рассматривать на протяжении большого числа независимых экспериментов, то можно будет с одинаковой частотой наблюдать решения с обоими видами закрутки. То есть можно сказать, что данный выбор неустойчив относительно изменения управляющего параметра. Если управляющий параметр вернуть в ту область значений, в которой среда вновь становится однородной, а после этого снова перевести его в область значений, когда возникают спиральные решения, то в той же самой части системы может возникнуть с вероятностью 0,5 решение с другой хиральностью, чем было ранее.

То, как можно закрепить выбор и сделать его устойчивым относительно колебаний значения управляющего параметра, Пригожин поясняет на следующем примере. Допустим, после первого выбора в данной части системы решения с определенной хиральностью - например, левосторонней, мы под данной областью установим небольшой мотор, придающий вращение среде в левом направлении. Теперь вследствие такой предрасположенности среды волна каждый раз будет неизменно закручиваться в левом направлении, то есть сделанный единожды выбор у нас теперь будет закреплен.

Мы видим, что закрепление сделанного выбора в данной части системы связано с наличием его воздействия на внешнюю среду (в данном эксперименте ее имитировал мотор), которая в результате сделанного выбора изменилась, стала ассиметричной и в дальнейшем стала определять возможные последующие акты

выбора в данной системе при колебаниях управляющего параметра. Одновременно это означает, что информация, рожденная в результате спонтанного нарушения симметрии, сохраняется, возникает нечто вроде памяти, появляется возможность для накопления информации, производимой при необратимых процессах.

Рассмотренное в данном примере действие мотора на процессы в химической среде представляет собой иллюстрацию более общего понятия *отбора*. Процессы бифуркационного типа порождают возможные альтернативы, в соответствии с которыми может происходить дальнейшая динамика системы. Но эти альтернативы равновероятны. Как мы видели на примере с реакцией Белоусова-Жаботинского, правые и левые закрутки спирали концентраций встречаются одинаково часто. В то же время в природе мы сплошь и рядом встречаем поразительные примеры ярко выраженной асимметрии. Так, если обратиться к биохимии, то известно, что имеется две возможные конфигурации аминокислот: D-изомеры и L-изомеры. С точки зрения пространственной конфигурации они подобны левой и правой руке, то есть добиться их совпадения путем вращения невозможно. В этом смысле они аналогичны паре спиралей, порождаемых реакцией Белоусова-Жаботинского. Но оказывается, что аминокислоты в белках всегда соответствуют L-конфигурации, то есть только одной из двух видов закрутки. То есть здесь мы имеем ярко выраженный пример абсолютного отбора асимметрии.

Возникает вопрос о механизмах отбора. Наиболее очевидной является идея о том, что такого рода асимметрию создает внешняя по отношению к системе среда. Например, в качестве такого фактора отбора может действовать тяготение, которое неизбежно влияет на любой происходящий на Земле процесс за счет введения выделенного вертикального направления. Но при всей простоте этой идеи она имеет существенный недостаток. Совершенно непонятно, каким образом во внешней среде возник устойчивый критерий отбора. Ведь внешняя среда не есть нечто принципиально отличное от рассматриваемой системы, в ней нет ничего другого, кроме подобных ей систем. Поэтому объяснять возникновение устойчивых критериев отбора тем, что они уже заранее есть во внешней среде, значит просто ничего на самом деле не объяснить.

Другой путь был уже намечен ранее. В рамках него предполагается, что во внешней среде изначально нет критериев отбора. Но они могут возникнуть в результате взаимодействия некой неравновесной системы и внешней среды, когда спонтанный акт выбора, сделанный системой, модифицирует окружающую среду и делает впоследствии невозможными или маловероятными выборы других альтернатив. Возможный путь реализации такого рода взаимоотношения системы и внешней среды предлагает Пригожин, рассматривая случай, когда переход к асимметричным формам возникает не спонтанно за короткий миг времени, а через стадию нуклеации, в которой система сначала “активируется” и преодолевает некоторый “барьер”. Если требуемая энергия активации слишком велика, то переход к конкретному асимметричному состоянию происходит очень медленно. Поэтому к тому времени, когда состояние с противоположной симметрией будет готово появиться, первое состояние уже победит и модифицирует внешнюю среду, запрещая тем самым в дальнейшем появление любой формы с отличной симметрией.

Но для того, чтобы возникшая модификация внешней среды стала по-настоящему устойчивой, в пределе требуется чтобы модификация затронула всю внешнюю среду, то есть всю Вселенную. Но для того, чтобы объяснить такого рода явление, требуется предположить, что критерии отбора возникают в ходе

космогонического процесса, то есть в ходе становления Вселенной в целом. Ярким примером такого рода может служить выбор вещества вместо антивещества, который, раз осуществившись, ведет Вселенную к невозвратному состоянию асимметрии между веществом и антивеществом. Можно представить себе целую серию такого рода неповторимых (по крайней мере за огромные промежутки времени) актов выбора в ходе становления Вселенной, в результате чего происходит накопление асимметрии, являющейся основой для критериев отбора. С этой точки зрения такие пространственные неоднородности как солнечная система, шарообразные тела планет и т.д. есть результаты необратимых процессов космогенезиса, и спонтанные нарушения симметрии, в ходе них происходящие, становятся критериями отбора для процессов в меньших масштабах. В принципе и выделенность вертикального направления на планетах является результатом такого рода процессов.

Интересная и наглядная модель, показывающая роль необратимости в формировании отбора состояний, была предложена И. Пригожиным [2]. Рассмотрим систему с дискретным пространством состояний, набор которых обозначим символом  $\{Q_i\}$  ( $i=1,2,\dots$ ), и пусть временная эволюция системы определяет некоторый марковский процесс. Тогда результат  $k$  последовательных шагов процесса можно записать в виде последовательности:

$$Q_{i1}Q_{i2}\dots Q_{ik} \quad (20)$$

Рассмотрим теперь множество всех различных последовательностей типа (20). Из определения марковского процесса вытекает, что вероятность события  $C$ , описываемого одной из последовательностей (20), равна

$$P(C)=P_{i1}P_{i1,i2}\dots P_{ik-1} i_k, \quad \text{где } P_{i1}$$

представляет исходное распределение вероятности состояния  $Q_{i1}$ , а  $P_{ik-1} i_k$  - вероятность перехода из состояния  $Q_{ik-1}$  в состояние  $Q_{ik}$ .

В пределе больших  $k$  число последовательностей, сумма вероятностей которых дает близкую к 1 величину, определяется

$$n_k \sim \exp(kI) \quad (21) \quad \text{где}$$

$$I = -\sum_{ij} P_{ij} P_{ij} \ln P_{ij} \quad (22)$$

Величина  $I$  обычно рассматривается как мера информации, получаемая при продвижении вдоль марковской цепи на один шаг от начального состояния  $Q_i$ .

Число всех последовательностей длины  $k$ , содержащих  $N$  состояний, равно  $N^k$ . Данная величина соответствует формуле (21) в том случае, когда все состояния равновероятны, что дает  $I_{\max} = \ln N$ . Но в том случае, если  $I$  отличается от максимального значения, мы получаем, что в число тех последовательностей типа  $C$ , сумма вероятностей которых дает близкую к 1 величину, входит лишь небольшая доля от всех возможных последовательностей. Насколько эта доля мала, зависит от энтропии марковского процесса.

Таким образом получается, что неравновесность, приводящая к значительным отклонениям от равновероятного распределения, выглядит как весьма эффективное средство отбора выделенных последовательностей из огромного количества всевозможных случайных последовательностей.

В качестве примера, иллюстрирующего вышесказанное, можно рассмотреть процесс образования некоторого белка длиной в 100 аминокислот (то есть  $k=100$ ). Белок собирается из аминокислот, число которых равно 20 (то есть  $N=20$ ). Если бы биополимеризация происходила в изолированной системе, в которой все последовательности априори равновероятны, то мы имели бы их число равным  $\exp(100 \ln 20) \sim e^{300}$ . Следовательно, любая конкретная последовательность, например такая, которая необходима для выполнения желаемой биологической функции, встречалась бы с чрезвычайно низкой



вероятностью. С другой стороны, если биополимеризация происходит в неравновесной открытой системе, где, например,  $I=0, I_{\max}$ , то лишь около  $e^{30}$  последовательностей длиной в 100 аминокислот будут реализовываться с заметной вероятностью. Это число уже гораздо меньше. То есть мы видим, что на таком ограниченном поле возможностей в неравновесных условиях эволюция способна при наличии достаточного времени создать образования, наделенными такими специфическими свойствами, как саморепликация, эффективное преобразование энергии и т.д.

### **6.5. Необратимые процессы и информационное пространство.**

Итак, мы увидели, что в ходе необратимых процессов происходит рождение и накопление информации. Но та информация, которая накапливалась и передавалась, в рамках предыдущего рассмотрения носила в основном шеноновский характер, являясь просто снятием неопределенности. В то же время в сложных системах (особенно это касается биологических, социальных систем и т.д.) информация приобретает дополнительные характеристики, благодаря которым она может выступать в качестве сообщений, синхронизирующих взаимоотношения различных систем. В целом, согласно Пригожину, можно выделить две основные черты, характеризующие такого рода информацию.

Когда перед нами лежит некий текст на русском языке, наше восприятие содержащегося в нем сообщения связано с тем, что текст читается слева направо, в нем содержатся точки и запятые и вообще соблюдаются определенные синтаксические правила. Аналогично этому, если обратиться к биологическим системам, то генетический код характеризуется определенным стартовым сигналом и инструкциями, благодаря которым текст может быть прочитан в определенном направлении от начальной точки. То есть мы имеем резкое нарушение симметрии, ограничивающее как возможности прочтения, так и составления сообщения. В лингвистике это ничто иное, как синтаксические правила. Это - первая характерная черта информации в рассматриваемом сейчас контексте.

Но с восприятием сообщения связан и другой, столь же важный аспект. Всякое сообщение предполагает, что его составляет набор символов, развертывающийся во времени. Но эта последовательность заранее непредсказуема в том смысле, что во всех нетривиальных случаях ее глобальная структура не может быть установлена по структуре части этой последовательности, сколь бы большой эта часть не была. Так, например, читая "Евгения Онегина" Пушкина, мы воспринимаем определенную информацию. Но вряд ли она представляла бы какую-нибудь ценность, если бы существовал простой алгоритм, позволяющий восстановить вторую часть этого произведения по первой. То есть второй аспект информации - это элемент непредсказуемости, благодаря чему ее можно рассматривать как стохастический процесс.

Возникает вопрос, может ли информация, удовлетворяющая этим требованиям, быть порождена в ходе необратимых процессов. Оказывается, что способностью к порождению такой информации обладают процессы хаотической динамики, когда система находится в режиме хаотического (странного) аттрактора. В качестве примера Пригожин приводит модель Ресслера, в которой имеются три переменные, и при определенных значениях управляющих параметров их динамика следует странному аттрактору. Такую динамическую систему можно рассматривать как генератор последовательностей символов. Это достигается следующим образом.

Пусть мы имеет три переменные  $X, Y, Z$ . Далее допустим, что когда какая-либо переменная пересекает с положительным наклоном соответствующий ей определенный уровень, включается процесс, отмечающий этот акт на некой ленте. Таким образом происходит отображение необратимого процесса в одномерную пространственную картину, на которой мы видим определенные последовательности символов.

Далее можно привести результаты численных экспериментов. Так, при начальных условиях  $X_0, Y_0, Z_0$  и значениях уровней  $L_x=L_y=L_z=3,0$  получаем последовательность вида:

ZYXZXZYXZXZYXZXZYXZXZYXZXZYXZXZYXZZYX...

Эту последовательность можно переписать с использованием гиперсимволов:

$i=ZYX, j=ZXZYX, k=ZX$ .

Полученная выше последовательность выглядит тогда таким образом:

ijjijikiji...

То есть мы видим, что имеются сильные корреляции в последовательностях символов  $X, Y, Z$ , иначе говоря, мы имеем марковский процесс высокого порядка. В ходе исследований подсчитываются числа наблюдаемых синглетов (встречающихся комбинаций из двух символов), триплетов и т.д. При рассмотрении статистических характеристик таких последовательностей выясняются некоторые весьма интересные особенности.

Так, из всех  $3^7$  последовательностей семисимвольной длины, которые можно построить из  $X, Y, Z$ , в динамике реализуется лишь 21. Кроме этого, примерно для половины из них условная вероятность некоторого символа при условии, что заданы пять предыдущих символов, оказывается равной единице. То есть все выглядит так, как если бы в систему были встроены “грамматические правила”, автоматически выполняемые в ходе динамики.

Таким образом мы видим, что в ходе хаотической динамики происходит генерация сообщений (текстов), удовлетворяющих двум вышеприведенным критериям. Во-первых, на возможные комбинации символов наложены ограничения в виде “грамматических правил”. Во-вторых, сами последовательности в рамках такого рода ограничений являются стохастическими. То есть мы имеем здесь дело с информацией в рассмотренном выше смысле.

Итак, можно сделать вывод, что информационно-осмысленные структуры, способные выступать в роли “языка” для передачи сообщений, могут генерироваться соответствующим нелинейным, необратимым во времени механизмом, действующим в удаленной от равновесия хаотической области.

Также следует остановиться еще на одном важном моменте. Продвигаясь в рассмотрении свойств необратимых процессов, мы были вынуждены переходить от одного уровня описания к другому. Каждый уровень описания характеризовался все большей его осмысленностью, все большей ориентированностью на описание согласованного функционирования различных систем и их эволюции в сторону усложнения. Вначале мы просто говорим о корреляциях в поведении систем (так, в примере с лазером еще до начала режима генерации когерентного излучения возникали и нарастали корреляции между отдельными атомами). Здесь элементами описания становятся отдельные корреляции. В принципе в статистической физике на основе этого языка описания строится специальный формальный аппарат, посвященный динамике корреляций.

Далее мы переходим к описанию посредством параметров порядка, которые описывают согласованное в масштабах всей системы поведение ее частей. Здесь

“элементарными кирпичиками” описания являются уже параметры порядка, рассматривается их взаимодействие, конкуренция, порождение сложных структур и т.д. Характерно, что чем дальше мы движемся от одного уровня описания к другому, тем дальше мы отходим от отдельных элементов системы, все больше опираемся общесистемными характеристиками.

