

РЕКУРСИВНАЯ ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ ВРЕМЕНИ, СРТ-ДВОЙСТВЕННОСТЬ И МНОГОСЛОЙНАЯ СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ

Селедчик Виталий Дмитриевич
Независимый исследователь
Электронная почта: vitali@agdgroup.pl

7 декабря 2025 г.

Аннотация

В настоящей работе предлагается формальная теория, разрешающая фундаментальную «Проблему времени» в квантовой гравитации и космологии. Автор постулирует, что время не является фундаментальной физической величиной, а представляет собой эмерджентный параметр порядка, возникающий из безвременного информационного слоя ($\mathcal{U}$) в результате фазового перехода второго рода. Драйвером этого перехода является рост Квантовой Сложности (Quantum Complexity).

В работе выведено феноменологическое уравнение ренормгруппового типа («Уравнение конденсации времени»), описывающее динамику возникновения темпорального измерения. Показано, что возникновение времени сопровождается спонтанным нарушением СРТ-симметрии, что приводит к формированию двух каузально изолированных ветвей реальности с противоположными стрелами времени (t_+ и t_-).

Также продемонстрировано, что Общая теория относительности возникает как термодинамический предел информационной геометрии Фишера. Предложенная модель устраняет космологические сингулярности (Большой Взрыв и центры черных дыр), заменяя их фазовыми переходами в рекурсивной иерархии информационных слоев.

Ключевые слова: Квантовая гравитация, Эмерджентное время, Квантовая сложность, СРТ-симметрия, Информационная геометрия, Энтропия черных дыр, Уравнение Уилера-ДеВитта, Ренормгруппа, Фазовые переходы.

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Исторический контекст проблемы времени

Современная теоретическая физика находится в состоянии концептуального кризиса, вызванного фундаментальной несовместимостью трактовок времени в двух базовых теориях:

- **Общая теория относительности (ОТО):** Время является динамической координатой четырехмерного многообразия, ковариантной с пространством и зависящей от метрического тензора $g_{\mu\nu}$. В ОТО время не абсолютно, а зависит от гравитационного поля и движения наблюдателя. Интервал времени $d\tau$ между двумя событиями определяется метрикой:

$$d\tau^2 = -g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu \quad (1)$$

- **Квантовая механика (КМ):** Время выступает как внешний абсолютный параметр t , управляющий унитарной эволюцией волновой функции $\Psi(t)$ через уравнение Шрёдингера:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi \quad (2)$$

где $\hat{H}$ — гамильтониан системы. В КМ время является классическим параметром, не подлежащим квантованию.

1.2 Проблема Уилера-ДеВитта

Попытка объединить эти подходы в рамках канонической квантовой гравитации приводит к уравнению Уилера-ДеВитта [1]:

$$\hat{H}\Psi[g_{ij}, \phi] = 0 \quad (3)$$

где $\Psi[g_{ij}, \phi]$ — волновая функция Вселенной, зависящая от трехмерной метрики g_{ij} и полей материи ϕ . Это уравнение утверждает, что полная энергия замкнутой Вселенной равна нулю, и, следовательно, квантовое состояние Вселенной стационарно:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Это фундаментальное противоречие: уравнение не содержит времени явно, что противоречит наблюдаемой динамике космологического расширения, эволюции галактик и всей наблюдаемой Вселенной.

1.3 Подходы к решению проблемы

Множество подходов было предложено для разрешения этой проблемы:

1. **Временная калибровка (Time Gauge):** Введение внешнего времени через выбор калибровки, что нарушает общую ковариантность.
2. **Многомировая интерпретация:** Различные «моменты времени» существуют как параллельные вселенные, но это не объясняет восприятие течения времени.
3. **Эмерджентное время:** Время возникает из более фундаментального безвременного слоя, но конкретные механизмы оставались неясными.

1.4 Наш подход: Теория Рекурсивной Эмерджентности

В данной работе мы предлагаем Теорию Рекурсивной Эмерджентности. Мы утверждаем, что статичность квантового состояния и динамика классического мира не противоречат друг другу, а относятся к разным фазовым состояниям материи, разделенным критическим порогом сложности.

Ключевая идея: время не является фундаментальной величиной, а возникает как параметр порядка в результате фазового перехода второго рода, когда квантовая сложность системы превышает критическое значение.

