

On the Formulation of the Stratum Equation: A Discrete Analog of GR in the Unified Wave Cosmological Model

К постановке задачи уравнения Пласта:

*дискретный аналог ОТО в Единой Волновой Космологической
Модели*

G.Y. Slavutsky / Г.Ю. Славутский

Contact / Контакты: gleb1969@mail.ru

Date / Дата: April 11, 2026 / 11 апреля 2026 г.

DOI: 10.5281/zenodo.19518993

*Status / Статус: Preprint (problem statement) / Препринт (постановка
задачи)*

Abstract

Within the framework of the Unified Wave Cosmological Model (UWCM), spacetime (the Stratum) is a discrete quantized network with a minimal scale—the Planck length l_P . In works [1–4], the following results were obtained:

- mass quantization: $M = N \cdot m_P$, $N \in \mathbb{N}$;
- energy transfer quantization: $\Delta E = k \cdot E_P$;
- information quantization (holographic principle);
- time quantization: $\Delta t = n \cdot t_P$;
- resolution of quantum paradoxes via discrete dynamics.

However, the key element of UWCM formalization—a discrete analog of Einstein’s equation (the Stratum equation)—has not yet been obtained in closed form.

The present work is a problem statement for the Stratum equation. Principles that it must satisfy are formulated: discreteness, quantization of the gravitational radius ($R_s = 2Nl_P$),

elimination of singularities, and the correspondence principle with GR. A qualitative sketch of a possible form of the equation is proposed, based on the discretization of the Laplacian. Open questions are listed explicitly.

The work concludes with an invitation to collaboration: the task of formalizing the Stratum equation requires the collective efforts of mathematicians and physicists and cannot be solved alone.

Аннотация

В рамках Единой Волновой Космологической Модели (ЕВКМ) пространство-время (Пласт) представляет собой дискретную квантованную сеть с минимальным масштабом — планковской длиной l_P . В работах [1–4] были получены следующие результаты:

- квантование массы: $M = N \cdot m_P$, $N \in \mathbb{N}$;
- квантование передачи энергии: $\Delta E = k \cdot E_P$;
- квантование информации (голографический принцип);
- квантование времени: $\Delta t = n \cdot t_P$;
- разрешение квантовых парадоксов через дискретную динамику.

Однако ключевой элемент формализации ЕВКМ — дискретный аналог уравнения Эйнштейна (уравнение Пласта) — пока не получен в замкнутой форме.

Настоящая работа представляет собой постановку задачи на уравнение Пласта. Сформулированы принципы, которым оно должно удовлетворять: дискретность, квантование гравитационного радиуса ($R_s = 2Nl_P$), устранение сингулярностей, принцип соответствия с ОТО. Предложен качественный набросок возможной формы уравнения, основанный на дискретизации лапласиана. Открытые вопросы перечислены в явном виде.

Работа завершается приглашением к сотрудничеству: задача формализации уравнения Пласта требует коллективных усилий математиков и физиков и не может быть решена в одиночку.

Keywords: quantum gravity, loop quantum gravity, LQG, string theory, discrete space-time, Planck length, Planck time, mass quantization, time quantization, holographic principle, AdS/CFT correspondence, Einstein equation, GR, general relativity, Regge calculus, causal dynamical triangulation, CDT, singularity, black holes, dark matter, dark energy, measurement problem, quantum paradoxes, Schrödinger's cat, wave function collapse, UWCM, Unified Wave Cosmological Model, Stratum equation, SGW, Stratum, Infill, problem statement, open problem, invitation to collaboration.

Ключевые слова: квантовая гравитация, петлевая квантовая гравитация, LQG, теория струн, дискретное пространство-время, планковская длина, планковское время, квантование массы, квантование времени, голографический принцип, AdS/CFT соответствие, уравнение Эйнштейна, ОТО, общая теория относительности, Regge calculus, причинная динамическая триангуляция, CDT, сингулярность, чёрные дыры, тёмная материя, тёмная энергия, проблема измерения, квантовые парадоксы, кот Шрёдингера, коллапс волновой функции, ЕВКМ, Единая Волновая Космологическая Модель, уравнение Пласта, СГВ, Пласт, Наполнение, постановка задачи, открытая проблема, приглашение к сотрудничеству.

