

# Quantumograph: дискретная онтология пространства-времени и проблема эмпирической доступности квантовой гравитации

2026, Сергей Матеров\*

## Аннотация

Статья развивает исследовательскую программу «Quantumograph» (TQGT) (Materov 2026). Центральный тезис онтологический: пространство-время тождественно конечному квантовому графу, тогда как континуальные понятия (метрика, поля, время) строго эмерджентны. Автор показывает, что эта программа обладает избыточным эмпирическим содержанием: её ключевые предсказания проверяются на существующих криогенных квантовых процессорах, что переносит квантовую гравитацию из сферы математической спекуляции в область экспериментально конструированной науки. Философский анализ выявляет онтологические следствия: поддержку онтического структурного реализма, конституционную конечность Вселенной, динамическую природу времени, а также две фундаментальные теоремы - об отсутствии асимптотического хаоса и о вычислимой редуцируемости. Сравнение со струнной теорией, петлевой квантовой гравитацией и цифровой онтологией Фредкина - Вольфрама - Ллойда позволяет локализовать уникальный статус программы как фальсифицируемого дискретного структурализма.

Ключевые слова: квантовая гравитация, дискретное пространство-время, онтический структурный реализм, эмерджентность, философия науки, континуум, проблема бесконечности, вычислимость, хаос.

## 1. Введение: квантовая гравитация между математикой и опытом

Проблема квантовой гравитации - одна из старейших нерешённых задач теоретической физики. Но для философа науки она представляет не столько физический, сколько методологический парадокс: как может научная теория претендовать на объяснение фундаментальной структуры реальности, если она лишена эмпирического контакта с этой реальностью? Стандартные программы - струнная теория, петлевая квантовая гравитация (LQG), казуальная динамическая триангуляция (CDT) - оперируют на шкалах порядка  $10^{19}$  ГэВ, что делает их прямую проверку принципиально невозможной в обозримом будущем. В философской литературе это породило дискуссию о «неэмпирическом подтверждении» (Dawid 2013): может ли красота математики, единственность решения или отсутствие альтернатив служить заменой эксперименту?

Я утверждаю, что этот вопрос поставлен ложно. Существует исследовательская программа, в которой квантовая гравитация уже сегодня поддаётся лабораторной проверке. Эта программа - «Quantumograph» (Квантовограф) (Testable Quantum Graph Theory of Spacetime, TQGT). Её центральный тезис онтологический: пространство-время не является гладким многообразием, которое затем дискретизируется для вычислений; оно фундаментально представляет собой конечный квантовый граф, вершины которого несут квантовые степени свободы, а рёбра кодируют причинные связи. Континуум, метрика, поля и само время - эффективные приближения, возникающие при усреднении по блокам масштаба, превышающего микроскопическую длину ребра.

---

\*Independent Researcher E-mail: sergejmaterov2@gmail.com

Моя цель - философская. Я покажу, что Квантовограф представляет собой новый тип онтологии, который (а) решает классические метафизические проблемы пространства и времени через дискретность; (б) поддерживает версию онтического структурного реализма, свободную от проблемы тождества объектов; (в) переносит квантовую гравитацию в область фальсифицируемых научных программ Лакатоса; (г) устанавливает две фундаментальные теоремы - об отсутствии асимптотического хаоса и о вычислимой редуцируемости Вселенной; и (д) открывает философские перспективы для понимания тёмной материи, природы квантового измерения и человеческого места в конечном мире.

## **2. Дискретность и континуум: метафизическая дилемма**

С античности до Канта дискретность пространства считалась невысказанной. Аргумент Зенона о стреле и Ахиллесе показывал, что, если пространство состоит из точек, движение невозможно: чтобы пройти отрезок, нужно пройти бесконечное число подотрезков. Кант в «Антиномиях чистого разума» формализовал это как парадокс: тезис «мир состоит из простых частей» противоречит антитезису «не существует простых частей». Современная математика, казалось бы, разрешила проблему через теорию континуума Кантора и дифференциальное исчисление: пространство - это множество точек мощности континуум, а движение описывается пределами.

