

Предгеометрическая связанность и условия реконструкции пространства-времени

С. А. Карпов

Независимый исследователь

Чистовая версия 1.2 · 2026

Аннотация

В работе исследуется логический статус пространства-времени и гравитации в кластерной конкретизации цифрового апейронизма. Исходная динамика задаётся множеством глобальных конфигураций Q и отношением допустимого перехода $U \subseteq Q \times Q$. Показано, что такая динамика определяет отношение достижимости и частичный порядок на фактор-множестве классов взаимной достижимости, но не определяет внутреннюю геометрию конфигураций: одна и та же пара (Q, U) допускает неизоморфные реализации локальных элементов, смежности и меры. Этот элементарный формальный результат используется как ограничение на допустимую интерпретацию, а не как новая математическая теорема. Предлагается двухуровневая кластерная сигнатура, разделяющая глобальные конфигурации, локальные элементы, внутрисрезовую связанность и их продолжение между конфигурациями. Специфика кластерной программы связывается не с самой сигатурой, а с дополнительным фильтром автономии, композиционности, сохранения записей, устойчивости и продолжимости. Построен игрушечный пример семейства циклических графов: для него вычислена размерность роста и указан контролируемый предел к окружности. Сформулированы необходимые условия реконструкции топологии, метрики, причинного порядка, лоренцевой геометрии и континуального предела. Показано, что неоднородность связанности сама по себе не задаёт гравитацию. Результат работы имеет методологический и формальный статус и не заменяет физическую теорию гравитации.

Ключевые слова: цифровой апейронизм; кластерная модель; предгеометрия; эмерджентное пространство-время; причинный порядок; дискретная геометрия; гравитация; теория причинных множеств.

Pregeometric Connectivity and the Conditions for Reconstructing Spacetime

Abstract. The paper examines the logical status of spacetime and gravity in the cluster-level specification of digital apeironism. A set of global configurations Q and an admissible-transition relation $U \subseteq Q \times Q$ determine reachability and a quotient partial order, but do not determine an internal geometry: the same (Q, U) admits non-isomorphic realizations of local elements, adjacency, and measure. This elementary formal fact is used as a methodological restriction rather than presented as a new mathematical theorem. A two-level cluster signature is introduced, supplemented by admissibility conditions of autonomy, compositionality, record preservation, stability, and extendibility. A toy family of cycle graphs provides a positive example: its growth dimension is calculated and its controlled continuum approximation to a circle is exhibited. Necessary conditions are then stated for reconstructing topology, metric,

causal order, Lorentzian geometry, and gravity. The quantum status of the scheme is explicitly separated and left as a further construction. The result is methodological and formal rather than a substitute for a physical theory of gravity.

Keywords: digital apeironism; cluster model; pregeometry; emergent spacetime; causal order; discrete geometry; gravity; causal set theory.

1. Постановка задачи

Цифровой апейронизм был предложен как метаонтологическая программа, в которой фундаментальными считаются различные состояния, отношения и правила совместимости, а устойчивый наблюдаемый мир понимается как один из самоподдерживающихся режимов более общего пространства допустимых структур [1]. Последующие работы уточнили квантово-механическое прочтение этой программы, ввели ограничитель онтологической произвольности и отделили гипотезу информационной непрерывности личности от утверждений нейронауки [2, 3, 4]. Настоящая статья продолжает ту же линию: вместо свободной аналогии устанавливаются границы логического вывода.

Исходный вопрос формулируется следующим образом: какие структуры действительно следуют из заданной связанности, а какие должны быть введены дополнительно, чтобы стало осмысленным говорить о пространстве, времени, причинности и гравитации? Этот вопрос нельзя решить заменой слова «пространство» словом «сеть». Граф, порядок или отношение перехода становятся физическим описанием лишь после того, как определено соответствие между их элементами и наблюдаемыми событиями, расстояниями, длительностями и траекториями.

Работа не выводит уравнения Эйнштейна, не предлагает новую динамику гравитационного поля и не заявляет экспериментальных предсказаний. Её задача уже: выделить минимальный формальный каркас и доказать, что динамика глобальных конфигураций не определяет внутреннюю геометрию. Это отрицательное по форме утверждение имеет положительное значение: оно исключает целый класс некорректных переходов от абстрактной связанности к физическому пространству.