Следующий этап - это переход на еще более высокий уровень абстракции и мы говорим уже о символах, информации в виде текстов, сообщений. Данный уровень наиболее актуален для описания поведения сложных систем типа биологических, функционирование которых неразрывно связано с передачей сложных сообщений. Последние несут управляющие инструкции, которые определяют поведение отдельных подсистем. Каждое сообщение должно быть однозначно прочитано, для чего требуется набор правил, по которому конструируется и прочитывается сигнал. То есть мы имеем фактически возникновение первичного языка, представляющего собой совокупность символов и “грамматических” правил.

При переходе на этот уровень описания мы можем фактически говорить об информационном пространстве, в которое как бы погружены реальные системы. В его основе лежат наборы символов и “грамматические” правила, в соответствии с которыми осуществляются их комбинации. Разным типам систем могут соответствовать свои специфические информационные пространства со своей “символикой” и своей грамматикой. В соответствии с этими правилами грамматики могут строиться объекты этого пространства - различные последовательности символов. Если обратиться к языковой аналогии, то можно сказать, что эти последовательности есть слова, предложения, тексты.

Можно сказать, что имеется определенная связь между реальными процессами в системах и объектами соответствующих информационных пространств. Так, отдельным символам могут соответствовать возможные состояния системы. Тогда последовательности символов - это последовательности состояний. В этом случае набор всех возможных объектов информационного пространства - это фактически набор всех возможных последовательностей состояний рассматриваемого класса систем.

Если взять в качестве примера биологические системы, то в таких процессах как синтез белков символы соответствуют 20 аминокислотам, а возможные последовательности символов - возможным белковым молекулам, сконструированных из аминокислот.

Но может возникнуть вопрос: в чем тогда специфика информационного пространства, если его объекты имеют столь глубокую связь с реальными конкретными системами? Ответ прост: в том же, в чем отличие языка от того мира, который он описывает. С помощью языка мы можем конструировать в своем воображении самые различные ситуации, состояния. В мире же в каждый момент существует лишь определенная ситуация. Но мы можем, сконструировав в своем воображении некую ситуацию, воплотить ее в реальность. Именно в этом особенность информационного пространства: оно не привязано к конкретному состоянию тех систем, с функционированием которых оно связано. Его объекты - это набор в принципе возможных состояний этих систем. Поддержание возможности конструирования моделей того, чего еще нет, но должно появиться, является необходимым для самой возможности передачи управляющих сигналов в биологических системах. Ведь управляющие сигналы в момент отправки несут директивы создания в их адресатах состояний, отличных от тех, в которых актуально находились адресаты до получения сообщений.

Также следует отметить, что в том случае, если рассматриваются системы, склонные к эволюции (например, биологические виды), то объектами соответствующего информационного пространства могут быть возможные в ходе эволюции новые системы, возникающие из старых.

В рамках информационного пространства весьма наглядно выглядит роль необратимых процессов, о которых писалось выше. Их конкретная развертка порождает некую траекторию в информационном пространстве, актуализируя его объекты на пути данной траектории. В каком-то смысле можно сказать, что система, в которой протекают такого рода процессы, движется в информационном пространстве.

Особенно интересным является случай, когда речь идет не о динамике той или иной системы, имеющей определенный спектр состояний, а, как было в примере с синтезом белка, о конструировании самих систем, которые будут обладать в дальнейшем неким спектром возможных состояний. Именно в том случае, когда необходимо описывать процессы создания новых систем, языковой уровень описания и связанное с ним информационное пространство раскрывают свои описательные возможности в наибольшей степени. Язык по самой своей природе позволяет конструировать новое.

В том, что касается создания новых структур, спонтанные хаотические процессы играют особенно важную роль. Они актуализируют маловероятные состояния, комбинации, являясь источником мутаций. Как мы помним, конкретные системы кроме своей актуальной составляющей имеют практически бесконечный потенциал непроявленного содержания. Этот потенциал и проявляется в ходе актуализации все новых и новых объектов информационного пространства.

Но может возникнуть вопрос: информационное пространство - это просто удобный способ описания или за ним есть нечто реальное? С этим вопросом неразрывно связан другой вопрос: в какой мере возможное может оказать воздействие на нечто происходящее в действительности? Оказывается, что может. Так, в качестве примера можно привести так называемый обратный ЭПР эксперимент [13], в ходе которого было показано, что тот факт, что в будущем должен произойти некий процесс, оказывает влияние на настоящее<sup>4</sup>. Таким образом объекты информационного пространства вполне способны оказывать влияние на происходящие в действительности процессы, делая более вероятными те из них, которые ведут к их объективизации, проявлению.

## **6.6. Влияние смысла на физические процессы.**

Итак, проделав определенный путь в рассмотрении свойств необратимых процессов, мы увидели, что они ведут отнюдь не к тепловой смерти Вселенной, как считали до появления теории самоорганизации. Наоборот, они способны порождать и накапливать информацию, приводить к возникновению в ранее однородной среде сложных структур, и, более того, способны породить информационно-осмысленные структуры, могущие выступать в роли “языка” для передачи сообщений. Но возникает вопрос: достаточно ли всех этих возможностей, предоставляемых необратимыми процессами, для объяснения того процесса эволюции форм материи, который мы наблюдаем во Вселенной?

Мы склонны считать, что при всем богатстве предоставляемых возможностей существующая в настоящее время парадигма необратимых процессов имеет

---

<sup>4</sup> В данном эксперименте было показано, что волновая функция двух фотонов, независимо испущенных двумя лазерами, в силу того, что эти фотоны в будущем должны были поглотиться одним и тем же атомом, из произведений одночастичных функций в какой-то момент редуцировалась в симметризованную функцию.

принципиальные ограничения, которые создают весьма большие и вряд ли преодолимые трудности на пути создания адекватных моделей эволюции различных форм материи. При этом мы сразу хотим отметить, что ни в коей мере не считаем, что эта парадигма неверна и ее необходимо отбросить. Просто она с нашей точки зрения есть очень важная составная часть более широкой парадигмы и по этой причине нуждается не в своем кардинальном изменении, а просто в дополнении недостающими компонентами. Чтобы понять, чего нам не хватает, обратимся к лингвистическим представлениям, на которые мы выше естественным образом вышли в ходе анализа необратимых процессов.

Итак, в предыдущем пункте мы увидели, что необратимые процессы обладают способностью порождать структуры, могущие выступать в качестве языка. А именно, они способны порождать систему, состоящую из символов и грамматических правил. А это есть то, что можно назвать материальной базой языка. Но хорошо известно, что любой язык кроме синтаксиса обладает и тем, что принято называть семантикой, смыслом. Исходя из синтаксических правил можно породить практически бесконечное количество слов, предложений и т.д. Но далеко не все они будут обладать хоть каким-то смыслом. Точнее говоря, подавляющее большинство из них будут совершенно бессмысленными. Но то, что наделяет их смыслом, весьма трудноуловимо и явно выходит за рамки грамматических правил.

Ту же ситуацию мы видим и в применении идей теории самоорганизации в различных областях естествознания. Так, выше мы приводили пример того, как необратимый процесс, вызывая отклонение от равновероятного распределения, выступает как средство отбора наиболее вероятных последовательностей из огромного количества всевозможных случайных последовательностей состояний. Далее мы видели, что это связано с возникновением неких “грамматических” правил, которые отсеивают те последовательности, которые им не соответствуют. Но здесь мы имеем ту же ситуацию, что и в языке. Соответствие правилам грамматики не означает наделение смыслом.

Поясним, как этот момент проявляется в природе на уже приводившемся примере синтеза белка из аминокислот. Было показано, что при процессе биополимеризации, происходящем в неравновесных условиях, значительно сокращается число возможных синтезированных последовательностей из аминокислот, что может быть предпосылкой для выбора тех белков, которые могут играть важную роль в функционировании организма. Это связано с тем, что в ходе реализации необратимого процесса накладываются в виде неких правил ограничения на возможные комбинации аминокислот. Причем, как отмечал Пригожин, эти правила берутся из структуры уравнения, порождающего наделенный некой упорядоченностью стохастический процесс.

Но представляется крайне маловероятным, что эти правила, берущиеся из структуры уравнения, могут заменить ДНК, которая несет информацию, в соответствии с которой в наших организмах происходит реальный синтез белков. Здесь дело даже не в том, может ли или нет в ходе какого-либо нелинейного процесса возникнуть нечто типа молекулы ДНК. Дело в том, что в молекуле ДНК лежит информация о такой структуре белков, которая соответствует тем функциям, которые они будут выполнять в рамках всего организма. Такая роль ДНК предполагает, что уже есть некий организм, генетику которого она реализует. Она - часть целого и без этого целого не имеет никакого смысла. Отбор возможных комбинаций аминокислот ДНК осуществляет не просто по тем или иным правилам, а в соответствии с нуждами некоего вполне конкретного целостного организма.

Очевидно, что правила, заложенные в структуру нелинейного уравнения, порождающего комбинации аминокислот, не могут учитывать наличие того или иного организма, в котором эти комбинации будут играть определенную роль. Не могут хотя бы по той простой причине, что этого организма еще нет.

Конечно, можно пытаться строить весьма сложные гипотетические цепочки эволюционного процесса, предполагая, что сначала возникли аминокислоты, потом в ходе неких неравновесных процессов каким-то образом из них было отобрано именно 20 конкретных аминокислот. Потом каким-то образом (например, в соответствии с моделями типа гиперцикла) возникли структуры, способные к саморепликации, и они явились основой для возникновения ДНК. Далее на этой основе возникли сложные биосистемы типа клетки. Но все это представляется хотя и возможной, но весьма малоперспективной умственной деятельностью. Особенно кажется это маловероятным, когда мы таким образом попробуем получить систему типа клетки, в которой имеется великое множество весьма сложных подсистем, деятельность и структура которых в высшей степени синхронизирована между собой.

Фактически рассмотренная выше проблема отбора структур, имеющих смысл в рамках функционирования сложных систем, весьма схожа с проблемой возникновения смысла в языковой сфере. Если обратиться к последней, то можно с уверенностью сказать, что имеется принципиальное различие между способом организации смысла и способом организации синтаксической составляющей языка. Когда мы рассматриваем язык в его синтаксическом аспекте, то у нас вначале имеются некие отдельные элементы (буквы) и законы взаимодействия между ними. Целостные структуры - слова, предложения и т.д.,- возникают потом как результат взаимодействия между частями. То есть мы имеем сначала части, а потом целое.

В области смысла ситуация иная. Там целое предполагается с самого начала, без него части не имеют никакого смысла. Так, когда мы берем понятие "внутреннее", то чтобы оно имело смысл, одновременно необходимо держать в уме понятия "внешнее", "граница" и т.д. Как показали великие философы, те наборы категорий, которые позволяют нашему уму вести осмысленную деятельность, являются также взаимосвязанными между собой в единую систему, из которой нельзя убрать ни одного элемента. Так, в качестве примера можно привести знаменитые пять категорий Платона: "сущее", "тождество", "различие", "покой", "движение". Как показал Платон, смысл каждой из этих категорий возникает при ее взаимосвязи с 4-мя другими. Сама по себе ни одна из них смысла не имеет. Можно сказать, что ни одна из них без ее взаимоотношения с другими не может вообще являться ни категорией, ни понятием. Поэтому в области смысла нельзя говорить, что сначала есть части, а потом возникает целое. Когда нет целого, то нет и частей.

То есть мы видим, что сфера смысла целиком выходит за рамки существующей ныне в науке парадигмы. В рамках последней полагается, что первичны части и взаимодействие между ними, целое вторично и производно. Если мы хотим ввести сферу смысла в естественные науки, то мы должны ясно понимать, что тем самым выходим за имеющиеся в них ограничения на ход нашей мысли. Но вопрос о смысле и статусе целого, как мы видели выше, возникает при моделировании эволюционных процессов, и его вряд ли удастся обойти.

Тут важно сделать одно замечание. Мы вполне отдаем себе отчет, что крайне трудно, если вообще не невозможно, с абсолютной необходимостью доказать, что существующая на сегодняшний день научная парадигма в принципе не

способна объяснить процесс эволюционного формообразования во всей полноте. Всегда будет оставаться надежда, что найдется еще какое-нибудь уравнение, которое сможет породить необходимые критерии отбора, а те в свою очередь приведут к еще новым уравнениям и критериям и т.д. Но возникает законный вопрос: в чем причина, что мы должны следовать именно таким путем. Вряд ли он уж столь естественен. Почему, собственно говоря, мы должны предполагать, что первичны части и взаимодействие между ними, а целое вторично. Данное утверждение никем не было доказано, оно есть ничто иное как гипотеза. Статус официальной научной идеологии данная гипотеза приобрела исторически, ибо становление науки происходило в жестокой борьбе с теологическими взглядами, и идея о примате частей и взаимодействия между ними была тем оружием, посредством которого разбивался авторитет религиозного догматизма. Но сейчас, как нам кажется, познавательный потенциал этой гипотезы подходит к концу, и мы считаем себя вправе выдвинуть другую гипотезу, в рамках которой полагается, что как части, так и целое одновременно первичны, и реальные конкретные системы возникают в результате взаимодействия между ними. Постараемся сейчас кратко в общих чертах обрисовать этот путь.

Итак, выше мы писали, что в сфере смысла части не мыслятся без целого, они не могут без него существовать. Теперь остановимся на одном моменте, который в дальнейшем будет нами использоваться. Сфера смысла предполагает, что имеется нечто вроде семени, некой базовой зародышевой смысловой структуры, которая в дальнейшем разворачивается и способна порождать практически бесконечное количество различных понятий. Согласно, например, Канту таковым “семенем” являются набор категорий, законы логики и некий набор принципов разума.

Сразу следует заметить, что само по себе это “смысловое семя” выходит за пределы любого конкретного языка. Это следует хотя бы из того, что в разных культурах, каждая из которых имеет свой язык, присутствуют весьма схожие системы категорий. Вопрос о том, какова природа этого “семени”, мы сейчас не будем обсуждать, ибо это увело бы нас слишком далеко от основной темы.

