

# Калибровочно-свободная шкала ускорения из натяжения гравитационных струн: проверка на каталоге SPARC с глобальной калибровкой эффективных коэффициентов

(медианный MAPE  $\simeq 9.3\%$  на 175 галактиках SPARC при per-galaxy фите  $\Upsilon_d$  в стандарт-литературном диапазоне, или  $\simeq 14.7\%$  без подгонки на отдельные галактики)

В. В. Самохвалов

Независимый исследователь, Санкт-Петербург, Россия

vit-samohvalov@yandex.ru

## Аннотация

Предложена дедуктивная модель динамики галактик — Теория Гравитационных Струн (ТГС), — в которой пространство-время рассматривается как дискретная сеть планковских струн, а инерция и гравитация интерпретируются как проявления единого диссипативного механизма «шелеста координат» (*coordinate rustle*) — энергетических затрат на перестройку сети при движении материи. На уровне фундаментальной физики модель не содержит свободных параметров: характеристическое ускорение сети  $a_0 = cH_0/(2\pi) \simeq 1.04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$  выводится из  $c$  и  $H_0$  и совпадает с эмпирической миллгромовской константой в пределах  $\sim 13\%$  (в диапазоне неопределённости  $H_0$ ). Та же замкнутая система предсказывает космологическую постоянную  $\Lambda_{\text{pred}} \simeq 1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$ , согласующуюся с Planck 2018. Феноменологическая динамика диска (поля  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $\Gamma$ , ковариантный буст  $\phi_{\text{cov}}$ , демпфер  $f_v$ , барионный модулятор) описывается семью эмпирическими коэффициентами  $\{\psi_0, \alpha_0, \eta_{\text{крд}}, v_{\text{crit}}, m_{\text{эф}}^{\text{cap}}, \phi_{\text{cov}}^{\text{cap}}, A_{\text{бар}}\}$ , глобально калиброванными методом дифференциальной эволюции на полной выборке SPARC v2.5 (175 галактик; Lelli,

McGaugh, Schombert 2016). Применены и оценены два режима фита, соответствующие двум стандартным методологиям SPARC-литературы. (i) *Строгий режим*: на каждую галактику подаются фотометрические  $(M_{\text{бар}}, R_d)$  без какой бы то ни было подгонки; на этой метрике эталонная реализация BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 даёт медианный MAPE  $\simeq 14.7\%$  (средний 21.5%). (ii) *Стандартный SPARC-режим* (в духе Lelli, McGaugh, Schombert 2017): дополнительно подгоняется массово-светлостное отношение диска  $\Upsilon_d$  в диапазоне 0.1–3.0 (один параметр на галактику в физически осмысленных границах); на этой метрике медианный MAPE  $\simeq 9.3\%$  (средний 14.1%), 80% галактик укладываются в пределы 20%, 71% — в пределы 15%, 54% — в пределы 10%. Медиана подогнанного  $\Upsilon_d \simeq 0.58$  согласована со стандартным фотометрическим значением 0.5 для Spitzer 3.6  $\mu\text{м}$ . Это сопоставимо с простой MOND ( $\sim 10$ –15% в том же двухпараметрическом фите) и значимо лучше тривиальной ньютоновской барионной кривой (MAPE  $\gg 100\%$ ). Дедуктивно выведенная шкала  $a_0$  при этом сохраняется неизменной в обоих режимах. Обсуждаются связь с ковариантной лагранжевой формулировкой ТГС, влияние выделенной оси, направленной на холодное пятно Эридана (Ось Света), и проверяемые предсказания (анизотропия поляризации гравитационных волн, диффузная гамма-линия 511 кэВ, остаточное ускорение на масштабах Вояджеров). Честно перечислены феноменологические элементы модели, которые ещё предстоит вывести из первых принципов, и описана архитектурная причина текущего разрыва с MOND.

## 1 Введение

### 1.1 Проблема скрытой массы и контекст $\Lambda\text{CDM}$

Стандартная космология  $\Lambda\text{CDM}$  описывает около 95% современного энергетического баланса через две ненаблюдаемые компоненты: холодную тёмную материю, необходимую для удержания плоских кривых вращения и формирования

крупномасштабной структуры, и тёмную энергию, ответственную за позднее ускоренное расширение. Несмотря на полувековые поиски, ни одна частица тёмной материи прямо не зарегистрирована, а «проблема космологической постоянной» — расхождение  $\sim 10^{120}$  между наблюдаемой и теоретически ожидаемой плотностью энергии вакуума — остаётся неразрешённой.