2. Эпистемические уровни и правило вывода

Чтобы не смешивать известную физику с авторской конструкцией, используются четыре уровня утверждений:

Уровень	Содержание	Статус
<i>E</i>	наблюдения и экспериментальные результаты	эмпирический
<i>T</i>	установленные математические и физические теории	теоретический
<i>A</i>	постулаты цифрового апейронизма	авторская метаонтология
<i>F</i>	конкретные способы реконструкции геометрии	программа

Основное ограничение имеет вид

$$E, T, A \not\models H_F,$$

где H_F обозначает конкретный механизм возникновения пространства-времени или гравитации. Совместимость гипотезы с известными данными не является её выводом. Для логически корректного перехода требуется явный набор дополнительных посылок D :

$$E, T, A, D \models H_F.$$

При этом посылки D должны быть сформулированы независимо от желаемого заключения, а не подобраны задним числом. Данное требование является применением ограничителя онтологической произвольности, сформулированного в третьей работе цикла [3].

3. Исходная динамическая структура

3.1. Глобальные конфигурации и допустимые переходы

Пусть Q — непустое множество глобальных конфигураций. Элемент $q \in Q$ обозначает полное состояние рассматриваемой модели на одном уровне описания; из этого определения ещё не следует, что внутри q имеются точки пространства, локальные события или подсистемы.

Динамика задаётся бинарным отношением

$$U \subseteq Q \times Q.$$

Запись $q \rightarrow_U q'$ означает, что переход от q к q' допустим. Отношение, а не функция выбрано намеренно: одна конфигурация может иметь несколько продолжений или не иметь их вовсе. Если в дальнейшем потребуются вероятности, к U должно быть добавлено вероятностное ядро; оно не предполагается в настоящей работе.

Граница B понимается как дополнительный предикат допустимости конфигураций и переходов. Она может ограничивать рассматриваемую область, но сама по себе не создаёт геометрию.

3.2. Достижимость и фактор-порядок

Обозначим через $\Rightarrow$ рефлексивно-транзитивное замыкание U :

$$q \Rightarrow q' \iff \text{существует конечная последовательность} \\ q = q_0 \rightarrow_U q_1 \rightarrow_U \dots \rightarrow_U q_n = q'.$$

Отношение $\Rightarrow$ является предпорядком: оно рефлексивно и транзитивно, но в общем случае не антисимметрично. Введём эквивалентность взаимной достижимости

$$q \sim q' \iff q \Rightarrow q' \wedge q' \Rightarrow q.$$

На фактор-множестве $\bar{Q} = Q/\sim$ определим

$$[q] \preceq [q'] \iff q \Rightarrow q'.$$

Проверим корректность. Если $q \sim r$, $q' \sim r'$ и $q \Rightarrow q'$, то $r \Rightarrow q \Rightarrow q' \Rightarrow r'$, откуда $r \Rightarrow r'$. Следовательно, истинность $[q] \preceq [q']$ не зависит от выбора представителей. Рефлексивность и транзитивность наследуются от $\Rightarrow$, а антисимметрия следует из определения классов взаимной достижимости.

Значит, $\preceq$ является частичным порядком. Его элементы — классы глобальных конфигураций, а не точки физического пространства.

3.3. Динамическая глубина

Если каждому ребру U приписан единичный вес, можно определить

$$\delta_U(q, q') = \inf\{n \in \mathbb{N}_0 : q = q_0 \rightarrow_U \cdots \rightarrow_U q_n = q'\},$$

полагая $\delta_U(q, q') = +\infty$, когда q' недостижимо из q . В общем случае δ_U несимметрична и потому не является метрикой. Она выражает минимальное число переходов, то есть динамическую глубину в пространстве конфигураций. Даже после симметризации она оставалась бы расстоянием между глобальными состояниями, а не между локальными объектами внутри одного состояния.

4. Элементарный результат о недоопределённости

Для обсуждения пространства требуется расширить описание. Пусть каждой конфигурации q сопоставлены множество локальных элементов $V(q)$, отношение смежности $E_q \subseteq V(q) \times V(q)$ и мера μ_q на выбранной системе подмножеств $V(q)$. Обозначим расширенную структуру через

$$\mathcal{C} = (Q, U, B; V, E, \mu, \Gamma),$$

где $\Gamma_{qq'} \subseteq V(q) \times V(q')$ задаёт допустимое продолжение локальных элементов при $q \rightarrow_U q'$. Отображение забывания

$$\mathfrak{F} : \mathcal{C} \longmapsto (Q, U, B)$$

удаляет внутренние данные V, E, μ, Γ .

