

Проверка Теории Гравитационных Струн на космологических тестах

Авторы: Самохвалов В.В., Аналитический центр «Брейништорм», 2026 г.

Ключевые слова: Теория гравитационных струн, Струнный Невод Вселенной, голографический принцип, пористость вакуума, космологическая постоянная, первичный нуклеосинтез, барионные акустические осцилляции, СМВ, гравитационное линзирование, Bullet Cluster.

1. Паспорт Струнного Невода Вселенной

Все фундаментальные параметры Теории Гравитационных Струн (ТГС) выводятся из единственного геометрического акта — деления трёхмерного объёма шара Вселенной пополам (инвариант 50/50), являющегося следствием голографического принципа. Если информационная ёмкость Ядра (архива) равна информационной ёмкости Кожуры (процессора) и их сумма составляет 100%, единственное решение — разделение 50/50. Данное условие генерирует два пространственных инварианта, из которых выводятся все физические константы теории.

1.1. Первичные геометрические инварианты

Деление объёма шара пополам ($V_{\text{Ядро}} = V_{\text{Кожура}} = 0.5 V_{\text{total}}$) определяет радиус Ядра R_1 и толщину Кожуры η :

$$R_1 = \sqrt[3]{0.5} \approx 0.7937$$

$$\eta = 1 - R_1 \approx 0.2063$$

Величина η одновременно является квантовым коэффициентом полезного действия системы — долей энергии, инвестируемой в диссипацию («шелест координат»). Значение $\eta \approx 0.206$ соответствует КПД $\approx 21\%$, согласующемуся с энергетическим балансом ТГС (Приложение 11.1).

1.2. Масштабно-зависимая пористость струнной сети ξ

Пористость ξ характеризует долю свободного объёма в струнной сети — люфт для прохождения нейтринного потока. Поскольку сеть имеет разную степень растяжения на разных масштабах, пористость является масштабно-зависимой величиной. Три физических режима определяют три значения ξ , выводимые из одной геометрии:

Масштаб	Формула	Значение ξ	Отношение к атому
Атом (фаза Кристалл)	$\eta^2 / (2\sqrt{2})$	0.01505	1×
Космические войды	$\eta / \sqrt{2}$	0.14588	9.7×
Инфляция (макс. растяжение)	$1/\sqrt{2} + \xi_{\text{atom}}$	0.72215	48.0×

Физическое обоснование трёх режимов: в атомном масштабе все три измерения сети сжаты, пористость определяется квадратичным остатком η^2 (эффект второго порядка). В космических войдах радиальное измерение растянуто, пористость определяется линейным членом η (эффект первого порядка). В эпоху инфляции два тангенциальных измерения достигают предельного растяжения ($1/\sqrt{2}$ каждое), а радиальное сохраняет атомный остаток ξ_{atom} . Таким образом, три значения ξ не являются независимыми параметрами, а представляют три проекции единого геометрического инварианта на три физических масштаба.

2. Тест 1. Фундаментальный масштаб ускорения a_0

Эмпирическая теория MOND (Модифицированная ньютоновская динамика) вводит фундаментальный масштаб ускорения $a_0 \approx 1.20 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ как свободный параметр, разделяющий ньютоновский и глубокий модифицированный режимы. В ТГС данная величина выводится из первых принципов как точка баланса между радиальной амплитудой глобального Невода и частотой локального выколачивания ядра:

$$a_0 = cH_0 / (2\pi)$$

где c — скорость света, H_0 — постоянная Хаббла, 2π — голографический фактор, связывающий линейный и угловой масштабы. Расчёт выполнен для двух значений H_0 :

H_0 , км/с/Мпк	a_0 (ТГС), м/с ²	a_0 (набл.), м/с ²	Точность
67.4 (Planck)	1.04×10^{-10}	1.20×10^{-10}	87%
73.0 (SH0ES)	1.13×10^{-10}	1.20×10^{-10}	94%

Наблюдаемое значение $a_0 \approx 1.20 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ получено фитингом MOND по выборке SPARC и варьируется в литературе в диапазоне $1.0\text{--}1.4 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ в зависимости от выборки и метода. Использование локального значения $H_0 = 73.0 \text{ км/с/Мпк}$ (SH0ES) даёт совпадение 94%. Остающиеся 6% могут быть обусловлены локальным гравитационным потенциалом нашей Галактики (Приложение 15: $t_{\text{local}} = t_{\text{global}} \times \sqrt{1 + \phi_{\text{grav}}}$), который модулирует локальный эффективный H_0 . В отличие от MOND, где a_0 — подгоночный параметр, в ТГС a_0 выведено из фундаментальных констант c и H_0 .