Однако в физике XX века континуум породил новые проблемы. Квантовая теория поля на пространстве-времени Минковского требует ренормализации: вычитания бесконечностей, возникающих из предположения о бесконечном числе степеней свободы в каждой точке. Общая теория относительности предсказывает сингулярности, где поле метрики расходится. Оба фундаментальных столпа современной физики страдают от «болезни континуума» (Laugwitz 2002): бесконечные энергии, расходимости, невычислимость.

В русской философско-математической традиции проблема бесконечности получила особое звучание. А.А. Фраенкель (1928) и позже А.Н. Колмогоров обращали внимание на то, что бесконечные совокупности не могут быть «выполнены» (actual infinity) в конструктивном смысле. Н.Н. Лузин различал «реальную» и «идеальную» бесконечность, указывая, что континуум - это идеализация, необходимая для математического удобства, но не обязательно отражающая онтологическую структуру мира. Квантовограф берёт этот интуитивный тезис всерьёз: континуум не существует как фундаментальная структура.

Пространство-время - это конечный граф с числом вершин порядка  $10^{120}$  (консервативная оценка, согласующаяся с голографической границей Бекенштейна - Хокинга). Точки, расстояния, производные - всё это эффективные понятия, возникающие при усреднении. Для философа это означает: мы имеем дело с онтологией, в которой отношения (рёбра) примитивны, а объекты (точки) производны. Это не возвращение к донаучному атомизму, а структурная онтология, в которой «атомы» - не неделимые тела, а узлы реляционной сети.

## **3. Онтология графа: структурный реализм в действии**

Онтический структурный реализм (OSR), развитый Лэдиманом и Россом (2007), утверждает, что фундаментальная онтология мира - это не объекты, а структуры

(отношения). Основное возражение против OSR - «проблема тождества» (Lowe 2016): если нет объектов, то что является релатами (носителями отношений)?

Квантовограф предлагает конкретный ответ. «Объекты» - это вершины графа, но они не обладают внутренней сущностью, независимой от структуры. Вершина определяется исключительно её степенью (числом рёбер), локальным оператором состояния (0 или 1 - «ложный» или «истинный» вакуум) и положением в сети связей. Удалите все рёбра - и вершина перестанет быть пространственно-временной точкой; останется лишь абстрактный индекс гильбертова пространства. Таким образом, вершины - это «места в структуре» (place-holders), а не субстанции в смысле классической метафизики.

Глубинный уровень структуры задаётся группой автоморфизмов графа  $\text{Aut}(G)$ . Эта группа содержит дискретные аналоги калибровочных симметрий Стандартной Модели: циклический фактор, отвечающий за гиперзаряд; группу перестановок, отвечающую за три поколения фермионов; и цветовую группу. Важно, что эти симметрии не наложены извне на многообразие; они встроены в топологию самого графа. Стандартная Модель - это не теория полей на пространстве-времени, а теория представлений автоморфизмов дискретной структуры.

При охлаждении ниже критической шкалы происходит спонтанное нарушение симметрии: граф «замерзает» в конфигурацию с меньшей группой автоморфизмов. Это не метафора: физически это означает, что ранняя Вселенная в высокотемпературной фазе обладала максимальной симметрией, а при расширении и охлаждении «выпала» в структурированную фазу с наблюдаемыми симметриями. Таким образом, история Вселенной - это история структурной кристаллизации. В гегелевском смысле можно сказать, что космическая эволюция есть процесс «внешнего становления» (*Äußerung*) абсолютной структуры в конкретных симметричных формах.

#### **4. Эмерджентность: время, метрика и поля**

Термин «эмерджентность» многозначен. В философии физики различают слабую эмерджентность (редуктивную, объяснимую из микроскопических законов) и сильную (ирредуктивную, связанную с новыми причинными силами). Квантовограф использует контролируемую слабую эмерджентность: макроскопические свойства выводятся из микроскопии с количественной оценкой ошибки.