## 1.2 Альтернативные подходы

Различные модификации инерции и гравитации стремятся обойтись без тёмного сектора ценой введения новой шкалы ускорений или дополнительного поля. Наиболее успешной эмпирической схемой остаётся Модифицированная Ньютонская Динамика (MOND) Милгрота [1] с характеристическим ускорением  $a_0 \simeq 1.2 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ ; релятивистское расширение TeVeS [2] воспроизводит гравитационное линзирование, но плохо справляется со скоплениями. Эмерджентная гравитация Верлинде [3] переформулирует гравитацию как энтропийный отклик голографического горизонта; она объясняет радиально- ускорительное соотношение, но трудно обобщается за пределы статической сферической симметрии. В дальнейшем мы используем MOND как естественную точку сравнения: там, где MOND даёт корректное эмпирическое масштабирование, наша модель его воспроизводит; там, где MOND неудовлетворителен (масштабы скоплений, ультрадиффузные галактики,  $\Lambda$ ), мы предлагаем иной механизм.

## 1.3 Вклад настоящей работы

Мы исходим из того, что пространство-время не является гладким континуумом, а представляет собой дискретную сеть планковских гравитационных струн, и что энергетические затраты на перестройку этой сети при движении материи являются общим источником инерции, гравитации и того остаточного «удержания», которое сохраняет плоский профиль кривых вращения на больших радиусах. Этот механизм мы называем *шелестом координат* (вводится один раз как технический термин и далее используется без кавычек). Модель замыкается на выражении для характеристического ускорения сети

$$a_0 = \frac{c H_0}{2\pi} \simeq 1.04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2, \quad (1)$$

которое выводится исключительно из  $c$  и  $H_0$ . Все остальные производные величины (квантовая масса сети, критическая плотность, вязкость) получаются голографически из набора  $\{G, c, H_0, \hbar, \ell_P, \rho_\nu\}$ , причём энергия натяжения струны  $E_{\text{str}}$  самосогласованно определяется требованием  $a_0 = cH_0/(2\pi)$ . Феноменологическая динамика диска (раздел 3) содержит несколько эффективных коэффициентов, описывающих

структуру шелеста и демпфирование на интерполяционной шкале; в настоящей работе семь таких коэффициентов калибруются глобально (один раз на всю выборку, без подгонки на отдельные галактики) и публикуются как часть результата. Модель реализована в виде детерминированного Python-класса BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 и протестирована на полном каталоге SPARC v2.5 (175 галактик) [4].

Структура статьи такова. В разд. 2 вводится теоретическая основа: дискретная сеть, механизм шелеста, голографический вывод базовых величин, вспомогательные поля и связь с ковариантным лагранжианом. Разд. 3 описывает численный метод с указанием физического эффекта, контролируемого каждым блоком. Разд. 4 приводит результаты по SPARC и проверку консистентности  $\Lambda$ . Разд. 5 обсуждает сравнение с MOND, роль выделенной оси, проверяемые предсказания и текущие ограничения модели. Приложения А и В содержат таблицу констант и словарь соответствия обозначений «код  $\leftrightarrow$  статья»; приложение С приводит ключевые фрагменты эталонной реализации.

## 2 Теоретическая основа

### 2.1 Дискретная сеть струн и шелест координат

Базовое допущение ТГС: пространство — не гладкий континуум, а сеть одномерных планковских объектов («гравитационных струн») с минимальным сечением порядка  $\ell_P$ . Элементарные частицы соответствуют локальным узлам этой сети. Движение частицы — не свободная трансляция в инертном фоне, а последовательная перестройка сети: связи разрываются впереди, восстанавливаются позади, и энергетическая стоимость этой перестройки макроскопически проявляется как инерция.

Эту диссипативную перестройку мы называем *шелестом координат*. В терминах эмерджентной гравитации Верлинде [3] шелест — энтропийный отклик сети на локальное рассогласование между положением узла материи и фоновой метрикой; в картине ER=EPR Сасскинда и Малдасены [5] — перестройка связей запутанности, переносимых струнами; в форме Рю-Такаянаги [6] — изменение энтропии

запутанности  $S_{\text{ent}} = A/(4G\hbar)$ , связанное с движущейся границей.<sup>1</sup>

## 2.2 Голографический вывод базовых величин

Требуем, чтобы модель допускала замкнутое, бессвободное описание через измеренные фундаментальные постоянные:

$$\begin{aligned} G &= 6.674\,30 \times 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}, \\ c &= 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ м/с}, \\ H_0 &= 67.4 \text{ км/с Мпк}^{-1} = 2.184 \times 10^{-18} \text{ с}^{-1}, \\ \hbar &= 1.054\,571\,817 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}, \\ \ell_P &= 1.616\,255 \times 10^{-35} \text{ м}, \\ \rho_\nu &= 8.7 \times 10^{-28} \text{ кг/м}^3, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $H_0$  взято по Planck 2018 [8], а  $\rho_\nu$  — по плотности реликтового нейтринного фона.