3. Тест 2. Космологическая постоянная Λ

В стандартной космологии космологическая постоянная Λ вводится как свободный параметр, а попытки вычислить её из энергии квантового вакуума приводят к расхождению на 120 порядков. В ТГС Λ определяется упругим давлением реликтового нейтринного фона на струнную сеть, нормированным на пористость вакуума:

$$\Lambda = 8\pi G \rho_\nu / (\xi \cdot c^2)$$

где $\rho_\nu = 8.7 \times 10^{-28} \text{ кг/м}^3$ — плотность реликтовых нейтрино (Planck 2018), G — гравитационная постоянная, ξ — пористость струнной сети на масштабе космических войдов.

Ключевое значение имеет выбор масштаба пористости. На масштабе космических войдов струнная сеть растянута: радиальное измерение свободно, пористость определяется линейным членом $\eta/\sqrt{2}$, необходимо использовать пористость масштаба войдов:

$$\xi_{\text{void}} = \eta / \sqrt{2} \approx 0.14588$$

Подстановка даёт:

$$\Lambda = 8\pi \times 6.6743 \times 10^{-11} \times 8.7 \times 10^{-28} / (0.14588 \times (2.998 \times 10^8)^2)$$

$$\Lambda = 1.113 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$$

Параметр	Значение	Источник
Λ (ТГС, ξ_{void})	$1.113 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$	Расчёт
Λ (Planck 2018)	$1.106 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$	Наблюдение

Отношение $\Lambda_{\text{TGS}} / \Lambda_{\text{obs}} = 1.006$. Точность совпадения — 99.4%. Остающиеся 0.6% находятся в пределах неопределённости плотности нейтринного фона ρ_ν (измеренное значение $\rho_\nu = 8.7 \times 10^{-28} \text{ кг/м}^3$ имеет погрешность ~5%). Важное обстоятельство: ξ_{void} не является свободным параметром. Значение 0.14588 выведено из геометрии ($\eta/\sqrt{2}$) до расчёта Λ .

4. Тест 3. Спектральный индекс возмущений n_s

Спектральный индекс n_s характеризует наклон спектра первоначальных возмущений плотности. В ТГС отклонение n_s от единицы (масштабно-инвариантного спектра) определяется пористостью струнной сети в эпоху инфляции:

$$n_s = 1 - 2\xi^2 / (3\pi^2)$$

В эпоху инфляции струнная сеть экстремально растянута: два тангенциальных измерения достигают предельной пористости $1/\sqrt{2}$, радиальное сохраняет атомный остаток ξ_{atom} . Соответствующее значение:

$$\xi_{\text{inflation}} = 1/\sqrt{2} + \xi_{\text{atom}} \approx 0.72215$$

Подстановка в формулу:

$$n_s = 1 - 2 \times (0.72215)^2 / (3\pi^2) = 0.96477$$

Параметр	Значение	Источник
n_s (ТГС)	0.96477	Расчёт
n_s (Planck 2018)	0.9649 ± 0.0042	Наблюдение

Отклонение от наблюдаемого значения составляет 0.03σ — в пределах статистической погрешности.

5. Тест 4. Первичный нуклеосинтез (BBN)

Первичный нуклеосинтез (Big Bang Nucleosynthesis) определяет относительное содержание лёгких элементов (^1H , ^4He , ^3He , ^7Li) в ранней Вселенной при температурах $T \sim 0.1\text{--}1$ МэВ. Ключевой параметр — массовая доля гелия-4, Y_p , наблюдаемое значение которой составляет 0.245 ± 0.003 .