**Время.** В теории время не является внешним параметром, как в ньютоновской механике, или динамической переменной, как в ОТО. Оно кодируется в направлении рёбер графа. Глобальное время возможно только при условии отсутствия замкнутых причинных циклов с отрицательным суммарным зарядом. В высокотемпературной фазе ( $T \gg T_c$ ) граф дезорганизован, и глобальное время теряет смысл; в низкотемпературной фазе возникает согласованное направление, которое мы интерпретируем как космологическое время. Таким образом, время - фазовое свойство, а не онтологическая предпосылка. Это близко к диалектической логике перехода количества в качество: при достижении критической связности возникает новое свойство - темпоральность.

**Метрика.** Метрический тензор  $g_{\mu\nu}$  не квантуется; он является коллективным наблюдаемым, связанным с флуктуациями локальной связности графа. В области, где средняя степень вершины превышает норму, пространство имеет эллиптическую (сферическую) кривизну; где степень ниже нормы - гиперболическую. В пределе больших масштабов это воспроизводит уравнения Эйнштейна. Но на микроскопическом уровне нет

«метрики» - есть только матрица смежности. Континуальная геометрия есть «вторая природа» (вторичная натура), возникающая из первичной дискретной структуры.

**Поля.** Бозонные и фермионные поля - это операторы, действующие на вершинах. При усреднении по блокам они переходят в континуальные поля, удовлетворяющие уравнениям Янга - Миллса и Дирака. Однако фундаментально они описываются конечными матрицами, а не операторными полями на многообразии. Поле есть эффект, а не субстанция.

## **5. Эпистемологический поворот: фальсифицируемость и статус научной программы**

Согласно Лакатосу (1970), научная исследовательская программа характеризуется «твёрдым ядром» (недискутируемые постулаты) и «защитным поясом» (вспомогательные гипотезы). Прогрессивная программа порождает новые предсказания; вырождающаяся - лишь адаптируется к известным фактам. Струнная теория, по мнению многих критиков (Wüthrich 2012; Dawid 2013), стала вырождающейся: её предсказания не подтверждаются, а «ландшафт вакуумов» делает теорию практически нефальсифицируемой.

Квантовограф фальсифицируем по Попперу и занимает противоположную позицию. Его «твёрдое ядро» - тезис о графовой онтологии - порождает непосредственно проверяемые следствия:

**1. Критическая температура.** Теория предсказывает существование фазового перехода при температуре, вычисляемой из двух независимо измеряемых параметров: энергии связи кубитов и средней степени графа. Для типичных сверхпроводящих процессоров это 10–100 мК - диапазон современных криостатов.

**2. Спектральные сигнатуры.** При переходе через критическую температуру должна наблюдаться характерная аномалия в микроволновом поглощении.

**3. Топологический контроль.** Если эффект сохраняется на случайном графе с той же статистикой степеней, гипотеза о роли топологии опровергнута.

Это означает, что программа не требует ни ускорителей на 100 ТэВ, ни космических наблюдений за планковскими флуктуациями. Она требует термометра и микроволнового спектрометра - инструментов квантовой лаборатории. Таким образом, квантовая гравитация становится экспериментальной наукой, а не математической метафизикой. Программа ускользает из ловушки, описанной Давидом (2013): она не нуждается в «неэмпирическом подтверждении», поскольку её подтверждение - традиционно эмпирическое. Эта теория является фальсифицируемой по Попперу.

## **6. Конечность, вычислимость и цифровая онтология**

Одно из радикальных следствий теории - конституционная конечность Вселенной. Число вершин графа конечно ( $\sim 10^{120}$ ), следовательно, гильбертово пространство фундаментальных состояний конечномерно. Это отличает Квантовограф от бесконечномерных теорий поля и даже от квантовой механики на многообразии.