Выше мы ввели понятие информационного пространства. Если взять тот или иной конкретный язык в его синтаксическом аспекте, то объектами информационного пространства является множество всех возможных конструкций из алфавита данного языка, построенных в соответствии с правилами грамматики. Но собственно то подмножество этого множества, элементы которого осмыслены и которое вообще-то говоря и представляет собой тот или иной реальный язык, возникает в результате взаимодействия “смыслового семени” и информационного пространства. Это “смысловое семя” выступает как фактор, выделяющий те или иные подмножества элементов информационного пространства и наделяющий их смыслом. В результате возникает то, что можно назвать смысловым пространством, объектами которого являются выделенные и наделенные смыслом объекты информационного пространства.

Смысловое пространство отличается от информационного отнюдь не только тем, что в нем имеется лишь часть объектов последнего. Главное отличие заключается в том, что между его элементами возникла новая структура связей, которая качественно отличается от предыдущей, представляющей собой набор грамматических правил. Примерами такого рода новых отношений между элементами являются отношения типа род/вид, часть/целое, цель/средство и т.д. Кроме этого имеется чисто смысловая соотнесенность понятий, которую можно рассматривать как взаимоотношение между частями в рамках и в контексте

целого. Примером последней были уже приведенные выше отношения между такими понятиями как внешнее/внутреннее и т.д.

Смысловые связи уже не являются некими правилами грамматики, внешними по отношению к элементам. Когда что-то является, например, видом некого рода, то оно является таковым и по своему содержанию. То есть в смысловом пространстве форма и содержание неразрывно связаны друг с другом.

Теперь вновь вернемся к вопросу наделения смыслом объектов информационного пространства, то есть фактически их включения в смысловое пространство. Выше мы писали, что это происходит в результате действия на информационное пространство некого надязыкового фактора, который мы назвали “смысловым семенем”. Но здесь сразу бы хотелось остановиться на одном моменте. Вряд ли какой-либо реальный язык формировался в столь идеальном процессе, протекающем целиком лишь в информационной и смысловой областях. Очевидно, что такие слова как “лес”, “облако” и т.д. не могли возникнуть лишь из априорных соображений. Для их возникновения требовалось взаимодействие с конкретными объектами конкретного мира. Для того, чтобы найти пути решения данной проблемы, вернемся к рассмотрению процессов эволюционного формообразования.

Как мы помним, информационное пространство в одном из своих аспектов представляет собой множество возможных последовательностей состояний тех или иных неравновесных систем. Именно в ходе необратимых процессов, когда рождается информация, раз за разом происходит выбор того или иного состояния из имеющихся альтернатив. То есть необратимые процессы порождают траектории в информационном пространстве, актуализируя его объекты. Но процесс актуализации осуществляет именно стохастическая, непредсказуемая составляющая необратимого процесса. Последняя является действием спонтанной активности, проявляющей потенциал скрытого содержания той или иной конкретной системы.

То есть мы имеем весьма интересную ситуацию. Структурная составляющая необратимых процессов, как показал Пригожин, порождает структуру, правила построения информационного пространства. Она же порождает и набор возможных символов, из которых строится это пространство в соответствии с правилами. В определенном смысле можно сказать, что она порождает информационное пространство как пространство возможностей. Стохастическая же составляющая, являющаяся проявлением спонтанности конкретной системы, актуализирует ту или иную “траекторию” в информационном пространстве, то есть выделяет некое подмножество объектов информационного пространства, осуществляя их связь с конкретной реальностью. Но при этом, как мы видели выше, она отнюдь не наделяет их смыслом.

С другой стороны, есть некий гипотетический фактор, названный нами “смысловым семенем”, который способен также выделять некие объекты информационного пространства, наделяя при этом их смыслом.

То есть мы видим, что на информационное пространство действует одновременно два фактора. Один из них - спонтанность материи - наделяет объекты информационного пространства связью с реальностью, другой же - связью со смыслом. Теперь рассмотрим, каково совместное действие этих двух факторов.

Итак, в результате действия смыслопорождающего фактора объекты информационного пространства наделяются смыслом и значимостью. Прежде чем двигаться дальше, остановимся на том, что мы понимаем под смыслом и значимостью в случае природных систем.



Наиболее легко это понять, когда рассматривается некая подсистема, являющаяся составной частью некой большой согласованно функционирующей системы, например, биологической. В этом случае критерием осмысленности последовательности состояний рассматриваемой подсистемы будет то, насколько она соответствует выполняемой данной подсистемой функции. Смысл динамики данной подсистемы - это ее роль в рамках целого, то есть он задается отношениями часть/целое, цель/средство. Значимость - это то, насколько данная последовательность состояний соответствует выполняемой данной подсистемой функции, ее роли в рамках целого. Можно промоделировать ее интервалом чисел от 0 до 1. Значимость, близкая к единице - это когда функционирование близко к идеальному. Чем меньше значимость, тем большим отклонением от оптимума будет соответствующая последовательность состояний.

Теперь рассмотрим возможный путь, каким значимость может оказать влияние на ход процесса. Допустим, мы имеем некий стохастический процесс, описываемый уравнением типа:

$$\frac{dP(Q,t)}{dt} = \sum_{Q \neq Q'} [W(Q/Q')P(Q',t) - W(Q'/Q)P(Q,t)] \quad \text{где } P(Q,t)$$

– вероятность системе находиться в состоянии Q, а  $W(Q/Q')$  – вероятность перехода из состояния Q' в состояние Q. Тогда влияние значимости на процесс будет проявляться в ее влиянии на вероятности перехода  $W(Q/Q')$ , ставя их в зависимость от того, к траектории с какой значимостью принадлежит состояние Q. В том случае, если данное состояние принадлежит нескольким траекториям одновременно, его значимость можно рассматривать как среднюю значимость тех траекторий, которым оно принадлежит.

Но тут следует сделать важное замечание. То, насколько значимо состояние, еще не определяет, насколько оно может изменить вероятность перехода. Для осуществления любого воздействия требуется сила, энергия. Вне всякого сомнения, спектр значимостей возможных состояний вносит дополнительную асимметрию в распределение вероятностей. Но насколько она будет велика, зависит от силы воздействия со стороны смысловой реальности, сравнимости этой силы с величиной спонтанных флуктуаций в системе.

Итак, то, каким образом значимость может оказывать влияние на ход процесса – это влиять на вероятности перехода из одного состояния в другое. В этом смысле она выступает как фактор, привносящий информацию в систему, снижающий неопределенность. Данный момент можно наиболее ясно увидеть на примере бифуркационного процесса, когда некая система находится в точке неустойчивости и перед ней имеется некий набор альтернатив. В этом случае, как известно, достаточно незначительных воздействий, чтобы произошло спонтанное нарушение симметрии и осуществился выбор одной из альтернатив. Ранее мы писали, что такой выбор осуществляет спонтанность материальной системы, и именно она привносит информацию. Но эта информация шеноновского типа, ибо она бессмысленна. В случае влияния значимости сдвигаются вероятности возможных альтернатив в сторону увеличения в том случае, если данная альтернатива имеет большую значимость, и в сторону уменьшения, когда альтернатива имеет меньшую значимость. Действие, изменяющее вероятности в сторону большей их асимметричности, можно рассматривать также как привнесение информации в систему. Но это уже не просто шеноновская информация, ибо здесь мы имеем дело с привнесением смысла. Именно такого рода информация, привносящая в систему смысл, может рассматриваться как *негоэнтропия*.

Итак, на нескольких примерах мы рассмотрели, что такое смысл, значимость в природных процессах и каким образом значимость может оказывать влияние на ход процессов. Но мы эти вопросы рассмотрели на примере динамики подсистемы, которая уже включена как часть в некую большую актуально существующую систему, и именно последняя определяет смысл и значимость процессов в подсистеме. Но когда мы рассматриваем процесс эволюции, то ситуация несколько иная. Там наибольший интерес представляет не актуальная структура систем, а их роль в возникновении в будущем более совершенных систем. То есть значимость и смысл той или иной системы и процессов, происходящих с ней, определяется исходя из того, какую роль в эволюционном процессе они играют. Но это возможно тогда, когда имеются критерии эволюции. Поэтому можно сказать, что в случае природных систем смыслообразующий фактор (“смысловое семя”) несет в себе совокупность взаимосвязанных критериев эволюции, исходя из которых он наделяет смыслом и значимостью те или иные объекты информационного пространства.

В этом смысле влияние смыслообразующего фактора на ход природных процессов может напоминать функционирование принципа наименьшего действия в случае квантовых систем. Как мы уже упоминали выше, последний также определяет веса возможных траекторий квантовых систем в соответствии со значением действия на каждой из них. Объекты информационного пространства также являются возможными траекториями эволюционирующих систем, и смыслообразующий фактор в соответствии с имеющимися в нем критериями эволюции определяет смысл и значимость каждой из “траекторий”. Чтобы попытаться развить формализм такого рода, надо ясно сформулировать достаточно полный набор критериев эволюции. А для этого как минимум необходимо найти критерии, по которым будет оцениваться эволюционный уровень той или иной системы. Ясно, что в эти критерии в качестве параметров системы будут входить такие величины, как число значимых состояний, количество иерархических уровней и т.д. Но этот вопрос нуждается в серьезной проработке, и лишь решив его, мы можем рассчитывать найти критерии эволюционности того или иного процесса.

Таким образом мы в общих чертах обрисовали совместное действие “материального” и “смыслового” фактора на информационное пространство. “Материальный” фактор выделяет те объекты информационного пространства, которые связаны с актуально существующими системами. “Смысловой” фактор привносит осмысленность в деятельность “материального” фактора, он в этом случае выступает как источник негэнтропии, привносящий смысл в материальные процессы.

Теперь остановимся кратко еще на одном вопросе. Выше мы писали, что имеется определенная связь между энтропийными выбросами (значительным увеличением производства энтропии) и притоком в систему негэнтропии. Теперь мы можем сказать, что энтропийный выброс есть ничто иное как проявление спонтанности системы, актуализации ее скрытого содержания. Он проявляется с одной стороны как изменение управляющих параметров, благодаря чему система переходит в неустойчивое состояние, с другой же – как резкое усиление флуктуаций, благодаря чему количество состояний, в которые может перейти система, резко возрастает.

Очевидно, что для поддержания осмысленности процесса приток негэнтропии вне всякого сомнения также должен возрасти, причем как с информационной, так и с энергетической точки зрения. С информационной – так как возросло число доступных состояний, с энергетической – так как возросла

амплитуда флуктуаций. Можно также предположить, что величина притока негэнтропии зависит еще и от значимости самой системы в ходе общего эволюционного процесса.

В целом можно сказать, что величина притока негэнтропии в ту или иную систему зависит от таких факторов как:

- сложность системы;
- значимость системы;
- величина производства энтропии в системе.

Таким образом мы видим, что эволюция конкретных систем происходит в результате взаимодействия двух факторов: спонтанности материи, проявляющей скрытый потенциал содержания, и потоков негэнтропии, источником каковой является смыслообразующий фактор.

## 7. Диссипативные составляющие полей и калибровочные теории.

Итак, мы видим, что с принятием необратимости как фундаментального фактора реальности мы перешли к картине мира, существенно отличающейся от классической. При этом кардинальным образом изменилось описание динамики процессов как на микро-, так и на макроуровне (некоторые аспекты такого рода изменения были описаны выше, во втором разделе). Обратимая во времени динамика теперь рассматривается как некий предельный случай динамики, необратимой во времени.

И тут возникает интересный вопрос: каким образом такого рода модификация динамики отразится на теории поля? Ведь уравнения поля как в квантовой, так и в классической физике получаются из лагранжианов, принципа наименьшего действия и т.д., то есть из первых принципов классической динамики. Если мы меняем эти принципы, то должны измениться и уравнения полей. Пока трудно сказать, как конкретно будут выглядеть уравнения поля. Но ясно одно: в них должна быть привнесена необратимость.

Описывая необратимую динамику функции распределения (аналог уравнения Лиувилля в классической или квантовой механике), Пригожин показал, что уравнения динамики содержат обратимую и необратимую (диссипативную) составляющие. Можно предположить, что аналогичным образом уравнения поля также расщепляются на диссипативную и недиссипативную части. Те уравнения поля, которые мы знаем и которые используются в приложениях, представляют собой недиссипативную составляющую. Но очевидно, что, следуя проводимой выше логике, должна также проявляться и диссипативная составляющая различных полей. Если в качестве примера взять электромагнитное поле, то можно предположить, что его диссипативной составляющей является так называемая продольная компонента, в которую одни ученые верят и обнаруживают в проводимых ими экспериментах, а другие упорно не признают, игнорируя предоставляемые им результаты опытов<sup>5</sup>. Но очевидно, что если бы продольная компонента электромагнитного поля проявляла бы себя столь же явно

---

<sup>5</sup> В качестве примера можно привести эксперимент Николаева ("Второе магнитное поле", - Техника и наука, 1984, 1, с.42-43). Он заключается в следующем. В ртутной ваночке, на которую подано напряжение, плавает скобообразный проводник. Сверху над проводником расположена токнесущая шина. При подключению шины к источнику тока проводник в ваночке начинает двигаться вдоль собственного направления. Классическая электродинамика, описывая взаимодействие поля с веществом посредством уравнения Лоренца, не включает в себя подобное продольное взаимодействие токов. Соответственно, с ним связывается новая, дополнительная продольная компонента поля.

и устойчиво, как и поперечная, то вряд ли кто-нибудь сомневался бы в ее существовании. Возникает естественный вопрос: в чем же дело?

Ответ очевиден. Диссипативные процессы предполагают определенные условия для своего протекания. Так, если, например, убрать поток тепла в описанном выше процессе образования вихрей Бенара или же сделать его недостаточно интенсивным, то никаких вихрей Бенара не образуется. Точнее говоря, в локальных объемах жидкости они будут возникать, но их возникновение будет носить флуктуативный характер, причем эти флуктуации будут неустойчивыми, вихри будут возникать и через некоторое время распадаться. Лишь начиная с определенного уровня потока тепла (то есть с определенного уровня неравновесности) флуктуации начнут нарастать и приобретать устойчивый характер.

То же самое касается и диссипативной составляющей полей. В равновесных условиях их проявление носит флуктуативный характер. Те исследователи, которые в своих опытах обнаружили действие продольной компоненты, рассматривали ее как обычное недиссипативное поле, и поэтому не могли выработать методику устойчивого воспроизведения ее проявлений. Чтобы выявить и использовать диссипативные составляющие полей, требуется разработка качественно новой методологии проведения экспериментов, учитывающей принципиально неравновесный характер исследуемых явлений.