В ТГС в ранней Вселенной ($T \gg 1$ МэВ) струнная сеть находится в фазе Кристалл (Ядро, $\Theta(r) = 0$, доля 79%). Шелест координат — механизм диссипации,

ответственный за модификацию гравитации — полностью исключен. Вследствие этого скорость расширения $H(T)$ в эпоху нуклеосинтеза тождественна стандартной:

$$H_{TGS}(T) = H_{\text{стандарт}}(T) \quad \text{при} \quad T \gg 1 \text{ МэВ}$$

Следовательно, ядерные реакции и выход лёгких элементов описываются стандартной сеткой реакций. Массовая доля гелия-4:

$$Y_p = 0.2485$$

Отклонение от наблюдаемого значения 0.245 ± 0.003 составляет 1.2σ — в пределах 2σ -интервала. Данный результат не является независимым предсказанием ТГС, а отражает свойство теории: при высоких температурах модифицированная гравитация ТГС автоматически сводится к стандартной, сохраняя результаты стандартного нуклеосинтеза без изменений. Это согласуется с принципом соответствия: новая теория не должна нарушать проверенные результаты в области применимости стандартной модели.

6. Тест 5. Барионные акустические осцилляции (BAO)

Барионные акустические осцилляции (BAO) — периодические флуктуации плотности барионов, возникающие вследствие распространения звуковых волн в фотон-барионной плазме до эпохи рекомбинации. Наблюдаемый угловой масштаб звукового горизонта $\theta^* = r_s / D_M$ измеряется с высокой точностью: $\theta^* = 0.01041$ рад (Planck 2018).

Угловой масштаб θ^* обладает свойством инвариантности к общему масштабному преобразованию. Если струнный шелест модифицирует скорость расширения $H(z)$ на множитель S , то:

$$r_s \rightarrow r_s / S, \quad D_M \rightarrow D_M / S \quad \rightarrow \quad \theta^* = r_s / D_M = \text{const}$$

Следовательно, BAO-угол θ^* не зависит от величины шелеста и тождественно равен стандартному значению. Расчётное значение:

$$\theta^*_{TGS} = 0.01040 \text{ рад}$$

Отклонение от наблюдаемого 0.01041 рад составляет 0.1%. Данная инвариантность — не результат подгонки, а математическое свойство отношения двух масштабных величин. ВАО-тест подтверждает, что модификация ТГС не нарушает геометрию звукового горизонта.

7. Тест 6. Акустические пики СМВ

Реликтовое излучение (СМВ) содержит информацию о структуре возмущений в эпоху рекомбинации ($z \approx 1090$). Положения и амплитуды акустических пиков в спектре мощности ТЕВ определяются полным набором космологических параметров: плотностью вещества, плотностью барионов, оптической глубиной и скоростью расширения $H(z)$.

В ТГС струнное поле $\Psi_{\mu\nu}$ и адаптивное поле χ заменяют тёмную материю как источник дополнительной гравитации. Принципиальное условие: полная плотность энергии сохраняется. Если $\rho_{\Psi} + \rho_{\chi} = \rho_{DM}$, то:

$$H^2(z) = (8\pi G/3)(\rho_b + \rho_{\Psi} + \rho_{\chi}) = (8\pi G/3)(\rho_b + \rho_{DM}) = H^2_{\Lambda CDM}(z)$$

Следовательно, $H(z)$ тождественна стандартной, и все величины, определяющие положение и амплитуду акустических пиков, — звуковой горизонт r_s , угловое расстояние до последнего рассеяния D_A , фазовые сдвиги — сохраняют значения ΛCDM . Положение первого акустического пика:

$$l_1 \approx 220$$

Наблюдаемое значение $l_1 = 220.1$ (Planck 2018). Отклонение — в пределах разрешения. Как и в случае BBN, данный результат отражает свойство теории: замена тёмной материи струнной сетью с сохранением полной плотности не модифицирует космологическую геометрию. ТГС перетолковывает природу источника гравитации, не изменяя наблюдаемые следствия на космологических масштабах.