Философски это означает, что мир может быть понят как дискретный, но не грубый; конечный, но не бедный. Конечная онтология всё ещё поддерживает огромный диапазон

структур, сложности и эмерджентного поведения. Более того, именно конечность может делать мир интеллигибельным. Теория поддерживает версию цифровой онтологии, хотя и не в классическом детерминистическом смысле клеточного автомата. Динамика остаётся квантовой и обратимой, но разворачивается на конечном графе, а не в бесконечном континууме. Это сохраняет суперпозицию, запутанность и унитарную эволюцию, давая им дискретное основание.

### **Теорема 1 (об отсутствии асимптотического хаоса)**

**Формулировка.** Поскольку фундаментальная динамика конечного квантового графа реализуется обратимыми унитарными вентилями на конечномерном гильбертовом пространстве, истинный детерминистический хаос - экспоненциальная чувствительность к начальным условиям - исключён на онтологическом уровне. Любая кажущаяся необратимость или хаотичность является эмерджентным следствием грубого описания (coarse-graining), а не свойством фундаментальной эволюции.

**Схема доказательства.** Глобальный оператор эволюции есть конечномерная унитарная матрица. Конечномерная унитарная эволюция квазипериодична (по теореме о квантовом возвращении) и точно сохраняет скалярное произведение. Ляпуновские показатели, требующие экспоненциального расхождения траекторий в бесконечномерном или непрерывном пространстве состояний, строго равны нулю. Следовательно, то, что выглядит как хаос в макроскопических описаниях (турбулентность, термализация), есть свойство проекции на сокращённый набор наблюдаемых, а не полного состояния графа.

**Философское следствие.** Стрела времени не фундаментальна. Она возникает тогда, когда наблюдатель - неизбежно локальный и грубый - теряет из виду фазовые соотношения между компонентами графа. Энтропия растёт не потому, что Вселенная забывает, а потому, что забывает наблюдатель.

### **Теорема 2 (о вычислимой редуцируемости)**

**Формулировка.** Поскольку число вершин графа конечно ( $|V| \lesssim 10^{120}$ ) и эволюция представляет собой конечную последовательность унитарных преобразований, фундаментальная динамика Вселенной вычислима на универсальной квантовой машине Тьюринга за конечное число шагов. Микросостояние Вселенной принципиально редуцируется к конечному набору битов и их обратимым преобразованиям.

**Схема доказательства.** Каждый шаг эволюции графа применяет конечное тензорное произведение двухкубитных вентиляей (эквивалентных Тоффоли) к вектору состояния в гильбертовом пространстве размерности  $2^{|V|} \leq 2^{10^{120}}$ . Эта размерность астрономически велика, но конечна. Универсальная квантовая машина Тьюринга может смоделировать любую конечную последовательность таких вентиляей, сохраняя амплитуды и применяя унитарные матрицы. Вычисление принципиально редуцируемо, поскольку состояние в любой момент есть конечный комплексный вектор, а функция перехода - конечный алгоритм.

**Философский следствие.** Вселенная не метафорический компьютер; она и есть буквальная квантовая система с конечным числом состояний. Это придаёт точный смысл тезису Ллойда (2002) о «вычислительной ёмкости Вселенной»: ёмкость не бесконечна, а ограничена числом вершин графа и структурой его автоморфизмов.

Из этих двух теорем следует ряд следствий. Информация сохраняется на фундаментальном уровне, хотя и не всегда доступна на масштабе прямого наблюдения.

Необратимость эмерджентна из грубого описания. Человек живёт в мире, который кажется непрерывным, потому что континуум есть макроскопическая форма конечного подлежащего порядка.

## **7. Ретрокаузальность, измерение и граничные условия**

Квантовограф предлагает оригинальную онтологию квантового измерения, основанную на двухграничной формулировке. Вместо копенгагенского разрушения волновой функции или эвереттовского расщепления миров, теория рассматривает измерение как граничное условие на подграфе: выбор настройки детектора (например, Алисы или Боба в эксперименте Белла) входит в финальное состояние, которое ретроактивно ограничивает допустимые конфигурации графа в прошлом.