1 Introduction: What Has Already Been Done

The Unified Wave Cosmological Model (UWCM) [1] describes reality as a three-level system:

- **SGW** (Σ) — active boundary, source of energy and keeper of information;
- **Stratum** (Ψ) — discrete quantized network (graph) with minimal scale l_P ;
- **Infill** (Φ) — emergent excitations of the Stratum.

In works [2, 3, 4], the following results were obtained:

- Mass quantization: $M = N \cdot m_P$, arising from the discreteness of the Stratum.
- Energy transfer quantization: $E_{\text{impact/return}} = K \cdot E_P$.
- Information quantization: the SGW as a holographic screen with a density of 1 bit per $4l_P^2$.
- Time quantization: $\Delta t = n \cdot t_P$, with the ensuing resolution of quantum paradoxes (collapse as a process, entanglement as synchronization, objective measurement criterion).

However, the central equation linking the geometry of the Stratum with the distribution of masses—a discrete analog of Einstein’s equation—has not yet been obtained in closed form. The present work is devoted to the formulation of this problem.

2 What the Stratum Equation Must Satisfy

Before attempting to write down the equation, it is necessary to define the principles it must satisfy.

2.1 Discreteness

Space and time are discrete: coordinates are defined only at nodes \mathbf{x}_i and at moments $t_n = n \cdot t_P$. The metric $g_{\mu\nu}(i, n)$ is defined only at these points.

2.2 Mass Quantization

The mass of any object is $M = N \cdot m_P$. In the equation, this must be reflected via a sum over nodes with integer N_i , as in works [2, 3].

2.3 Quantization of the Gravitational Radius

For an isolated black hole, the following must hold: $R_s = 2Nl_P$. This has already been derived from mass quantization independently of the equation [2].

2.4 Elimination of Singularities

As $r \rightarrow 0$, there should be no divergences—the minimal scale l_P naturally cuts off the metric.

2.5 Correspondence Principle

In the limit $l_P \rightarrow 0$, $t_P \rightarrow 0$, $N \rightarrow \infty$ (with fixed mass $M = N \cdot m_P$), the equation must reduce to the classical Einstein equation.

2.6 Connection with Time Quantization

Evolution must be discrete: the state at moment t_{n+1} is expressed in terms of the state at moment t_n .

3 A Qualitative Sketch of a Possible Form

3.1 Preliminary Considerations

In the continuous case, Einstein's equation relates the curvature tensor (second derivatives of the metric) to the energy-momentum tensor. In the discrete case, second derivatives are replaced by second finite differences.

By analogy with the discrete Laplacian on a lattice, the discrete Einstein tensor should be expressed through second differences of the metric over neighboring nodes and time layers. The exact form of this operator depends on the structure of the graph (coordination number, topology) and has not yet been established. Dimensionally, the discrete curvature operator must have dimension m^{-2} , which is naturally achieved by dividing second differences by l_P^2 .

3.2 Principle Form

Based on the requirements of Section 2, the Stratum equation should have the form:

$$\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}[g(i, n), g(j, n), g(i, n \pm 1)] = 8\pi l_P \sum_i N_i \delta^{(3)}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i) u_\mu^{(i)}(n) u_\nu^{(i)}(n), \quad (1)$$

where $\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}$ is a discrete operator that reduces to the Einstein tensor $G_{\mu\nu}$ in the continuous limit.

Note: The exact form of $\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}$ is an open problem. Possible approaches include Regge calculus (discrete GR on simplices), methods of loop quantum gravity, or direct discretization of the GR equations on a graph.

4 A Special Case: The Discrete Schwarzschild Metric

For an isolated non-rotating black hole with mass $M = N \cdot m_P$ far from other nodes, the Stratum equation must reduce to a discrete radial metric.

Let $r_k = k \cdot l_P$, $k \in \mathbb{N}$. Then, from the requirement of gravitational radius quantization [2], it follows that:

$$g_{00}(r_k) = - \left(1 - \frac{2Nl_P}{r_k} \right), \quad g_{11}(r_k) = \left(1 - \frac{2Nl_P}{r_k} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Key consequences:

1. The gravitational radius is quantized: $R_s = 2Nl_P$.
2. The singularity is absent: as $r_k \rightarrow 2Nl_P$, the metric does not diverge, since r_k is discrete and the minimal value is $r_k = l_P$.
3. For macroscopic black holes ($N \gg 1$), the quantization is unnoticeable, and the metric approximates the classical one.
4. For micro black holes ($N \sim 1$), quantization effects should be significant.