Предложение 1 (недоопределённость реконструкции). Для любой непустой динамической структуры (Q, U, B) существуют по меньшей мере две неизоморфные расширенные структуры $\mathcal{C}_1$ и $\mathcal{C}_2$, для которых

$$\mathfrak{F}(\mathcal{C}_1) = \mathfrak{F}(\mathcal{C}_2) = (Q, U, B).$$

Следовательно, внутренняя топология, размерность, метрика и мера не определяются одной динамикой глобальных конфигураций.

Доказательство. Для каждого $q \in Q$ положим в первой реализации $V_1(q) = \{a_q\}$, $E_q^1 = \emptyset$ и $\mu_q^1(\{a_q\}) = 1$. Во второй реализации положим $V_2(q) = \{b_q, c_q\}$, $E_q^2 = \{(b_q, c_q), (c_q, b_q)\}$ и зададим единичную меру на каждом элементе. Для всякого $q \rightarrow_U q'$ определим продолжения явно:

$$\Gamma_{qq'}^1 = \{(a_q, a_{q'})\}, \quad \Gamma_{qq'}^2 = \{(b_q, b_{q'}), (c_q, c_{q'})\}.$$

После применения $\mathfrak{F}$ обе реализации дают одну и ту же тройку (Q, U, B) . Однако $V_1(q)$ и $V_2(q)$ имеют различную мощность, поэтому внутренние структуры не изоморфны. Значит, данные (Q, U, B) не определяют внутреннюю геометрию единственным образом. $\square$

Следствие 1. Если правило реконструкции понимается как однозначное отображение из класса структур (Q, U, B) в классы изоморфизма внутренних геометрий, то оно содержит данные, отсутствующие в (Q, U, B) . Если эти данные не сформулированы, геометрическая интерпретация является не следствием исходной модели, а скрытой посылкой.

Предложение является элементарным следствием неинъективности отображения забывания. Оно не претендует на глубокую математическую новизну. Его роль методологическая: точно указать место скрытого выбора, который легко замаскировать словами «граф представляет пространство». Реконструкция не является функцией только от (Q, U, B) ; требуется расширенная структура либо независимо сформулированный принцип отбора расширений.

5. Необходимые данные для предгеометрической модели

Расширенная сигнатура выше не объявляется единственно возможной. Она фиксирует минимальные различия, без которых предмет разговора остаётся двусмысленным.

1. **Локальные элементы** $V(q)$. Они задают носитель предполагаемой геометрии. Их физический смысл — события, элементарные области или степени свободы — должен быть установлен отдельно.
2. **Внутреннее отношение** E_q . Оно может выражать смежность, инцидентность или протопричинную связь, но эти интерпретации нельзя смешивать. Направленное причинное отношение и ненаправленная пространственная смежность выполняют разные функции.
3. **Продолжение** $\Gamma_{qq'}$. Без отношения между $V(q)$ и $V(q')$ нельзя установить, какой локальный элемент в следующей конфигурации продолжает предыдущий и что означает изменение внутренней структуры.
4. **Мера** μ_q . Она необходима для определения объёма, плотности, усреднения и континуального предела. Голое число рёбер не является плотностью, пока не указаны область и мера нормировки.
5. **Масштаб и грубое усреднение.** Эффективная геометрия должна быть устойчивой относительно допустимого изменения разрешения. Иначе найденная размерность или кривизна может оказаться свойством конкретной дискретизации.

Инвариантность относительно переименования элементов является лишь первым требованием. Физически содержательные величины должны сохраняться при изоморфизмах расширенной структуры, а утверждения о континуальном пределе — при явно заданном классе преобразований грубого усреднения.

5.1. Что добавляет именно кластерная модель

Сама сигнатура $\mathcal{C}$ описывает широкий класс двухуровневых предгеометрических схем и не является уникальной особенностью цифрового апейронизма. Специфика кластерной программы появляется только после наложения фильтра допустимости, развивающего критерии третьей работы цикла [3]. Для настоящей задачи он принимает следующую форму.

(K1) **Композиционность.** Локальные элементы и их объединения должны

допускать согласованное включение в глобальную конфигурацию; произвольный список несвязанных объектов кластером не считается.