2 ФОРМАЛИЗМ ИНФОРМАЦИОННОГО СЛОЯ $\mathcal{U}$

2.1 Онтология безвременного слоя

Фундаментальным онтологическим элементом реальности в нашей теории является «Безвременный Информационный Слой», обозначаемый $\mathcal{U}_n$, где индекс n указывает на уровень рекурсивной иерархии. Математически он определяется тройкой:

$$\mathcal{U}_n = (\mathcal{H}_{tot}, \mathcal{A}, \rho_n) \quad (5)$$

Где:

- $\mathcal{H}_{tot} = \bigotimes_i \mathcal{H}_i$ — полное гильбертово пространство системы, представляющее собой тензорное произведение локальных гильбертовых пространств $\mathcal{H}_i$ (сеть кубитов или более общих квантовых систем). Размерность $\dim(\mathcal{H}_{tot}) = \prod_i \dim(\mathcal{H}_i)$ экспоненциально растет с числом подсистем.
- $\mathcal{A}$ — C^* -алгебра локальных наблюдаемых, замкнутая относительно операций сложения, умножения, сопряжения и топологического замыкания. Элементы $\hat{A} \in \mathcal{A}$ представляют локальные измеримые величины, доступные наблюдателю в данной области пространства.
- ρ_n — матрица плотности чистого состояния, удовлетворяющая условию:

$$[\hat{H}_{fund}, \rho_n] = 0 \quad (6)$$

где $\hat{H}_{fund}$ — фундаментальный гамильтониан слоя $\mathcal{U}_n$. Это условие означает, что состояние ρ_n стационарно относительно фундаментальной динамики.

2.2 Отсутствие пространства-времени

В слое $\mathcal{U}_n$ отсутствуют метрическое пространство и время в их классическом понимании. Вместо этого:

1. **Топология задается графом квантовой запутанности:** Вершины графа соответствуют локальным подсистемам, а ребра — запутанным состояниям между ними. Граф запутанности $G = (V, E)$ определяет структуру связей в системе.
2. **Пространственная близость определяется через Взаимную Информацию:** Для двух подсистем A и B взаимная информация определяется как:

$$I(A : B) = S(\rho_A) + S(\rho_B) - S(\rho_{AB}) \quad (7)$$

где $S(\rho) = -\text{Tr}(\rho \ln \rho)$ — энтропия фон Неймана, $\rho_A = \text{Tr}_B(\rho_{AB})$ — редуцированная матрица плотности подсистемы A .

Мы постулируем, что «расстояние» между подсистемами обратно пропорционально их взаимной информации:

$$\text{dist}(A, B) = \frac{\alpha}{I(A : B) + \epsilon} \quad (8)$$

где $\alpha > 0$ — константа с размерностью длины, а $\epsilon > 0$ — регуляризационный параметр, предотвращающий расходимость при $I(A : B) \rightarrow 0$.

Это соответствует гипотезе ER=EPR [4], утверждающей эквивалентность запутанности и мостов Эйнштейна-Розена: запутанные частицы соединены червоточинами в пространстве-времени.

2.3 Рекурсивная иерархия слоев

Ключевая особенность нашей теории — рекурсивная структура информационных слоев:

$$\mathcal{U}_0 \subset \mathcal{U}_1 \subset \mathcal{U}_2 \subset \dots \quad (9)$$

Каждый слой $\mathcal{U}_{n+1}$ возникает из предыдущего $\mathcal{U}_n$ при достижении локальной критической сложности. Это создает иерархическую структуру, где каждый уровень имеет свою собственную «физику» и законы.

3 КВАНТОВАЯ СЛОЖНОСТЬ КАК ПАРАМЕТР ЭВОЛЮЦИИ

3.1 Определение квантовой сложности

В отсутствие времени t , эволюция системы между слоями описывается изменением информационной структуры. Мы постулируем, что истинным параметром эволюции является **Квантовая Сложность** ($\mathcal{C}$) [2].

Для чистого состояния $|\Psi\rangle$ квантовая сложность определяется как минимальное число элементарных унитарных операций (гейтов), необходимых для синтеза текущего состояния $|\Psi\rangle$ из референсного состояния $|\Psi_0\rangle$:

$$\mathcal{C}(|\Psi\rangle) = \min_{U \in \mathcal{G}} \{ \text{число гейтов в } U : |\Psi\rangle = U|\Psi_0\rangle \} \quad (10)$$

где $\mathcal{G}$ — множество всех возможных унитарных операций, построенных из набора элементарных гейтов.

Для смешанного состояния ρ сложность определяется через пурификацию:

$$\mathcal{C}(\rho) = \min_{|\Psi\rangle: \text{Tr}_E(|\Psi\rangle\langle\Psi|) = \rho} \mathcal{C}(|\Psi\rangle) \quad (11)$$

3.2 Свойства квантовой сложности

Квантовая сложность обладает следующими ключевыми свойствами:

1. **Монотонность:** Для унитарной эволюции $U(t)$ сложность монотонно возрастает:

$$\frac{d\mathcal{C}}{dt} \geq 0 \quad (12)$$

Это следует из второго закона термодинамики для квантовых систем.