5 What the Stratum Equation Will Provide (If Found)

Table 1: Problems solved by the Stratum equation.

Problem of Classical GR	How the Stratum Equation Solves It
Singularities (Big Bang, black holes)	Minimal scale l_P ; r cannot be less than l_P , t cannot be less than t_P
Divergences in quantum field theory	Natural cutoff at E_P, l_P, t_P
Problem of time in quantum gravity	Time is discrete and given by "ticks" t_P ; evolution is stepwise
Quantum paradoxes	Objective measurement criterion via number of coordinated ticks; collapse is not instantaneous but a process lasting $m \cdot t_P$

6 Open Questions (What Remains to Be Solved)

6.1 Exact Form of the Discrete Einstein Tensor

How to express curvature via the metric on graph nodes? Does the form depend on the coordination number? What is the analog of the Ricci tensor and scalar curvature?

6.2 Derivation from First Principles

Can the Stratum equation be obtained from a variational principle for a discrete action? What does a discrete analog of the Hilbert-Einstein action look like?

6.3 Connection to Existing Approaches

How does the Stratum equation relate to Regge calculus, loop quantum gravity, and lattice quantum gravity? Can it be viewed as a special case of these theories?

As the closest formalism, one should highlight **Regge calculus** (Regge, 1961)—a discretization of GR on simplicial complexes, where curvature is concentrated on edges of codimension 2 (bones), and Einstein’s equation reduces to a condition on the sum of angle deficits. The Stratum equation may be viewed as a generalization of Regge calculus to the case of a dynamic network with variable connectivity and quantized sources at the nodes.

6.4 Parallels with Loop Quantum Gravity (LQG) as a Path to a Solution

In searching for a mathematical form for the Stratum equation, one cannot ignore the deep parallels between the ontology of UWCM and the apparatus of loop quantum gravity. Although the goals of the theories are similar (construction of a non-perturbative quantum gravity), UWCM offers what LQG lacks—a clear physical interpretation and a solution to the problem of time.

1. The Stratum as a Spin Network. The nodes and bonds of the Stratum in UWCM are a direct physical analog of the vertices and edges of a spin network in LQG. This provides a ready-made mathematical toolkit: the area and volume operators in LQG automatically explain why the gravitational radius in UWCM is quantized ($R_s = 2Nl_P$). The difference is that in UWCM, this network is not abstract but is the real “fabric” of being.

2. The SGW as a Solution to the Problem of Time. One of the main difficulties of the canonical formulation of LQG is the “problem of time”—the Wheeler-DeWitt equation contains no time variable, leading to the paradox of a “frozen Universe.” In UWCM, this problem is resolved by the presence of the SGW. The SGW acts as an external (but located within the meta-system) “tick generator,” setting the discrete evolution step t_P . Thus, the Stratum equation should be not a static constraint equation but a **discrete difference equation** describing the transition of the network from state t to state $t + t_P$ under the influence of boundary conditions imposed by the SGW.

3. Information Capacity. LQG operates with geometric quanta but does not specify the nature of vacuum energy and holographic information. UWCM complements the picture by endowing the framework bonds with bond energy $\varepsilon_P = E_P/z$ and pointing to the SGW as a natural holographic screen. The formalization of the Stratum equation may proceed along the path of modifying the Palatini-Holst action with an additional boundary term describing the contribution of the SGW.

6.5 Numerical Modeling

How to solve the Stratum equation on graphs? What initial and boundary conditions should be set?

6.6 Testable Predictions

What observational consequences follow from the Stratum equation, beyond those already formulated in [2, 3, 4] (quantization of R_s , discrete spectrum of CMB, gravitational waves)?

7 Invitation to Collaboration

The task of formalizing the Stratum equation cannot be solved by one person. It requires:

- knowledge in discrete differential geometry (Regge calculus, simplicial complexes);
- experience in loop quantum gravity (curvature operators on graphs, spin networks, Wheeler-DeWitt equation);
- skills in numerical modeling on large graphs;
- understanding of the correspondence principle and limiting transitions.