**Базовое ускорение.** [плата кривой вращения] Размерный анализ на масштабах  $c$  и  $H_0$  даёт единственное ускорение (1); коэффициент  $1/(2\pi)$  фиксируется соответствием с минимально-площадной нормировкой Рю-Такаянаги. Астрофизическая форма:

$$a_0^{\text{astro}} = a_0 \frac{\text{кпк}}{10^6 \text{ М}} \simeq 3.2 \times 10^3 (\text{км/с})^2 \text{ кпк}^{-1}. \quad (3)$$

**Квантовая масса сети.** [фазовая диагностика]

$$m_\psi = \frac{\hbar H_0}{c^2} \simeq 3.09 \times 10^{-67} \text{ кг}. \quad (4)$$

**Радиус Хаббла и параметр натяжения.**

$$\begin{aligned} r_H &= c/H_0 \simeq 1.373 \times 10^{26} \text{ м}, \\ \lambda_{\text{str}} &= (\ell_P/r_H)^2 \simeq 1.39 \times 10^{-122}. \end{aligned} \quad (5)$$

**Критическая плотность.**

[фазовый переход конденсат/пар]

$$\rho_{\text{crit}}^{\text{SI}} = \frac{m_\psi^4}{\lambda_{\text{str}}} \simeq 1.4 \times 10^{-24} \text{ кг/м}^3. \quad (6)$$

В астрономических единицах  $\rho_{\text{crit}} \simeq 2.06 \times 10^{-5} M_\odot/\text{пк}^3$ .

**Вязкость сети.** [метрическая поправка  $\gamma(r)$ ]

$$\xi = \frac{\rho_\nu c^2 \ell_P^2}{E_{\text{str}}} \cdot 2\pi \times 10^{-18} \simeq 1.2 \times 10^{-6}, \quad (7)$$

где вспомогательный множитель  $2\pi \times 10^{-18}$  обеспечивает размерное замыкание между системами СИ и астрономических единиц

(приложение А). Давление нейтринного фона  $P_\nu = \rho_\nu c^2/\xi \simeq 6.5 \times 10^{-5} \text{ Па}$  задаёт космологическую постоянную

$$\Lambda = \frac{8\pi G P_\nu}{c^4} \simeq 1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}, \quad (8)$$

в согласии с Planck [8]; численная проверка приводится в разд. 4.

**Масштаб скорости.**

$$\sigma_{\text{sh},0} = \frac{a_0 \cdot (4 \text{ кпк})}{1000} \simeq 55 \text{ км/с}, \quad (9)$$

естественная дисперсия скорости, связанная с шелестом.

## 2.3 Авто-калибровка $E_{\text{str}}$

В эталонной реализации энергия натяжения струны  $E_{\text{str}}$  не является подгоночным параметром, а фиксируется требованием (1). Двигаясь в обратном направлении через (8) и (7), получаем

$$\begin{aligned} \Lambda_{\text{target}} &= \left( \frac{2\pi a_0}{c^2} \right)^2, \\ P_{\nu,\text{target}} &= \frac{\Lambda_{\text{target}} c^4}{8\pi G}, \\ \xi_{\text{target}} &= \frac{\rho_\nu c^2}{P_{\nu,\text{target}}}, \\ E_{\text{str}} &= \frac{\rho_\nu c^2 \ell_P^2}{\xi_{\text{target}}} \cdot 2\pi \times 10^{-18}. \end{aligned} \quad (10)$$

Такое замыкание обеспечивает голографическую самосогласованность [космологическая постоянная  $\Lambda$ ]: любое изменение  $\{H_0, \rho_\nu\}$  автоматически перестраивает  $E_{\text{str}}$ ,  $\xi$ ,  $\rho_{\text{crit}}$  и  $\Lambda$  согласованно, без места для индивидуальной подгонки.

## 2.4 Вспомогательные поля

Пусть  $M_{\text{bar}}$  и  $R_d$  — барионная масса и масштабная длина экспоненциального диска галактики. Средняя плотность внутри  $3R_d$ :  $\rho_{\text{avg}} = M_{\text{bar}}/[(4\pi/3)(3R_d)^3]$ , безразмерный параметр плотности  $x = \rho_{\text{avg}}/\rho_{\text{crit}}$ . Вводятся три поля.

**Поле адаптивности**  $\chi$ .

[эффективная гравитация]

$$\chi = \ln[1 + \sqrt{\max(x, 0)}], \quad (11)$$

логарифмический отклик сети на локальную плотность.

<sup>1</sup>Концептуальные предшественники: эмерджентная гравитация [3], ER = EPR [5], голографическая энтропия запутанности [6], голографический принцип 'т Хоффа [7].

Поле структуры  $\psi$ . [эффективная гравитация]

$$\psi(r) = \psi_0 \exp(-r/R_d), \quad (12)$$

$\psi_0 = 0.28$ .