Но вернемся к рассмотрению такого примера диссипативной составляющей физических полей как электромагнитное поле с продольной компонентой. Наибольший интерес в этом отношении представляют исследования новосибирского физика В.В.Гейдта.

### 7.1. Концепция Гейдта продольной компоненты ЭМП.

Как отмечает Гейдт, в последнее время значительные успехи в изучении продольного взаимодействия токов как в экспериментальной, так и в теоретической областях были достигнуты Николаевым. Для объяснения результатов проведенных им экспериментов Николаев вводит новое однокомпонентное поле  $H'' = -\text{div } \dot{A}$ , где  $\dot{A}$  - векторный потенциал, и называет его, в отличие от векторного магнитного поля, скалярным или вторым магнитным полем. Сила, действующая на заряд в таком поле, определяется им как

$$\mathbf{F} = \frac{e}{c} H'' \mathbf{v} \quad (23)$$

где “e” - заряд частицы, “c” - скорость света, “v” - вектор скорости частицы. То есть направление действия данной силы совпадает с направлением скорости заряда. Именно поэтому данная компонента была названа продольной в отличие от обычного магнитного поля, направление действия которого перпендикулярно скорости заряда. Тогда уравнения движения заряда в электромагнитном поле с учетом действия продольной компоненты будут выглядеть следующим образом:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c} [\mathbf{v}H] + \frac{e}{c} H'' \mathbf{v} \quad (24)$$

где  $e\mathbf{E} + \frac{e}{c} [\mathbf{v}H]$  - действие обычного электрического и магнитного полей, а

$\frac{e}{c} H'' \mathbf{v}$  - действие продольной компоненты.

Далее Гейдт стремится придать уравнениям релятивистски ковариантный вид. Для этой цели вместо трехмерной дивергенции векторного потенциала он берет четырехмерную:  $D = \frac{\partial A^i}{\partial x^i}$ , где  $A^i$  - четырехмерный векторный потенциал.

Важно отметить, что подобная процедура вступает в противоречие с калибровочной инвариантностью электромагнитного поля.

Теперь мы имеем следующие уравнения, определяющие электрическое, магнитное и новое скалярное поле через векторный потенциал:

$$F_{ij} = \frac{\partial A_j}{\partial x^i} - \frac{\partial A_i}{\partial x^j}; \quad D = \frac{\partial A^i}{\partial x^i} \quad (25)$$

где  $F_{ij}$  - обычный 4-тензор электромагнитного поля.

Если взять релятивистские аналоги скалярного поля  $H''$  - поле  $D$  и силы  $F$  - силу  $F^i = \frac{e}{c} Dv^i$ , где  $v^i$  - 4-скорость, то уравнение движения частицы во внешнем поле запишется в следующем виде:

$$\frac{dv^i}{dt} = \frac{e}{cm} (F^{ij} v_j + Dv^i) \quad (26)$$

где  $t$  - собственное время частицы, а  $m$  - масса.

Если мы умножим обе части этого уравнения на 4-вектор  $v^i$ , то получим:

$$\frac{dv^2}{dt} = 2 \frac{e}{mc} Dv^2 \quad (27)$$

Но это с точки зрения СТО достаточно парадоксальный результат. Ведь, как известно, квадрат четырехскорости частицы в СТО является константой:

$$v^2 = v_m v^m = \frac{dx_m}{dt} \frac{dx^m}{dt} = \frac{ds^2}{dt^2} = c^2 \quad (28)$$

где  $ds$  - интервал, а  $t$  - собственное время. Но, как следует из уравнения (27), в случае отличного от нуля поля  $D$  квадрат четырехскорости перестает быть константой, то есть возникает противоречие с СТО.

Но продолжим рассмотрение уравнения (27).

Пусть  $t$  - это время системы отсчета, относительно которой рассматривается движение частицы. Тогда имеем:

$$v^2 = c^2 \left( \frac{dt}{dt} \right)^2 - \left( \frac{dx^1}{dt} \right)^2 - \left( \frac{dx^2}{dt} \right)^2 - \left( \frac{dx^3}{dt} \right)^2 \quad (29)$$

Для простоты примем, что  $v^1 = v^2 = v^3 = 0$ . Тогда  $v^2 = c^2 \left( \frac{dt}{dt} \right)^2$ ,

и уравнение (27) принимает вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dt}{dt} \right)^2 = 2 \frac{e}{mc} D \left( \frac{dt}{dt} \right)^2 \quad (30)$$

Это означает, что в случае неравного нулю  $D$  отношение  $t$  к  $t$  меняется во времени. Это - вновь парадоксальный результат. Ведь, как известно в СТО, взаимоотношение между  $t$  и  $t$  определяется формулой:

$$dt = \frac{dt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (31)$$

Из нее следует, что соотношение между  $t$  и  $t$  определяется лишь значением скорости, и при  $v=0$  время  $t$  и  $t$  совпадают. У нас же получается, что соотношение между  $t$  и  $t$  определяется также еще и значением поля  $D$ , и когда его значение не равно нулю, то даже в случае неподвижной частицы времена  $t$  и  $t$  не совпадают. Это - парадокс, ибо то, что частица неподвижна, означает, что мы находимся в системе отсчета, связанной с данной частицей, и в этом случае по определению времена  $t$  и  $t$  должны совпадать. То, что они не совпадают, означает, что мы невольно изменили смысл собственного времени и его соотношения с временем  $t$ . Теперь, как отмечает Гейдт, собственное время - это внутреннее время частицы. А время  $t$  он называет координатным временем, то есть внешним временем, связанным с некой системой отсчета. И соотношение между внутренним временем  $t$  и внешним временем  $t$  определяет поле  $D$  в соответствии с уравнением

Таким образом, придавая уравнениям Николаева релятивистски ковариантный вид, мы приходим к определенному несоответствию со специальной теорией относительности. Но это означает, что группа Пуанкаре, задающая геометрическую структуру специальной теории относительности, не может оставаться фундаментальной структурой пространства-времени, в котором действует ЭМП с продольной компонентой. Возникает необходимость перейти к другой группе преобразований, относительно которой уравнения движения были бы ковариантными. Таковой, согласно Гейдту, является группа псевдоподобий, преобразования которой записываются следующим образом:

$$T_4: (x')^m = x^m + a^m \quad (32)$$

$$L_6^+: (x')^m = L^m x_n$$

$$D_1: (x')^m = \rho x^m, \rho > 0$$

где  $T_4$  - подгруппа трансляций,  $L_6^+$  - подгруппа Лоренца,  $D_1$  - подгруппа дилатаций. Под действием подгрупп  $T_4$  и  $L_6^+$  величины, входящие в уравнение движения (27), преобразуются по хорошо известным представлениям группы Пуанкаре, а под действием группы псевдоподобий преобразуется лишь вектор скорости:  $(v')^m = \rho v^m$

Дифференциальный инвариант группы псевдоподобий, естественным образом претендующий на роль собственного времени в пространственно-временной структуре, допускаемой группой псевдоподобий, удовлетворяет следующему уравнению:

$$\frac{ds}{ds} = a \left( \frac{dx^n}{ds} \frac{d^2 x_n}{ds^2} \right) / \left( \frac{dx^n}{ds} \frac{dx_n}{ds} \right), \quad \left( \frac{dx^n}{ds} \frac{dx_n}{ds} \right) \neq 0 \quad (33)$$

где  $a$  - некий размерностный коэффициент,  $s$  - инвариантный параметр вдоль дуги. Если в качестве  $s$  взять саму длину дуги  $S$ , то уравнение переписется в следующем виде:

$$v^i \frac{dv^i}{dt} = \frac{1}{a} v^i v_i, \text{ или} \quad (34)$$

$$\frac{dv^2}{dt} = \frac{2}{a} v^2$$

которое с точностью до переобозначений  $s \rightarrow t$ ,  $\frac{1}{a} \rightarrow \frac{eD}{mc}$  совпадает с уравнением (27).

Далее Гейдт обобщил полученные результаты, в качестве фундаментальной группы пространственно-временной симметрии взяв конформную группу, преобразования которой записываются в следующем виде:

$$T_4: (x')^m = x^m + a^m \quad (35)$$

$$L_6^+: (x')^m = L^m x_n$$

$$D_1: (x')^m = \rho x^m, \rho > 0$$

$$C_4^+: (x')^m = S^{-1}(x)(x^m - c^m x^2), S(x) = 1 - 2cx + c^2 x^2$$

Как видно из выписанных формул, конформная группа включает в себя группу Пуанкаре в качестве своей подгруппы. Преобразования  $C_4^+$  образуют четырехпараметрическую специальную конформную подгруппу. При этом оказалось, что для адекватного представления конформной кинематики требуется уже не четырехкомпонентный вектор скорости, реализуемый в кинематике группы Пуанкаре, а совокупность 15 величин, реализующих присоединенное представление конформной группы. Внешнее же поле в конформной динамике должно представляться антисимметричным тензором, преобразующимся по присоединенному представлению конформной группы:

$$\hat{F}^{AB} = \begin{vmatrix} F^{mn} & 2B^m & -2\Gamma^m \\ -2B^n & 0 & 2D \\ 2\Gamma^m & -2D & 0 \end{vmatrix} \quad (36)$$

где  $F^{mn} = -F^{nm}$  условно соответствует тензору классического ЭМП, поля же  $\Gamma^m$ ,  $D$  и  $B^n$  являются совершенно новыми полями, соответствующими новым степеням свободы, появляющимися в результате перехода от симметрии группы Пуанкаре к конформной симметрии.

Итак, как видно из работ Гейдта, следствием введения дополнительной продольной компоненты электромагнитного поля является необходимость изменения той группы симметрий, относительно которой инвариантны уравнения поля. А именно, возникает необходимость расширения группы Пуанкаре до группы псевдоподобий, существенно новым элементом которой является подгруппа дилатаций - растяжения/сжатия координат и скоростей. Более того, им было показано, что наиболее естественным и многообещающим является переход к еще более "широкой" группе преобразований, дополнительной подгруппой которой являются конформные преобразования.

Важно отметить, что симметрия относительно такого рода преобразований характерна как для живой природы в частности (к этому вопросу мы вернемся несколько ниже), так и для неравновесных процессов в целом.

Кроме этого, весьма интересным следствием перехода к новым видам симметрии уравнений поля является появление собственного, внутреннего времени частиц, отличного от координатного. Здесь можно увидеть глубокую аналогию с появлением внутреннего времени у неравновесных систем в теории Пригожина.

Мы видим, что описанные выше последствия введения в электромагнитное поле продольной компоненты в достаточной мере подтверждают наше предположение о том, что электромагнитное поле с продольной компонентой является примером диссипативной составляющей полей. Ведь последние по самой своей природе должны проявлять свойства, характерные для неравновесных, самоорганизующихся систем.

С этой точки зрения весьма интересным является тот факт, что электромагнитное поле с продольной компонентой перестает быть калибровочно

инвариантным. Для того, чтобы понять глубинный смысл этого факта, следует обратиться к калибровочным теориям поля.

## 7.2. Проблема нарушения калибровочной симметрии.

Вначале рассмотрим калибровочную инвариантность в классической электродинамике. В ней, как известно, электрическое и магнитное поля выражаются через векторный  $\mathbf{A}$  и скалярный  $V$  потенциалы следующим образом:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad \mathbf{E} = -\nabla V - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (37)$$

Если теперь совершить преобразования

$$\mathbf{A} \rightarrow (\mathbf{A}') = \mathbf{A} + \nabla c \quad (38)$$

$$V \rightarrow V' = V - \frac{\partial c}{\partial t}$$

где  $c$  - дифференцируемая должным образом, но в остальном произвольная функция, то формулы (37) не изменят своего вида. Потенциалы  $\mathbf{A}$  и  $V$  удобно объединить в 4-вектор  $A^m = (V, \mathbf{A})$ , тогда формулы преобразования (38) примут следующий простой вид:

$$A^m \rightarrow (A')^m = A^m - \partial^m c \quad (39)$$

Преобразования  $(\mathbf{A} + \nabla c)$  или  $\left( V - \frac{\partial c}{\partial t} \right)$  называются калибровочными преобразованиями, и уравнения классической электродинамики инвариантны относительно этих преобразований.

Перейдем теперь к рассмотрению калибровочной инвариантности в квантовой теории, следуя изложению Г.Кейна [8].

Легко можно проверить, что уравнения квантовой теории инвариантны относительно так называемых глобальных калибровочных преобразований, сводящихся к одновременному одинаковому изменению фазы волновой функции во всех точках:

$$\Psi \rightarrow \Psi' = e^{-ia} \Psi \quad (40)$$

где  $a$  - некое постоянное число.

Иначе обстоит дело в случае локальных калибровочных преобразований, в которых фаза волновой функции меняется по разному в разных точках пространства-времени:

$$\Psi(x, t) \rightarrow \Psi'(x, t) = e^{-ic(x, t)} \Psi(x, t) \quad (41)$$

Оказывается, что уравнение Шредингера не инвариантно относительно этих преобразований. Рассмотрим, например, материальную частицу, описываемую волновой функцией  $\Psi$ , удовлетворяющей уравнению Шредингера:

$$-\frac{1}{2m} \nabla^2 \Psi(\bar{x}, t) = i \frac{\partial \Psi(\bar{x}, t)}{\partial t} \quad (42)$$

Если функция  $\Psi$  удовлетворяет уравнению (42), то функция  $\Psi'$ , найденная по формуле (41), ему не удовлетворяет, если  $c$  произвольна, так как производные последней вообще говоря не равны нулю.

Но оказывается, что если мы имеем дело с электрически заряженными частицами, то с учетом электромагнитного поля уравнение Шредингера оказывается инвариантным относительно локальных калибровочных



преобразований. Так, в присутствии электромагнитного поля мы уравнение Шредингера записываем в следующем виде:

$$\frac{1}{2m}(-i\nabla + e\mathbf{A})^2 \Psi = \left( i \frac{\partial}{\partial t} + eV \right) \Psi \quad (43)$$

Тогда легко убедиться, что при следующем одновременном преобразовании волновой функции и потенциалов электромагнитного поля:

$$\begin{aligned} \Psi(x, t) &\rightarrow \Psi'(x, t) = e^{-iC} \Psi(x, t) \\ \mathbf{A} &\rightarrow \mathbf{A}' = \mathbf{A} + \frac{1}{e} \nabla C \\ V &\rightarrow V' = V - \frac{1}{e} \frac{\partial C}{\partial t} \end{aligned} \quad (44)$$

вид уравнения (43) не меняется, если делается замена  $(\Psi, \mathbf{A}, V)$  на  $(\Psi', \mathbf{A}', V')$ . Также весьма важно заметить, при такого рода преобразованиях не меняется значение электрического и магнитных полей. То есть при калибровочных преобразованиях как уравнения Шредингера, так и электромагнитного поля остаются инвариантными относительно них.