I invite mathematicians and physicists working in the fields of quantum gravity, discrete geometry, and numerical methods to collaborate on the derivation and analysis of the Stratum equation.

Contact: gleb1969@mail.ru

8 Conclusion

This work has formulated the problem of the Stratum equation—a discrete analog of Einstein’s equation within the framework of UWCM. Requirements for the equation have been defined: discreteness, quantization of mass and gravitational radius, elimination of singularities, and the correspondence principle. A qualitative sketch of a possible form has been proposed. Open questions have been listed.

The author recognizes that the presented work is merely a problem statement, not its solution. Further progress requires the collective efforts of specialists in discrete geometry, Regge calculus, loop quantum gravity, and numerical methods.

This work does not contain a ready-made equation—it is a problem statement and an invitation to collaboration. An honest acknowledgment of the limits of current knowledge is a necessary step on the path to truth.

Acknowledgments

The author thanks the UWCM community for discussions and criticism. Special thanks to all who will respond to the invitation to collaboration.

1 Введение: что уже сделано

Единая Волновая Космологическая Модель (ЕВКМ) [1] описывает реальность как трёх-уровневую систему:

- СГВ (Σ) — активная граница, источник энергии и хранитель информации;
- Пласт (Ψ) — дискретная квантованная сеть (граф) с минимальным масштабом l_P ;
- Наполнение (Φ) — эмерджентные возбуждения Пласта.

В работах [2, 3, 4] были получены следующие результаты:

- Квантование массы: $M = N \cdot m_P$, вытекающее из дискретности Пласта.
- Квантование передачи энергии: $E_{\text{удар/возврат}} = K \cdot E_P$.
- Квантование информации: СГВ как голографический экран с плотностью 1 бит на $4l_P^2$.
- Квантование времени: $\Delta t = n \cdot t_P$, с вытекающим разрешением квантовых парадоксов (коллапс как процесс, запутанность как синхронизация, объективный критерий измерения).

Однако центральное уравнение, связывающее геометрию Пласта с распределением масс, — дискретный аналог уравнения Эйнштейна — пока не получено в замкнутой форме. Данная работа посвящена постановке этой задачи.

2 Что должно удовлетворять уравнение Пласта

Прежде чем пытаться выписать уравнение, необходимо определить принципы, которым оно должно удовлетворять.

2.1 Дискретность

Пространство и время дискретны: координаты определены только в узлах \mathbf{x}_i и в моменты $t_n = n \cdot t_P$. Метрика $g_{\mu\nu}(i, n)$ определена только в этих точках.

2.2 Квантование массы

Масса любого объекта: $M = N \cdot m_P$. В уравнении это должно отражаться через сумму по узлам с целочисленными N_i , как в работах [2, 3].

2.3 Квантование гравитационного радиуса

Для изолированной чёрной дыры должно выполняться: $R_s = 2Nl_P$. Это уже выведено из квантования массы независимо от уравнения [2].

2.4 Устранение сингулярностей

При $r \rightarrow 0$ не должно быть расходимостей — минимальный масштаб l_P естественным образом обрезает метрику.

2.5 Принцип соответствия

В пределе $l_P \rightarrow 0$, $t_P \rightarrow 0$, $N \rightarrow \infty$ (при фиксированной массе $M = N \cdot m_P$) уравнение должно переходить в классическое уравнение Эйнштейна.

2.6 Связь с квантованием времени

Эволюция должна быть дискретной: состояние в момент t_{n+1} выражается через состояние в момент t_n .

3 Качественный набросок возможной формы

3.1 Исходные соображения

В непрерывном случае уравнение Эйнштейна связывает тензор кривизны (вторые производные метрики) с тензором энергии-импульса. В дискретном случае вторые производные заменяются вторыми конечными разностями.

По аналогии с дискретным лапласианом на решётке, дискретный тензор Эйнштейна должен выражаться через вторые разности метрики по соседним узлам и временным слоям. Точная форма этого оператора зависит от структуры графа (координационного числа, топологии) и пока не установлена. В размерном отношении дискретный оператор кривизны должен иметь размерность m^{-2} , что естественно достигается делением вторых разностей на l_P^2 .