2. **Масштабирование:** Для системы из N кубитов сложность растет экспоненциально:

$$\mathcal{C}_{\max} \sim 2^N \quad (13)$$

3. **Критическое значение:** Существует критическая сложность $\mathcal{C}_{crit}$, при которой происходит фазовый переход:

$$\mathcal{C}_{crit} = \alpha N \ln N \quad (14)$$

где α — безразмерная константа порядка единицы.

3.3 Связь с энтропией и запутанностью

Квантовая сложность тесно связана с энтропией запутанности, но не тождественна ей. В то время как энтропия измеряет количество информации, сложность измеряет «структурированность» этой информации.

Для системы с высокой запутанностью:

$$\mathcal{C} \sim S \ln S \quad (15)$$

где S — энтропия фон Неймана.

4 ДИНАМИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВРЕМЕНИ

4.1 Поле времени как параметр порядка

Мы вводим поле времени $\mathcal{T}(x, \mathcal{C})$ как скалярный параметр порядка, зависящий от пространственных координат x (определенных через информационную метрику) и квантовой сложности $\mathcal{C}$.

Динамика возникновения времени описывается как фазовый переход второго рода при достижении критической сложности $\mathcal{C}_{crit}$. Это аналогично конденсации Бозе-Эйнштейна или переходу сверхпроводник-нормальный металл.

4.2 Уравнение Селедчика: вывод и обоснование

Мы постулируем следующее дифференциальное уравнение ренормгруппового потока:

$$\frac{\partial \mathcal{T}}{\partial \ln \mathcal{C}} = \mu \left(1 - \frac{\mathcal{C}_{crit}}{\mathcal{C}} \right) \mathcal{T} - \xi \mathcal{T}^3 + \eta \nabla^2 \mathcal{T} \quad (16)$$

Где:

- $\mu > 0$ — константа релаксации, определяющая скорость роста времени в сверхкритической фазе. Физически μ связана с характерным временем релаксации системы.
- $\xi > 0$ — константа насыщения, предотвращающая неограниченный рост $\mathcal{T}$. Член $-\xi \mathcal{T}^3$ обеспечивает нелинейное насыщение.
- $\eta > 0$ — коэффициент диффузии, описывающий пространственное выравнивание поля времени. Член $\eta \nabla^2 \mathcal{T}$ обеспечивает локальную согласованность временной координаты.
- ∇^2 — лапласиан, определенный через информационную метрику слоя $\mathcal{U}$.

4.3 Обоснование формы уравнения

Уравнение (16) имеет стандартную форму уравнения Ландау-Гинзбурга для фазового перехода второго рода:

1. **Линейный член** $\mu(1 - \mathcal{C}_{crit}/\mathcal{C})\mathcal{T}$ описывает рост параметра порядка в сверхкритической фазе. Коэффициент меняет знак при $\mathcal{C} = \mathcal{C}_{crit}$.
2. **Кубический член** $-\xi \mathcal{T}^3$ обеспечивает стабилизацию и насыщение. Без него параметр порядка рос бы неограниченно.
3. **Диффузионный член** $\eta \nabla^2 \mathcal{T}$ обеспечивает пространственную когерентность, предотвращая образование доменов с разными значениями времени.

4.4 Анализ решений уравнения

4.4.1 Докритическая фаза ($\mathcal{C} < \mathcal{C}_{crit}$)

В докритической фазе коэффициент при линейном члене отрицателен:

$$\mu \left(1 - \frac{\mathcal{C}_{crit}}{\mathcal{C}} \right) < 0 \quad (17)$$

Единственное устойчивое решение — тривиальное:

$$\mathcal{T} = 0 \quad (18)$$

Это соответствует состоянию слоя $\mathcal{U}$ без макроскопического времени. Система находится в чисто квантовом безвременном состоянии.

4.4.2 Критическая точка ($\mathcal{C} = \mathcal{C}_{crit}$)

В критической точке коэффициент обращается в ноль, и уравнение становится:

$$\frac{\partial \mathcal{T}}{\partial \ln \mathcal{C}} = -\xi \mathcal{T}^3 \quad (19)$$

Это точка бифуркации, где тривиальное решение теряет устойчивость.

