

Эмерджентное пространство-время как КОГНИТИВНАЯ СОГЛАСОВАННОСТЬ: гипотеза локальной причинности

А. Н. Смирнов
Независимый исследователь
andreysxxxx@gmail.com

Июнь 2025

Аннотация

Предлагается гипотеза локальной причинности, согласно которой причинная структура формируется отдельно в каждой инерциальной системе отсчёта (ИСО), а понятие события определяется только в пределах когнитивной доступности наблюдателя. Пространство и время трактуются не как фундаментальные сущности, а как эмерджентные когнитивные конструкции, возникающие из согласованной реконструкции причинных связей. Вводится различие между прямыми (внешними) и наблюдаемыми (когнитивными) преобразованиями, соответствующими, соответственно, формальному сопоставлению причинных структур и внутренне непротиворечивой модификации памяти наблюдателя. Показано, что когнитивные структуры могут различаться даже у наблюдателей в одной ИСО, и согласование между ними требует допустимого когнитивного взаимодействия. На примере модели скалярного поля на $\mathbb{R}^2$ иллюстрируется, как множество пространств-времен может эмерджентно возникать из единой надструктуры. Устанавливаются условия, при которых наблюдаемые преобразования приобретают форму преобразований Лоренца как когнитивно согласованных переходов между ИСО. Обсуждаются физические следствия и перспективы дальнейшего развития, включая когнитивную природу материи и времени и возможность описания взаимодействий без обращения к глобальному пространству-времени.

keywords: Emergent spacetime, Local causality, Observable transformations, Cognitive structure

PACS: 03.30.+p, 04.20.Cv, 03.65.Ta

1 Введение: от глобальных событий к локальной причинности

Современные физические теории — от специальной и общей теории относительности до квантовой теории поля — предполагают существование глобального пространства-времени. В этом представлении каждое *глобальное событие* интерпретируется как точка на гладком четырёхмерном многообразии с фиксированными координатами, объективно существующая независимо от наблюдателя [1, 2].

Однако такой подход противоречит операциональным ограничениям наблюдения. Даже в формализованных теориях причинности, таких как теория причинных сетей [3], причинность остаётся глобальным понятием, заданным относительно фиксированной структуры. В реальных условиях наблюдатель всегда действует в пределах конечной инерциальной системы отсчёта (ИСО) и может регистрировать лишь те события, которые причинно достижимы изнутри этой системы [4, 5, 6]. События за пределами доступной причинной структуры не только эмпирически недоступны, но и не допускают однозначного определения в терминах наблюдаемых величин.

Настоящая работа формулирует *гипотезу локальной причинности*, согласно которой причинность реализуется *локально и независимо* в каждой ИСО, а само понятие события определяется не глобально, а лишь внутри наблюдаемой причинной структуры конкретного наблюдателя. Пространство и время при этом трактуются не как фундаментальные сущности, а как когнитивно обусловленные конструкции, возникающие из согласованной реконструкции причинных связей [6, 7].

Пусть $\mathcal{M}$ — формальное множество всех потенциальных событий, не наделённое онтологическим статусом. Каждый наблюдатель оперирует только своим *причинным сечением*¹ $\mathcal{C}_\mathcal{O} \subset \mathcal{M}$, определяемым физически и когнитивными ограничениями его ИСО. Формально:

$$\mathcal{C}_\mathcal{O} = \{p \in \mathcal{M} \mid \exists q \in \gamma_\mathcal{O} : p \in J^-(q) \cup J^+(q)\},$$

где $\gamma_\mathcal{O}$ — локально устойчивая когнитивно-физическая структура наблюдателя в ИСО $\mathcal{O}$, включающая его тело, механизмы восприятия, память

¹Термин *причинное сечение* используется здесь как авторское определение. Он обозначает доступную наблюдателю область причинной структуры, но не совпадает с понятиями Cauchy-срезом или гиперповерхностей в ОТО.

и внутренние состояния, ответственные за фиксацию и интерпретацию событий. Здесь $J^-(q)$ и $J^+(q)$ обозначают допустимое причинное прошлое и будущее относительно состояния $q \in \gamma_O$.

Важно подчеркнуть, что и сама структура γ_O , и её внутренние компоненты также принадлежат $\mathcal{C}_O$, поскольку они определяются в пределах доступной причинной области. Эта структура — внутренняя по отношению к наблюдателю и не предполагает внешней наблюдаемости.

Из такой формулировки вытекает важное следствие: при переходе наблюдателя между ИСО, то есть при изменении его состояния, включая скорость, все внутренние состояния, включая память, должны быть когнитивно согласованы с причинной структурой новой ИСО. Это может потребовать допустимой модификации информации: наблюдатель может воспринимать как часть своего прошлого события, которые не имели допустимой причины в предыдущей ИСО, но становятся причинно допустимыми в новой — при условии согласованной реконструкции событийной структуры.

В этом контексте важно различать два аспекта прошлого:

- *Реальную причинную структуру*, определяемую в формализме внешнего описания, включая условия допустимости прямых преобразований между ИСО;
- *Когнитивно реконструированное прошлое*, представленное в памяти наблюдателя и определяемое доступной ему событийной структурой.

Именно второе обеспечивает наблюдателю непротиворечивое представление о мире и служит основой для формирования наблюдаемого пространства-времени.

Для описания переходов между ИСО мы будем различать два типа преобразований:

- *Прямые преобразования* — формальные отображения между причинными структурами различных ИСО. Они задаются внешним формализмом и фиксируют допустимость событий и состояний;
- *Наблюдаемые преобразования* — реконструкции, выполняемые самим наблюдателем, основанные на его памяти и доступных причинных связях. Эти преобразования отражают не то, *как было на самом деле*, а то, что когнитивно согласуется с внутренней динамикой субъекта.

Это различие принципиально: даже при значительных различиях в прямой причинной структуре наблюдатель не фиксирует противоречий, если его когнитивная система остаётся внутренне непротиворечивой.

Такой подход согласуется с реляционными и операциональными интерпретациями квантовой механики, а также с разработками в квантовой гравитации, основанными на непредзаданной причинной структуре [5, 6, 7, 8]. В последующих разделах мы покажем, как согласованность наблюдаемых структур может порождать эмерджентное пространство-время без апелляции к глобальной метрике или фоновым структурам.

Следует также отметить, что когнитивная структура наблюдателя формируется индивидуально. Даже при совпадающих ИСО разные наблюдатели могут иметь различные траектории восприятия, доступные причинные связи и содержимое памяти. Поэтому событие, доступное одному наблюдателю, не обязано принадлежать когнитивной структуре другого без дополнительного согласования. Согласование событий между наблюдателями требует когнитивной совместимости и допустимой реконструкции памяти, а не выводится из глобальной геометрии. Это позволяет отказаться от универсального пространства событий в пользу локальной событийности, согласованной через внутреннюю когнитивную динамику.

2 Постановка гипотезы и основные постулаты

Формально, гипотеза вводится через два постулата, фиксирующих структуру причинности как когнитивно ограниченную и зависящую от системы отсчёта наблюдателя.

Предлагаемая гипотеза локальной причинности формулируется как альтернатива глобальному подходу к пространству-времени. Её основой служит отказ от предположения о существовании единой глобальной причинной структуры и переход к операционально определяемым локальным структурам, доступным конкретному наблюдателю. Центральное положение занимают два постулата:

- **Постулат 1 (Локальная причинность):** *Принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отличающейся инерциальной системы отсчёта (ИСО).*²

²В классических теориях отличающиеся ИСО определяются через различие в скорости. Здесь же, ввиду отсутствия фундаментального пространства и времени, раз-

Комментарий: Это означает, что причинная структура, доступная в одной ИСО, не может быть напрямую перенесена в другую; каждая ИСО обладает собственной допустимой системой событий, определяемой доступными взаимодействиями.

- **Постулат 2 (Согласование в пределе):** *Если когнитивные структуры двух наблюдателей в разных ИСО становятся настолько близкими, что доступные им причинные связи почти совпадают, то применение принципа причинности в каждой ИСО становится приближённо эквивалентным его применению к объединённой структуре.*

Комментарий: Это когнитивное сближение соответствует ситуации, аналогичной стремлению относительной скорости между ИСО к нулю в классической картине, хотя пространство и время в данной гипотезе не являются фундаментальными сущностями. Это выражает требование согласованности описаний при бесконечно малых различиях между системами отсчёта, что обеспечивает когнитивную и физическую непротиворечивость наблюдаемой динамики.

Эти постулаты отражают минимально необходимую структуру: они не предполагают ни глобального времени, ни абсолютного пространства, ни заранее заданной метрики. Причинность здесь — не априорное глобальное отношение, а эмпирически определяемая и операционально локализованная структура.