Это не суперлюминальная сигнализация: все взаимодействия остаются локальными на рёбрах графа. Нарушение неравенств Белла объясняется тем, что совместное распределение скрытых переменных и настроек детекторов не факторизуемо: будущие выборы экспериментаторов входят как граничные ограничения, формирующие предшествующее графовое состояние. Это близко к «акциональному» подходу Уортона (Wharton 2014) и Прайса (Price 1996), где законы природы понимаются не как динамические уравнения, а как глобальные ограничения на возможные истории.

Философски это имеет следствия для проблемы свободы воли. Экспериментатор сохраняет свободу выбора базиса; однако этот выбор, сделанный в будущем, коррелирует с прошлым состоянием системы через глобальное граничное условие. Это не конспирация (предопределённость выборов), а топологическая корреляция, аналогичная той, что возникает в классических вариационных принципах, где траектория частицы «знает» о будущей точке назначения. Свобода сохраняется как локальная агенция, но её результат вписывается в глобальную консистентность графа.

## **8. Антропологический смысл: человек в конечной вселенной**

Философская теория заслуживает места не только описанием мира, но и прояснением человеческого отношения к миру. Квантовограф делает это особенно важным образом.

Если пространство-время дискретно в основании и континуально на уровне обычного опыта, то мир, в котором мы живём, - ни иллюзия, ни метафизически примитивная данность. Это эмерджентный масштаб, на котором природа становится обитаемой. Человек не воспринимает граф непосредственно; он воспринимает порождаемую им континуальность. Это означает, что знакомый мир объектов, тел, времени и причинности не опровергается теорией. Он объясняется.

Это больше, чем техническое достижение. Оно меняет философскую картину человеческой жизни. Мы не обитаем в грубом континууме, существование которого должно просто приниматься. Мы обитаем в мире, чья континуальность имеет причину. Это делает мир более интеллигибельным, а не менее. Оно предполагает, что объяснение может достигать того уровня, на котором сама непрерывность опыта производится.

В культурном плане теория меняет образ реальности. Она представляет мир как конечный, но не малый; дискретный, но не фрагментированный; структурированный, но не жёсткий. Это важный образ для человека: он подсказывает, что вселенная не есть

безразличное месиво точек, но интеллигибельный порядок, в котором непрерывность, смысл и агенция имеют своё место. В этом смысле Квантовограф - не просто физическая модель, но онтологическая терапия: он возвращает миру понятность (intelligibility), которую бесконечный континуум часто отнимает.

## 9. Тёмная материя и космологическая постоянная

В стандартной космологии тёмная материя и тёмная энергия вводятся как параметры, необходимые для согласования модели с наблюдениями, но лишённые микрофизического объяснения. Квантовограф предлагает онтологическую интерпретацию обоих феноменов.

**Тёмная материя** интерпретируется как «замороженная» конфигурация графа - структуры высокой связности, которые не участвуют в электромагнитном взаимодействии, поскольку их автоморфизмы не вкладываются в подгруппу  $U(1)_{em}$ . Оператор  $\Theta$  («замораживания») описывает переход этих конфигураций в стабильное состояние при  $T < T_c$ . Таким образом, тёмная материя - не новая частица, а топологическая фаза пространства-времени.

**Космологическая постоянная  $\Lambda$**  связывается с числом автоморфизмов графа. В высоко симметричной фазе (ранняя Вселенная)  $|Aut(G)|$  максимально, и  $\Lambda \approx 1$  (планковская энергия). После спонтанного нарушения симметрии  $|Aut(G)|$  снижается до порядка группы Стандартной Модели, что даёт  $\Lambda \approx 10^{-122}$  в планковских единицах - согласующееся с наблюдениями значение. Таким образом, малость  $\Lambda$  - не следствие тонкой настройки, а арифметическое следствие групповой структуры графа.