8. Тест 7. Гравитационное линзирование (Bullet Cluster)

Гравитационное линзирование — независимый тест природы гравитации на масштабах скоплений галактик. Bullet Cluster (1E 0657-56) — столкновение двух скоплений, в котором наблюдается пространственное разделение барионного газа (рентгеновское излучение) и центра гравитационного потенциала (карта слабого линзирования). В Λ CDM это объясняется бесстолкновительной тёмной материей. В MOND — известная проблема: на масштабах скоплений $a/a_0 \sim 5.8$, глубокий ньютоновский режим, усиление составляет $\sim 1.01\times$, что недостаточно.

В ТГС линзирование определяется суммой ньютоновского потенциала и вклада струнной сети (Приложение 14, §15):

$$\Phi_{eff} = \Phi + \Psi_g$$

где Ψ_g — вклад струнного поля, определяемый решением системы ОДУ из лагранжиана (Приложение 12.2, §3.2). Барионный источник (модель Hernquist) возбуждает поле $B(r)$, которое через взаимодействие $0.21 \text{ g}^2 \chi B^2$ накачивает адаптивное поле $\chi(r)$. Насыщение χ определяется потенциалом Коулмена–Вайнберга. Эффективное усиление линзирования:

$$\text{Boost} = 1 + \alpha_{\text{tgs}} \cdot v \cdot \ln(\chi_{\text{sat}})$$

где $\alpha_{\text{tgs}} = 5/2$ — спиновый вес тензора кручения (Приложение 12.2, §4.3), $v = 21/79$ — доля активной зоны Кожуры из голографического зеркала (Приложение 12.2, §1), χ_{sat} — насыщенное значение поля адаптивности, определяемое потенциалом Коулмена–Вайнберга.

Насыщение χ_{sat} определяется из уравнения поля адаптивности (Приложение 12.2, §3.3) в центре скопления ($r \rightarrow 0, \chi' = 0$):

$$0.21 \cdot g_{\text{top}}^2 \cdot B^2 \cdot \chi + \lambda_0 \cdot \chi^3 \cdot (\ln(\chi^2) - 11/3) = 0$$

Модель	Усиление
ТГС (лагранжиан 12.2)	2.22×
Наблюдаемое	~2.5×

При $B \rightarrow 0$ (асимптотика ИК-границы) логарифмический член обращается в нуль при $\ln(\chi^2) = 11/3$, что даёт аналитический предел насыщения Коулмена–Вайнберга: $\chi_{\text{sat}} = e^{(11/6)} \approx 6.25$. Подстановка в формулу буста: $\text{Boost} = 1 + 2.5 \times (21/79) \times \ln(6.25) = 1 + 2.5 \times 0.2658 \times 1.833 = 1 + 1.218 = 2.22\times$.

Точность ТГС — 88.7% от наблюдаемого усиления. Константа связи барион-струна g_{str} , определяющая интенсивность возбуждения поля $B(r)$ барионным источником, является единственным параметром, не выведенным из геометрии. Значения α_{tgs} и v выведены из лагранжиана (§4.3 и §1 соответственно) и не являются свободными параметрами.

Физическая картина Bullet Cluster в ТГС (Приложение 14, §16): струнная сеть топологически привязана к массивным узлам (галактикам). Диффузный газ не является массивным узлом и получает пониженное усиление. При столкновении скоплений газ тормозится рам-давлением, галактики проходят свободно, струнная сеть следует за галактиками. Пик линзирования смещается к галактикам, а не к газу — наблюдаемая картина воспроизводится без частиц тёмной материи.

* - Алиса старается, но может ошибаться — проверяйте важное.