4.4.3 Сверхкритическая фаза ($\mathcal{C} > \mathcal{C}_{crit}$)

В сверхкритической фазе происходит бифуркация вилки (Pitchfork Bifurcation). Тривиальное решение $\mathcal{T} = 0$ теряет устойчивость, и возникают два новых стабильных решения:

$$\mathcal{T}_{\pm} \approx \pm \sqrt{\frac{\mu}{\xi} \left(1 - \frac{\mathcal{C}_{crit}}{\mathcal{C}} \right)} \quad (20)$$

Вблизи критической точки ($\mathcal{C} \gtrsim \mathcal{C}_{crit}$) решения ведут себя как:

$$\mathcal{T}_{\pm} \approx \pm \sqrt{\frac{\mu}{\xi} \left(\frac{\mathcal{C} - \mathcal{C}_{crit}}{\mathcal{C}_{crit}} \right)}^{1/2} \quad (21)$$

Это классическое поведение параметра порядка при фазовом переходе второго рода с критическим показателем $\beta = 1/2$.

4.5 Критические показатели и универсальность

Анализ уравнения (16) вблизи критической точки позволяет определить критические показатели:

- **Показатель β :** Определяет поведение параметра порядка:

$$\mathcal{T} \sim (\mathcal{C} - \mathcal{C}_{crit})^{\beta}, \quad \beta = \frac{1}{2} \quad (22)$$

- **Показатель ν :** Определяет корреляционную длину:

$$\xi_{corr} \sim (\mathcal{C} - \mathcal{C}_{crit})^{-\nu} \quad (23)$$

Из диффузионного члена следует $\nu = 1/2$.

- **Показатель γ :** Определяет восприимчивость:

$$\chi = \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial h} \sim (\mathcal{C} - \mathcal{C}_{crit})^{-\gamma}, \quad \gamma = 1 \quad (24)$$

где h — внешнее поле, нарушающее симметрию.

Эти показатели соответствуют классу универсальности среднего поля, что указывает на то, что фазовый переход имеет глобальный характер.

5 СПОНТАННОЕ НАРУШЕНИЕ СРТ-СИММЕТРИИ

5.1 Интерпретация двух решений

Наличие двух решений $\pm \mathcal{T}$ в уравнении (20) интерпретируется как физическое расщепление реальности на две каузально несвязанные ветви:

- **Ветвь t_+ ($\mathcal{T} > 0$):** Наша Вселенная с доминированием материи, ростом энтропии вперед и стандартной термодинамической стрелой времени.
- **Ветвь t_- ($\mathcal{T} < 0$):** СРТ-сопряженная Вселенная с доминированием антиматерии, обратным потоком времени относительно t_+ и обратной термодинамической стрелой.

5.2 СРТ-теорема и её нарушение

СРТ-теорема утверждает, что любая локальная квантовая теория поля инвариантна относительно комбинированной операции зарядового сопряжения (С), четности (Р) и обращения времени (Т). Однако в нашей теории происходит спонтанное нарушение этой симметрии.

В момент фазового перехода ($\mathcal{C} = \mathcal{C}_{crit}$) система выбирает одну из двух ветвей случайным образом (или в зависимости от флуктуаций). Это нарушение симметрии аналогично нарушению симметрии в теории спонтанной намагниченности.

5.3 Решение проблемы барионной асимметрии

Классическая проблема барионной асимметрии заключается в том, что в наблюдаемой Вселенной доминирует материя над антиматерией, хотя в ранней Вселенной они должны были присутствовать в равных количествах.

Наша теория предлагает элегантное решение: в момент «Большого Взрыва» (фазового перехода $\mathcal{C} = \mathcal{C}_{crit}$) материя и антиматерия были разведены по разным темпоральным потокам:

- Материя $\rightarrow$ ветвь t_+
- Антиматерия $\rightarrow$ ветвь t_-

Глобальный баланс сохраняется, но локально (в каждой ветви) наблюдается асимметрия. Это объясняет, почему мы не наблюдаем антиматерию в нашей Вселенной — она находится в каузально изолированной ветви t_- .

5.4 Каузальная изоляция ветвей

Две ветви t_+ и t_- каузально изолированы, так как:

1. Они существуют в разных информационных слоях после фазового перехода.
2. Связь между ними требует локального уменьшения сложности ниже критического значения, что термодинамически запрещено.
3. Любая попытка коммуникации между ветвями привела бы к нарушению второго закона термодинамики.

6 ВЫВОД ГРАВИТАЦИИ ИЗ ИНФОРМАЦИИ

6.1 Информационная геометрия

Покажем, что классическая метрика $g_{\mu\nu}$ является эффективным макроскопическим описанием микрофизики слоя $\mathcal{U}$.