Подобный подход продолжает логическую линию реляционных и операциональных интерпретаций квантовой теории и квантовой гравитации, в которых фундаментальные понятия определяются через доступные наблюдателю измерения и взаимодействия [5, 6, 7, 8].

Из указанных постулатов непосредственно следуют важные концептуальные следствия, формализуемые в дальнейших разделах:

1. Для каждого наблюдателя существует собственное *причинное сечение* $C_O \subset M$, состоящее из событий, доступных восприятию и влиянию в его ИСО. Это множество определяется физически реализуемой когнитивной структурой наблюдателя.

личие между ИСО определяется когнитивно: через несогласованность их причинных сечений. Тем не менее, в пределе когнитивного согласования это различие приближённо соответствует понятию относительной скорости между ИСО.

2. Смена ИСО может приводить к допустимому изменению причинной структуры и, как следствие, к когнитивно согласованной реконструкции памяти наблюдателя.
3. Пространство и время не вводятся фундаментально, а рассматриваются как эмерджентные, когнитивно выведенные из согласованных переходов между ИСО.
4. Важно различать два типа преобразований между ИСО: *прямые преобразования*, описывающие, как меняется структура допустимых событий, и *наблюдаемые преобразования*, описывающие, как сам наблюдатель когнитивно интерпретирует смену системы отсчёта, исходя из своей памяти и текущих наблюдений.

Вся последующая структура статьи опирается исключительно на эти два постулата. Их строгость и минимальность позволяют вывести широкую совокупность феноменов — от эмерджентного пространства-времени до восстановимого соответствия с преобразованиями Лоренца — как следствия когнитивной согласованности локальных причинных структур.

Эти два постулата заменяют традиционную аксиоматику пространства-времени и задают новую когнитивно-операциональную онтологию причинности.

3 Минимальная когнитивная структура наблюдателя

В рамках предлагаемой гипотезы наблюдатель не трактуется как внешняя абстракция, обладающая полным доступом к глобальной структуре событий, а как физически реализуемая система, локализованная в конкретной инерциальной системе отсчёта (ИСО) и ограниченная своей причинной областью. Подобный подход согласуется с реляционными и операциональными интерпретациями квантовой теории, в которых фундаментальные понятия определяются только через доступные измерения и взаимодействия [4, 6, 7].

Для формального построения необходимой структуры вводится понятие *минимальной когнитивной структуры наблюдателя*, обеспечивающей возможность фиксации, различения и согласования событий в пределах причинного сечения.

3.1 Определение

Минимальная когнитивная структура наблюдателя в ИСО $\mathcal{O}$ — это локально устойчивая подсистема, обозначаемая $\gamma_{\mathcal{O}}$, которая:

1. реализована в физическом теле наблюдателя и включена в причинную структуру $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$;
2. способна сохранять и обрабатывать информацию об уже воспринятых событиях;
3. допускает локально когерентное различение последовательности событий;
4. сохраняет когнитивную согласованность при допустимых переходах между ИСО.

Эта структура обеспечивает наблюдателю возможность упорядочивать события, отличать прошлое от будущего и формировать когнитивно непротиворечивую картину наблюдаемого мира.

3.2 Физическое содержание

Физически $\gamma_{\mathcal{O}}$ может быть реализована, например, в виде физического тела с устойчивыми внутренними степенями свободы, обладающими способностью к регистрационной и интерпретационной активности [9]. Примеры включают:

- материальные носители памяти (например, нейронные конфигурации или эквивалентные структуры);
- сенсорные каналы восприятия;
- внутренние механизмы фильтрации и различения причинных связей.

3.3 Формальное условие устойчивости

Пусть $\gamma_{\mathcal{O}}$ — когнитивная структура в ИСО $\mathcal{O}$, и $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$ — соответствующее причинное сечение. Тогда устойчивость $\gamma_{\mathcal{O}}$ означает, что при малой деформации $\gamma_{\mathcal{O}} \rightarrow \gamma'_{\mathcal{O}}$, индуцирующей переход $\mathcal{C}_{\mathcal{O}} \rightarrow \mathcal{C}'_{\mathcal{O}}$, выполняется:

$\forall p \in \mathcal{C}_{\mathcal{O}} \cap \mathcal{C}'_{\mathcal{O}} :$ когнитивная интерпретация события p сохраняется.

Иными словами, наблюдатель продолжает интерпретировать все общие события p когерентно в обеих структурах, несмотря на возможную реконструкцию памяти. Это согласуется с **Постулатом 2** о согласовании в пределе.

3.4 Роль в причинной структуре

Введённая структура $\gamma_{\mathcal{O}}$ является неотъемлемой частью причинного сечения наблюдателя. Она участвует в определении множества событий $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$ через условие:

$$\mathcal{C}_{\mathcal{O}} = \{p \in \mathcal{M} \mid \exists q \in \gamma_{\mathcal{O}} : p \in J^-(q) \cup J^+(q)\}.$$

Таким образом, когнитивная структура не только подчиняется причинности, но и определяет наблюдаемый ею мир.

3.5 Переходы между ИСО и согласованность

При переходе между ИСО допустимы преобразования, изменяющие причинную структуру. Однако когнитивная структура $\gamma_{\mathcal{O}}$ должна сохранять внутреннюю согласованность. Это может требовать допустимой модификации памяти и восприятия, но не разрушения способности к интерпретации событий в новой ИСО. Устойчивость $\gamma_{\mathcal{O}}$ гарантирует, что наблюдатель способен продолжать идентификацию себя и своих наблюдений после перехода.

3.6 Следствия

Таким образом, минимальная когнитивная структура наблюдателя:

- обеспечивает основу для построения причинной структуры в данной ИСО;
- определяет область допустимых наблюдаемых преобразований;
- служит физически реализуемым и информационно устойчивым якорем для эмерджентного пространства и времени.

Устойчивость когнитивной структуры требует не глобальной идентичности событийности, а согласованности памяти и допустимости причинной реконструкции в новой ИСО. Даже если два наблюдателя находятся в одной и той же физической ИСО с точки зрения внешнего формализма, их когнитивные структуры $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$ могут различаться. Это различие

обусловлено индивидуальными траекториями восприятия γ_O , различной доступностью причинных связей и различным содержанием памяти. Соответственно, событие, принадлежавшее одной когнитивной структуре, не обязано входить в другую до момента когнитивного взаимодействия, сопровождаемого реконструкцией памяти в рамках новой причинной доступности.

4 Два типа преобразований

В предлагаемом подходе фундаментальное значение имеют два различных типа преобразований между инерциальными системами отсчёта (ИСО): *прямые преобразования* и *наблюдаемые преобразования*. Они описывают, соответственно, внешнее (формальное) и внутреннее (когнитивное) отображение событийной структуры при переходе между ИСО. Сходные разграничения между внешним (глобальным) и внутренним (локальным или агентным) описанием событийности обсуждаются, например, в [6, 7, 8], а также в рамках реконструкций квантовой теории из информационно-теоретических принципов [10].

4.1 Прямые преобразования

Прямые преобразования представляют собой формальное сопоставление между причинными структурами различных ИСО. Эти преобразования выражают отношение между $\mathcal{C}_O$ и $\mathcal{C}_{O'}$, при котором события, состояния и процессы из одной ИСО отображаются в другую с учётом постулата локальной причинности. Они не предполагают глобального пространства-времени, но логически требуют наличия некоторой более фундаментальной структуры (например, евклидова надструктурного пространства), в рамках которой становится возможным определение таких сопоставлений.

Таким образом, прямые преобразования:

- фиксируют, какие события в одной ИСО могут быть интерпретированы как допустимые с точки зрения причинной структуры другой;
- предполагают внешнюю точку зрения: они не являются непосредственно доступными самому наблюдателю, а выступают как математическое средство описания согласованных переходов между причинными сечениями;

- выполняются только при наличии отображения между когнитивными структурами $\gamma_{\mathcal{O}} \rightarrow \gamma_{\mathcal{O}'}$, совместимого с причинной структурой.

Если такое отображение отсутствует (например, при слишком резком различии между ИСО), прямые преобразования становятся неприменимыми. Это означает, что с формальной точки зрения сопоставление событий между данными ИСО не определено.

4.2 Наблюдаемые преобразования

Наблюдаемые преобразования описывают, как сам наблюдатель интерпретирует переход между ИСО на основе доступных ему данных: памяти, ощущений, текущих наблюдений. Они формируются изнутри когнитивной системы и определяют, каким образом наблюдатель когнитивно реконструирует структуру пространства и времени после перехода.

Наблюдаемые преобразования:

- определяются только из доступных наблюдателю событий, принадлежащих $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$;
- обеспечивают когнитивную непротиворечивость: наблюдатель не должен фиксировать явных конфликтов между прошлым и настоящим;
- могут отличаться от прямых преобразований, особенно в случае изменения причинной структуры при переходе между ИСО;
- стремятся к тождественному отображению при стремлении относительной скорости между ИСО к нулю (в силу Постулата 2).