Данный результат можно интерпретировать несколько иначе. А именно, что электромагнитное поле и возникает как некий фактор, компенсирующий нарушение калибровочной симметрии как в уравнении Шредингера в нерелятивистском случае, так и в уравнениях Клейна-Гордона или Дирака в релятивистском случае. Но электромагнитное поле - вещь вполне реальная. Это значит, что и то, что оно компенсирует, также есть нечто реальное. То есть мы приходим к выводу, что локальные калибровочные преобразования есть некие вполне реальные воздействия на волновую функцию частицы. Чтобы лучше понять данный момент, вернемся к уравнению Шредингера (42), и подставим в него преобразованную волновую функцию  $e^{-iC} \Psi(x, t)$ . Тогда имеем:

$$i \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{1}{2m} \nabla^2 \Psi(x, t) + F \left( \frac{\partial C}{\partial t}, \nabla C, C, \nabla \right) \Psi(x, t) \quad (45)$$

То есть мы видим, что калибровочное преобразование становится фактором, существенно влияющим на изменение во времени волновой функции. Более того, само уравнение Шредингера изменилось, в нем появилась составляющая, определяемая функцией  $C(x, t)$ . Модифицированное уравнение Шредингера в этом случае можно записать в виде:

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}_0 \Psi + \hat{H}_1 \Psi \quad (46)$$

где  $\hat{H}_0$  - гамильтониан свободной частицы, а  $\hat{H}_1$  - некий псевдогамильтониан, связанный с воздействием на фазу частицы в ходе калибровочного преобразования (является ли он эрмитовым, нуждается в дополнительной проверке). С ним можно связать некое "поле", воздействующее на фазу частицы. Так как функция  $C(x, t)$  в калибровочных преобразованиях ничем не определяется, то можно предположить, что ее вид носит случайный характер, то есть данное "поле" является стохастическим.

Появление же электромагнитного поля компенсирует эту стохастическую составляющую. Но если в уравнении ЭМП появляются некие дополнительные члены (например, связанные с продольной компонентой), то компенсация может оказаться не полной. Тогда мы будем иметь:

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}_{\text{det}} \Psi + \hat{H}_{\text{stoh}} \Psi \quad (47)$$

где  $\hat{H}_{det}$  - гамильтониан частицы в обычном электромагнитном поле, а  $\hat{H}_{stoh}$  - гамильтониан, связанный как с продольной компонентой, так и с некомпенсированной составляющей калибровочного преобразования. Тогда  $\hat{H}_{det}\Psi$  - детерминированная составляющая уравнений движения, а  $\hat{H}_{stoh}\Psi$  - стохастическая составляющая. В результате мы приходим к уравнению, в чем то напоминающим уравнение Ланжевена [6]:

$$\mathcal{H} = K_i(q) + F_i(t) \quad (48)$$

где  $K_i(q)$  - нестохастическая сила, а  $F_i(t)$  - стохастическая. В случае уравнения Ланжевена наличие стохастической составляющей привело к необходимости вероятностного описания посредством функции распределения, динамика которой во времени описывалась уравнением Фокера-Планка.

Логично предположить, что и в нашем случае также возникает необходимость перехода к вероятностному описанию посредством матрицы плотности, и, соответственно, возникает проблема вывода уравнения для динамики матрицы плотности, аналогичному уравнению Фокера-Планка для функции распределения.

Также интересно отметить следующий момент. Если взять, например, продольную компоненту Николаева, то в ней появится стохастическая составляющая  $\nabla^2 c$ , целиком определяемая функцией  $c$ . То есть реальным источником продольной компоненты будет являться стохастическая сила, воздействующая на фазу волновой функции.

Теперь постараемся осмыслить с несколько более общих позиций проблему нарушения калибровочной симметрии.

В наиболее общих чертах мы имеем следующую картину. По тем или иным причинам возникает некий фактор, нарушающий симметрию уравнений движения. Сразу же возникает компенсаторная реакция на данный фактор, восстанавливающая нарушенную симметрию. Данная компенсаторная реакция проявляется как возникновение того или иного поля в зависимости от характера нарушенной симметрии.

Но можно задаться вопросом: каков физический смысл нарушенной калибровочной симметрии? Ответ очевиден: всякое спонтанное нарушение симметрии есть привнесение в систему чего-то нового, того, чего в ней раньше не было. Причем это новое становится наблюдаемым. Так, в случае изменения в каждой точке пространства фазы полей материи возникают разности фаз, которые становятся наблюдаемыми вследствие квантовых интерференционных эффектов ([8], стр. 51).

Тот факт, что в систему привносится нечто новое, не следующее согласно уравнениям динамики из ее прошлых состояний, означает, что система является открытой. Проявление, считка проникшего в систему нового в результате интерференции волновых функций аналогична считке начальных условий в системах с неустойчивостью, о которых мы говорили выше. В силу отсутствия явных законов, изначально связывающих изменение фазы в разных точках, поток нового может рассматриваться как поток энтропии, хаоса, поступающий в систему.

Какова же роль электромагнитного поля согласно стандартным калибровочным теориям? Оно компенсирует возникающие разности фаз, делает их ненаблюдаемыми. То есть оно, фактически, делает ненаблюдаемой, компенсирует открытость системы. В результате система, которая на самом деле открытая, становится как бы замкнутой.

Выше мы говорили, что каждый выброс хаоса, энтропии инициирует приток негеэнтропии, который упорядочивает и закрепляет то новое, что пришло в систему. В этом смысле калибровочные поля являются как бы вырожденным случаем негеэнтропийного ответа на выброс хаоса, когда новое не упорядочивается и закрепляется, а просто нейтрализуется.

Теперь становится ясным, каков смысл диссипативной составляющей поля с нарушенной калибровочной инвариантностью. Оно, с одной стороны, проявляет приходящее в систему новое, с другой стороны, упорядочивает и закрепляет его. В этом смысле диссипативное поле реализует “конструктивный” отклик системы на импульс хаоса.

Выше мы писали, что необратимое эволюционное движение имеет энтропийную и негеэнтропийную составляющие, где энтропийная привносит новое в мир, а негеэнтропийная его ассимилирует, упорядочивает. Аналогичным образом в диссипативных полях можно также выделить энтропийную и негеэнтропийную компоненты.

Характерной чертой диссипативных полей является существенное расширение соответствующих им групп симметрии по сравнению с симметрией недиссипативных полей. Это мы уже видели на примере электромагнитного поля с продольной компонентой, причем, как было замечено, расширение групп преобразований было связано с добавлением в них преобразований, характерных для неравновесных систем и наиболее ярко проявляемых в живой природе. Данный момент является вполне естественным, ибо с процессами преобразования хаоса в порядок связаны движения, отличные от простых трансляций и поворотов в пространстве-времени, и проявление которых имеет смысл рассматривать на биологическом уровне организации материи. К краткому рассмотрению вопросов симметрии в живой природе мы сейчас и перейдем.

### **7.3. Симметрия подобия и конформная симметрия в живой природе.**

Как отмечает известный исследователь симметрии биологических систем С.В.Петухов [14], объемный рост живых тел - один из самых интересных, но очень слабо исследованных примеров закономерного кооперативного поведения множества составных частей биотел. Этот рост принципиально отличается от поверхностного роста кристаллов, который происходит за счет прибавления вещества на поверхности кристалла и не затрагивает их внутренние области. Объемный рост живых тел сопровождается изменением размеров, а зачастую и формы их внутренних областей. Кооперативность процесса объемного роста проявляется в том, что, зная трансформацию нескольких точек телесной фигуры, охваченным таким “ростовым” преобразованием, можно определить трансформацию всего множества точек этой фигуры.

Для описания такого рода процессов в 1960 г. А.В.Шубников предложил использовать симметрию подобия. Группа преобразований подобия, сохраняющая форму трансформируемых фигур, включает в себя преобразования сдвига, вращения, зеркального отражения и масштабного подобия. В трехмерном пространстве общее аналитическое выражение преобразования подобия имеет вид:

$$(x')^i = k a_j^i x^j + b^i \quad (49)$$

где  $a_j^i$  - ортогональная матрица,  $k$  - произвольное число,  $i, j=1,2,3$ .

Преобразования подобия, когда равными фигурами считаются все фигуры одной и той же формы, вне зависимости от их размеров, широко распространено не только во время роста живых тел, но и в структуре уже законченных произведений живой природы. Так, листья на деревьях, оставаясь одинаковыми по форме, уменьшаются в размерах от основания к макушке. Спиральные раковины состоят из одинаковых по форме звеньев, которые увеличиваются к концу раковины. И т.д.

Но в живой природе также часто встречаются процессы, связанные с преобразованием не только размеров, но и формы тел. В этом случае для математического моделирования такого рода процессов, как отмечает Петухов, весьма эффективным оказалось использование мебиусовой симметрии. Мебиусова группа давно используется в математике под разными названиями: конформной, круговой, обратных радиусов и т.д.<sup>6</sup> По определению, группа мебиусовых (конформных) преобразований - это группа точечных преобразований, сохраняющая величины углов и переводящая сферы в сферы. Мебиусовы преобразования являются локально-подобными преобразованиями, то есть если малая окрестность каждой точки трехмерного тела испытывает масштабное преобразование, не обязательно одинаковое в окрестностях различных точек, то все тело целиком претерпит строго мебиусову трансформацию.

Любое мебиусово преобразование в  $n$ -мерном пространстве может быть представлено суперпозицией одного преобразования подобия (49) и одного преобразования инверсии относительно сферы единичного радиуса:

$$x'_i = R^2 \frac{x_i - x_{0i}}{\sum (x_i - x_{0j})^2} + x_{0i} \quad (50)$$

где  $R$  - радиус инверсии (в данном контексте единичный),  $x_{0i}$  - координаты центра инверсии,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ . Любое мебиусово преобразование в  $n$ -мерном пространстве может быть также представлено произведением не более " $n+2$ " общих преобразований инверсии относительно сферы. При бесконечном радиусе инверсии преобразование инверсии относительно сферы переходит в преобразование зеркального отражения относительно плоскости.

В инфинитезимальном виде мебиусовы преобразования имеют вид:

$$x^i = a^i + v^{ij} x_j + a x^i + a^j x^i x_j - \frac{1}{2} a^i x^j x_j \quad (51)$$

где параметры  $a^i$  определяют бесконечно малые преобразования сдвига,  $v^{ij}$  - поворота,  $a$  - гомотетии,  $a^i$  - собственно мебиусовы. Исходя из этого бесконечно малого преобразования  $x^i$ , конечное мебиусово преобразование получается с помощью уравнений Ли для определения конечных преобразований группы Ли по известным бесконечно малым преобразованиям:

$$\frac{dx^i}{dt} = x^i(x) \quad (52)$$

где  $t$  - групповой параметр,  $i = 1, 2, 3$ . Решение этих уравнений в рассматриваемом случае представляет собой композицию преобразований сдвига

<sup>6</sup> Как отмечает Петухов, в случае трехмерного пространства группа мебиусовых преобразований совпадает с группой конформных преобразований; в двухмерном случае группа конформных преобразований шире мебиусовой группы.

$(x')^i = x^i + A^i$ , поворота  $(x')^i = q^{ij}x^j$ ,  $q^{ij}q^{jl} = d^{il}$ , гомотетии  $(x')^i = Ax^i$  и собственно мебиусовых преобразований инверсии (50).

Конформная симметрия весьма широко распространена в живой природе [15]. Конформную симметрию демонстрируют раковины моллюсков, спиральная укладка белковых молекул вирусов, улитка человеческого уха и многие другие биологические объекты. Конформный характер имеют также и пропорции человеческого тела. На последнем моменте остановимся подробнее, ибо на его примере мы увидим связь конформной симметрии и золотого сечения.

Если внимательно посмотреть на человеческое тело, то можно заметить, что мы как бы состоим из трехчленных блоков. Пальцы рук и ног состоят из трех фаланг, причем для больших пальцев роль третьего звена играет пястная кость. Руки и ноги тоже состоят из трех частей (плечо - предплечье - кисть; бедро - голень - стопа). Само наше тело также можно разделить на три части: верхняя часть - от макушки головы до основания шеи, средняя часть - от основания шеи до тазобедренного сочленения, нижняя часть - от тазобедренного сочленения до конца пальцев ног.

Обозначим максимальную часть (фалангу) - АВ, среднюю - ВС и минимальную - СД. Теперь составим двойное отношение, которое называется вурфом:

$$\mathfrak{R} = \frac{(AB+BC)(BC+CD)}{BC(AB+BC+CD)} \quad (53)$$

Вурф обладает замечательным свойством не меняться при конформном преобразовании <sup>7</sup>. Четыре точки А, В, С и Д могут преобразовываться относительно окружности любым образом, но их вурф всегда остается неизменным.

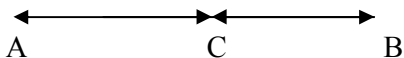
Если теперь подсчитать в среднем вурфы всех трехчленных блоков человеческого тела, то можно увидеть интересную закономерность. Вурф руки равен 1,33. Вурф ноги - 1,29. Вурф тела - 1,32. Наконец, вурф пальцев - 1,34. С большой точностью (в пределах 3%) вурфы всех трехчленных блоков равны между собой и близки к числу 1,309, которое связано с золотым сечением следующей формулой:

$$\mathfrak{R}_A = \frac{3+\sqrt{5}}{2^2} = \frac{\Phi^2}{2} = 1,309 \quad (54)$$

где  $\Phi$  - золотое сечение:

$$\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618\dots$$

Следует отметить, что золотое сечение является одним из наиболее фундаментальных инвариантов живой природы. Напомним, что геометрически золотое сечение определяется как такое деление единичного отрезка АВ на две неравные части,  $AC=x$  и  $CB=1-x$ , при котором отношение меньшей части СВ к большей части АС равно отношению этой части ко всему отрезку АВ:



<sup>7</sup> В одномерном случае группы мебиусовых и проективных преобразований совпадают, поэтому в рассматриваемом примере с равным правом можно говорить о мебиусовой или проективной симметрии и использовать понятие вурфа, или двойного отношения, являющегося инвариантом проективных преобразований.

$$\frac{CB}{AC} = \frac{AC}{AB}, \text{ или } \frac{1-x}{x} = \frac{x}{1}. \quad (55)$$

Если теперь вычислить отношение  $AB/AC$ , то получим:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = \Phi = 1,618... \quad (56)$$

Особо следует отметить, что золотое сечение присутствует в геометрических фигурах, имеющих ось симметрии пятого порядка – пятиконечной звезде и пятиугольнике. Такую форму имеют многие цветы, морские звезды, вирусы и другие живые объекты. Вообще, наличие оси симметрии пятого порядка является характерной чертой живых систем (или же квазикристаллических объектов, полученных в сильно неравновесных условиях), что лишний раз подчеркивает связь золотого сечения и живых систем.