- (K2) **Динамическая замкнутость.** Для внутренних продолжений достаточно данных $\mathcal{C}$ и граничных условий B ; необъявленное внешнее вмешательство не используется как правило эволюции.
- (K3) **Сохранение записей.** Существует выделяемый класс структурных коррелятов записи, для которых $\Gamma_{qq'}$ задаёт прослеживаемое продолжение хотя бы на конечном интервале переходов.
- (K4) **Конечномасштабная устойчивость.** Макроскопические характеристики, приписываемые кластеру, не должны исчезать при каждом допустимом локальном обновлении или малом изменении разрешения.
- (K5) **Продолжимость.** Для нетерминальных допустимых конфигураций существует хотя бы одно продолжение, совместимое с B ; терминальные конфигурации, если они разрешены, задаются явно.

Эти требования пока являются кандидатными ограничениями, а не доказанными законами природы. Они не претендуют ни на полноту, ни на логическую независимость: возможны расширения, удовлетворяющие K1–K5, но непригодные для реконструкции физического пространства-времени. Тем не менее фильтр сокращает класс моделей. Если $\text{Mod}(T)$ обозначает расширения исходной двухуровневой сигнатуры, то

$$\text{Mod}(T + K1 + \dots + K5) \subsetneq \text{Mod}(T).$$

Строгость включения видна уже на простых контрпримерах. Расширение с $\Gamma_{qq'} = \emptyset$ на каждом допустимом переходе не сохраняет ни одной нетривиальной записи и нарушает K3. Расширение, содержащее объявленную нетерминальную конфигурацию без допустимого преемника, нарушает K5. Следовательно, не всякая произвольная система (V, E, μ, Γ) проходит кластерный фильтр. Именно сочетание двух уровней описания с таким фильтром, а не голая идея графовой связанности, образует специфическую часть программы.

6. Игрушечная реконструкция одномерного пространства

Положительная часть работы ограничивается простейшим примером. Он не моделирует гравитацию, но показывает, что расширенная сигнатура позволяет выполнить контролируемый шаг от дискретной связанности к геометрической характеристике.

Пусть $Q = \{q_n : n \in \mathbb{N}_0\}$, $q_n \rightarrow_U q_{n+1}$ и $N_n = 2^n N_0$ при фиксированном $N_0 \geq 3$. Конфигурации q_n сопоставим цикл

$$V(q_n) = \mathbb{Z}/N_n\mathbb{Z}, \quad E_{q_n} = \{\{i, i+1\} : i \in \mathbb{Z}/N_n\mathbb{Z}\}.$$

Мера μ_{q_n} является считающей, а продолжение вкладывает старые вершины в чётные вершины уточнённого цикла:

$$\Gamma_{q_n q_{n+1}} = \{(i, 2i) : i \in \mathbb{Z}/N_n\mathbb{Z}\}.$$

Это не стационарная последовательность графов: на каждом шаге между образами соседних старых вершин появляется новая вершина. Если ребру на

шаге n приписана длина $\ell_n = 2\pi/N_n$, то для старых вершин

$$\ell_{n+1}d_{N_{n+1}}(2i, 2j) = \ell_n d_{N_n}(i, j).$$

Таким образом, микроструктура меняется, тогда как расстояния между продолжениями прежних вершин сохраняются после масштабирования.

Условия K1–K5 здесь проверяются непосредственно. Каждый цикл связан, а объединения смежных дуг согласованы с целым циклом (K1). Правила удвоения числа вершин и вставки одной вершины в каждое ребро полностью заданы текущей структурой и N_0 (K2). Инъективное отношение $\Gamma_{q_n q_{n+1}}$ прослеживает любую конечную запись, заданную помеченным набором старых вершин и расстояниями между ними (K3). Масштабированные расстояния сохраняются точно, а вычисляемая ниже размерность роста устойчива в режиме $1 \ll r \ll N_n$ (K4). Наконец, каждое q_n имеет явно заданного преемника q_{n+1} (K5).

Обозначим через d_{N_n} обычное графовое расстояние на цикле. Для $0 \leq r < N_n/2$ шар $B_r(i)$ содержит

$$\mu_{q_n}(B_r(i)) = 2r + 1$$

элементов. При $r > 1$ локальную размерность роста можно оценить величиной

$$d_{\text{gr}}(r) = \frac{\log \mu_N(B_r(i))}{\log r}.$$

Если $r \rightarrow \infty$ при $r/N_n \rightarrow 0$, то

$$d_{\text{gr}}(r) = \frac{\log(2r + 1)}{\log r} \rightarrow 1.$$

Таким образом, на промежуточных масштабах семейство имеет одномерный рост.