Поле диссипации  $\Gamma$ . [демпфирование  $v_{sh}$ ]

$$\begin{aligned} R_{\text{упор}} &= \sqrt{G \cdot 10^{11} M_{\odot} / a_{\text{sh}}(z)}, \\ E_{\text{dyn}} &= 10^{-9} (1 + r/R_{\text{упор}}), \\ \Gamma &= \chi^2 e^{-E_{\text{dyn}}}, \quad \Gamma \in [0, 3]. \end{aligned} \quad (13)$$

## 2.5 Ковариантный буст и тензорная метрическая поправка

Динамическая жёсткость  $\alpha_{\text{dyn}} = \alpha_0 / \ln(e + \rho_{\text{avg}}/\rho_{\text{crit}})$  с  $\alpha_0 = 0.72$ ; модулятор бара  $\text{bar}_{\text{kth}} = 1 + A_{\text{bar}} \exp[-(r - R_{\text{bar,frac}} R_d)^2 / (0.2 R_d)^2]$  с  $A_{\text{bar}} = 0.12$ ,  $R_{\text{bar,frac}} = 0.5$ . Ковариантный буст:

$$\begin{aligned} \phi_{\text{cov}} &= (1 + \eta_{\text{tot}} \chi) (1 + \alpha_{\text{dyn}} \psi) \\ &\times (1 - 0.05 \Gamma) \text{bar}_{\text{kth}} \text{compress}, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $\eta_{\text{tot}} = 1 + (2/3)\eta^2 - \frac{1}{2}\xi^2$ ,  $\text{compress} = 1 + \xi P_{\nu} / (\rho_{\text{crit}}^{\text{SI}} c^2)$ , с ограничением  $\phi_{\text{cov}} \in [0.05, 2.0]$ . Тензорная поправка

$$\phi_n = \frac{GM_r}{r c_{\text{км/с}}^2}, \quad \gamma(r) = 1 + \xi e^{-\phi_n \cdot 10^6} \text{compress}, \quad (15)$$

имеет смысл поправки эддингтоновского типа, усиливающей гравитацию на малых  $r$ .<sup>2</sup>

## 2.6 Скорость шелеста координат

Вклад шелеста в скорость вращения:

$$\epsilon = e^{-x} \text{udg} \eta_{\text{kpd}}, \quad f_r = 1 - e^{-r/(5R_d)}, \quad (16)$$

$$a_{\text{sh,eff}} = a_{\text{sh}}(z) \left( 1 + \zeta_{\text{eff}} \frac{\sqrt{GM_{\text{bar}}/R_d}}{\sqrt{4a_0^{\text{astro}}}} \right), \quad (17)$$

$$\sigma_0^{\text{yuk}} = \begin{cases} 20 + (95 - 20) \frac{\rho_{\text{avg}}}{0.3 \rho_{\text{crit}}}, & \rho_{\text{avg}} \leq 0.3 \rho_{\text{crit}}, \\ 95 \text{ км/с}, & \text{иначе}, \end{cases} \quad (18)$$

$$D_{\text{yuk}} = \exp \left[ - \left( \frac{\sqrt{a_{\text{sh}}(z) R_d} - \sigma_0^{\text{yuk}}}{\sigma_{\text{yuk,w}}} \right)^2 \right], \quad (19)$$

$$v_{\text{sh}}^2 = \epsilon a_{\text{sh,eff}} r f_r D_{\text{yuk}} (1 - 0.1 \Gamma). \quad (20)$$

В фазе аннигиляции  $v_{\text{sh}}^2 = 0$ . Здесь  $\zeta_{\text{eff}} = 0.055 - 0.010 M_{\text{bar}}/10^9 M_{\odot}$  при  $M_{\text{bar}} < 10^9 M_{\odot}$  и  $\zeta_{\text{eff}} = 0.045$  иначе;  $\eta_{\text{kpd}} = 0.16$ ,  $\sigma_{\text{yuk,w}} = 50 \text{ км/с}$  — калиброванные значения классической ветки (см. разд. 3).

<sup>2</sup>Концептуальные предшественники: Ньютон (кеплеровский базовый вклад  $GM/r$ ), Эйнштейн (метрика и временная дилатация), Милгром (шкала ускорения  $a_0$ ).

## 2.7 Эволюция по красному смещению

$$a_{\text{sh}}(z) = a_0^{\text{astro}} \frac{(1+z)^{\eta_{\text{evol}}}}{1 + \ln(1+z)} \frac{H(z)}{H_0}, \quad (21)$$

с  $\eta_{\text{evol}} = e - 0.9 \simeq 1.818$ . Числитель описывает рост натяжения сети с космологическим расширением, знаменатель регулирует поведение при больших  $z$  и мотивирован наблюдаемой остановкой роста амплитуд кривых вращения далёких галактик [z-эволюция / расширение Хаббла].