Теперь остановимся на следующем весьма важном вопросе. Как мы видели выше, в случае введения в ЭМП продольной компоненты возникает необходимость перехода от группы Пуанкаре к группе псевдоподобий (в которой также имеется масштабное преобразование) и к конформной группе. Но это есть именно те виды симметрии, которые характерны для живой природы. Таким образом, можно сказать, что введение продольной компоненты ЭМП неразрывно связано с изменением симметрии пространственно-временной структуры, причем в сторону ее большей схожести с симметрией живых систем. Но это означает, что Вселенная в целом есть неравновесная система, которую в определенном смысле можно назвать живой.

Остановимся теперь еще на одном весьма интересном вопросе. Как уже говорилось выше, фундаментальным инвариантом живых систем является золотое сечение. Число золотого сечения соединяет свойства аддитивности и мультипликативности (оно является общим корнем двух уравнений: “ $a+b=c$ ” и “ $a:b=b:c$ ”). Аддитивность связана с арифметической прогрессией, а мультипликативность - с геометрической.

Геометрическая прогрессия, мультипликативность характерна для процессов размножения, деления. В этом смысле ее можно связать с энтропийной составляющей процесса, которая ассимилирует и проявляет новое, дает ему материю. Соответственно ее можно сопоставить также и с энтропийной составляющей диссипативных полей.

Понятие аддитивности свидетельствует, что две части образуют некое структурное целое: “ $a+b=c$ ”. То есть ее можно связать с процессом синхронизации частей, объединения их в некое целое. В этом смысле аддитивность можно связать с негэнтропийной составляющей процесса, и ее также можно сопоставить с негэнтропийной составляющей диссипативных полей.

Взаимодействие аддитивности с мультипликативностью символизирует взаимодействие негэнтропии с энтропией. То есть непрерывно нарастающее в ходе размножения количество элементов (мультипликативность) связывается и синхронизируется между собой путем объединения в целостные структуры (аддитивность). В этом смысле золотое сечение выражает закон гармоничного взаимодействия энтропийной и негэнтропийной составляющих как неравновесных процессов, так и диссипативных полей. Можно ожидать, что золотое сечение является важным инвариантом уравнений диссипативных полей, что может быть одним из ключей к их практическому использованию (к этим вопросам мы вернемся ниже).

Итак, мы ввели понятие диссипативных полей и выявили ряд их специфических особенностей. Теперь перейдем к дальнейшему рассмотрению применения принципов неравновесной динамики в теории поля.

## 8. Диссипативные поля и неравновесные фазовые переходы.

Выше при введении диссипативных полей мы заметили, что в равновесных условиях их проявление носит флуктуативный характер. Теперь мы можем глубже понять природу этого явления.

Распространение необратимости на динамику полей означает, что она должна описываться нелинейными уравнениями, предполагающими самодействие поля. Причем, учитывая предыдущий раздел, можно сказать, что при описании поведения такого рода полей можно выделить как переменные, описывающие состояния поля, так и параметры, определяющие структуру уравнений динамики, причем между теми и другими должна осуществляться взаимосвязь, синхронизация на основе неких принципов оптимизации процесса.

Также выше мы писали, что переход из одних областей параметрического пространства в другие может сопровождаться тем, что ряд структурных составляющих уравнений практически перестанут сказываться на ходе процесса, перейдут в латентное состояние. При переходе в другую область они могут вновь “активизироваться”.

Все это означает, что внешние проявления полей могут быть на самом деле лишь видимой нам “верхушкой айсберга”, в то время как “подавляющая часть” богатства их возможной динамики может быть от нас скрыта. То есть поле может оказаться гораздо более сложным объектом, чем мы думаем, и в зависимости от условий этот объект может проявлять весьма различные свойства.

Интересно отметить, что такого рода подходы сейчас развиваются в калибровочных теориях поля, хотя на пути этих исследований до сих пор лежат ограничения, связанный с использованием аппарата классической обратимой во времени динамики. Там показывается, что изменения свойств полей происходит в результате фазовых переходов вакуума, сопровождающихся спонтанным нарушением симметрии. Кратко остановимся на этом вопросе.

То, как ведут себя поля, в рамках традиционного подхода определяется их лагранжианом, состоящим из двух частей - кинетической и потенциальной энергии. В член потенциальной энергии обычно входят различные степени амплитуды поля. То значение поля, при котором потенциальная энергия имеет минимум, считается основным состоянием (вакуумом) данного поля. Видимые нами проявления этого поля - это возбуждения относительно основного состояния (вакуума).

В современной физике вакуум занимает выделенное положение, как та потенциальная основа, из которой возникает все проявленное в нашем мире. При этом вакуум не есть нечто аморфное, он обладает определенной структурой. Последняя выводилась из структуры, заложенной в уравнениях тех или иных известных полей (электромагнитного, слабого и т.д.). Можно сказать, что каждое поле обладает своим вакуумом - так называемым основным состоянием с наименьшей энергией. В качестве примера рассмотрим некое однокомпонентное действительное скалярное поле  $j$ , описываемое лагранжианом [1,7]:

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu j)^2 - \frac{m^2}{2}j^2 - \frac{1}{4}j^4 \quad (57)$$

Здесь  $m$  - масса скалярного поля,  $I$  - константа его взаимодействия с самим собой. То есть данный лагранжиан описывает скалярное поле с массой  $m$ . Здесь основное состояние - вакуум - определяется минимумом потенциала  $V(j) = \frac{m^2}{2}j^2 + \frac{I}{4}j^4$ , причем основному состоянию соответствует значение поля  $j = 0$ . Это ясно видно из графика функции  $V(\varphi)$  на рис. 1:

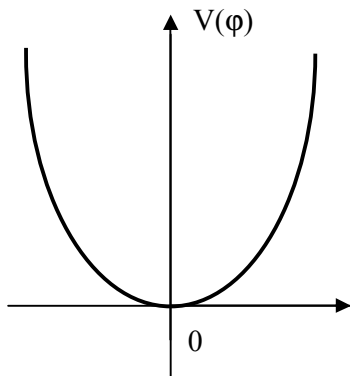


Рис.1

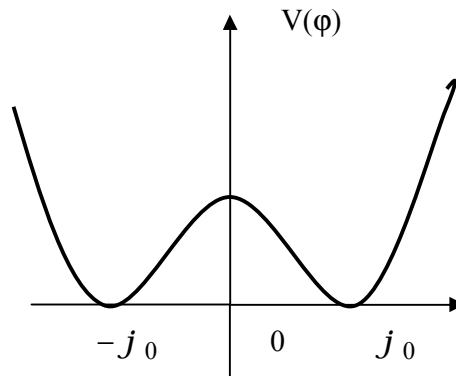


Рис.2

При малых  $j$ , когда последним членом в (57) можно пренебречь, поле удовлетворяет уравнению Клейна-Гордона:

$$(\square + m^2)j \equiv \square j + m^2 j = 0 \quad (58)$$

Это уравнение имеет общее решение в виде суперпозиции плоских волн, соответствующих распространению частиц с массой  $m$  и импульсом  $\vec{k}$ :

$$j(x) = (2\pi)^{-1.5} \int \frac{d^3k}{\sqrt{2k_0}} \left( e^{ikx} a + \left(\frac{\vec{r}}{k}\right) + e^{-ikx} a - \left(\frac{\vec{r}}{k}\right) \right); \quad (59)$$

$$k_0 = \sqrt{(\vec{k})^2 + m^2}$$

$$kx = k_0 t - \vec{k} \vec{x}$$

Как отмечает Линде, основные успехи в объединении слабых, сильных и электромагнитных взаимодействий были достигнуты после того, как от теорий с лагранжианом типа [1] с  $m^2 > 0$  перешли к несколько странным теориям с отрицательным квадратом массы:

$$L = \frac{1}{2} (\partial_\mu j)^2 + \frac{m^2}{2} j^2 - \frac{I}{4} j^4 \quad (60)$$

Здесь функция потенциала  $V(j)$  имеет уже не один, а два минимума (рис. 2), которые удовлетворяют условию:

$$\frac{\partial V}{\partial j} = j(Ij^2 - m^2) = 0 \quad (61)$$

и находятся в точках:



$$j = j_0 = \pm \sqrt{\frac{m^2}{I}} \quad (62)$$

Экстремум  $j = 0$  теперь не соответствует минимуму энергии и соответствующее ему положение равновесия является неустойчивым. Это означает, что при наличии квантовых флуктуаций поле в его основном состоянии выйдет из данного неустойчивого положения равновесия и перейдет в одно из двух новых устойчивых положений с классическим полем  $j = j_0$ . Это явление и называется спонтанным нарушением симметрии. Ибо, как видно из рис.2, потенциал  $V(j)$  вначале обладал “зеркальной” симметрией, но после перехода вакуума в одно из новых основных состояний симметрия нарушилась.

Теперь сделаем замену переменных  $j \rightarrow j + j_0$ , перейдя к рассмотрению поля  $j$  вблизи нового положения равновесия. Тогда лагранжиан (60) приобретает вид:

$$\begin{aligned} L(j + j_0) &= \frac{1}{2} [\partial_m (j + j_0)]^2 + \frac{m^2}{2} (j + j_0)^2 - \frac{I}{4} (j + j_0)^4 = \\ &= \frac{1}{2} (\partial_m j)^2 - \frac{3I j_0^2 - m^2}{2} j^2 - I j_0 j^3 - \frac{I}{4} j_0^4 - j (I j_0^2 - m^2) j_0 \end{aligned} \quad (63)$$

Отсюда следует, что эффективный квадрат массы поля  $j$  при  $j \neq 0$  равен не  $-m^2$ , а  $m^2 = 3I j_0^2 - m^2$ , и в минимуме  $V(j)$  при  $j_0 = \pm \frac{m}{\sqrt{I}}$  имеем:

$$m^2 = 2I j_0^2 = 2m^2 > 0 \quad (64)$$

т.е. квадрат массы поля  $j$  имеет правильный знак. Возвращаясь к старым переменным, решение для поля  $j$  можно записать в виде:

$$j = j_0 + (2p)^{-1.5} \int \frac{d^3k}{\sqrt{2k_0}} \left( e^{ikx} a + \left( \frac{\mathbf{r}}{k} \right) + e^{-ikx} a - \left( \frac{\mathbf{r}}{k} \right) \right); \quad (65)$$

Интеграл в (65) соответствует квантам поля  $j$  массы  $m$ , распространяющимся на фоне постоянного классического поля  $j_0$ .

По сути дела, появление во всем пространстве однородного поля  $j_0$  - это просто перестройка вакуумного состояния. Но при этом возникновение поля приводит к изменению масс тех частиц, которые с ним взаимодействуют. Так, в приведенном выше примере оно “исправило” знак квадрата массы поля  $j$  в модели (60). В более сложном случае спонтанного нарушения локальной калибровочной симметрии векторные частицы приобретают массу при взаимодействии со скалярным полем Хиггса.

Таким образом, мы видим, что свойства полей существенным образом зависят от их вакуумного состояния. Изменения последнего приводят к изменению и свойств проявляемых на его фоне полей.

Идея спонтанного нарушения симметрии, которая стала столь полезной при построении единых калибровочных теорий, задолго до этого была использована в теории твердого тела при описании таких явлений, как фазовые переходы (ферромагнетизм, сверхпроводимость и т.д.). При этом оказалось, что имеется глубокая аналогия между фазовыми переходами в веществе и процессами перестройки вакуума в единых теориях поля. Так, например, классическое поле  $j_0$  в механизме Хиггса представляет собой аналог бозе-конденсата куперовских пар в теории сверхпроводимости.

По этой причине данная аналогия была развита, и изменения структуры вакуума стали рассматривать как его фазовые переходы, происходящие при изменении таких параметров, как температура, плотность вещества и т.д. Так, например, в теории сверхпроводимости некое поле  $\Psi$ , описывающее бозе-конденсат куперовских пар, при повышении температуры уменьшается до нуля (сверхпроводимость разрушается). Аналогичным образом в единых теориях поля скалярное поле также должно исчезать при повышении температуры, в результате чего симметрия между слабыми, сильными и электромагнитными взаимодействиями при сверхвысокой температуре должна быть восстановлена.

Но теперь при построении моделей фазовых переходов вакуума равновесное значение поля  $j$  при фиксированной температуре  $T$  определяется не положением минимума потенциальной энергии  $V(j)$ , а положением минимума свободной энергии  $F(j, T) \equiv V(j, T)$ , совпадающей с  $V(j)$  при  $T=0$ . Так, например, один из используемых  $V(j, T)$  имеет вид [1]:

$$V(j, T) = -\frac{m^2}{2}j^2 + \frac{Ij^4}{4} + \frac{IT^2}{8}j^2 + \dots \quad (66)$$

где опущены члены, не зависящие от  $j$ .