Для континуального приближения отобразим вершину i в точку $e^{2\pi i i/N_n}$ единичной окружности S^1 . Масштабированное графовое расстояние

$$\tilde{d}_{N_n}(i, j) = \ell_n \min\{|i - j|, N_n - |i - j|\}$$

совпадает с длиной кратчайшей дуги между соответствующими вершинами. Любая точка окружности удалена от ближайшей вершины не более чем на π/N_n . Поэтому ошибка дискретного приближения равномерно стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$. В этом явно указанном смысле циклы приближают метрическую окружность.

Пример показывает три вещи. Во-первых, геометрический результат появляется благодаря $V(q_n)$, E_{q_n} , мере и масштабу, а не благодаря одному U . Во-вторых, размерность вычисляется, а не назначается словом «сеть». В-третьих, даже успешная реконструкция пространства не создаёт гравитацию: построенная окружность не содержит закона динамики метрики и связи с энергией-импульсом.

7. Этапы реконструкции пространства-времени

7.1. Топология и размерность

Из E_q можно получить семейства окрестностей, комплексы или иные дискретные топологические конструкции. Однако выбор конструкции существенен: разные правила могут сопоставить одному графу разные топологические объекты. Поэтому требуется критерий, связывающий дискретную структуру с устойчивой топологией в пределе.

Размерность также не сводится к одному числу. В дискретных моделях используются разные оценки — рост объёма шара, спектральная размерность, порядковая размерность. Если, например,

$$\mu_q(B_r(x)) \asymp Cr^d$$

на некотором диапазоне масштабов, показатель d может служить оценкой размерности роста. Но это утверждение осмысленно только после определения расстояния, меры и диапазона r ; оно не следует из самого наличия рёбер.

7.2. Пространственная метрика

На ненаправленном взвешенном графе $(V(q), E_q, w_q)$ длина кратчайшего пути может задавать метрику на каждой связной компоненте. Это математически корректная конструкция, но её физическая интерпретация требует показать, что:

- (a) веса w_q имеют независимое определение;
 - (b) метрика устойчива при грубом усреднении;
 - (c) она воспроизводит наблюдаемую локальность;
 - (d) в соответствующем пределе возникает геометрия требуемой размерности.
- Кратчайший путь по графу переходов Q этих условий не выполняет, поскольку относится к другой области определения.

7.3. Причинный порядок и время

Если локальные элементы интерпретируются как события, причинный порядок должен быть задан на множестве событий, а не на множестве глобальных конфигураций. Для дискретной причинной структуры естественны транзитивность, отсутствие нетривиальных циклов и локальная конечность. Именно так устроена теория причинных множеств: частичный порядок кодирует протопричинность, а число элементов — дискретный объём [5, 6].

Порядок ещё не задаёт измеряемую длительность. Для этого нужны часы — внутренний воспроизводимый процесс — либо инвариантная функция на причинных интервалах. Термодинамическая стрела также не тождественна порядку: она требует макроописания, специального состояния и статистического градиента. Несимметричность отношения предшествования сама по себе не доказывает необратимость.

7.4. Лоренцева геометрия и континуальный предел

Пространство-время общей теории относительности обладает псевдоримановой метрикой лоренцевой сигнатуры. Поэтому реконструкция должна не только дать расстояния, но и различить времениподобные, светоподобные и пространственноподобные отношения, восстановить локальную причинную структуру и объяснить эффективную лоренц-

инвариантность.

Под эффективной лоренцевой геометрией далее понимается крупномасштабное описание $(M, g_{\mu\nu})$, получаемое после заданного грубого усреднения микроструктуры, для которого наблюдаемые низкоэнергетические процессы с требуемой точностью подчиняются причинной структуре метрики $g_{\mu\nu}$. «Различить направления» означает построить в пределе конусную структуру в касательных пространствах: ненулевые векторы должны устойчиво распадаться на времениподобные, светоподобные и пространственноподобные классы, причём классификация должна сохраняться при допустимом изменении разрешения.

Необходима также формулировка сходимости. Выражение «граф становится многообразием» не имеет точного смысла, пока не указан класс графов, масштабный параметр и критерий приближения. В теории причинных множеств эту роль играет приближение дискретного порядка лоренцеву многообразию при согласовании порядка и объёма; даже там существование подходящего континуального предела остаётся содержательной, а не автоматической задачей [6].