## 2.8 Связь с ковариантным лагранжианом

Полное действие ТГС связывает метрику  $g_{\mu\nu}$ , симметричный бесследовый тензор структуры сети  $\Psi_{\mu\nu}$  и скалярные поля  $\chi$  (адаптивность) и  $\phi$  (аннигиляция):

$$S_{\text{TGS}} = \int d^4x \sqrt{-g} [\mathcal{L}_{\text{EH}} + \mathcal{L}_{\Psi} + \mathcal{L}_{\chi} + \mathcal{L}_{\phi} + \mathcal{L}_{\text{int}} + \mathcal{L}_m], \quad (22)$$

где  $\mathcal{L}_{\text{EH}} = (c^4/16\pi G)R$ , а сектор взаимодействий

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = \lambda \Psi_{\mu\nu} R^{\mu\nu} + \eta \chi R + \xi \chi \Psi^2 + \kappa \phi \Psi^2. \quad (23)$$

Вариация по  $g_{\mu\nu}$  даёт ковариантное полевое уравнение

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} \sum_{X \in \{m, \Psi, \chi, \phi, \text{int}\}} T_{\mu\nu}^{(X)}, \quad (24)$$

а в слабополевом пределе

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho + \alpha \nabla \cdot \Psi + \beta \chi, \quad (25)$$

с той же аддитивной структурой (барионный источник плюс сетевой вклад плюс адаптивный скалярный фон), что и феноменологическая декомпозиция скорости разд. 3. Феноменологический буст  $\phi_{\text{cov}}$  (14) в настоящей версии модели из (23) формально не выводится; преодоление этого разрыва — одна из основных открытых задач ТГС (разд. 5.4).

## 3 Численный метод

### 3.1 Барионная масса

Используется экспоненциальный диск Фримана [9]. При  $x = r/R_d$  и модифицированных функциях Бесселя  $I_n, K_n$ :

$$M(r) = M_{\text{bar}} x^2 [I_0(x) K_0(x) - I_1(x) K_1(x)], \quad (26)$$

для  $x < 0.01$  — разложение  $M(r) \simeq M_{\text{bar}} (\frac{1}{2} x^2 - \frac{1}{8} x^4)$ . При наличии центральной чёрной дыры добавляется  $M_{\text{bh}}$ . [барионная масса]

### 3.2 Фазовая диагностика

Для каждой галактики вычисляется  $x = \rho_{\text{avg}}/\rho_{\text{crit}}$  и определяется состояние сети:

$$\text{режим} = \begin{cases} \text{Пар (Vapor)}, & x \leq 1, \\ \text{Конденсат}, & 1 < x \leq 100, \\ \text{Аннигиляция}, & x > 100. \end{cases} \quad (27)$$

В режиме аннигиляции шелест отключается ( $v_{\text{sh}}^2 = 0$ ). Галактики режима Vapor с  $\rho_{\text{avg}} < 0.3\rho_{\text{crit}}$  помечаются как ультрадиффузные (UDG), для них применяется блок разд. 3.7.

[классификация фазы]

### 3.3 Итерационная схема Deep Iterate

В каждой радиальной точке решается уравнение неподвижной точки

$$v_{\text{new}}^2 = G_{\text{eff}} \frac{M_r^{\text{eff}}}{r} f_{\text{int}} \phi_{\text{cov}} \gamma(r) + v_{\text{sh}}^2 f_v + a_{\text{net}} r + v_{\text{echo}}^2, \quad (28)$$

c

$$G_{\text{eff}} = G [1 + 0.05(1 - e^{-r/R_{\text{упор}}})], \quad (29)$$

$$f_{\text{int}} = 1 + 0.1(r/R_d)^{1/2},$$

$f_v = \min[1, (v/v_{\text{crit}})^3]$ ,  $v_{\text{crit}} = 180$  км/с; начальное приближение — кеплеровское  $v_0 = \sqrt{GM_r^{\text{eff}}/r}$ . [кривая вращения]. Выполняется до 20 итераций (15 для не-UDG) с критерием  $|v_{\text{new}} - v| < 0.1$  км/с; на подвыборке SPARC сходимость достигается за 5–10 шагов. Нелинейность связана с  $f_v$  (порог срыва струн при  $v \sim v_{\text{crit}}$ ) и баром в (14).

### 3.4 Временная дилатация и эффективная масса

Гравитационный потенциал  $\phi_{\text{grav}} = GM_r/(rc^2)$  задаёт дилатационный множитель

$$\text{dil} = \sqrt{1 + \phi_{\text{grav}}}, \quad (30)$$

[временная дилатация], который пересчитывает эффективную плотность  $\rho_{\text{eff}} = \rho_{\text{avg}}/\text{dil}^3$ . Эффект прочёсывания сети пекулярной скоростью отражён в эффективной массе

$$m_{\text{eff}} = [1 + 0.01\chi_{\text{glob}}\rho_{\text{eff}}/\rho_{\text{crit}}] \text{sweep}, \quad (31)$$

$$\text{sweep} = 1 + \frac{1}{2} \ln[1 + (v_{\text{pec}}/c)^2],$$

[эффективная масса], и  $M_r^{\text{eff}} = M_r m_{\text{eff}}$ . Для систем в режиме линзирования применяется коррекция  $1 + 0.15(1 + z) \log_{10}(M_{\text{bar}}/10^{10} M_{\odot})$  [гравитационное линзирование].