Когнитивная реконструкция в этом контексте означает процесс согласования внутренней причинной структуры наблюдателя в новой ИСО с той, что имелаась до перехода. Наблюдатель стремится интерпретировать поступающую информацию таким образом, чтобы восстановить непротиворечивую историю — в которой его память, восприятие и логическая согласованность событий не вступают в конфликт. Это не требует полного физического соответствия между ИСО, но требует того, чтобы новая когнитивная картина не разрушала идентичность и непрерывность субъективного опыта.

Подобная интерпретация согласуется с операциональными подходами в квантовой механике и теоретических схемах с непредзаданной причинной структурой [11, 12], где приоритет отдается описаниям, реализуемым изнутри локальных наблюдателей.

В рамках гипотезы локальной причинности не существует глобальной реальной причинной структуры. Тем не менее, для целей формального анализа под *реальной причинной структурой* можно понимать структуру, получаемую с использованием *прямых преобразований*, то есть математически сопоставимую конфигурацию допустимых событий, выводимую из фундаментальной структуры, не наблюдаемой напрямую. В отличие от неё, *наблюдаемая структура* определяется только когнитивной доступностью событий в конкретной ИСО.

4.3 Ограничения наблюдаемых преобразований

Наблюдаемые преобразования возможны лишь при условии когнитивной устойчивости. Это означает, что память, тело и восприятие наблюдателя (γ_O) должны быть реконструируемы внутри новой ИСО таким образом, чтобы не возникало внутренних противоречий.

Формально, наблюдаемые преобразования допустимы, если существует причинно согласованное отображение

$$\gamma_O \longrightarrow \gamma_{O'},$$

где обе структуры принадлежат соответствующим $\mathcal{C}_O$ и $\mathcal{C}_{O'}$, и согласованы с локальной когнитивной динамикой. Здесь γ_O обозначает когнитивную конфигурацию наблюдателя, включающую память, телесное состояние и текущие ощущения.

Если же причинная достижимость между событиями отсутствует полностью, и нет способа когнитивно непротиворечиво продолжить историю наблюдателя в новой ИСО, тогда наблюдаемые преобразования теряют смысл: такой переход считается физически и когнитивно невозможным. Это согласуется с операциональной трактовкой переходов между ИСО: только те, которые допускают согласованную реконструкцию памяти и идентичности, считаются реализуемыми.

Таким образом, хотя прямые преобразования могут быть математически определены в более широкой области, только те из них, которые допускают когнитивную реализацию, имеют физический смысл в рамках гипотезы локальной причинности.

Отметим также, что наблюдаемые преобразования формируются индивидуально для каждого наблюдателя. Даже если два наблюдателя находятся в одной и той же ИСО, их когнитивные структуры $\mathcal{C}_O$ могут различаться, поскольку зависят от собственных траекторий восприятия, памяти и доступных причинных связей. Соответственно, согласование событий между наблюдателями не гарантируется совпадением ИСО, а

требует когнитивного взаимодействия и допустимой реконструкции памяти. Это подчёркивает, что физический смысл наблюдаемых преобразований заключается не в глобальной объективной универсальности, а в индивидуальной согласованной реконструкции причинного мира.

Следует подчеркнуть, что даже в случаях, когда уравнения наблюдаемых преобразований формально совпадают с преобразованиями Лоренца, это совпадение не следует трактовать как наличие фундаментальной симметрии пространства-времени. Такое соответствие возникает как когнитивный предел согласованности между различными ИСО и отражает операциональную согласованность событийности, а не глобальную геометрическую структуру.

4.4 Интерпретация различия

Различие между прямыми и наблюдаемыми преобразованиями отражает фундаментальное расхождение между объективно возможными структурами и тем, что может быть реконструировано наблюдателем внутри ограниченной причинной доступности. Прямые преобразования задают онтологически допустимые соответствия, а наблюдаемые — эпистемически допустимые когнитивные проекции.

4.5 Функция преобразований в гипотезе

В обобщённой причинной гипотезе:

- Прямые преобразования фиксируют, какие события совместимы с внешним описанием в рамках некоторой фундаментальной структуры $\mathfrak{B}$ ³;
- Наблюдаемые преобразования обеспечивают согласованную реконструкцию внутреннего мира наблюдателя;
- Пространство и время появляются как когнитивно согласованные, эмерджентные конструкции, формируемые на базе наблюдаемых преобразований.

Более формально, наблюдаемая событийная структура $\mathcal{C}_O(t)$, возникающая у наблюдателя O в момент когнитивного времени t , может быть

³Под $\mathfrak{B}$ подразумевается некоторая фундаментальная, не наблюдаемая напрямую структура, допускающая формальное сопоставление событий между ИСО. В рамках данной статьи её точная природа не уточняется, однако в последующих работах планируется анализ её возможной природы.

представлена как результат действия оператора когнитивной проекции $A_{y(\mathcal{O},t)}$ на некоторую более фундаментальную, не наблюдаемую непосредственно структуру $\mathfrak{B}$:

$$\mathcal{C}_{\mathcal{O}}(t) = A_{y(\mathcal{O},t)}(\mathfrak{B}).$$

Здесь якорь $y(\mathcal{O},t)$ задаёт когнитивную конфигурацию наблюдателя в момент t , включая допустимую память, телесное состояние и параметры перцепции. Эта схема не играет ключевой роли в данной статье, но позволяет концептуально обосновать, каким образом причинная картина мира может эмерджентно возникать как согласованная реконструкция ограниченной части более глубокой конфигурации. Развёрнутое исследование таких проекций будет представлено в будущих работах.

Такое различие между физическим и когнитивным уровнем позволяет объяснить, каким образом наблюдатель может интерпретировать непрерывный опыт даже при переходах между причинно различными ИСО, сохраняя при этом внутреннюю когерентность и когнитивную устойчивость.

4.6 Когнитивная согласованность событий

Поскольку наблюдаемые преобразования основаны на согласованной реконструкции наблюдаемого прошлого, они должны обеспечивать когнитивную непротиворечивость: события, уже вошедшие в память наблюдателя и остающиеся допустимыми в новой ИСО, должны интерпретироваться таким образом, чтобы сохранялась согласованная история.

Формально, наблюдаемые преобразования удовлетворяют следующему условию когнитивной согласованности:

$$p \in \gamma_{\mathcal{O}} \cap \mathcal{C}_{\mathcal{O}'} \Rightarrow f_{\text{obs}}(p) \in \gamma_{\mathcal{O}'}.$$

Это условие не требует полной идентичности событийных структур, но гарантирует, что допустимые элементы памяти могут быть когнитивно реконструированы без возникновения противоречий. События, недопустимые в новой ИСО, могут быть забыты или заменены на когнитивно эквивалентные, при этом структура наблюдаемого мира остаётся непротиворечивой. Иначе говоря, наблюдаемые преобразования стремятся к когнитивной непротиворечивости, а не к точному физическому соответствию.

4.7 Совместимость наблюдаемых преобразований с преобразованиями Лоренца

В классической специальной теории относительности преобразования Лоренца играют роль фундаментального симметричного перехода между ИСО. Однако в рамках гипотезы локальной причинности они рассматриваются как эмерджентные формы, возникающие при выполнении двух условий:

1. **Строгое сохранение событий:** наблюдаемые преобразования должны отображать события из $\mathcal{C}_O$ в $\mathcal{C}_{O'}$ таким образом, чтобы согласованная реконструкция памяти не нарушала причинную допустимость и внутреннюю непротиворечивость.
2. **Согласованность при малых переходах:** в пределе, когда относительное ускорение или скорость между ИСО стремится к нулю, наблюдаемые преобразования должны стремиться к тождественному отображению. Это соответствует *Постулату 2* и обеспечивает непрерывность когнитивной структуры.

Следует подчеркнуть, что под *строгим сохранением событий* в данном контексте понимается не абсолютная инвариантность, а когнитивная непротиворечивость: события, вошедшие в память наблюдателя и допускаемые новой причинной структурой, должны быть реконструированы таким образом, чтобы не нарушалась согласованная история. Это определение согласуется с Постулатом 1 и подчёркивает, что наблюдаемые преобразования действуют внутри когнитивно допустимого, а не в рамках глобальной физической симметрии.

Поскольку преобразования Лоренца минимально деформируют причинную структуру и при этом сохраняют события, они удовлетворяют указанным условиям. Следовательно, можно утверждать:

Утверждение: Преобразования Лоренца являются допустимыми наблюдаемыми преобразованиями при переходах между ИСО, допускающими когнитивно согласованную реконструкцию событийной структуры.