Считающая мера не тождественна физическому объёму. Она получает такую интерпретацию лишь при наличии правила соответствия, согласно которому число элементов в дискретной области аппроксимирует инвариантный объём соответствующей континуальной области. Поэтому выражение «правило счёта» в настоящей работе всегда означает пару: меру на дискретной структуре и обоснованное отображение этой меры на эффективный объём.

8. Почему связанность ещё не является гравитацией

В первоначальной формулировке цифрового апейронизма гравитация описывалась как возможное проявление цифровой связанности [1]. После введения ограничителя произвольности этот тезис должен быть ослаблен. Из высокой степени вершины, большей плотности рёбер или малого графового расстояния не следует притяжение. Один и тот же граф при разных законах движения может ускорять перенос, задерживать его, рассеивать траектории либо вообще не иметь динамического эффекта.

Чтобы возникающую геометрию можно было связать с гравитацией, требуется по меньшей мере:

1. определить эффективную лоренцеву метрику $g_{\mu\nu}$ или её дискретный аналог;
2. задать динамику пробных систем и получить геодезическое движение в эффективном пределе;
3. определить переменные, играющие роль энергии и импульса;
4. сформулировать закон обратного влияния этих переменных на геометрию;
5. восстановить ньютоновский слабополевой предел, гравитационное замедление времени и распространение возмущений с согласованной скоростью;
6. показать универсальность связи, соответствующую принципу эквивалентности.

Этот перечень не выводит общую теорию относительности из кластерной модели. Он задаёт порог, ниже которого слово «гравитация» обозначает только аналогию. Существование дискретных аналогов кривизны также не

снимает проблему соответствия. Например, операторы Бенин-Дэуер приближают континуальный оператор $\square - \frac{1}{2}R$ лишь для причинных множеств, уже допускающих подходящее многообразное приближение [8]. Следовательно, комбинаторная кривизна приобретает физический смысл не по названию, а через доказанный предельный переход.

Корректная гипотеза настоящей статьи имеет условную форму:

Если расширенная кластерная структура допускает устойчивую реконструкцию эффективной лоренцевой геометрии и если динамика этой геометрии связана с эффективным распределением энергии-импульса, то гравитация может быть интерпретирована как свойство возникающего пространственно-временного режима. Из одной связанности этот вывод не следует.

9. Сопоставление с существующими программами

9.1. Теория причинных множеств

Теория причинных множеств заменяет континуальное пространство-время локально конечным частично упорядоченным множеством. Порядок интерпретируется как причинный, а число элементов — как объём [5, 6]. Сходство с предлагаемой схемой состоит в отказе от заранее заданного пространственно-временного фона. Различие принципиально: в причинных множествах элементы порядка уже являются кандидатами на события пространства-времени, тогда как элементы Q в кластерной модели — глобальные конфигурации. Поэтому перенести результаты causal set theory непосредственно на (Q, U) нельзя; сначала необходимо ввести локальный уровень $V(q)$ либо единое множество событий, из которого конфигурации получаются как срезы.

9.2. Quantum graphity

В моделях quantum graphity графовая смежность является динамической степенью свободы; исследуется переход от высокосвязанной фазы к низкоэнергетической фазе с возникающей локальностью и низкой размерностью [7]. Метрика и размерность здесь рассматриваются как эффективные свойства фазы, а фазовый анализ даёт частичный ответ на вопрос, почему определённый геометрический режим может быть выделен динамически. Это сильнее простого объявления сети пространством. Расширенная кластерная сигнатура совместима с постановкой подобных моделей, но пока не имеет аналога гамильтониана, статистического ансамбля и анализа фаз. Игрушечный пример предыдущего раздела демонстрирует геометрический предел, но не объясняет динамический отбор этого предела.

9.3. Место кластерной схемы

Кластерная схема не предлагается как замена causal set theory или quantum graphity. Она относится к более общему классу двухуровневых конструкций: динамика задана на глобальных конфигурациях, а локальная предгеометрия вводится отдельным расслоённым семейством $V(q)$. Её отличительная черта в текущей редакции — сочетание этого разделения с фильтром кластерной допустимости K1-K5. Пока этот фильтр не порождает уникальной динамики,

новизна программы остаётся методологической, а не физико-теоретической.

Методологическое ограничение можно увидеть и на внешнем примере. В гипотезе А. И. Пономарёва перенос скин-эффекта на предполагаемую структуру пространства требует независимо определить эффективные параметры среды и её уравнения движения [9]. Этот пример не входит в доказательство и не оценивается здесь как конкурентная теория; он лишь показывает общий риск превращения аналогии в механизм. Тот же запрет применяется к цифровому апейронизму: плотность связей нельзя сначала объявить источником притяжения, а затем определять её через само наблюдаемое притяжение.