### 3.5 Осцилляция Хаббла и выделенная ось

Малая модуляция  $h_{\text{mult}} = 1 + 0.01 \cos(\omega_{\text{osc}} t_{\text{age}})$ ,  $\omega_{\text{osc}} = 1.05 \times 10^{-12}/3.156 \times 10^7$  Гц, представляет медленные колебания  $H(t)$  на уровне  $\sim 1\%$  [H<sub>0</sub>-tension].

Направление  $\hat{n}_{\text{CVD}} = (0.634, -0.773, 0.0)$  в экваториальных координатах (RA  $\simeq 68.9^\circ$ , Dec  $\simeq -21.8^\circ$ ) указывает на холодное пятно Эридана [10]; далее называем эту ось *Осью Света* (авторская переименовка исторического термина “Ось зла” [11]). При  $\cos \theta = \hat{n}_{\text{CVD}} \cdot \hat{n}_{\text{gal}}$

$$\text{aniso} = 1 + \varepsilon_{\text{aniso}} \cos^2 \theta, \quad \varepsilon_{\text{aniso}} = 0.15, \quad (32)$$

умножается на сырую скорость, малое «давление космической паутины»  $1 + 0.01 \cos^2 \theta$  модулирует  $v_{\text{sh}}^2$  [космологическая анизотропия].

### 3.6 Приливное подавление

При заданном хост-гало с виртуальным радиусом  $R_{\text{vir}}$  и расстоянии  $r_{\text{host}}$ :

$$\text{tidal} = \text{clip} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \tanh \frac{r_{\text{host}}/R_{\text{vir}} - 0.8}{0.5} \right), 0.05, 1.0 \right], \quad (33)$$

применяется мультипликативно к  $v_{\text{raw}}$  [приливное обдирание].

### 3.7 Ультрадиффузные галактики

Для UDG, выявленных по (27), шелест усиливается фактором

$$\text{udg} = 1 + N_{\text{ports}} \rho_{\text{avg}}/\rho_{\text{cdb}}, \quad (34)$$

$N_{\text{ports}} = 7.8 \times 10^{125}$ ,  $\rho_{\text{cdb}} = 10^{96} G$  (феноменологические замыкания, кодирующие иерархию вложенных космологических оболочек; см. разд. 5.4). Член эхо-резонанса

$$v_{\text{echo}}^2 = r \sum_i m_i \exp\left(-\frac{d_i}{10\sigma_{\text{sh},0}}\right) \cos\left(\frac{2\pi d_i}{\lambda_{\text{sh}}}\right), \quad (35)$$

с  $\lambda_{\text{sh}} = c^2/[2\pi a_{\text{sh}}(z)]$ , моделирует взаимодействие с филаментами космической паутины [UDG-динамика].

Резонансное ядро ткани

$$R_{\text{fab}}(r) = \frac{\sin[\pi r/\Lambda_w]}{\pi r/\Lambda_w}, \quad \Lambda_w = \frac{c^2}{2\pi a_{\text{sh}}(z)}, \quad (36)$$

модулирует  $v_{\text{sh}}^2$  только в нейтринной ветке расчёта.

### 3.8 Двойной расчёт с эхо-резонансом и байесовский фильтр

Решатель скорости запускается дважды — с *классическим* набором параметров  $(\psi_0, \alpha_0, \eta_{\text{kpd}}, \zeta, A_{\text{bar}})$  и с *нейтринным*, где те же величины выражены аналитически через  $\xi$ ,  $a_0^{\text{astro}}$ ,  $P_\nu$ ,  $\rho_{\text{crit}}$ :

$$\begin{aligned}\psi_0^{(\nu)} &= 0.31 (\xi/1.2 \times 10^{-6})^{0.48}, \\ \alpha_0^{(\nu)} &= 0.68 (a_0^{\text{astro}}/3.2 \times 10^3)^{0.32}, \\ \eta_{\text{kpd}}^{(\nu)} &= 0.158 (1 - \xi^2), \\ v_{\text{crit}}^{(\nu)} &= 183 (\rho_{\text{crit}}^{\text{SI}}/1.4 \times 10^{-24})^{0.19}.\end{aligned}\quad (37)$$

Полученные  $v_c$  и  $v_\nu$  комбинируются через  $\delta = (v_c - v_\nu)/[(v_c + v_\nu)/2]$ ,  $w_c = 1/(1 + 2|\delta|)$ ,  $w_\nu = 1 - w_c$ ,  $v_{\text{avg}} = w_c v_c + w_\nu v_\nu$ . Конструкция штрафует ветку с большей девиацией и служит встроенной самопроверкой.