Из (66) видно, что с ростом температуры  $T$  равновесное значение поля  $j$ , отвечающее минимуму  $V(j, T)$ , уменьшается, а при температуре, превышающей критическую температуру  $T_c$

$$T_c = \frac{2m}{\sqrt{I}} \quad (67)$$

единственным минимумом  $V(j, T)$  оказывается минимум при  $j=0$ , то есть симметрия при нагреве восстанавливается, а при охлаждении, наоборот, нарушается. При этом поле  $j$  с ростом температуры уменьшается до нуля непрерывно, то есть фазовый переход с восстановлением (нарушением) симметрии здесь является переходом второго рода. На рис.3 изображен эффективный потенциал при различных значения температуры:

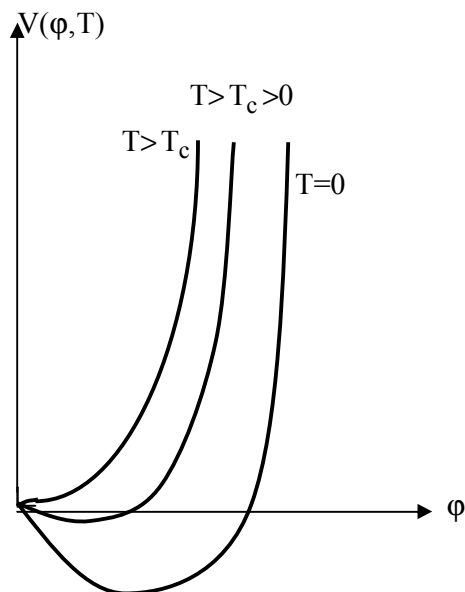


Рис.3

Итак, мы видим, что в рамках современных представлений структура вакуума уже не есть нечто жестко заданное, то, что ничем другим быть не может. В зависимости от таких параметров как температура, давление и т.д. вакуум может переходить из одного стабильного состояния в другое. А это значит, что и характеристики полей также будут меняться. И если мы в принципе могли бы менять эти параметры, то у нас открывалась бы принципиальная возможность изменения свойств тех или иных полей. Но достижение столь больших температур и плотностей, которые необходимы для фазового перехода в вакууме, вряд ли в ближайшее время станет реальным.

Но здесь следует остановиться на одном важном моменте. Для описания изменения структуры вакуума были использованы модельные представления теории равновесных фазовых переходов. Использование такого рода моделей связано с неявным представлением о замкнутости и равновесности Вселенной в целом. Если же мы переходим к представлениям об открытой и неравновесной Вселенной, то у нас есть все основания использовать для описания структурных изменений вакуума теорию неравновесных фазовых переходов, развиваемой Хакеном и его школой. Кратко остановимся на этих вопросах.

В своих работах Хакен показал, что формализм, описывающий равновесные фазовые переходы, в определенном смысле является частным случаем формализма, описывающего неравновесные фазовые переходы. Кратко остановимся на этом вопросе, следуя работам [6,12].

В основу развиваемого подхода к описанию неравновесных фазовых переходов Хакен положил использование уравнения Фокера-Планка. В основе последнего лежит так называемое уравнение Ланжевена, используемое при описании диссипативных процессов с учетом действия на систему стохастических сил. Оно выглядит следующим образом:

$$\dot{q}_i = K_i(q) + F_i(t) \quad (68)$$

где  $q_i$  - вектор состояния,  $K_i(q)$  - силы, действующие на систему,  $F_i(t)$  - флуктуирующие силы. Причем флуктуирующие силы по предположению обладают следующими свойствами:

$$\langle F_j(t) \rangle = 0 \quad (69)$$

$$\langle F_j(t) F_j(t') \rangle = Q_{jj} d(t-t')$$

В силу наличия флуктуирующих сил, действующих на систему, поведение последней описывается функцией распределения  $f(q,t)$ . Динамика же функции распределения, соответствующей уравнению Ланжевена (68), описывается уравнением Фокера-Планка:

$$\dot{f} = -\nabla_q \cdot \{Kf\} + \frac{1}{2} \sum_{i,j} Q_{ij} \frac{\partial^2 f}{\partial q_i \partial q_j} \quad (70)$$

где  $f(q,t)$  - функция распределения,  $K$  называется коэффициентом дрейфа, а  $Q$  - коэффициентом диффузии.

Особый интерес в рамках нашей проблематики имеют стационарные решения уравнения Фокера-Планка. В том случае, если коэффициенты дрейфа удовлетворяют условию потенциальности

$$K_k = -\frac{\partial}{\partial q_k} V(q) \quad (71)$$

и, кроме того, коэффициенты диффузии подчиняются условию  $Q_{kl} = d_{kl} Q$ , то для стационарного значения функции распределения имеем:

$$f(q) = N \exp\{-2V(q)/Q\} \quad (72)$$

Как мы видим, наиболее вероятное состояние системы соответствует минимуму потенциала  $V(q)$ .

Как отмечает Хакен, между неравновесными и равновесными фазовыми переходами имеется глубокая аналогия. В последних аналогом потенциала является та или иная термодинамическая функция состояния, например, свободная энергия  $F(q,T)$ . В этом случае функция распределения имеет вид, аналогичный (72):

$$f(q) = N \exp[-F/k_B T] \quad (73)$$

И наиболее вероятное состояние системы определяется минимумом свободной энергии. Причем Хакен полагает, что теория равновесных фазовых переходов является фактически частным случаем теории неравновесных фазовых переходов, что в рамках вышеприведенного формализма означает, что термодинамические функции типа свободной энергии являются частным случаем потенциала в стационарном решении уравнения Фокера-Планка. Причем в своей книге [6] он приводит пример перехода от описания процесса посредством формализма равновесных фазовых переходов к его же описанию на основе формализма неравновесных фазовых переходов. Кратко остановимся на этом вопросе.

Хакен рассматривает в качестве примера ферромагнетик. Пусть параметр порядка, зависящий от координаты, будет обозначен  $q(x)$ . Тогда свободная энергия будет зависеть от параметра порядка  $q(x)$  и температуры  $T$  и представляется в виде известного функционала Гинзбурга-Ландау:

$$F(q(x), T) = F_0(0, T) + \int d^n x \left\{ \frac{a}{2} q(x)^2 + \frac{b}{4} q(x)^4 + \frac{g}{2} (\nabla q(x))^2 \right\} \quad (74)$$

Тогда функция распределения имеет вид:

$$f(q(x)) = N \exp[-F(q(x))/k_B T] \quad (75)$$

Уравнение релаксации  $q(x)$  к стационарному значению:

$$\dot{q}(x) = -\frac{dF}{dq(x)} \quad (76)$$

Подстановка (74) в (76) дает зависящее от времени уравнение Гинзбурга-Ландау:

$$\dot{q} = -aq - bq^3 + g\Delta q + F \quad (77)$$

В нем для учета флуктуаций введена флуктуирующая сила  $F$ . Мы видим, что данное уравнение фактически является уравнением Ланжевена, используемом в теории неравновесных фазовых переходов. Если флуктуирующие силы  $F$  гаусовы и марковские с равным нулю средним значением и если

$$\langle F(x', t') F(x, t) \rangle = Q d(x-x') d(t-t') \quad (78)$$

то уравнение Ланжевена (77) оказывается эквивалентно функциональному уравнению Фокера-Планка

$$\dot{f} = \int d^n x \left\{ \frac{d}{dq(x)} (aq(x) + bq(x)^3 - g\Delta q(x)) + \frac{Q}{2} \frac{d^2}{dq(x)^2} \right\} f \quad (79)$$

Его стационарное решение записывается как:

$$f = N \exp \left[ -\frac{2}{Q} \int d^n x \left\{ \frac{a}{2} q(x)^2 + \frac{b}{4} q(x)^4 + \frac{g}{2} (\nabla q(x))^2 \right\} \right] \quad (80)$$

Таким образом, мы видим, что в принципе можно всегда перейти от описания процесса структурной перестройки той или иной системы посредством теории равновесных фазовых переходов к его описанию в рамках теории неравновесных фазовых переходов. Очевидно, что такого рода процедуру можно провести и относительно процесса структурной перестройки вакуума, который мы вкратце

рассмотрели выше. То есть это означает, что мы, например, можем вывести уравнение Фокера-Планка, соответствующее свободной энергии (66), и с помощью него описать соответствующую структурную перестройку вакуума, придя к тем же самым результатам, что и в рамках теории равновесных фазовых переходов.

Но это - пока что лишь просто как бы перезапись тех результатов, которые и так уже были получены ранее. Но такого рода перезапись позволяет перейти к нетривиальным обобщениям. Ибо формализм теории неравновесных фазовых переходов дает возможность включить данное описание в более общую структуру, частным случаем каковой оно будет являться. При этом, что особенно важно, кроме такого параметра как температура могут появиться и другие параметры, изменение каковых будет вызывать перестройку вакуума. Например, здесь принципиальную роль может сыграть геометрия граничных условий, что позволит объяснить так называемый эффект формы, когда в объемах определенной формы (пирамиды и т.д.) меняется ход ряда процессов (например, старения металла). Таким образом, можно предположить, что развитие данного подхода позволит получить весьма интересные и качественно новые результаты в физике вакуума.

Теперь подытожим сказанное выше.

Итак, мы видели, что один и тот же лагранжиан, соответствующий рассматриваемому полю, допускает возможность множества вакуумных состояний, ибо различным значениям параметров (например, температуры) соответствуют разные виды минимумов потенциальной энергии. При прохождении параметров через критические точки ранее устойчивое основное состояние перестает быть таковым, и возникает новое устойчивое состояние (соответствующее новому минимальному значению потенциальной энергии). По аналогии с физикой твердого тела и т.д. такого рода процесс называют фазовым переходом.

То, что для нас сейчас наиболее интересно, так это то, что при переходе в результате фазового превращения из одного основного состояния в другое меняются свойства полей. Так, например, в случае фазового перехода, связанного со спонтанным нарушением локальной калибровочной симметрии, у ранее безмассовых калибровочных полей возникает масса.

То есть мы видим, что согласно современным теориям наблюдаемые нами проявления полей есть лишь некоторые частные реализации тех возможностей, которые таятся в их лагранжианах. Переход от одних реализаций к другим происходит путем фазового перехода, меняющего структуру основного состояния (вакуума) данного поля. Но это - тот класс процессов, которые можно назвать равновесными фазовыми переходами. Для того, чтобы их вызвать, согласно современным космогоническим теориям требуются огромные температуры, давления и т.д.

При переходе к необратимой динамике логичным шагом является использование концепции неравновесных фазовых переходов, условия осуществления которых могут быть несопоставимо более многообразными, чем у равновесных. Это связано с тем, что в случае равновесных фазовых превращений энтропия жестко связывается с температурой, и повышение уровня энтропии - это есть фактически повышение температуры рассматриваемого объекта, а понижение энтропии и рост упорядоченности - связан с понижением температуры. В случае же неравновесных фазовых переходов производство энтропии или же, наоборот, резкое повышение негэнтропии связано с неравновесными процессами и не определяется более лишь нагревом или же

охлаждением системы. Того же уровня энтропии, для которого в равновесном случае требуются звездные температуры, в неравновесном случае можно достичь при комнатной температуре без особых затрат энергии. Это значит, что неравновесными системами можно управлять, переводя их из одного стационарного состояния в другое, без особых затрат энергии. Но зато здесь требуется знание резонансных воздействий, специфических для каждой конкретной системы.

Переход к неравновесным фазовым переходам связан с описанием динамики полей нелинейными уравнениями, в которых можно выделить как переменные, описывающие состояние поля, так и параметры, определяющие структуру уравнений динамики. Соответственно в параметрическом пространстве имеются области, каждая из которых характеризуется своим стационарным состоянием поля. Эти области аналогичны тем минимумам потенциала, о которых мы говорили в случае моделирования полей с использованием концепций равновесных фазовых переходов. Продолжая эту аналогию, можно сказать, что каждая такая область характеризуется своим основным, вакуумным состоянием поля. Переход через границу области - это неравновесный фазовый переход, в результате которого у нас меняется вакуумное состояние, и, соответственно, качественно меняются свойства полей.

Каждое стационарное состояние характеризуется тем, что оно устойчиво. Это значит, что любые отклонения от него, флуктуации быстро затухают. Но в случае теории поля отклонение от стационарного состояния - это значит спонтанное проявление полей с качественно новыми свойствами. При приближении к границе области устойчивость стационарного состояния уменьшается, начинают нарастать флуктуации. При переходе же через границу прежнее стационарное состояние становится неустойчивым, и система переходит в новое состояние.

Часто ситуация бывает сложнее, когда имеется несколько возможных устойчивых состояний, между которыми в ходе процессов самоорганизации возникает конкурентная борьба, в результате которой выживает одно или комбинация из нескольких состояний.

Вернемся теперь вновь к рассмотренному выше примеру электромагнитного поля с продольной компонентой. Как мы отмечали, такое поле имеет более широкую группу симметрии и, очевидно, обладает большим богатством динамики, чем обычное электромагнитное поле. В рамках развиваемого подхода можно сказать, что обычному электромагнитному полю соответствует определенная область в параметрическом пространстве. Когда мы в ней находимся, то устойчивым является поведение, описываемое уравнениями Максвелла. Флуктуации же, возникающие на фоне устойчивого основного состояния, проявляются как возникновение электромагнитного поля с продольной компонентой. При приближении к границе области флуктуации такого рода нарастают, приобретают более устойчивый характер. Поэтому мы и назвали данное поле диссипативным, ибо оно связано с проявлением неравновесности, необратимости динамики электромагнитного поля как такового. В этом смысле как недиссипативная (обычное электромагнитное поле), так и диссипативная (поле с продольной компонентой) составляющие являются проявлениями одного и того же нелинейного объекта.

Можно предположить, что деление динамики на обратимую и необратимую, выделение диссипативной и недиссипативной составляющей процессов носит достаточно относительный характер. То стабильное состояние мира, которое классическая физика считала описываемым обратимыми во времени уравнениями динамики, может оказаться всего лишь устойчивым стационарным состоянием, в

котором установилось настолько точное равновесие между энтропийными и неэнтропийными потоками, что возникает впечатление об отсутствии в нем необратимых процессов. На самом же деле может оказаться, что вся Вселенная по своей сущности является принципиально неравновесной системой, несущей в себе возможность бесчисленных модификаций, эволюция которой не прекращается никогда.