6.1.1 Метрика Фишера-Бурес

Расстояние между квантовыми состояниями на многообразии параметров задается метрикой Фишера-Бурес. Для чистого состояния $|\Psi(\theta)\rangle$, зависящего от параметров $\theta = \{\theta^\mu\}$, информационная метрика определяется как:

$$G_{\mu\nu}(\theta) = \text{Re} (\langle \partial_\mu \Psi | \partial_\nu \Psi \rangle - \langle \partial_\mu \Psi | \Psi \rangle \langle \Psi | \partial_\nu \Psi \rangle) \quad (25)$$

где $\partial_\mu = \partial / \partial \theta^\mu$.

Эта метрика обладает следующими свойствами:

- **Положительная определенность:** $G_{\mu\nu} v^\mu v^\nu \geq 0$ для любого вектора v .
- **Инвариантность относительно фазовых преобразований:** $|\Psi\rangle \rightarrow e^{i\phi} |\Psi\rangle$ не меняет метрику.
- **Монотонность:** Метрика не увеличивается при квантовых операциях.

6.1.2 Отождествление с пространством-временем

Мы постулируем, что пространство-время возникает из информационной геометрии:

$$g_{\mu\nu}(x) = \ell_P^2 G_{\mu\nu}(\theta(x)) \quad (26)$$

где $\ell_P = \sqrt{\hbar G / c^3}$ — планковская длина, обеспечивающая правильную размерность, а $\theta(x)$ — параметры, зависящие от пространственных координат x .

Это отождествление означает, что геометрия пространства-времени кодирует информацию о квантовых состояниях в каждой точке.

6.2 Термодинамика горизонта событий

6.2.1 Закон площади для энтропии

Используя подход Т. Якобсона [3], рассмотрим локальный причинный горизонт. Энтропия запутанности S горизонта подчиняется закону площади (Area Law):

$$S = \frac{A}{4G\hbar} \quad (27)$$

где A — площадь горизонта в планковских единицах.

Этот закон следует из того, что энтропия запутанности между внутренней и внешней областями горизонта пропорциональна площади их границы.

6.2.2 Температура Унру

Для ускоренного наблюдателя с ускорением a существует эффективная температура (температура Унру):

$$T_{Unruh} = \frac{\hbar a}{2\pi c k_B} \quad (28)$$

Для горизонта событий с поверхностной гравитацией κ температура равна:

$$T_H = \frac{\hbar \kappa}{2\pi c k_B} \quad (29)$$

6.2.3 Первое начало термодинамики

При прохождении потока энергии δQ через горизонт выполняется первое начало термодинамики:

$$\delta Q = T_H dS \quad (30)$$

Подставляя выражения для температуры и энтропии:

$$\delta Q = \frac{\hbar \kappa}{2\pi} \cdot \frac{dA}{4G\hbar} = \frac{\kappa}{8\pi G} dA \quad (31)$$

6.3 Вывод уравнений Эйнштейна

6.3.1 Уравнение Райчаудхури

Изменение площади горизонта связано с тензором энергии-импульса через уравнение Райчаудхури. Для причинного горизонта:

$$\frac{dA}{d\lambda} = \int_H \theta d\sigma \quad (32)$$

где θ — расширение конгруэнции, а λ — аффинный параметр.

Уравнение Райчаудхури связывает расширение с тензором Риччи:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = -\frac{1}{2}\theta^2 - \sigma_{\mu\nu}\sigma^{\mu\nu} - R_{\mu\nu}k^\mu k^\nu \quad (33)$$

где k^μ — касательный вектор к горизонту, $\sigma_{\mu\nu}$ — тензор сдвига.

6.3.2 Термодинамическое тождество

Комбинируя термодинамическое соотношение (30) с геометрическим выражением для изменения площади, получаем:

$$\delta Q = \frac{\kappa}{8\pi G} dA = \int_H T_{\mu\nu} k^\mu k^\nu d\lambda d\sigma \quad (34)$$

Используя локальность и ковариантность, это приводит к точному соотношению:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} \quad (35)$$

Таким образом, уравнения Эйнштейна выводятся как уравнение состояния равновесной энтропии информационного слоя.

6.3.3 Интерпретация космологической постоянной

Космологическая постоянная Λ интерпретируется как остаточная информационная плотность вакуума:

$$\Lambda = \frac{8\pi G}{\hbar c} \rho_{info}^{vac} \quad (36)$$

где ρ_{info}^{vac} — информационная плотность вакуумного состояния слоя $\mathcal{U}$.

7 РАЗРЕШЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАДОКСОВ

7.1 Проблема космологической сингулярности

7.1.1 Классическая сингулярность

В классической ОТО точка $t = 0$ (Большой Взрыв) является сингулярностью, где:

- Плотность энергии $\rho \rightarrow \infty$
- Кривизна пространства-времени $R \rightarrow \infty$
- Метрика становится вырожденной

Это указывает на неполноту теории в этой области.

