Книга И.Пригожина, И.Стенгерса «Время, хаос, квант» является результатом многолетних исследований. Центральной темой данной книги является вопрос о парадоксе времени. Проблемы времени, как пишут сами авторы, все время их привлекала, и всю жизнь существовало убеждение, что происхождение необратимости времени коренится в проблеме неустойчивости. Однако на пути к реализации замыслов авторы встретили множество препятствий, причем не только технических.

Парадокс времени рассмотрен в книге как проблема, решение которой требует расширения основной концептуальной схемы теоретической физики.

В результате слияния трех линий исследований возникла формулировка новой, непротиворечивой схемы.

1. Неравновесная статистическая механика привела к лучшему пониманию физического смысла времени: это привело к формулировке динамики корреляции «предшественницы несводимого вероятностного описания».

2. Решающую роль сыграла теория хаоса, начало которой было заложено в трудах Пуанкаре.

3. К хаосу применили идеи и методы тех разделов функционального анализа, основы которых были заложены в работах Гельфанда.

Эти три условия и помогли сформулировать «законы хаоса». «В классической динамике хаос определяется экспоненциальным разбеганием траекторий, но такое определение хаоса не допускает обобщения на квантовую теорию. В квантовой теории нет «экспоненциального разбегания» волновых функций и, следовательно, не существует чувствительности к начальным условиям в обычном смысле».

В книге также рассматривается проблема центральной роли «законов природы».

Как известно, прототипом универсального закона природы служит закон Ньютона «ускорение пропорционально силе». Этот закон имеет две фундаментальные особенности. Он детерминистичен: если известны начальные условия, то можно предсказать движение. Также он обратим во времени: между предсказанием будущего и восстановлением прошлого нет никакого различия; движение к будущему состоянию и обратное движение от текущего состояния к начальному эквивалентны. Закон Ньютона лежит в основе классической механики, науки о движении материи, о траекториях. Несмотря на то, что теперь существует квантовая механика, теория относительности, такие характеристики закона Ньютона, как детерминизм и обратимость во времени сохранились.

Далее, рассуждая о законах природы, о трактовке их другими учеными, авторы задают вопрос, Возможно ли включить в фундаментальное описание природы необратимость события и стрелу времени?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно пересмотреть формулировку законов природы. Пересмотр этой формулировки стал возможен благодаря успехам, связанным с идеями неустойчивости и хаоса.

Для начала авторы решили рассмотреть классическую динамику.

Допустим, что все системы, описываемые законом Ньютона, в чем-то одинаковы. Понятно, что рассчитать траекторию падающего камня проще, чем траекторию «системы трех тел», например, Солнца, Земли и Юпитера. Однако в последствие выяснилось, что не все динамические системы одинаковы. Существуют устойчивые и неустойчивые динамические системы. В некотором смысле крайним случаем неустойчивых систем являются «хаотические системы», для которых описание в терминах траекторий недостаточно, так как траектории сколь угодно близкие далее расходятся.

Таким образом, здесь появляется понятие «хаос», который также является предметом изучения макроскопических необратимых процессов.

Под этим углом изучения хаоса, авторы столкнулись с «негативными» аспектами хаоса – невозможностью определенных предсказаний вследствие экспоненциальной расходимости соседних траекторий. Это соответствует «чувствительности к начальным условиям» - обычному определению хаоса. Однако новый важный элемент состоит в том, что хаос имеет и «позитивные» аспекты. Так как траектории являются «чрезмерной идеализацией», авторы обратились к вероятностному описанию в терминах ансамбля траекторий. Однако следует учесть, что вероятностное описание неприменимо к отдельной траектории, кроме того в нем будущее и прошлое играют различные роли. «Хаос приводит к включению стрелы времени в фундаментальное динамическое описание».

Хаос не только позволяет разрешить парадокс времени, но делает нечто большее, а именно привносит вероятность в классическую динамику. И в этом контексте вероятность выступает не как порождение незнания, а как неизбежное выражение хаоса.

Таким образом, определяемый хаос приводит к несводимому вероятностному описанию.

Далее обращается следующее утверждение: все системы, допускающие несводимое вероятностное описание, по определению будут считаться хаотическими. Таким образом, системы, о которых идет речь, допускают описание не в терминах отдельных траекторий, а только в терминах ансамблей траекторий. С операционной точки зрения, область хаоса расширяется и включает обширные семейства классических или квантовых систем, в действительности – всех систем, которые соответствуют фундаментальному описанию природы, как его понимают сегодня. Широкое обобщение понятия хаоса позволяет констатировать необходимость новой формулировки законов физики.

Первая формулировка основана на исследовании траекторий и волновых функций, вторая на теории ансамблей Гиббса и Эйнштейна.

Но с динамической точки зрения вторая формулировка не вносит нового элемента, поскольку, будучи примененной к отдельным траекториям или волновым функциям, сводится к первой формулировке.