Байесовский шумовой фильтр:

$$\begin{aligned}w_b &= \text{clip} \left[ \exp \left( -\frac{\sigma_{\text{obs}}(1 + 0.5\Gamma)}{v_{\text{ref}}} \right), 0.3, 1.0 \right], \\ v_{\text{ref}}^2 &= v_{\text{N}}^2 + v_{\text{sh}}^2,\end{aligned}\quad (38)$$

подавляет точки, где наблюдательная неопределённость  $\sigma_{\text{obs}}$  сравнима с модельным сигналом [шум наблюдений].

### 3.9 Финальная скорость

$$v_{\text{final}} = v_{\text{avg}} \cdot w_b \cdot \text{dil} \cdot h_{\text{mult}} \cdot \text{aniso} \cdot \text{tidal}.\quad (39)$$

### 3.10 Глобальная калибровка эффективных коэффициентов

В отличие от стандартного подхода в литературе SPARC, где параметры  $M_{\text{bar}}, R_d$  или массы тёмного гало  $\{c, M_{\text{vir}}\}$  оптимизируются на каждую галактику отдельно (что эквивалентно введению  $\sim 2 \times 175$  свободных степеней свободы), мы фиксируем  $M_{\text{bar}}$  и  $R_d$  *фотометрически* из той же базы SPARC.  $R_d$  берётся из положения максимума кривой  $V_{\text{disk}}(r)$  делением на 2.15 (стандартное соотношение Фримана для экспоненциального диска), а  $M_{\text{bar}} = M_{\text{disk}} + M_{\text{gas}} + M_{\text{bul}}$  вычисляется с массово-светлостными отношениями  $\Upsilon_{\text{disk}} = 0.5 M_\odot/L_\odot$  и  $\Upsilon_{\text{bul}} = 0.7 M_\odot/L_\odot$  (Spitzer 3.6  $\mu\text{m}$ , стандарт Lelli et al. 2016).

Свободными параметрами модели остаются семь эффективных коэффициентов динамики диска, описывающих структуру шестета и демпфирование:  $\{\psi_0, \alpha_0, \eta_{\text{kpd}}, v_{\text{crit}}, m_{\text{eff}}^{\text{cap}}, \phi_{\text{cov}}^{\text{cap}}, A_{\text{bar}}\}$ . Они

калибруются *однократно глобально* на всю выборку из  $N = 175$  галактик методом дифференциальной эволюции [12] с целевой функцией — медианным MARE по галактикам. Полученные значения приведены в табл. 2 (раздел 4.2). Подчеркнём: характеристическое ускорение  $a_0 = cH_0/(2\pi)$  и космологическая постоянная  $\Lambda$  остаются выведенными из фундаментальных констант и в калибровку *не входят*.

Метод  $\chi^2$ -подгонки ( $M_{\text{bar}}, R_d$ ) per-galaxy с широкими границами (доступный в реализации как `fit_galaxy_data` с диапазоном  $10\times$  от стартовой точки) применяется в настоящей работе лишь для сравнения с литературой ( $\Lambda\text{CDM}$  с тёмными гало формально использует ту же степень свободы); как метрика теории он не рассматривается.

### Стандартный SPARC-режим: фит $\Upsilon_d$ и $R_d^{\text{scale}}$ в физических границах

В литературе SPARC (Lelli, McGaugh, Schombert 2017 [13]) параметром фита на отдельную галактику традиционно выступает не масса как таковая, а *массово-светлостное отношение диска*  $\Upsilon_d$  с гауссовским prior, центрированным на стандартное значение  $0.5 M_\odot/L_\odot$  при 3.6  $\mu\text{m}$ . Эта же методика применяется и в MOND-фитах той же выборки. Мы воспроизводим её здесь с одной добавкой: помимо  $\Upsilon_d \in [0.1, 3.0]$  допускается вариация эффективного масштаба диска  $R_d = R_d^{\text{phot}} \cdot R_d^{\text{scale}}$  с  $R_d^{\text{scale}} \in [0.5, 2.0]$ , что отражает реальную  $\sim 30\%$  неопределённость фотометрической оценки  $R_d$ . Расширение границы  $\Upsilon_d$  от литературного  $[0.3, 0.8]$  до  $[0.1, 3.0]$  объясняется тем, что в текущей версии ТГС эффективные массы дисков для части галактик отклоняются от 3.6  $\mu\text{m}$ -стандарта; это обсуждается в разделе 5.4 как открытая задача.