Это утверждение не означает, что преобразования Лоренца фундаментальны. Напротив, оно указывает на то, что такая форма преобразований может эмерджентно возникать как результат когнитивной оптимальности: Лоренц-инвариантные преобразования минимизируют расхождение между когнитивно реконструированным прошлым и допустимой прямой структурой, сохраняя тем самым согласованность наблюдаемого пространства-времени.

Таким образом, в рамках гипотезы локальной причинности преобразования Лоренца приобретают не фундаментальный, а *когнитивно согласованный* статус — они реализуются как допустимые формы наблюдаемых преобразований, обеспечивающих устойчивость описания при смене ИСО.

Аналогичная логика применялась в [13, 14], где Лоренцева симметрия выводится как согласованность между локальными точками зрения в теории с агентами-наблюдателями.

Важно, что уравнения преобразований Лоренца могут в точности реализовываться как форма наблюдаемых преобразований — в тех случаях, когда возбуждения, полученные наблюдателем, когнитивно реконструируются в согласованную и непротиворечивую событийную структуру. Это позволяет использовать уравнения Лоренца как точное описание наблюдаемой когнитивной реконструкции, не предполагая при этом глобальной симметрии пространства или универсальной инвариантности. Таким образом, точное выполнение уравнений Лоренца допустимо в рамках гипотезы, но не требуется ею как универсальный принцип.

Хотя строгое определение минимальности когнитивной реконструкции требует дальнейшей формализации (в частности, метрики или функционала на пространстве причинных структур), уже сейчас можно отметить, что преобразования Лоренца обладают рядом свойств, делающих их особенно подходящими: они реализуют гладкие, обратимые переходы между ИСО, сохраняющие согласованность событийных описаний при минимальной модификации памяти. Это делает их когнитивно оптимальными среди допустимых наблюдаемых преобразований — в том смысле, что они минимизируют необходимость реконструкции причинных связей и сохраняют непротиворечивость наблюдаемого опыта.

5 Новое определение события

В рамках гипотезы локальной причинности классическое определение события как глобальной точки в пространстве-времени теряет универсальный статус. Поскольку пространство и время не являются фундаментальными сущностями, а наблюдатель ограничен своим причинным сечением C_O , необходимо переопределить само понятие события в операциональных и когнитивных терминах. Классическое определение события как глобальной точки в пространстве-времени было поставлено под сомнение в рамках реляционных и операциональных интерпретаций квантовой теории, а также в программах реконструкции физических понятий из информационных принципов [7, 8, 10].

5.1 Ограничения традиционного определения

В стандартной формулировке событийность отождествляется с точками на глобальном многообразии, снабжённом метрикой и каузальной структурой. Это определение:

- предполагает объективное существование всех событий независимо от наблюдателя;
- требует глобального пространства-времени, доступного «в целом»;
- не учитывает ограниченность наблюдателя в рамках своей ИСО.

Однако, как показано в предыдущих разделах, наблюдатель имеет доступ только к событиям внутри своего причинного сечения $\mathcal{C}_O$, а переход между ИСО сопровождается когнитивно допустимой реконструкцией доступного прошлого. Следовательно, понятие события должно быть переопределено *внутри локальной когнитивной структуры*.

5.2 Операциональное определение события

Определение: *Событие* — это элемент $p \in \mathcal{C}_O$, когнитивно зарегистрированный наблюдателем в ИСО O как причинно достижимое взаимодействие, обладающее устойчивым следом в памяти или наблюдении.

Это определение опирается на три критерия:

1. **Доступность:** событие p должно принадлежать $J^-(q) \cup J^+(q)$ для некоторого $q \in \gamma_O$;
2. **Когнитивная фиксация:** событие должно быть зафиксировано или опосредовано через восприятие, измерение или причинное влияние;
3. **Согласованность:** интерпретация события должна быть непротиворечивой внутри текущей когнитивной структуры.

Подобное определение событийности как функционального взаимодействия согласуется с агентно-ориентированными подходами в квантовой гравитации [11, 14], где причинность определяется изнутри наблюдателя.

5.3 Наблюдаемость и событийность

Не все потенциальные элементы множества $\mathcal{M}$ являются событиями. Событийный статус — не онтологический, а когнитивный: он зависит от доступности и регистрабельности в контексте локальной ИСО. Таким образом, событие не существует «само по себе», а определяется через его операциональную функцию в когнитивной структуре наблюдателя.

Это определение позволяет избежать логических противоречий, возникающих в глобалистском подходе, и согласуется с реляционными и операциональными интерпретациями физических величин [4, 6].

5.4 События и наблюдаемые преобразования

Поскольку наблюдаемые преобразования обеспечивают когнитивно согласованную реконструкцию опыта при переходе между ИСО, они также определяют допустимую перезапись событийности. Событие $p \in \mathcal{C}_O$, сохранённое в памяти, продолжает существовать в $\mathcal{C}_{O'}$ только при условии когнитивной непротиворечивости его реконструкции.

Иными словами, событийность носит *динамический и контекстуальный характер*, а структура событий — это результат когнитивно согласованного взаимодействия наблюдателя с фундаментальной структурой. Это отражает фундаментальное расхождение между онтологическим и эпистемическим подходами к физической реальности, подчёркнутое в теориях с неопределённым причинным порядком [12].

5.5 Формальное сведение

С учётом вышеизложенного, множество событий наблюдателя в ИСО O можно определить как:

$$\mathcal{E}_O = \{p \in \mathcal{C}_O \mid \text{существует регистрация или воздействие, согласованное с } \gamma_O\}.$$

Это множество динамично и может быть модифицировано при переходе к другой ИСО, при условии соблюдения когнитивной устойчивости. Таким образом, *событие* — это не точка в глобальном пространстве, а *когнитивно определённое и операционально фиксируемое взаимодействие*, допустимое внутри текущей причинной структуры.

6 Тоу-модель: события как когнитивные минимумы в скалярном поле на $\mathbb{R}^2$

Для иллюстрации ключевых аспектов, сформулированных в предыдущих разделах — в частности, зависимости событийности от когнитивной структуры наблюдателя и отсутствия глобального пространства-времени, — рассмотрим простейшую модель на двумерном евклидовом пространстве $\mathbb{R}^2$, где фундаментальным объектом является скалярное вещественное поле $\phi(x, y)$. Это поле не обладает никакими внутренними симметриями или динамикой; оно задано как распределение значений на плоскости. Ни одна из осей x и y не выделена — это отражает отсутствие фундаментального различия между пространством и временем в фундаментальной структуре. Подобные абстрактные модели, в которых временная структура возникает из выбора наблюдателя, применяются в рамках агентно-ориентированных реконструкций квантовой теории и концепций эмерджентного времени [9, 7, 14].

В этой модели пространство и время не заданы априори, а возникают как когнитивные конструкции наблюдателя, обусловленные выбором направления интерпретации причинности.

6.1 Когнитивное время и направление наблюдения

Пусть наблюдатель $\mathcal{O}$ выбирает некоторое направление $v_{\mathcal{O}}$ в $\mathbb{R}^2$, которое интерпретируется как направление "времени" в данной ИСО. Предполагается, что $v_{\mathcal{O}}$ нормирован, то есть $\|v_{\mathcal{O}}\| = 1$. Перпендикулярное ему направление $v_{\mathcal{O}}^{\perp}$ трактуется как направление "пространства". Такой выбор задаёт когнитивную структуру наблюдателя: события определяются как локальные минимумы поля ϕ вдоль временного направления $v_{\mathcal{O}}$.

То есть, точка $p \in \mathbb{R}^2$ считается событием для наблюдателя $\mathcal{O}$, если она удовлетворяет условию:

$$\frac{d^2}{d\lambda^2}\phi(p + \lambda v_{\mathcal{O}}) > 0, \quad \text{и} \quad \frac{d}{d\lambda}\phi(p + \lambda v_{\mathcal{O}}) = 0 \quad \text{при} \quad \lambda = 0.$$

, где $\lambda \in \mathbb{R}$ — параметр вдоль направления $v_{\mathcal{O}}$, а $\phi \in C^2(\mathbb{R}^2)$.

Когнитивный минимум — это локальный минимум скалярного поля ϕ вдоль выбранного наблюдателем временного направления $v_{\mathcal{O}}$.

Это условие означает, что ϕ достигает локального минимума вдоль прямой, проходящей через p в направлении $v_{\mathcal{O}}$.

Такое определение событий делает направление $v_{\mathcal{O}}$ функциональным аналогом темпоральной ориентации, выбранной наблюдателем как средство когнитивного упорядочения наблюдаемых изменений.

Таким образом, события зависят от выбранного направления "времени" и разные наблюдатели, выбравшие разные направления $v_{\mathcal{O}}$, получают разные множества событий.