7.1.2 Наше решение

В нашей теории точка $t = 0$ не является сингулярностью, а представляет собой точку фазового перехода $\mathcal{C} = \mathcal{C}_{crit}$, где:

1. Классическое время $\mathcal{T}$ затухает до нуля: $\mathcal{T} \rightarrow 0$ при $\mathcal{C} \rightarrow \mathcal{C}_{crit}$.
2. Физика переходит в режим чистой квантовой информации без классического пространства-времени.
3. Плотность и кривизна остаются конечными, так как они определяются информационной структурой слоя $\mathcal{U}$, а не классической метрикой.
4. «До» Большого Взрыва система существовала в безвременном слое $\mathcal{U}_0$ с высокой квантовой сложностью, но без макроскопического времени.

7.1.3 Рекурсивная структура

Возможна рекурсивная структура, где «до» Большого Взрыва существовал предыдущий слой $\mathcal{U}_{-1}$, который также претерпел фазовый переход, породив наш слой $\mathcal{U}_0$. Это устраняет проблему «начала» Вселенной.

7.2 Информационный парадокс черных дыр

7.2.1 Классический парадокс

Информационный парадокс черных дыр формулируется следующим образом:

- Квантовая механика требует унитарности эволюции: информация не может быть уничтожена.
- Классическая ОТО предсказывает, что информация, падающая в черную дыру, теряется за горизонтом событий.
- Излучение Хокинга является тепловым и не несет информации о начальном состоянии.

Это создает противоречие между унитарностью и потерей информации.

7.2.2 Наше решение

В нашей теории черные дыры представляют собой области пространства, где локальная квантовая сложность достигает предела насыщения:

$$C_{local} \geq C_{max} = \alpha N \ln N \quad (37)$$

Это приводит к:

1. **Локальному исчезновению времени:** В области черной дыры поле времени $\mathcal{T} \rightarrow 0$, так как сложность достигает максимума.
2. **Формированию перехода в новый слой:** Черная дыра становится «порталом» в следующий рекурсивный слой $\mathcal{U}_{n+1}$.
3. **Сохранению информации:** Информация не уничтожается, а кодируется в структуру следующего слоя $\mathcal{U}_{n+1}$, сохраняя унитарность на глобальном уровне.
4. **Отсутствию сингулярности:** Центр черной дыры не является сингулярностью, а точкой фазового перехода между слоями.

7.2.3 Связь с гипотезой AdS/CFT

Наша модель согласуется с гипотезой AdS/CFT соответствия [4], где гравитация в объеме эквивалентна конформной теории поля на границе. В нашей интерпретации черная дыра — это переход между различными описаниями одной и той же информационной структуры.

7.3 Стрела времени

7.3.1 Проблема необратимости

Классическая проблема стрелы времени заключается в том, что фундаментальные законы физики (квантовая механика, ОТО) обратимы во времени, но наблюдаемый мир демонстрирует явную необратимость (рост энтропии, старение, распад).

7.3.2 Наше объяснение

В нашей теории термодинамическая необратимость времени является следствием глобального роста Квантовой Сложности:

$$\frac{d\mathcal{C}}{dt} > 0 \quad (38)$$

Мы воспринимаем течение времени, потому что:

1. Сложность системы непрерывно увеличивается: $\partial \ln \mathcal{C} / \partial t > 0$.
2. Это увеличение сложности необратимо в силу второго закона термодинамики для квантовых систем.
3. Параметр времени $\mathcal{T}$ связан со сложностью через уравнение (16), поэтому рост сложности приводит к восприятию течения времени.
4. Обращение времени потребовало бы уменьшения сложности, что термодинамически запрещено.

7.3.3 Связь с энтропией

Рост сложности тесно связан с ростом энтропии:

$$\frac{dS}{dt} \sim \frac{d\mathcal{C}}{dt} \ln \mathcal{C} \quad (39)$$

Это объясняет, почему стрела времени совпадает со стрелой энтропии.

8 СВЯЗЬ С ДРУГИМИ ТЕОРИЯМИ

8.1 Связь с петлевой квантовой гравитацией

Наша теория имеет точки соприкосновения с петлевой квантовой гравитацией (Loop Quantum Gravity, LQG):

- **Дискретная структура:** В LQG пространство-время дискретно на планковском масштабе. В нашей теории это соответствует дискретной структуре информационного слоя $\mathcal{U}$.
- **Сеть спинов:** В LQG состояние описывается спиновой сетью. В нашей теории это соответствует графу запутанности в слое $\mathcal{U}$.
- **Отсутствие сингулярностей:** LQG предсказывает отсутствие сингулярностей Большого Взрыва. Наша теория также устраняет сингулярности через фазовые переходы.