10. Квантовый статус конструкции

Настоящая работа использует отношения и графы классически. Из этого не следует, что фундаментальная кластерная структура обязана быть классической. Возможны по меньшей мере три уровня квантования, которые нельзя смешивать:

1. квантовые поля или состояния на уже реконструированной эффективной геометрии;
2. квантовая динамика локальных структур (V, E) при фиксированном пространстве глобальных конфигураций;
3. суперпозиция самих геометрий или расширенных кластерных структур.

Во второй статье цикла квантовый формализм принимался без изменения и получал метаонтологическое прочтение в терминах допустимых продолжений [2]. Этого недостаточно для квантовой теории пространства-времени. В частности, отношение U в настоящей статье задаёт только допустимость перехода и не является амплитудой. Чтобы перейти к квантовой модели, потребовались бы пространство состояний, комплексные амплитуды или иной вероятностный аппарат, правило композиции альтернатив, динамический закон и связь квантовых наблюдаемых с эффективной геометрией.

Поэтому игрушечный цикл и предложение о недоопределённости имеют доквантовый статус. Они ограничивают возможную будущую квантовую конструкцию, но не выбирают её. Квантование геометрии сознательно отложено до тех пор, пока не задана хотя бы одна нетривиальная классическая модель реконструкции.

Ближайшим техническим продолжением представляется второй уровень: гильбертово пространство, базисные состояния которого отвечают допустимым локальным графам, и оператор эволюции, меняющий их смежность. Такой выбор непосредственно продолжает динамику E_q и сближает задачу с моделями quantum graphity. Переход к квантовой причинной структуре был бы оправдан только после замены или дополнения E_q локальным причинным порядком; спин-сетевое описание потребовало бы ещё и независимо мотивированных групповых представлений на рёбрах и вершинах. Поэтому здесь фиксируется не готовая квантовая теория, а наиболее экономный первый объект построения и условия, при которых уместны альтернативы.

11. Проверяемость и условия неудачи

Формальный результат статьи проверяем математически: достаточно предъявить две неизоморфные внутренние реализации одной пары (Q, U) , что и сделано в предложении 1. Этот результат может быть опровергнут лишь изменением исходной постановки — например, добавлением к (Q, U) аксиом, единственным образом фиксирующих внутреннюю структуру. Но тогда геометрическая информация будет содержаться именно в новых аксиомах.

Физическая программа имеет более строгие условия неудачи. Конкретная модель реконструкции должна быть отвергнута или пересмотрена, если:

1. реконструируемая размерность неустойчива при изменении масштаба;
2. не возникает лоренцева причинная структура;
3. эффективная динамика нарушает наблюдаемые ограничения без компенсирующего проверяемого эффекта;
4. не воспроизводятся геодезический или ньютоновский пределы;
5. все наблюдаемые результаты вводятся настройкой свободных функций после сравнения с данными;
6. предлагаемая модель неотличима от произвольного переописания общей теории относительности.

В текущем состоянии цифровой апейронизм не удовлетворяет этим требованиям как физическая теория гравитации. Это не опровержение метаонтологии, но точная граница её нынешнего содержания.

12. Программа дальнейшей формализации

Циклический пример показывает динамическое уточнение одной и той же одномерной эффективной геометрии, но ещё не динамику её формы или размерности. Следующий содержательный шаг должен состоять не в добавлении новых космологических сущностей, а в построении модели, где локальное правило порождает нетривиальное изменение макрогеометрии. Требуется:

1. задать локальное правило изменения E_q , а не готовую последовательность желаемых геометрий;
2. проверить, сохраняются ли K1–K5 при динамике;
3. выбрать операцию грубого усреднения и исследовать устойчивость размерности;
4. показать, возникает ли пространственная локальность как аттрактор или фаза;
5. построить причинный порядок отдельно от пространственной смежности;
6. затем ввести дискретный функционал действия или иной закон динамики геометрии;
7. только после этого рассматривать квантовые амплитуды для альтернативных структур.

Полезным ориентиром служат существующие дискретные программы, но их результаты нельзя присваивать кластерной модели без отображения между формализмами. Задача будущей работы — определить такое отображение либо доказать, что кластерная конструкция относится к иному классу моделей.