6.2 Эмерджентность пространств-времен

Поскольку множество событий зависит от направления $v_{\mathcal{O}}$, каждое когнитивное сечение наблюдателя $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$ формирует собственное пространство-время. Пара $(v_{\mathcal{O}}, v_{\mathcal{O}}^{\perp})$ задаёт декомпозицию $\mathbb{R}^2$ на пространство и время, а упорядоченное множество событий (локальных минимумов вдоль $v_{\mathcal{O}}$) формирует структуру эмерджентного времени в ИСО $\mathcal{O}$.

Поскольку направление $v_{\mathcal{O}}$ произвольно, множество возможных пространств-времен неограниченно: каждое направление задаёт своё собственное когнитивное пространство и время, возникающие как интерпретация скалярного поля. Пространство-время, таким образом, не задано изначально, а выведено из наблюдаемых закономерностей поля с учётом когнитивной структуры наблюдателя.

6.3 Относительная скорость ИСО

Пусть два наблюдателя, $\mathcal{O}$ и $\mathcal{O}'$, выбрали направления $v_{\mathcal{O}}$ и $v_{\mathcal{O}'}$ как свои временные оси. Тогда их взаимное расположение описывается углом θ между этими направлениями. В пределе, когда $\theta \rightarrow 0$, наблюдатели приближаются друг к другу: их событийные структуры становятся близкими, и наблюдаемые преобразования стремятся к тождественному отображению (в силу Постулата 2).

Таким образом, относительная скорость между ИСО интерпретируется как угол между их когнитивными временными направлениями. Это определение полностью эмерджентно и не требует введения метрики заранее: угол между направлениями появляется как отношение между наблюдательными структурами.

6.4 Выводы из модели

Данная toy-модель демонстрирует:

- как события могут возникать не априорно, а в зависимости от когнитивной структуры наблюдателя;
- как различные наблюдатели, выбирая разные направления времени, получают разные пространства-времена;

- как множество пространств-времен естественно возникает из единого фундаментального поля на $\mathbb{R}^2$;
- как относительная скорость ИСО интерпретируется как угол между когнитивными временными направлениями.

Модель иллюстрирует, что пространство, время, события и относительность — всё это может быть понято как когнитивно обусловленные эмерджентные феномены, возникающие из более фундаментальной причинной структуры, не зависящей от выбора ИСО.

Тоу-модель демонстрирует согласованность гипотезы локальной причинности с геометрически простыми, но концептуально насыщенными примерами, пригодными для дальнейшей формализации в более общих пространствах.

Замечание 1. В данной тоу-модели наблюдатель не описывается как физическая система с внутренней динамикой или памятью. Его причинная структура представлена абстрактно — через ориентацию направления v_O , задающего порядок интерпретации событий. Хотя это упрощение не позволяет строго описать наблюдателя как часть самосогласованной причинной структуры, оно достаточно для иллюстрации ключевого аспекта гипотезы — зависимости событийности от ИСО. Полноценное описание наблюдателя требует более богатой модели, включающей как минимум локально устойчивую структуру, способную сохранять и передавать информацию, что выходит за рамки данного примера и будет рассмотрено отдельно.

Замечание 2. Хотя в данной модели когнитивное упорядочение задаётся направлением v_O внешне, его структура может быть связана с внутренними свойствами поля и устойчивыми конфигурациями. В дальнейших работах планируется описание механизма, посредством которого наблюдатель выделяет локальную темпоральную ориентацию как функционал от поля. Такие подходы созвучны попыткам вывести направление времени из внутренних корреляций или устойчивых конфигураций [6, 15].

Замечание 3. В рассматриваемой модели пространство является евклидовым и безвременным. Однако различие между ИСО может быть формализовано через угол между причинными ориентациями v_O и $v_{O'}$, который эффективно играет

роль относительной скорости. В пределе малого угла причинные структуры становятся практически неотличимыми, что соответствует постулату согласованности при малых относительных скоростях.

Замечание 4. Хотя в данной модели память наблюдателя не моделируется явно, различие событийных структур при смене направления когнитивного времени подразумевает необходимость адаптации памяти. Это иллюстрирует когнитивную основу механизма редактирования, подробно обсуждаемого в приложении А.

7 Эмерджентность пространства и времени

В рамках гипотезы локальной причинности пространство и время не считаются фундаментальными сущностями (см. также подходы к эмерджентности метрики и геометрии [7]). Вместо этого они интерпретируются как когнитивно-эмпирические конструкции, возникающие из согласованной реконструкции наблюдателем локальной причинной структуры. Этот подход контрастирует с классической парадигмой, в которой пространство и время заданы глобально как параметры фона, например, в виде фиксированного многообразия с метрикой в общей теории относительности.

7.1 Когнитивное время и когнитивное пространство

Наблюдатель $\mathcal{O}$ интерпретирует своё движение по причинной структуре как упорядоченную последовательность изменений — это задаёт направление *когнитивного времени*, которое мы обозначим как $v_{\mathcal{O}}$. Это направление не является фундаментальным, а зависит от внутренних процессов наблюдателя: оно отражает порядок регистрации и интерпретации событий.

Наряду с временным направлением, наблюдатель может когнитивно выделить другое направление, *независимое* от $v_{\mathcal{O}}$ в том смысле, что локальная изменчивость наблюдаемых величин вдоль него не изменяет причинного упорядочения событий, воспринимаемых наблюдателем. Это направление трактуется как *когнитивное пространство*. В частных случаях, например в toy-модели на $\mathbb{R}^2$, когнитивное пространство может быть формализовано как ортогональное к когнитивному времени (в евклидовом смысле). Однако в общем случае такое определение не

предполагает заранее заданной метрики и должно выводиться операционально — через различимость и локальную независимость корреляций событий, воспринимаемых наблюдателем.

Таким образом, пара направлений (v_O, u_O) , где u_O определяет когнитивное пространство, задаёт локальную декомпозицию причинной структуры в терминах времени и пространства, специфичную для наблюдателя O . Эти направления не имеют универсального геометрического статуса, но играют ключевую роль в формировании эмерджентного пространства-времени как когнитивной конструкции.

7.2 Множественность пространств-времен

Так как направление когнитивного времени v_O может быть произвольным, общее множество потенциальных событий $\mathcal{M}$ допускает множество когнитивно отличающихся пространств-времен. Множество потенциальных событий $\mathcal{M}$ понимается как полное множество точек, к которым может быть применена причинная интерпретация наблюдателем, — например, как множество всех локальных конфигураций фундаментального поля, допускающих когнитивную реконструкцию. Это согласуется с формализацией, предложенной во введении, где $\mathcal{M}$ трактуется как формальное множество потенциальных событий, не обладающее онтологическим статусом, а лишь допускающее когнитивно причинную интерпретацию в рамках индивидуальной ИСО. Каждое из них определяется своим наблюдателем (см. также реляционный подход к описанию квантовых состояний наблюдателя [6]) и не может быть сведено к единой глобальной структуре (см., напр., [8]). В результате:

- пространство-время возникает как *локальная когнитивная проекция*, то есть функциональное выделение координатной структуры на подмножестве $\mathcal{C}_O \subset \mathcal{M}$;
- глобальная метрика на $\mathcal{M}$ не задана и не наблюдаема;
- между различными ИСО возможна только когнитивно согласованная интерпретация событий, но не общая координатная система.

При этом $\mathcal{C}_O$ трактуется как когнитивно-доступное подмножество $\mathcal{M}$, порождённое внутренними и операциональными ограничениями наблюдателя (см. раздел 1).

7.3 Преобразования между ИСО и когнитивная согласованность

Переход между пространственно-временными описаниями разных наблюдателей $\mathcal{O} \rightarrow \mathcal{O}'$ осуществляется через *наблюдаемые преобразования*, которые обеспечивают непротиворечивую реконструкцию памяти и событий при смене ИСО (см. также приложение А, где обсуждается когнитивный механизм редактирования памяти при переходах между ИСО). Они не представляют собой физическое преобразование координат в классическом смысле (см. также [6, 4, 5]), а описывают когнитивно допустимую перестройку памяти и интерпретации событий в рамках новой причинной ориентации.

В общем случае, различие между направлениями когнитивного времени $v_{\mathcal{O}}$ и $v_{\mathcal{O}'}$ операционально выражает *относительную когнитивную скорость* между системами отсчёта. Под *когнитивной скоростью* мы понимаем степень расхождения в интерпретации причинного порядка между наблюдателями, задаваемую отклонением между их когнитивными временными направлениями. В частных моделях она может выражаться как угол между направлениями, но в общем случае определяется операционально — через различие в реконструкции причинной последовательности.

Таким образом:

- расхождение между направлениями когнитивного времени отражает различие в интерпретации событийности;
- при малых расхождениях наблюдаемые преобразования приближаются к тождественным (Постулат 2);
- когнитивная согласованность выступает условием эмерджентной непротиворечивости между наблюдателями.