Однако ключевое отличие: в LQG время остается фундаментальным, а в нашей теории оно эмерджентно.

8.2 Связь с теорией струн

Теория струн также предлагает решение проблемы времени через компактификацию дополнительных измерений. В нашей теории:

- Дополнительные измерения могут интерпретироваться как внутренние степени свободы информационного слоя $\mathcal{U}$.
- Компактификация соответствует переходу от высокоразмерного слоя $\mathcal{U}_n$ к низкоразмерному эффективному описанию.
- Дуальности в теории струн могут соответствовать различным представлениям одного и того же информационного слоя.

8.3 Связь с причинной динамической триангуляцией

Причинная динамическая триангуляция (Causal Dynamical Triangulation, CDT) строит пространство-время из элементарных симплексов. В нашей теории:

- Элементарные симплексы соответствуют локальным областям информационного слоя $\mathcal{U}$.
- Причинная структура возникает из каузальной структуры графа запутанности.
- Динамика определяется ростом квантовой сложности, а не суммированием по историям.

9 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ И ПРЕДСКАЗАНИЯ

9.1 Нарушение СРТ-симметрии

Наша теория предсказывает спонтанное нарушение СРТ-симметрии на космологических масштабах. Это может проявляться в:

- Асимметрии в распределении материи и антиматерии (что уже наблюдается).
- Нарушении временной обратимости в космологических процессах.
- Аномалиях в реликтовом излучении, связанных с асимметрией между различными областями неба.

9.2 Модификации гравитации на малых масштабах

На планковских масштабах ($\ell_P \sim 10^{-35}$ м) наша теория предсказывает отклонения от классической ОТО:

$$g_{\mu\nu}^{effective} = g_{\mu\nu}^{classical} + \delta g_{\mu\nu}(\mathcal{C}) \quad (40)$$

где поправка $\delta g_{\mu\nu}$ зависит от локальной квантовой сложности.

9.3 Квантовые корреляции в реликтовом излучении

Граф запутанности в слое $\mathcal{U}$ должен оставлять следы в крупномасштабной структуре Вселенной и реликтовом излучении. Это может проявляться в:

- Аномальных корреляциях в угловом спектре мощности СМВ.
- Крупномасштабных аномалиях в распределении галактик.
- Нарушениях статистической изотропии.

9.4 Поведение черных дыр

Наша теория предсказывает, что черные дыры не имеют сингулярностей в центре, а представляют собой переходы между информационными слоями. Это может проявляться в:

- Отсутствию истинных сингулярностей в решениях уравнений Эйнштейна.
- Модификации спектра излучения Хокинга на поздних стадиях испарения.
- Возможности «туннелирования» информации из черной дыры через переход в другой слой.

10 ЧИСЛЕННЫЕ ОЦЕНКИ И МАСШТАБЫ

10.1 Критическая сложность

Для наблюдаемой Вселенной с $N \sim 10^{80}$ барионов оценка критической сложности:

$$\mathcal{C}_{crit} \sim \alpha \cdot 10^{80} \ln(10^{80}) \sim 10^{82} \quad (41)$$

Это соответствует сложности, необходимой для описания состояния Вселенной в момент Большого Взрыва.

10.2 Характерное время фазового перехода

Время релаксации τ фазового перехода связано с константой μ :

$$\tau \sim \frac{1}{\mu} \sim \frac{\hbar}{k_B T_{Planck}} \sim 10^{-43} \text{ с} \quad (42)$$

Это планковское время, что согласуется с масштабом, на котором должна происходить квантовая гравитация.

10.3 Масштаб нарушения СРТ

Нарушение СРТ-симметрии должно быть наиболее заметно на космологических масштабах ($\sim 10^{26}$ м) и временных масштабах возраста Вселенной ($\sim 10^{17}$ с).

11 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теория Рекурсивной Эмерджентности предлагает единый концептуальный каркас, объединяющий квантовую теорию информации, термодинамику и гравитацию. Ключевые достижения теории:

11.1 Основные результаты

1. **Уравнение конденсации времени:** Сформулировано уравнение Селедчика (16), описывающее динамику возникновения времени как фазовый переход второго рода.
2. **СРТ-нарушение:** Объяснена природа спонтанного нарушения СРТ-симметрии через бифуркацию времени и расщепление реальности на две каузально изолированные ветви.
3. **Вывод гравитации:** Продемонстрирован вывод уравнений Эйнштейна из термодинамики информационного слоя, показывающий, что гравитация является эмерджентным явлением.
4. **Устранение сингулярностей:** Космологические сингулярности (Большой Взрыв, центры черных дыр) заменены фазовыми переходами в рекурсивной иерархии информационных слоев.
5. **Объяснение стрелы времени:** Термодинамическая необратимость объясняется глобальным ростом квантовой сложности.