Третья формулировка, к которой приходят авторы, имеет особый статус, так как она применима только к ансамблям и справедлива только для хаотических систем. Она приводит к результатам, которые не могли быть получены ни на основе ньютоновской механики, ни на основе квантовой механики. Именно эта формулировка образует базис для синтеза, объединяющего свойства микромира и макромира, так как она вводит необратимость в фундаментальное описание природы.

Элементы, включающие в себя хаос, стрелу времени и решение квантового парадокса, приводят к более целостной концепции природы, в которой становление и «события» входят на всех уровнях описания.

В традиционном понимании законы природы был законами, описывающими замкнутую детерминистическую Вселенную, прошлое и будущее которой считались эквивалентными. Но этот подход привел к отчуждению фундаментальной физики, мыслившей в терминах традиционных законов природы, от всех остальных наук, исходивших в своих описаниях из допущения о существовании стрелы времени. В настоящее время становится понятно, что детерминистические симметричные во времени законы соответствуют только весьма частным случаям. Они верны только для устойчивых классических и квантовых систем. Несводимые вероятностные законы приводят к картине «открытого мира», в котором в каждый момент времени в игру вступают все новые возможности.

Однако речь шла о несводимом вероятностном описании. В книге авторы распространяют полученные ими результаты на ситуации, которые представляют интерес в классической и квантовой теории. Однако основной трудностью является исключение теории Пуанкаре. Устранение этой теории начинается с важного наблюдения. «И в классической, и в квантовой физике время входит в описание двумя различными способами: как параметр в уравнениях движения, или при введении «хронологического упорядочения».

Характерная особенность метода, предложенного авторами, состоит в том, что оба аспекта времени играют существенную роль. Для устранения расходимостей Пуанкаре необходимо хронологическое упорядочение.

Расходимости, по мере того, как они устранены, проявляются в нарушении симметрии во времени. Для устойчивых динамических систем уравнения движения, а также их решения симметричны во времени. Для неустойчивых динамических систем уравнения остаются симметричными, но возникают два семейства решений с нарушенной симметрией во времени. Это нарушение симметрии играет важную роль в решении парадокса времени: природа менее симметрична, чем можно было бы ожидать, исходя из уравнений классической и квантовой физики.

В качестве примера авторы рассматривают распад нестабильной частицы. Одно семейство, получаемых решений, предсказывает распад в будущем, другое – в прошлом.

В природе же реализуется лишь один тип решений, а именно семейство, соответствующее распаду в будущем.

В общем случае хронологическое упорядочение должно производиться на уровне статистического описания, оперирующего с ансамблями. Именно в рамках этого статистического описания мы можем устранить расходимости Пуанкаре и сформулировать динамическое описание для хаотических, классических и квантовых систем.

Другая трудность возникает при описании явлений того типа, которые мы можем связать с «рождением Вселенной». Описание «первичного явления» всегда требует определенного прогнозирования, поскольку физические условия, при которых оно происходило, сильно отличаются от наблюдаемых ныне, даже в самых мощных ускорителях. Однако альтернатива – сингулярность или неустойчивость – относится к выбору одной из двух различных концептуальных схем, заслуживающих подробного исследования.

Большой взрыв, как сингулярность, принадлежит классической традиции, неотъемлемыми частями которой являются ОТО и стандартная космологическая модель. При таком описании не существует выделенного направления времени: происходящая ныне космологическая эволюция сопровождается расширением Вселенной, но с тем же успехом при других начальных условиях расширение могло смениться сжатием. В отличие от этого, представление о неустойчивости, переходе, переводящим Вселенную из одного состояния в другое, выдвигает на передний план необратимость.

Кроме того, неустойчивость приводит нас к проблеме хаоса. Как уже было сказано, хаос вынудил авторов пересмотреть смысл законов природы. Таким образом, именно здесь в мире квантовой гравитации, следствия принятой авторами новой концептуальной схемы выступают с полной отчетливостью. Даже Вселенная является незамкнутой системой. Она погружена в квантовый вакуум. Ее рождение следует не детерминистическому закону, а реализует некую возможность.

Не откуда не следует, что другие реализации не были бы совместимы с законами квантовой гравитации в первые мгновения после Большого Взрыва.

Аналогичным образом, все законы физики в конечном счете относятся к возможностям, и реализация мира, такого, каким он является сейчас, является результатом такой возможности.

Будущее при нашем подходе перестает быть данным; оно не заложено более в настоящем. Это означает конец классического идеала всеведения. Мир процессов, в котором мы живем, и который является частью нас, не может отвергаться как видимость или иллюзия, определяемая нашим ограниченным способом наблюдения.

«Таким образом, реальный мир управляется не детерминистическими законами и не абсолютной случайностью. В промежуточном описании физические законы приводят к новой форме познаваемости, выражаемой несводимыми вероятностными представлениями. Ассоциируемые теперь с неустойчивостью несводимые вероятностные представления оперируют с возможностью событий, но не сводят реальное индивидуальное представление к выводимому предсказуемому следствию».