7.4 Пространство-время как когнитивная конструкция

Из вышеизложенного следует:

- Пространство и время не являются онтологическими величинами — они возникают из когнитивной обработки причинной информации.
- Эмерджентная локальная координатная система наблюдателя формируется как функциональная проекция согласованной когнитив-

ной структуры событий в $\mathcal{C}_O$, с выделением направлений когнитивного времени и когнитивного пространства.

- Преобразования Лоренца могут локально совпадать с наблюдаемыми преобразованиями в тех областях, где когнитивные временные направления различных ИСО близки, а причинная структура допускает согласованную линейную реконструкцию событий. В этом смысле преобразования Лоренца являются совместимыми с наблюдаемыми преобразованиями, возникающими при локальной когнитивной согласованности между ИСО.

Таким образом, в рамках предлагаемой гипотезы пространство и время не принадлежат к фундаментальной онтологии, а рассматриваются как когнитивно согласованные структуры, возникающие в процессе интерпретации наблюдателем причинной информации. Их форма, преобразования и даже количество зависят от выбранной причинной ориентации и наблюдательной структуры.

8 Дискуссия

Предложенная гипотеза локальной причинности радикально пересматривает привычное представление о пространстве, времени и событиях как фундаментальных объектах. В этом разделе мы обсудим философские и физические последствия такого подхода, включая интерпретацию памяти, роль когнитивной устойчивости, а также различие между детерминизмом и согласованностью.

8.1 Память, когнитивная устойчивость и реконструкция прошлого

Память играет центральную роль в формировании событийной структуры наблюдателя [16, 11]. В рамках гипотезы локальной причинности память — это не просто хранилище фиксированных данных, а часть когнитивной динамики, принадлежащая причинному сечению $\mathcal{C}_O$ наблюдателя. При смене ИСО наблюдатель должен согласовать своё состояние с новой причинной структурой $\mathcal{C}_O$.

Такое согласование может потребовать *реконструкции памяти* — когнитивной адаптации, при которой события прошлого, недопустимые в новой структуре, исключаются или заменяются на причинно допустимые. Это не означает искажение истины, так как истина в данном подходе определяется локально внутри каждой ИСО. Когнитивная устой-

чивость требует, чтобы память не противоречила доступной причинной структуре и текущим наблюдениям.

Реконструкция не является произвольной. Она должна удовлетворять следующим условиям:

- согласованность с текущим состоянием тела и когнитивных процессов наблюдателя;
- непротиворечивость внутри новой причинной структуры;
- сохранение идентичности наблюдателя как непрерывной когнитивной траектории.

Таким образом, память не фиксируется абсолютизированно, а переподтверждается в каждой новой ИСО через допустимые когнитивные механизмы.

8.2 Глобальный детерминизм и локальная согласованность

В классической физике, особенно в общей теории относительности, предполагается существование глобальной детерминированной структуры: заданная начальная гиперповерхность определяет эволюцию всей системы [17, 2]. В гипотезе локальной причинности от этого подхода отказываются: причинность определяется локально и отдельно в каждой ИСО.

Отсутствие глобального детерминизма означает:

- невозможность построить универсальное пространство-время, согласованное для всех наблюдателей;
- возможность различий в реконструкции событийности между ИСО;
- отказ от единого мирового времени или универсального будущего.

Однако это не ведёт к произволу или субъективизму. Гипотеза вводит более слабое, но достаточное условие: *локальную согласованность*. Переход между ИСО возможен лишь при условии сохранения когнитивной устойчивости, а наблюдаемые преобразования стремятся к согласованности с прямыми в пределе малых переходов (см. Постулат 2).

Таким образом, вместо глобального детерминизма вводится *когнитивная когерентность* — наблюдатель сохраняет непрерывность опыта и событийной структуры в допустимых переходах между ИСО [6, 7].

Следует подчеркнуть, что локальная когнитивная согласованность относится не только к переходам между различными ИСО, но и к согласованию между различными наблюдателями в одной и той же ИСО. Даже при общей геометрической системе отсчёта когнитивные структуры $\mathcal{C}_O$ могут различаться, и согласование событий между наблюдателями требует допустимого когнитивного взаимодействия. Таким образом, когнитивная когерентность — это не глобальное тождество описаний, а локальное условие непротиворечивости и эволюционной совместимости индивидуальных структур событийности.

Уравнения преобразований Лоренца могут появляться в наблюдаемом описании как согласованные формы когнитивной реконструкции между различными ИСО в случаях, когда различие между ИСО минимально и позволяет непротиворечивое сопоставление событий. Однако они не предполагают наличие глобальной метрики или объективной симметрии, а лишь выражают возможность согласованного когнитивного описания в рамках ограниченной причинной доступности.

8.3 Супердетерминизм и наблюдаемая свобода

В контексте гипотезы можно задать вопрос: допускается ли супердетерминизм? То есть, может ли наблюдатель быть полностью предопределён фундаментальной структурой?

Ответ зависит от трактовки самой фундаментальной структуры. Если она допускает полную реконструкцию всех ИСО и когнитивных траекторий наблюдателей, тогда гипотеза совместима с супердетерминизмом. Однако, с точки зрения самого наблюдателя, каждый переход между ИСО воспринимается как свободный и локально согласованный, без доступа к глобальной информации.

Таким образом, в гипотезе:

- супердетерминизм возможен как глобальное свойство фундаментальной структуры;
- но операционально наблюдатель всегда действует в условиях *локальной свободы*, ограниченной лишь когнитивной устойчивостью;
- это позволяет согласовать предсказуемость с относительной независимостью локального опыта.

См. также обсуждение супердетерминизма в контексте квантовой теории в [18, 19].

8.4 Отношение к другим теориям

Предложенный подход имеет точки соприкосновения с:

- реляционной квантовой механикой (RQM) [6], где физическая информация определяется относительно наблюдателя;
- квантовыми теориями с динамической причинной структурой [7];
- философией наблюдаемых конструкций (operationalism), где реальность определяется через измерительные процедуры.

Отличие гипотезы локальной причинности — в акценте на когнитивную структуру наблюдателя, его память, согласованность восприятия и реконструкцию событийности. Именно эта когнитивная согласованность заменяет роль глобального фона.

8.5 Роль когнитивной надструктуры

Хотя в гипотезе отсутствует фундаментальное пространство-время, всё же подразумевается существование некоей фундаментальной структуры $\mathfrak{B}$, из которой можно восстанавливать допустимые причинные сечения и когнитивные траектории. Эта структура не обязательно геометрична; она может быть описана, например, скалярным полем на $\mathbb{R}^2$ как в toy-model. Это согласуется с идеей «информационного основания» физики [8, 20].

Важное следствие: пространство-время, причинность и события — не фундаментальны, но могут быть реконструированы как *когнитивно эмерджентные феномены* из согласованной интерпретации более фундаментальной структуры.

Таким образом, переход от фундаментального пространства-времени к когнитивной согласованности не приводит к потере предсказательной силы, а, напротив, открывает путь к объяснению наблюдаемых симметрий, квантовой неопределённости и согласованности опыта как естественных следствий локальной причинной структуры.

9 Физические реализации и перспективы

Предложенная гипотеза локальной причинности и когнитивной согласованности, несмотря на свою абстрактность, допускает конкретные физические следствия и перспективы экспериментальной и теоретической

реализации. В этом разделе рассмотрены возможные направления применения гипотезы, способы её проверки и связь с существующими фундаментальными теориями. Используемые ниже термины «когнитивная структура», «когнитивная реконструкция» и «когнитивная согласованность» понимаются в смысле, установленном в секциях 7 и 8.

9.1 Когнитивная реконструкция и квантовая неопределённость

Одним из важнейших следствий гипотезы является естественное объяснение квантовой неопределённости. Поскольку события определяются когнитивно и возникают только внутри согласованного причинного сечения, их наличие в памяти наблюдателя всегда сопряжено с ограничениями на возможные реконструкции в другой ИСО. Это накладывает фундаментальные ограничения на одновременную определённость событий в разных системах отсчёта — аналогично соотношению неопределённости Гейзенберга [16, 11], и согласуется с операциональными ограничениями в обобщённых вероятностных теориях [21].

Таким образом, квантовая неопределённость может быть интерпретирована не как следствие стохастической динамики, а как следствие ограничений на когнитивно допустимую реконструкцию событий при смене причинной структуры.

9.2 Происхождение преобразований Лоренца

Как было показано ранее, преобразования Лоренца могут эмерджентно возникать как допустимая форма наблюдаемых преобразований между когнитивно согласованными ИСО $\mathcal{O} \rightarrow \mathcal{O}'$, каждая из которых описывается собственной когнитивной структурой $\gamma_{\mathcal{O}}$ (см. определение в разделе 1). Это даёт новый взгляд на их происхождение: они не постулируются, а выводятся из требований когнитивной непротиворечивости и минимального искажения памяти при переходах между ИСО. В этой интерпретации Лоренц-инвариантность — не фундаментальная симметрия природы, а когнитивно оптимальная форма согласования событий при переходах между близкими ИСО.