3.2 Принципиальный вид

Исходя из требований раздела 2, уравнение Пласта должно иметь вид:

$$\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}[g(i, n), g(j, n), g(i, n \pm 1)] = 8\pi l_P \sum_i N_i \delta^{(3)}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i) u_\mu^{(i)}(n) u_\nu^{(i)}(n), \quad (1)$$

где $\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}$ — дискретный оператор, который в непрерывном пределе переходит в тензор Эйнштейна $G_{\mu\nu}$.

Примечание: Точный вид $\mathcal{G}_{\mu\nu}^{\text{disc}}$ — открытая проблема. Возможные подходы включают Regge calculus (дискретная ОТО на симплексах), методы петлевой квантовой гравитации или прямую дискретизацию уравнений ОТО на графе.

4 Частный случай: дискретная метрика Шварцшильда

Для изолированной невращающейся чёрной дыры с массой $M = N \cdot m_P$ вдали от других узлов уравнение Пласта должно сводиться к дискретной радиальной метрике.

Пусть $r_k = k \cdot l_P$, $k \in \mathbb{N}$. Тогда из требования квантования гравитационного радиуса [2] следует:

$$g_{00}(r_k) = - \left(1 - \frac{2Nl_P}{r_k} \right), \quad g_{11}(r_k) = \left(1 - \frac{2Nl_P}{r_k} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Ключевые следствия:

1. Гравитационный радиус квантован: $R_s = 2Nl_P$.
2. Сингулярность отсутствует: при $r_k \rightarrow 2Nl_P$ метрика не обращается в бесконечность, так как r_k дискретно и минимальное значение $r_k = l_P$.
3. Для макроскопических чёрных дыр ($N \gg 1$) квантование незаметно, и метрика приближается к классической.
4. Для микро-ЧД ($N \sim 1$) эффекты квантования должны быть значительными.

5 Что даст уравнение Пласта (если оно будет найдено)

Таблица 1: Проблемы, решаемые уравнением Пласта.

Проблема классической ОТО	Как решит уравнение Пласта
Сингулярности (Большой взрыв, чёрные дыры)	Минимальный масштаб l_P ; r не может быть меньше l_P , t не может быть меньше t_P
Расходимости в квантовой теории поля	Естественное обрезание на E_P , l_P , t_P
Проблема времени в квантовой гравитации	Время дискретно и задаётся «тиками» t_P ; эволюция — пошаговая
Квантовые парадоксы	Объективный критерий измерения через число согласованных тиков; коллапс — не мгновенный, а процесс за $m \cdot t_P$

6 Открытые вопросы (что предстоит решить)

6.1 Точная форма дискретного тензора Эйнштейна

Как выразить кривизну через метрику на узлах графа? Зависит ли форма от координационного числа? Каков аналог тензора Риччи и скалярной кривизны?

6.2 Вывод из первых принципов

Можно ли получить уравнение Пласта из вариационного принципа для дискретного действия? Как выглядит дискретный аналог действия Гильберта-Эйнштейна?

6.3 Связь с существующими подходами

Как уравнение Пласта соотносится с Regge calculus, петлевой квантовой гравитацией, квантовой гравитацией на решётке? Можно ли его рассматривать как частный случай этих теорий?

В качестве наиболее близкого формализма следует выделить **Regge calculus** (Regge, 1961) — дискретизацию ОТО на симплицальных комплексах, где кривизна сосредоточена на рёбрах коразмерности 2 (bones), а уравнение Эйнштейна сводится к условию на сумму дефицитов углов. Уравнение Пласта может рассматриваться как обобщение Regge calculus на случай динамической сети с переменной связностью и квантованными источниками в узлах.

6.4 Параллели с петлевой квантовой гравитацией (LQG) как путь к решению

При поиске математической формы для уравнения Пласта невозможно игнорировать глубокие параллели между онтологией ЕВКМ и аппаратом петлевой квантовой гравитации. Хотя цели теорий схожи (построение непертурбативной квантовой гравитации), ЕВКМ предлагает то, чего не хватает LQG — наглядную физическую интерпретацию и решение проблемы времени.

1. Пласт как спиновая сеть. Узлы и связи Пласта в ЕВКМ являются прямым физическим аналогом вершин и рёбер спиновой сети в LQG. Это даёт готовый математический инструментарий: операторы площади и объёма в LQG автоматически объясняют, почему гравитационный радиус в ЕВКМ квантован ($R_s = 2Nl_P$). Разница в том, что в ЕВКМ эта сеть не абстрактна, а является реальной «тканью» бытия.