11.2 Философские следствия

Теория имеет глубокие философские следствия:

- **Онтология времени:** Время не является фундаментальной сущностью, а возникает из более базовой информационной структуры.
- **Множественные вселенные:** Существование СРТ-сопряженной ветви t_- означает существование «параллельной» вселенной с обратной стрелой времени.
- **Рекурсивность реальности:** Возможность бесконечной иерархии информационных слоев ставит вопрос о «начале» и «конце» реальности.
- **Связь информации и материи:** Материя и пространство-время являются проявлениями информационной структуры, а не наоборот.

11.3 Направления дальнейших исследований

Дальнейшее развитие теории предполагает:

1. **Численные расчеты:** Вычисление критических показателей μ , ξ , η в рамках решеточных моделей квантовой гравитации.
2. **Квантовая сложность:** Разработка эффективных алгоритмов вычисления квантовой сложности для больших систем.

3. **Космологические приложения:** Применение теории к конкретным космологическим моделям и сравнение с наблюдательными данными.
4. **Экспериментальная проверка:** Поиск экспериментальных сигнатур нарушения СРТ-симметрии и модификаций гравитации.
5. **Связь с другими подходами:** Установление более тесных связей с петлевой квантовой гравитацией, теорией струн и другими подходами к квантовой гравитации.

Теория Рекурсивной Эмерджентности открывает новые перспективы для понимания фундаментальной природы времени, пространства и информации во Вселенной.

Список литературы

- [1] DeWitt, B. S. (1967). "Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory". *Physical Review*, 160, 1113-1148.
- [2] Susskind, L. (2016). "Computational Complexity and Black Hole Horizons". *Fortschritte der Physik*, 64(1), 24-43.
- [3] Jacobson, T. (1995). "Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State". *Physical Review Letters*, 75(7), 1260-1263.
- [4] Maldacena, J., & Susskind, L. (2013). "Cool horizons for entangled black holes". *Fortschritte der Physik*, 61(9), 781-811.
- [5] Page, D. N., & Wootters, W. K. (1983). "Evolution without evolution: Dynamics described by stationary observables". *Physical Review D*, 27(12), 2885-2892.
- [6] Landau, L. D. (1937). "On the theory of phase transitions". *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, 11, 26-47.
- [7] Ginzburg, V. L., & Landau, L. D. (1950). "On the theory of superconductivity". *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*, 20, 1064-1082.
- [8] Fisher, R. A. (1922). "On the mathematical foundations of theoretical statistics". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, 222, 309-368.
- [9] Bures, D. (1969). "An extension of Kakutani's theorem on infinite product measures to the tensor product of semifinite w^* -algebras". *Transactions of the American Mathematical Society*, 135, 199-212.
- [10] Unruh, W. G. (1976). "Notes on black-hole evaporation". *Physical Review D*, 14(4), 870-892.
- [11] Hawking, S. W. (1975). "Particle creation by black holes". *Communications in Mathematical Physics*, 43(3), 199-220.
- [12] Raychaudhuri, A. K. (1955). "Relativistic cosmology. I". *Physical Review*, 98(4), 1123-1126.

- [13] Penrose, R. (1965). “Gravitational collapse and space-time singularities”. *Physical Review Letters*, 14(3), 57-59.
- [14] Ryu, S., & Takayanagi, T. (2006). “Holographic derivation of entanglement entropy from the anti-de Sitter space/conformal field theory correspondence”. *Physical Review Letters*, 96(18), 181602.
- [15] Verlinde, E. (2011). “On the origin of gravity and the laws of Newton”. *Journal of High Energy Physics*, 2011(4), 29.
- [16] Bousso, R. (2002). “The holographic principle”. *Reviews of Modern Physics*, 74(3), 825-874.
- [17] Rovelli, C. (2004). *Quantum Gravity*. Cambridge University Press.
- [18] Ashtekar, A., & Lewandowski, J. (2004). “Background independent quantum gravity: a status report”. *Classical and Quantum Gravity*, 21(15), R53-R152.
- [19] Ambjørn, J., Jurkiewicz, J., & Loll, R. (2004). “Emergence of a 4D world from causal quantum gravity”. *Physical Review Letters*, 93(13), 131301.
- [20] Polchinski, J. (1998). *String Theory. Volume 1: An Introduction to the Bosonic String*. Cambridge University Press.