13. Заключение

Различие между динамикой глобальных конфигураций и геометрией внутри конфигурации является обязательным. Пара (Q, U) определяет достижимость, классы взаимной достижимости и частичный порядок на фактор-множестве. Она не определяет локальные элементы, смежность, меру или пространственную метрику. Это установлено конструктивно: одна и та же динамика имеет неизоморфные внутренние реализации.

Для постановки задачи реконструкции предложена расширенная сигнатура $\mathcal{C} = (Q, U, B; V, E, \mu, \Gamma)$ и кластерный фильтр K1-K5. Даже они не гарантируют возникновения пространства-времени, но делают вопрос корректным и ограничивают произвольные расширения. Циклический пример показывает положительный частный случай: после задания меры и масштаба вычисляется одномерный рост, а семейство дискретных метрик контролируемо приближает окружность. Этот пример не содержит гравитации и не объясняет динамический выбор геометрии.

Гравитация не следует из неоднородности связанности. Чтобы говорить о ней физически, требуется возникающая геометрия, динамика пробных систем, связь с эффективной энергией-импульсом и восстановление известных пределов. Поэтому нынешний результат цифрового апейронизма состоит не в объяснении гравитации, а в более строгом определении того, что будущая модель обязана объяснить.

Такое ограничение не ослабляет исследовательскую программу. Оно отделяет содержательную задачу от образного переописания и не позволяет заранее считать решённым вопрос, для которого ещё не построен механизм.

Декларация статуса и ограничений

Работа относится к метаонтологическому и методологическому уровням исследования. Она не является подтверждённой теорией квантовой гравитации, не изменяет уравнения общей теории относительности и не заявляет новых наблюдательных эффектов. Предложение 1 элементарно и относится к заданной в статье абстрактной структуре; его нельзя переносить на все возможные предгеометрические программы без проверки их исходных данных. Кластерный фильтр K1-K5 имеет статус авторской исследовательской программы, а не установленного физического закона.

Список литературы

- [1] Карпов С. А. Цифровой апейронизм: концептуальная модель самовиртуализирующегося Универсума, квантовой реальности и внемировой непрерывности сознания. arXiv.org.ru, 2026. AX-135686. <https://arxiv.org.ru/physics/tsifrovoy-apeyronizm/>
- [2] Карпов С. А. Квантовая механика как цифровая согласованность: онтологическая интерпретация квантового формализма. arXiv.org.ru, 2026. AX-135978. <https://arxiv.org.ru/physics/kvantovaya-mekhanika-kak-tsifrovaya-soglasovannost-ontologicheskaya-interpretats/>
- [3] Карпов С. А. Критика цифрового апейронизма и ограничитель онтологической произвольности. arXiv.org.ru, 2026. AX-135981. <https://arxiv.org.ru/physics/kritika-tsifrovogo-apeyronizma-i-ogranichitel-ontologicheskoy-proizvolnosti/>

- [4] Карпов С. А. Матрица сознания и Нулевой контур: личная идентичность, информационная непрерывность и условия гипотезы внемирового переноса в цифровом апейронизме. arXiv.org.ru, 2026. AX-136160. <https://arxiv.org/ru/physics/matritsa-soznaniya-i-nulevoy-kontur-lichnaya-identichnost-informatsionnaya-nepre/>
- [5] Bombelli L., Lee J., Meyer D., Sorkin R. D. Space-time as a causal set. Physical Review Letters. 1987. Vol. 59. P. 521–524. doi:10.1103/PhysRevLett.59.521.
- [6] Surya S. The causal set approach to quantum gravity. Living Reviews in Relativity. 2019. Vol. 22. Art. 5. doi:10.1007/s41114-019-0023-1; arXiv:1903.11544.
- [7] Konopka T., Markopoulou F., Severini S. Quantum Graphity: a model of emergent locality. Physical Review D. 2008. Vol. 77. 104029. doi:10.1103/PhysRevD.77.104029; arXiv:0801.0861.
- [8] Benincasa D. M. T., Dowker F. The scalar curvature of a causal set. Physical Review Letters. 2010. Vol. 104. 181301. doi:10.1103/PhysRevLett.104.181301; arXiv:1001.2725.
- [9] Пономарёв А. И. Гипотеза модулированной структуры гравитации: тёмная материя как удержанное электромагнитное поле и условия возникновения жизни. arXiv.org.ru, 2026. AX-136178. <https://arxiv.org/ru/physics/gipoteza-modulirovanoy-struktury-gravitatsii-temnaya-materiya-kak-uderzhannoe-el/>