## 10. Возражения и границы

Ни одно серьёзное философское предложение не должно скрывать собственных границ. Квантовограф амбициозен, и он должен быть прочитан именно так.

Это остаётся исследовательской программой, а не завершённой физической теорией. Работа постоянно дополняется. Её математическое развитие должно быть продолжено, феноменология уточнена, эмпирические сигнатуры изучены детальнее. Её философские претензии также зависят от дискуссионных понятий - эмерджентности, структурного реализма, конечности. Это не слабости, уникальные для данного фреймворка. Это общие черты фундаментальной работы.

Важно то, что теория обладает когерентным ядром и ясным направлением. Она не просто жестиккулирует в сторону мира за пределами континуума. Она даёт структурированный отчёт о том, как такой мир мог бы возникнуть, почему континуум всё равно появился бы на человеческом масштабе, и какие следствия могли бы отсюда последовать. Это делает её серьёзным философским предложением, а не риторическим.

## 11. Заключение: от спекуляции к спектроскопии

Квантовограф лучше всего понимать как исследовательскую программу с сильным философским центром. Её ведущий тезис - что пространство-время фундаментально дискретно, конечно и реляционно, тогда как континуум возникает как крупномасштабная

форма этой подлежащей структуры. Это не делает непрерывный мир менее реальным. Оно делает его более интеллигибельным.

Это глубочайшая ценность теории. Она соединяет дискретную онтологию, эмерджентность и человеческий опыт в едином фреймворке. Она показывает, как мир может быть конечным в основании и непрерывным на том масштабе, где живут, измеряют и мыслят люди. Она также подсказывает, что та же структура, которая объясняет пространство-время, может в конечном счёте направить новые формы квантового контроля, сенсорики и вычислений.

В этом смысле Квантовограф - больше, чем предложение в фундаментальной физике. Это философский образ мира, в котором структура первична, непрерывность производна, а объяснение остаётся возможным до самого основания. Он говорит нам, что мир не есть неприкаемый континуум, ожидающий описания. Это конечный реляционный порядок, становящийся непрерывным там, где это важно для жизни. Это сильное утверждение, и оно заслуживает серьёзного рассмотрения.

## **Литература**

Bombelli, L., Lee, J., Meyer, D., & Sorkin, R. D. (1987). Space-time as a causal set. *Physical Review Letters*, 59(5), 521.

Dawid, R. (2013). *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge University Press.

Fredkin, E. (1990). Digital mechanics: An informal introduction. *Physica D*, 45(1–3), 254–270.

Ladyman, J., & Ross, D. (2007). *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford University Press.

Materov S. 2026. Quantumograph: A Testable Quantum Graph Theory of Spacetime v13. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3114825>

Materov S. 2026. Computational Reducibility theorem. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3114827>

Materov S. 2026. Theorem on the absence of asymptotic chaos. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3114826>

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In *Criticism and the Growth of Knowledge*.

Laugwitz, D. (2002). *Nonstandard Analysis and the Theory of Continua*. Springer.

Lloyd, S. (2002). Computational capacity of the universe. *Physical Review Letters*, 88(23), 237901.

Lowe, E. J. (2016). *The Four-Category Ontology*. Oxford University Press.

Price, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point*. Oxford University Press.

Wharton, K. B. (2014). Action-based quantum thermodynamics. *Annals of Physics*, 349, 1–15.

Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.

Wüthrich, C. (2012). The structure of causal sets and the measurement problem. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 43(4), 292–299.

Фраенкель, А.А. (1928). *Введение в теорию множеств*. Берлин: Юлиус Спрингер.

Колмогоров, А.Н. (1972). Определение центра и меры дисперсии по ограниченному числу наблюдений. \*Избранные труды. Т. 2. Теория вероятностей и математическая статистика\*. М.: Наука.

Лузин, Н.Н. (1935). \*Теория функций действительного переменного\*. М.-Л.: ГИТТЛ.