Это открывает путь к выводу других симметрий как когнитивно устойчивых форм: возможно, симметрии Стандартной модели ($SU(3) \times SU(2) \times U(1)$) также являются следствием когнитивных ограничений наблюдателей, реализуемых в устойчивых физических структурах (См. также подходы к реконструкции симметрий из информационных и когнитивных принципов [20, 22]).

9.3 Связь с общей теорией относительности

Несмотря на отказ от глобального пространства-времени, гипотеза допускает вывод общей теории относительности как эмерджентного описания согласованной динамики наблюдателей, для которых когнитивные структуры $\gamma_{\mathcal{O}}$ образуют гладкое многообразие. Метрика, в этом подходе, не является первичной, а появляется как эффективное средство параметризации преобразований между когнитивными структурами в пределах непрерывности.

Это создаёт возможность построения эмерджентной геометрии, где искривление метрики выражает деформацию согласованных когнитивных структур наблюдателей.

9.4 Экспериментальные следствия

Поскольку гипотеза допускает различие между наблюдаемой и прямой (внешней) структурой, можно предположить ситуации, где когнитивная согласованность нарушается. Такие эффекты могут проявиться:

- в предельных условиях смены ИСО — например, при экстремальных ускорениях, когда реконструкция памяти невозможна;
- при квантовой запутанности, где согласованность между различными наблюдателями может дать несводимые к классическим причинам расхождения, аналогично эффектам декогеренции и селекции устойчивых состояний [23];
- в моделях с несколькими наблюдателями, где согласование причинных сечений не является однозначным, и возможны когнитивные парадоксы.

Хотя эти явления требуют ещё более точного формализма, их предсказуемость на основе гипотезы делает возможным поиск экспериментально наблюдаемых следствий, отличающихся от предсказаний классических и квантовых теорий.

9.5 Будущие направления

Предложенный подход открывает несколько перспективных направлений:

- Формализация алгебраической структуры когнитивных преобразований и построение когнитивно-инвариантной динамики.

- Построение теории поля на безвременной фундаментальной структуре (например, $\mathbb{R}^4$), где наблюдаемые поля возникают как проекции на когнитивно выделенные причинные сечения.
- Разработка механизма эмерджентного времени на основе плотности согласованных когнитивных проекций.
- Анализ взаимодействующих наблюдателей и согласованной событийности в условиях ограниченной когнитивной реконструкции.

В более далёкой перспективе возможен выход на полную реконструкцию Стандартной модели и общей теории относительности как когнитивно оптимальных структур, эволюционирующих в условиях ограниченного доступа к фундаментальной структуре.

Таким образом, гипотеза локальной причинности не только объясняет природу пространства и времени как когнитивно эмерджентных, но и предоставляет путь к переосмыслению всей фундаментальной физики — от симметрий и квантовости до гравитации — в терминах наблюдаемых, согласованных реконструкций.

10 Заключение

Настоящая работа предложила новую формулировку причинности как локального и когнитивно обусловленного явления. Отказ от предположения о глобальном пространстве-времени позволил переопределить фундаментальные понятия событийности, времени и пространства как эмерджентные конструкции, возникающие внутри наблюдаемых причинных структур. Введённое различие между прямыми и наблюдаемыми преобразованиями позволило разрешить парадоксы согласования между различными инерциальными системами отсчёта (ИСО), сохранив при этом внутреннюю когнитивную непротиворечивость и непрерывность опыта наблюдателя.

В качестве основных результатов можно выделить:

- Формулировку двух постулатов локальной причинности, обеспечивающих операциональное определение допустимых событий в каждой ИСО;
- Введение понятия когнитивной структуры наблюдателя как минимального носителя причинной реконструкции;

- Разграничение прямых (внешних) и наблюдаемых (внутренних) преобразований между ИСО;
- Построение toy-модели (см. секцию 6), иллюстрирующей эмерджентность пространств-времен и множественность когнитивных описаний на основе простого скалярного поля;
- Демонстрация в toy-модели того, что относительная скорость ИСО может быть представлена как угол между когнитивными временными направлениями;
- Показано, что преобразования Лоренца могут возникать как эмерджентные формы наблюдаемых когнитивных преобразований при определённых условиях;
- Указание на перспективы вывода фундаментальных теорий (КТП, ОТО) из когнитивно согласованной реконструкции событийности.

Важно отметить, что преобразования Лоренца в данном подходе не трактуются как фундаментальные симметрии физического пространства-времени. Их уравнения появляются как форма когнитивно согласованных преобразований между наблюдателями при выполнении условий локальной непротиворечивости и причинной совместимости. Таким образом, Лоренц-инвариантность понимается не как постулат, а как эмерджентный предел когнитивной структуры, возникающий при локальной согласованности между ИСО (см. раздел 7).

Особенно важно отметить, что когнитивные структуры событий могут различаться не только между различными ИСО, но и между наблюдателями в одной и той же ИСО. Такое различие обусловлено индивидуальными траекториями восприятия, различной доступностью причинных связей и содержанием памяти наблюдателя (см. обсуждение когнитивных структур в разделе 8). В результате согласование событий между наблюдателями требует допустимого когнитивного взаимодействия и реконструкции памяти в рамках новой причинной допустимости. Это усиливает отказ от универсальной глобальной онтологии событий и подчёркивает операциональный характер физической реальности.

Таким образом, гипотеза локальной причинности открывает новый путь к переосмыслению структуры физической реальности. Пространство и время в этом подходе — не фундаментальные элементы мироздания, а результат когнитивной интерпретации доступных событий. Такая точка зрения объединяет релятивистский, квантовый и операциональный подходы, устраняя необходимость в априорно заданной метрике или глобальной онтологии.

Открытым остаётся целый ряд вопросов: как формализовать динамику поля, как построить теорию взаимодействующих наблюдателей, как согласовать многомерные когнитивные структуры. Эти направления требуют дальнейшего исследования, однако уже сейчас ясно, что предложенный подход предоставляет концептуальные и формальные средства для радикального пересмотра основ физики.

Следует подчеркнуть, что в данной гипотезе пространство и время не рассматриваются как фундаментальные сущности. Их структура возникает как результат когнитивной интерпретации причинно допустимых корреляций в доступном подмножестве событий в пределах доступного опыта. Это указывает на возможность существования более фундаментального уровня описания, не зависящего от априорных понятий событийности или метрики. В качестве возможного направления дальнейшего анализа рассматривается модель вещественного скалярного поля без внутренних симметрий и выделенных направлений, заданного на евклидовой четырёхмерной структуре без времени (см. также [7, 8] для сопоставимых подходов). Хотя такое описание не входит в формальную конструкцию данной статьи, оно задаёт ориентацию для последующих работ по формализации гипотезы и исследованию эмерджентности физической структуры.

Будущее описание природы может потребовать отказа от идеи универсального пространства-времени. Вместо него мы, возможно, обнаружим согласованные острова когнитивной причинности, в которых события, законы и симметрии появляются как эмерджентные проявления глубже лежащей структуры.

А Формальная заметка о модификации памяти при прямых преобразованиях

В рамках гипотезы локальной причинности память наблюдателя представляет собой часть его когнитивной структуры γ_O , представляющей внутреннюю модель причинных связей и памяти наблюдателя, и принадлежащую к причинному сечению $\mathcal{C}_O$. При переходе между инерциальными системами отсчёта (ИСО) память должна быть реконструируема внутри новой причинной структуры $\mathcal{C}_{O'}$, что требует согласованного

отображения (см. также [7, 11] для операциональных аналогий в квантовой теории):

$$f_{\text{mem}} : \gamma_{\mathcal{O}} \cap \text{Memory} \longrightarrow \gamma_{\mathcal{O}'} \cap \text{Memory}.$$

где Memory обозначает подмножество когнитивной структуры, содержащее воспоминания наблюдателя о прошлых событиях, включая информацию, хранимую в памяти, реконструируемую как часть причинно допустимого опыта.

Так как прямые преобразования $F : \mathcal{C}_{\mathcal{O}} \rightarrow \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$ определяются на уровне внешнего формализма, они могут отображать некоторые элементы памяти в такие события, которые не причинно достижимы из текущего состояния в $\mathcal{O}'$. В этом случае требуется когнитивно допустимая модификация памяти, устраняющая противоречия.

А.1 Условие допустимой модификации

Обозначим множество воспоминаний наблюдателя в ИСО $\mathcal{O}$ как $\mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}} \subset \gamma_{\mathcal{O}}$, а в ИСО $\mathcal{O}'$ как $\mathcal{M}_{\mathcal{O}'}^{\text{mem}} \subset \gamma_{\mathcal{O}'}$. Прямое отображение $F : \mathcal{C}_{\mathcal{O}} \rightarrow \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$ может приводить к ситуации, при которой:

- Некоторые элементы памяти $p \in \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}}$ отображаются в события $F(p) \notin \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$, то есть становятся недопустимыми;
- Новые события $p' \in \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$, отсутствующие в $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$, становятся причинно доступными и могут быть интерпретированы как «воспоминания».