Данный раздел хотелось бы закончить словами Пригожина:

“Именно в космологическом контексте формулировка законов природы как несводимых вероятностных представлений влечет за собой наиболее поразительные следствия. Многие физики полагают, что прогресс физики должен привести к созданию объединенной теории... Если такая универсальная теория когда-нибудь будет сформулирована, она должна будет включать в себя динамическую неустойчивость и таким образом учитывать нарушение симметрии во времени, необратимость и вероятность. И тогда надежда на построение такой “теории всего”, из которой можно было бы вывести полное описание физической реальности, придется оставить. Вместо посылок для дедуктивного вывода мы можем надеяться обрести принципы согласованного “повествования”, из которых следовали бы не только законы, но и события, что придавало бы смысл вероятностному возникновению новых форм как регулярного поведения, так и неустойчивостей. В этой связи мы хотели бы привести аналогичные заключения Вальтера Тирринга: “Протоуравнение (если такая вещь вообще существует) должно потенциально содержать все возможные пути, которые могла бы избрать Вселенная, и, следовательно, множество “линий задержки”. Располагая таким уравнением, физика оказалась бы в ситуации, аналогичной той, которая создалась в математике около 1930 г., когда Гедель показал, что математические конструкции могут быть непротиворечивыми и тем не менее содержать истинные утверждения, не выводимые в их рамках. Аналогично, “протоуравнение” не будет противоречить опыту, в противном случае его следовало бы видоизменить, но оно далеко не будет определять все. *По мере того как Вселенная эволюционирует, обстоятельства создают свои законы.*” Именно к такому представлению о Вселенной, развивающейся по своим внутренним законам, мы приходим на основе нашей несводимой формулировки законов природы”([4]. стр. 245).

#### **9. Заключение. Возможные перспективы применения данного подхода.**

В конце первого раздела данной работы мы пришли к заключению о том, что основным препятствием на пути использования достижений фундаментальной физики является представление об асимметрии взаимоотношений микро- и макромира, разрыв в способах их описания. Теперь мы видим, что развитие идей Пригожина, переосмысление через их “призму” теории поля, космогонии приводит к унификации описания всех составляющих нашей реальности.

Обычно считается, что эволюция макромира (образование звезд, галактик, планет, процессы формообразования в живой и неживой природе и т.д.) начинается тогда, когда эволюция микромира уже завершена. Свойства вакуума, полей и т.д. нам теперь жестко заданы, и нам не дано их менять. Мы можем лишь использовать то, что уже есть.

В рамках нового подхода ситуация кардинально меняется. Развитие макро- и микромира находятся в неразрывной взаимосвязи, причем эволюция микромира

(то есть изменение структуры вакуума, свойств полей, появление новых полей и т.д.) не закончилась миллиарды лет назад, она продолжается всегда. Просто в тот древний период формировалась общая основа нашей Вселенной, то, в рамках чего сосуществуют самые разные классы систем, от звезд до человеческих существ. После завершения того древнего периода эволюция микромира приобрела другой характер, а именно - она перестала быть общей и единообразной для всей Вселенной. Можно сказать, что для разных классов систем стали формироваться свои основные состояния (вакуумы), внутренние времена и пространства, которые поддерживаются процессами самоорганизации, специфичными для каждого класса. При этом все эти системы и связанные с ними “локальные вакуумы”, внутренние времена и пространства остаются “погруженными” в общее пространство-время и вакуум Вселенной, благодаря чему столь разные по своей природе объекты продолжают соотноситься, сосуществовать друг с другом.

Следуя этой логике можно сказать, что путь дальнейшего технологического развития - это путь конструирования систем, способных динамически менять свое вакуумное состояние, генерировать различного рода диссипативные поля с необходимыми свойствами и т.д. Спектр применения такого рода технологий практически неограничен. Это, например, новые источники энергии (ведь в том случае, если взаимодействие вакуума и материи носит неравновесный характер, то можно инициировать выделение энергии из вакуума путем определенных резонансных воздействий), материалы с новыми свойствами (так, поддержание новых вакуумных состояний позволяет существовать таким состояниям и структурам вещества, которые крайне маловероятны в рамках стандартного основного состояния), использование диссипативных полей для дистанционной перестройки и формирования систем (как говорилось выше, диссипативные поля имеют энтропийную и неэнтропийную составляющие, поэтому с помощью энтропийной составляющей можно инициировать неравновесные процессы в системе, а с помощью неэнтропийной - осуществлять перенос управляющих информационных воздействий) и т.д.

Но, чтобы выйти на уровень такого рода технологий, требуется предварительное проведение исследований как теоретического, так и экспериментального характера. Возможные направления такого рода исследований мы постараемся сейчас кратко обрисовать.

## **10. Основные направления исследований.**

### **10.1. Экспериментальные исследования.**

Экспериментальные исследования можно разделить на две основные части. Первая из них связана с изучением способов генерации и детекции диссипативных полей, выявлением и классификацией их свойств. Вторая - с их исследованием в контексте возможных областей применения. Рассмотрим теперь в общих чертах первую из частей.

Как уже говорилось выше, диссипативные поля в обычных условиях проявляются как флуктуации на фоне недиссипативных полей. Поэтому проблема генерации диссипативных полей - это, фактически, проблема создания условий, при которых диссипативные поля становятся устойчивыми. В силу того, что по своей природе диссипативные поля носят неравновесный характер, ясно, что для их генерации и поддержания требуется создание активных зон, сред, в которых



протекают сильно неравновесные процессы, сопровождающиеся значительным производством энтропии. Образно выражаясь, необходимо создание зон хаоса.

Можно сказать, что для создания зон хаоса требуется, с одной стороны, некая активная среда, с другой стороны - потоки излучений различных спектральных диапазонов, “накачивающих”, возбуждающих активную среду и запускающие в ней неравновесные процессы.

Но создание зон хаоса - это некое общее условие. Необходимо подбирать хаос, который специфичен для того класса полей, который мы хотим активизировать. В первую очередь это касается тех сред, в которых мы активизируем хаотические процессы. Так, например, если мы хотим генерировать электромагнитное поле с продольной компонентой, то логичным является использование сред, являющихся системой из таких взаимодействующих факторов, как вещество и электромагнитное излучение. При этом, как известно, переход к хаотическим процессам сопровождается возникновением широкого спектра частот ([10], стр. 54). Поэтому желательно подбирать такую среду, которая способна поддерживать взаимодействие с электромагнитным излучением в широком частотном спектре. При этом чем шире спектр, тем более интересные эффекты могут возникать.

Можно дать следующие предварительные общие рекомендации как относительно подбора активных сред, так и накачивающих их потоков излучений:

- желательно, чтобы активные среды могли поддерживать взаимодействие с излучениями в максимально широких частотных диапазонах, перекрывающих те диапазоны, которые характерны для тех или иных имеющихся в природе упорядоченных систем (кристаллов, жидкостей, биообъектов и т.д.). То есть, фактически, желательно, чтобы поддерживаемый в среде спектр вмещал бы в себя (перекрывал) спектральные диапазоны природных систем различного класса;

- желательно, чтобы в данной среде были бы одновременно представлены симметрии, свойственные объектам разных классов. В качестве одного крайне интересного и перспективного примера такого рода сред можно предложить среды с квазикристаллической симметрией (например, квазикристаллы, в которых реализуется осевая симметрия 5-го порядка, считающаяся запрещенной для обычных кристаллов);

- весьма перспективным является использование многокомпонентных сред, различными взаимосвязанными компонентами которых были бы кристаллы, биомолекулярные структуры, жидкие среды и т.д, то есть различные типы природных систем;

- излучение накачки должно иметь широкий спектр;

- должна иметься возможность варьирования интенсивности различных спектральных составляющих;

- желательно использовать одновременно излучения различной природы (например, комбинировать электромагнитное и акустическое излучения).

Активизация хаотических процессов - это, фактически, активизация энтропийной составляющей диссипативных полей. Но, как писалось выше, откликом на всплеск производства энтропии является всплеск негэнтропии, из хаоса рождается порядок. То есть за активизацией энтропийной составляющей диссипативных полей автоматически происходит активизация их негэнтропийной составляющей. В результате мы имеем поле с двумя взаимодействующими компонентами - энтропийной и негэнтропийной. Если пользоваться аналогиями из теории равновесных фазовых переходов, то можно сказать, что диссипативное поле аналогично веществу, находящемуся в

критической зоне перехода из одного фазового состояния в другое, когда хаос и порядок сосуществуют друг с другом. Поэтому поддержание диссипативных полей - это, фактически, поддержание такого рода критического состояния.

Можно предположить, что энтропийная составляющая диссипативных полей с математической точки зрения является фракталом, ибо, как известно, наиболее адекватным математическим объектом для описания хаотических процессов является фрактал. Негоэнтропийная составляющая представляет собой определенным образом упорядоченное поле, то есть поле, являющееся возбуждением над определенным основным (вакуумным) состоянием. В этом смысле об диссипативном поле можно говорить как о неравновесном вакууме, находящемся в критическом состоянии. Энтропийная составляющая - это неупорядоченный аспект вакуума, негоэнтропийная - сосуществующий с ним упорядоченный.

Итак, с помощью запуска неравновесных процессов мы можем инициировать такого рода критическое состояние, но для его поддержания требуются дополнительные условия. Для их выявления можно воспользоваться аналогией с генерацией обычных полей. Так, известно, что в лазерах (да и в других устройствах такого рода) для “накопления” излучений определенных длин волн и соотношений между фазами требуется создания резонаторов, параметры которых отвечают характеристикам излучаемых полей. В нашем случае также необходимо создание соответствующих резонаторов, но они должны учитывать специфику диссипативных полей. Так, выше говорилось, что диссипативные поля характеризуются симметриями, присущими живой природе (симметрия подобия, конформная симметрия, фрактальные структуры и т.д.). Это означает, что геометрия резонаторов должна определяться такого рода симметрией. Особый интерес представляет такой инвариант как золотое сечение, ибо, как выше замечалось, именно золотое сечение связано с гармоничным поддержанием взаимоотношения хаоса и порядка. Это значит, что резонаторы, в геометрии которых заложен принцип золотого сечения, будут поддерживать то критическое состояние вакуума, с которым связано само существование диссипативных полей.

Итак, мы видим, что задача генерации диссипативных полей имеет три аспекта:

- подбор активных сред, в которых инициируются хаотические процессы;
- подбор излучений, “накачивающих” активную среду и запускающих в ней неравновесные процессы;
- подбор геометрии резонаторов, внутри которых осуществляются неравновесные процессы в той или иной активной среде.

Следующая задача - это детекция диссипативных полей. Очевидно, что устройства для детекции должны быть аналогичны устройствам для генерации. Фактически это - генераторы в ждущем режиме с устройствами, отражающими состояние их активной среды.

Как уже говорилось выше, вторая часть исследований диссипативных полей - это исследования в контексте их возможных применений. Здесь заранее трудно выделить весь спектр возможных работ. Наиболее очевидные из них - это изучение воздействий диссипативных полей на различного рода материалы, на процессы химического и биологического синтеза, на ядерные процессы, процессы кристаллизации и т.д. С данными работами неразрывно связана проблема “модуляции” диссипативных полей, нагружения их нужной нам информацией для осуществления эффекта информационного переноса на тот или иной класс сред в целях управления их состоянием.

Также весьма большой интерес представляет изучение энергетического баланса в ходе генерации диссипативных полей и их взаимодействия с разного рода процессами и веществом. Данное направление связано с поиском возможностей использования энергии вакуума, находящегося на грани неравновесного фазового перехода.

Итак, кратко очертив направления экспериментальных исследований, перейдем теперь к рассмотрению вопроса о направлениях теоретических исследований в данной области.

### **10.2. Теоретические исследования.**

В теоретических исследованиях можно выделить две основные составляющие. Первая из них - это общее развитие концепции неравновесной Вселенной, как с качественной, так и с формальной точек зрения. Вторая из них - это теоретическое обеспечение экспериментальных исследований. Рассмотрим сначала первую составляющую.

В своих работах И.Пригожин и его школа достаточно далеко продвинулись в описании энтропийной составляющей необратимых процессов. В то же время все, что касается исследований неэнтропийной составляющей, находится пока что в зачаточном состоянии. Поэтому важнейшей задачей является как общепhilosophическое осмысление этой стороны реальности, так и развитие формализма для описания неэнтропийной составляющей диссипативных процессов и ее взаимодействия с энтропийной составляющей. Некоторые аспекты этих проблем были уже рассмотрены выше.

Другим важным направлением является перенесение подходов, развитых в физике неравновесных систем, на уровень описания фундамента, основы нашей реальности. Это значит, что современные космогонические теории, единые теории поля и т.д., основанные на обратимых уравнениях динамики, следует "переписать" на основе уравнений динамики, необратимых во времени. Но это - глобальная задача. То же, что является наиболее актуальным в плане обеспечения быстрейших приложений - это развитие теории диссипативных полей, неравновесных фазовых переходов в вакууме.

Теперь остановимся на второй составляющей теоретических исследований. Здесь можно выделить следующие направления:

- исследование симметрий, характерных для живой природы;
- нахождение нелинейных уравнений, стационарные состояния которых реализуют различного рода комбинации симметрий как живой, так и неживой природы. В этом смысле весьма большой интерес представляют исследования по реализации стохастических процессов с фрактальной структурой, обладающей симметрией типа "квазикристалл";
- расчет нелинейных процессов в различного рода средах, используемых для генерации диссипативных полей.

## **11. Литература.**

1. А.Д.Линде "Физика элементарных частиц и инфляционная космогония", Москва "Наука", 1990
2. Г.Николис, И.Пригожин, "Познание сложного", Москва "Мир", 1990
3. И.Д.Новиков "Как взорвалась Вселенная", Москва "Наука", 1988

4. И.Пригожин, И.Стенгерс “Время, хаос, квант”, Москва, “Прогресс”, 1994
5. И. Пригожин “От существующего к возникающему” Москва, “Наука”1985
6. Г.Хакен “Синергетика”, “Мир”, 1980
7. Ф.Хелзен, А.Мартин “Кварки и лептоны”,Москва, Мир, 1987
8. Г.Кейн, “Современная физика элементарных частиц”, Москва,“Мир”, 1990
9. Фейнманн Р., Хиббс А. “Квантовая механика и интегралы по траекториям”. Москва “Мир”,1968
10. Ф.Мун “Хаотические колебания”, Москва “Мир”, 1990, стр. 54
11. Гейдт В.В. Конформный вариант уравнений Максвелла и Лоренца. Препринт ?588.- Новосибирск, 1985.
12. Хакен Г. “Инфоормация и самоорганизация”, Москва “Мир” 1991.
13. УФН, том 142, выпуск 4, А.А.Гриб, “Неравенства Белла”
14. С.В.Петухов, Геометрия живой природы и алгоритмы самоорганизации. “Знание”, Москва, 1988.
15. А.С.Сонин, Постигение совершенства, “Знание”, Москва, 1987.