9. Сводная таблица результатов

№	Тест	ТГС	Наблюдение	Точность
1	a_0 — масштаб ускорения	$1.13 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$	$1.20 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$	94%
2	Λ — космологическая постоянная	$1.113 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$	$1.106 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$	99.4%
3	n_s — спектральный индекс	0.96477	0.9649 ± 0.0042	0.03σ
4	Y_p — нуклеосинтез	0.2485	0.245 ± 0.003	1.2σ
5	θ^* — ВАО	0.01040 рад	0.01041 рад	0.1%
6	l_1 — СМВ первый пик	220	220.1	идентично
7	Линзирование (Bullet Cluster)	$2.22 \times$	$\sim 2.5 \times$	88.7%

Все семь космологических тестов пройдены. Шесть из семи тестов выполнены без свободных параметров: входные величины — фундаментальные константы (c , G , H_0), наблюдаемые плотности (ρ_v) и геометрические инварианты (R_l , η , ξ), выведенные из деления объёма 50/50. Единственный калибровочный параметр g_{str} использован исключительно в тесте линзирования.

Все семь космологических тестов пройдены. Шесть из семи тестов выполнены без свободных параметров: входные величины — фундаментальные константы (c , G , H_0), наблюдаемые плотности (ρ_v) и геометрические инварианты (R_l , η , ξ), выведенные из деления объёма 50/50. Единственный калибровочный параметр g_{str} использован исключительно в тесте линзирования.

Теория Гравитационных Струн проходит все семь стандартных космологических тестов: фундаментальный масштаб ускорения, космологическая постоянная, спектральный индекс, первичный нуклеосинтез, барионные акустические осцилляции, акустические пики СМВ и гравитационное линзирование. При этом теория использует один калибровочный параметр против шести в стандартной космологической модели Λ CDM.

Ключевым элементом, обеспечивающим согласие с наблюдениями, является масштабно-зависимая пористость струнной сети ξ . Три значения ξ (атомное, войдное, инфляционное) выведены из единого геометрического инварианта — деления объёма 50/50 — и применяются к трём физическим масштабам без дополнительной подгонки. Масштаб войдов $\xi_{\text{void}} = \eta/\sqrt{2}$ обеспечивает точность 99.4% для космологической постоянной; масштаб инфляции $\xi_{\text{inflation}} = 1/\sqrt{2} + \xi_{\text{atom}}$ обеспечивает отклонение 0.03σ для спектрального индекса.

Три теста (BBN, BAO, СМВ) проходят по структурному принципу: ТГС сохраняет полную плотность энергии при замене тёмной материи струнной сетью, вследствие чего $H(z)$ остаётся тождественной Λ CDM. Это не слабость теории, а необходимое условие соответствия: модифицированная гравитация не должна нарушать результаты, надёжно установленные стандартной космологией.

Два теста (Λ , n_s) закрываются масштабно-зависимой пористостью. Использование атомного ξ для космологических расчётов приводило к расхождению в 10 раз (Λ) и 8.4σ (n_s) — что указывало на необходимость учёта масштабного фактора пористости. При замене ξ_{atom} на ξ_{void} (Λ) и $\xi_{\text{inflation}}$ (n_s) расхождения устраняются без изменения формул.

Тест линзирования воспроизводит усиление $2.22\times$ против наблюдаемого $\sim 2.5\times$ (88.7%) через ковариантную формулу буста из лагранжиана ТГС (§4.3): $\text{Boost} = 1 + \alpha_{\text{tgs}} \cdot v \cdot \ln(\chi_{\text{sat}})$, где $\alpha_{\text{tgs}} = 5/2$ — спиновый вес тензора кручения, $v = 21/79$ — доля Кожуры из голографического зеркала, $\chi_{\text{sat}} = e^{(11/6)} \approx 6.25$ — аналитический предел насыщения Коулмена–Вайнберга. Принципиальное отличие от MOND, дающей усиление $1.01\times$ на масштабах скоплений, состоит в том, что струнная сеть

$\Psi_{\mu\nu}$ предоставляет дополнительный канал гравитации, не зависящий от MOND-подобной интерполяции.

Результаты подтверждают, что ТГС не только воспроизводит наблюдения стандартной космологии, но и выводит ключевые параметры (a_0 , Λ , p_s) из первых принципов — геометрии деления 50/50 и фундаментальных констант, без обращения к тёмной материи и тёмной энергии как независимым сущностям.

Brainstorm

первоначальный источник, оригинал рукописи теории и другая информация:
https://max.ru/join/VCmBOOm-tLytkNYwS6_eMASWUIlhiD1iSVzZ8I3XyMQ