2. СГВ как решение проблемы времени. Одной из главных трудностей канонической формулировки LQG является «проблема времени» — уравнение Уилера-Девитта не содержит временной переменной, что приводит к парадоксу «застывшей Вселенной». В ЕВКМ эта проблема снимается наличием СГВ. СГВ выступает в роли внешнего (но находящегося внутри мета-системы) «генератора тиков», задающего дискретный шаг эволюции t_P . Таким образом, уравнение Пласта должно быть не статичным уравнением связей, а **дискретным разностным уравнением**, описывающим переход сети из состояния t в состояние $t + t_P$ под влиянием граничных условий, накладываемых СГВ.

3. Информационная ёмкость. LQG оперирует геометрическими квантами, но не специфицирует природу энергии вакуума и голографической информации. ЕВКМ дополняет картину, наделяя рёбра каркаса энергией связи $\varepsilon_P = E_P/z$ и указывая на СГВ как на естественный голографический экран. Формализация уравнения Пласта может идти

по пути модификации действия Палатини-Холста с дополнительным граничным членом, описывающим вклад СГВ.

Детальное сопоставление этих подходов является одной из первоочередных задач.

6.5 Численное моделирование

Как решать уравнение Пласта на графах? Какие начальные и граничные условия задавать?

6.6 Проверяемые предсказания

Какие наблюдательные следствия вытекают из уравнения Пласта, помимо уже сформулированных в [2, 3, 4] (квантование R_s , дискретный спектр СМВ, гравитационных волн)?

7 Приглашение к сотрудничеству

Задача формализации уравнения Пласта не может быть решена одним человеком. Она требует:

- знаний в области дискретной дифференциальной геометрии (Regge calculus, симплициальные комплексы);
- опыта в петлевой квантовой гравитации (операторы кривизны на графах, спиновые сети, уравнение Уилера-Девитта);
- навыков численного моделирования на больших графах;
- понимания принципа соответствия и предельных переходов.

Я приглашаю математиков и физиков, работающих в области квантовой гравитации, дискретной геометрии и численных методов, к совместной работе над выводом и анализом уравнения Пласта.

Контакты: gleb1969@mail.ru

8 Заключение

В работе сформулирована задача на уравнение Пласта — дискретный аналог уравнения Эйнштейна в рамках ЕВКМ. Определены требования к уравнению: дискретность, квантование массы и гравитационного радиуса, устранение сингулярностей, принцип соответствия. Предложен качественный набросок возможной формы. Перечислены открытые вопросы.

Автор осознаёт, что представленная работа является лишь постановкой задачи, а не её решением. Дальнейшее продвижение требует коллективных усилий специалистов в области дискретной геометрии, Regge calculus, петлевой квантовой гравитации и численных методов.

Работа не содержит готового уравнения — это постановка задачи и приглашение к сотрудничеству. Честное признание границ текущего знания — необходимый шаг на пути к истине.

Благодарности

Автор благодарит сообщество ЕВКМ за обсуждения и критику. Особая благодарность — всем, кто откликнется на приглашение к сотрудничеству.

References / Литература

- [1] Slavutsky, G.Y. Unified Wave Cosmological Model: From a Quantized Spacetime Network to Cosmological Predictions. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.17781827
- [2] Slavutsky, G.Y. Mass Quantization in UWCM: From the Black Hole Classifier to a Bridge with GR. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.19516683
- [3] Slavutsky, G.Y. Quantization of Energy Transfer in UWCM: Connection to the Holographic Principle. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.19518042
- [4] Slavutsky, G.Y. Time Quantization in UWCM: Resolution of Quantum Paradoxes. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.19518629
- [5] Einstein, A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 1916.
- [6] Regge, T. General relativity without coordinates. *Nuovo Cimento*, 1961, 19, 558.
- [7] Rovelli, C.; Smolin, L. Discreteness of area and volume in quantum gravity. *Nuclear Physics B*, 1995, 442, 593.
- [8] Rovelli, C. *Quantum Gravity*. Cambridge University Press, 2004.
- [9] Thiemann, T. *Modern Canonical Quantum General Relativity*. Cambridge University Press, 2007.