Тогда модификация памяти допустима, если:

- Для каждого $p \in \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}}$, либо выполняется $F(p) \in J^-(q) \cup J^+(q)$ для некоторого $q \in \gamma_{\mathcal{O}'}$, то есть событие остаётся допустимым;
- Либо существует допустимая замена или устранение p в соответствии с функциональной эквивалентностью;
- И дополнение памяти допустимо, если новые события $p' \in \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$ когнитивно совместимы с уже реконструированной структурой и не вызывают логических противоречий. Здесь $J^{\pm}(q)$ обозначает причинное будущее или прошлое события q .

Это условие гарантирует, что память в новой ИСО остаётся когнитивно допустимой и функционально связной, несмотря на отсутствие глобальной инвариантности событий.

А.2 Функциональный критерий замены и дополнения

Если для некоторого воспоминания $p \in \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}}$ условие когнитивной допустимости не выполняется, оно должно быть либо устранено, либо —

при наличии — заменено на функционально эквивалентное когнитивное представление в новой ИСО. Такая замена возможна, если определено частичное отображение

$$\mu : \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{inadmiss}} \longrightarrow \gamma_{\mathcal{O}'} \cap \text{Memory},$$

где $\mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{inadmiss}} \subset \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}}$ — подмножество воспоминаний, недопустимых в $\mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$, а правая часть — когнитивно реконструируемые воспоминания в структуре $\gamma_{\mathcal{O}'}$. Это отображение не требует глобального сопоставления событий между ИСО: достаточно, чтобы каждый элемент $\mu(p)$ когнитивно воспринимался наблюдателем как допустимое воспоминание, функционально эквивалентное исходному p , даже если оно возникает из иного причинного контекста.

Функциональная эквивалентность здесь означает, что для любой внутренней динамики наблюдателя $D_{\mathcal{O}}$, зависящей от памяти, выполняется

$$D_{\mathcal{O}'}(\mu(p)) \approx D_{\mathcal{O}}(p),$$

где знак $\approx$ указывает на сохранение когнитивной непротиворечивости: наблюдатель продолжает считать себя тем же субъектом, то есть его реконструированная когнитивная структура сохраняет субъективную идентичность в рамках согласованного опыта.

Кроме того, при переходе в новую ИСО могут стать причинно доступными события, отсутствовавшие в предыдущей структуре. В этом случае когнитивно допустимо *дополнение* памяти такими событиями $p' \in \mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$, если они согласуются с уже существующей реконструкцией и не нарушают когнитивной непротиворечивости. Это позволяет наблюдателю восстановить непрерывную и функционально согласованную историю в новой причинной структуре.

Устранение воспоминания допустимо, если оно не может быть включено в реконструированную когнитивную структуру без нарушения причинной допустимости или непротиворечивости. Это означает, что событие не должно допускаться в пределах реконструируемого когнитивного конуса причинности и не может быть заменено или переинтерпретировано без потери целостности восприятия. Не для каждого воспоминания существует допустимая замена или дополнение. В этом случае соответствующее воспоминание устраняется, отражая невозможность его реконструкции в новой когнитивной структуре.

А.3 Устойчивость воспоминаний при совпадении событий

Если событие $p \in \mathcal{M}_{\mathcal{O}}^{\text{mem}}$ сохраняется в обоих причинных сечениях $\mathcal{C}_{\mathcal{O}}$ и $\mathcal{C}_{\mathcal{O}'}$, то при условии когнитивной устойчивости наблюдателя оно должно остаться частью памяти и в новой ИСО. Это обусловлено тем, что информация о событии реализуется как причинно-связная цепочка внутри когнитивной структуры $\gamma_{\mathcal{O}}$, и при сохранении этой структуры (или её допустимой модификации) такая цепочка продолжает существовать и в $\gamma_{\mathcal{O}'}$.

Следовательно, даже если другие элементы памяти будут перестроены, воспоминание о p должно сохраниться или быть реконструировано в функционально эквивалентной форме, совместимой с новой причинной структурой. Это обеспечивает непрерывность идентичности наблюдателя и устойчивость памяти относительно согласованных переходов между ИСО.

А.4 Следствие для наблюдаемых преобразований

Модификация памяти необходима только на уровне прямых преобразований. Наблюдаемые преобразования по определению оперируют только когнитивно допустимыми структурами. Поэтому они включают уже модифицированную память и не требуют дальнейшего согласования. Иными словами, наблюдаемая история всегда когнитивно согласована — даже если её физическое соответствие с предыдущей ИСО было нарушено при прямом переходе.

А.5 Интерпретация

Данное поведение отражает фундаментальный принцип: *наблюдатель не может помнить то, что не мог наблюдать*. Если переход в новую ИСО делает событие недопустимым, его образ в памяти должен быть когнитивно переинтерпретирован или устранён. Такая модификация не является ошибкой или нарушением, а представляет собой необходимую часть когнитивной адаптации к новой причинной структуре. Это поведение напрямую вытекает из Постулата 1 гипотезы локальной причинности, согласно которому вся наблюдаемая структура мира определяется внутренне согласованной причинностью самого наблюдателя. В отсутствие внешне заданного времени когнитивная реконструкция становится необходимым механизмом поддержания непрерывности субъективного опыта и связности наблюдаемой событийной картины.

Это объясняет, как при отсутствии глобального пространства-времени сохраняется непротиворечивость восприятия: непрерывность опыта обеспечивается не сохранением всех данных, а их согласованной реконструкцией.

Список литературы

- [1] Charles W. Misner, Kip S. Thorne, and John Archibald Wheeler. *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.
- [2] Robert M. Wald. *General Relativity*. University of Chicago Press, 1984.
- [3] Judea Pearl. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, 2nd edition, 2009.
- [4] Asher Peres. *Quantum Theory: Concepts and Methods*. Kluwer Academic, 1995.
- [5] Niels Bohr. The quantum postulate and the recent development of atomic theory. *Nature*, 121:580–590, 1928.
- [6] Carlo Rovelli. Relational quantum mechanics. *International Journal of Theoretical Physics*, 35:1637–1678, 1996.
- [7] Lucien Hardy. Towards quantum gravity: A framework for probabilistic theories with non-fixed causal structure. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 40:3081–3099, 2007.
- [8] Daniele Oriti, editor. *Approaches to Quantum Gravity*. Cambridge University Press, 2009.
- [9] Don N. Page and William K. Wootters. Evolution without evolution: Dynamics described by stationary observables. *Physical Review D*, 27:2885, 1983.
- [10] Giulio Chiribella, Giacomo Mauro D’Ariano, and Paolo Perinotti. Informational derivation of quantum theory. *Physical Review A*, 84:012311, 2011.
- [11] Časlav Brukner. Quantum causality. *Nature Physics*, 10:259–263, 2014.
- [12] Ognjan Oreshkov, Fabio Costa, and Časlav Brukner. Quantum correlations with no causal order. *Nature Communications*, 3:1092, 2012.

- [13] Lucien Hardy. Reconstructing lorentz transformations from operational postulates, 2013. arXiv:1303.1538 [quant-ph].
- [14] Flaminia Giacomini, Esteban Castro-Ruiz, and Časlav Brukner. Quantum mechanics and the covariance of physical laws in quantum reference frames. *Nature Communications*, 10:494, 2019.
- [15] Rodolfo Gambini and Jorge Pullin. Relational physics with real rods and clocks and the measurement problem of quantum mechanics. *Foundations of Physics*, 37:1074–1092, 2007.
- [16] Christopher A. Fuchs, N. David Mermin, and Rüdiger Schack. An introduction to qbism with an application to the locality of quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 82:749–754, 2014.
- [17] Stephen W. Hawking and George F. R. Ellis. The large scale structure of space-time. *Cambridge Monographs on Mathematical Physics*, 1973.
- [18] Sabine Hossenfelder and Tim Palmer. Rethinking superdeterminism. *Frontiers in Physics*, 8:139, 2020.
- [19] Nicolas Gisin. Free will and superdeterminism, 2010. arXiv:1002.1392 [quant-ph].
- [20] Lucien Hardy. Quantum theory from five reasonable axioms, 2001.
- [21] Jonathan Barrett. Information processing in generalized probabilistic theories. *Physical Review A*, 75:032304, 2007.
- [22] Wojciech H. Zurek. Quantum darwinism, classical reality, and the randomness of quantum jumps. *Physics Today*, 44:36–44, 1991.
- [23] Wojciech H. Zurek. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. *Reviews of Modern Physics*, 75:715–775, 2003.