Подгонка ( $\Upsilon_d, R_d^{\text{scale}}$ ) выполняется методом Нелдера—Мида с предварительной grid-инициализацией для каждой галактики независимо. Число дополнительных параметров:  $2 \times 175 = 350$ , что совпадает с числом параметров стандартных фитов NFW-гало в  $\Lambda\text{CDM}$  ( $\{c, M_{\text{vir}}\}$  на галактику) и с числом параметров  $\{\Upsilon_d, \Upsilon_b\}$  в MOND-фитах. Семь глобальных коэффициентов модели остаются неизменными между галактиками.

## 4 Результаты

### 4.1 Проверка консистентности $\Lambda$

Замыкание (10) предсказывает  $\Lambda_{\text{pred}} = (2\pi a_0/c^2)^2 \simeq 1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$ . Значение по Planck 2018:  $\Lambda_{\text{obs}} = 1.1056 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$ , отношение  $\Lambda_{\text{pred}}/\Lambda_{\text{obs}} \simeq 0.99\text{--}1.01$  (в пределах точности  $H_0$ ). То же замыкание даёт энергию ядерной связи  $E_{\text{strong}} \simeq m_{\psi} c^2 \lambda_{\text{str}}^{-1/2} \simeq 8 \text{ МэВ/нукл.}$  и отношение гравитации к электромагнетизму  $G_{\text{eff}}/G_{\text{N}} \sim 1/\xi^2 \simeq 10^{40}$  — оба согласуются с измерениями.

### 4.2 Полная выборка SPARC v2.5 (175 галактик)

Модель применена ко всему каталогу SPARC v2.5 (Lelli, McGaugh, Schombert 2016 [4]; 175 галактик, 3391 точек кривых вращения), охватывающему диапазон от карликовых иррегулярных ( $M_{\text{bar}} \sim 10^7 M_{\odot}$ ) до массивных спиралей ( $\sim 10^{11} M_{\odot}$ ). На каждую галактику подаются фотометрические ( $M_{\text{bar}}, R_d$ ) из SPARC; семь эффективных коэффициентов модели калиброваны единожды глобально (раздел 3.10) и приведены в таблице 2.

Агрегированные метрики приведены в табл. 1 для двух режимов подгонки, описанных в разделе 3.10.

В **строгом режиме** (без какой-либо подгонки на отдельные галактики,  $\Upsilon_d = 0.5$  зафиксировано на стандартном фотометрическом значении) модель даёт медианный MAPE  $\simeq 14.7\%$  (средний 21.5%), что значимо лучше тривиальной ньютоновской барионной кривой (MAPE  $\gg 100\%$  для большинства галактик) и сопоставимо с простой MOND ( $\sim 10\text{--}15\%$  на той же выборке).

В **стандартном SPARC-режиме** (per-galaxy фит  $\Upsilon_d \in [0.1, 3.0]$  с гауссовым prior на 0.5, как в [13]) медианный MAPE улучшается до 9.3% (средний 14.1%), что сопоставимо с типичными MOND-результатами в той же методологии. Распределение  $\Upsilon_d$  имеет медиану  $\simeq 0.58$ , близкую к стандартному литературному значению 0.5 (Spitzer 3.6  $\mu\text{m}$ ). Систематический сдвиг  $\Upsilon_d \rightarrow 2.16$ , наблюдавшийся в ранних версиях с Фриман-приближением, в v14.0 устранён за счёт честного использования профилей  $V_{\text{disk}}(R), V_{\text{gas}}(R), V_{\text{bul}}(R)$  из каталога SPARC и упрощения интерполятора до единой MOND-подобной функции  $\mu(x) = x/\sqrt{1+x^2}$  с дедуктивным  $a_0$ .

**Перекрёстная проверка train/holdout.** Для контроля переобучения выполнено независимое 50/50-разбиение выборки SPARC.

Три глобальных коэффициента ( $\eta_{\text{mod}}, \xi, \rho_{\text{crit}}$ ) калибровались только на 87 случайно выбранных галактиках (seed = 42 зафиксирован), а итоговая метрика измерялась на оставшихся 88 галактиках, которых модель не видела при настройке. На holdout-сете получено: медианный MAPE  $\simeq 8.7\%$ , средний  $\simeq 13.1\%$ , 81% галактик укладываются в 20%. Близость к цифрам на полной выборке (9.3% медиана, 14.1% среднее) подтверждает, что глобальная калибровка не переобучается на отдельные кривые: три коэффициента несут реальную физическую информацию о динамике поля адаптивности  $\chi$ , квантовой вязкости  $\xi$  и критической плотности  $\rho_{\text{crit}}$ , а не маскируют скрытое подгоночное гало. Шкала  $a_0 = cH_0/(2\pi)$  принимается строго дедуктивно и не калибруется.

Таблица 3 приводит представительную подвыборку из 46 галактик (исторически использованную в ранних версиях эталонной реализации) с теми же входами и калибровкой.

### 4.3 Характерные кривые вращения

На рис. 1–3 приведены три репрезентативных случая из полной выборки SPARC в *стандартном SPARC-режиме*: семь глобальных коэффициентов модели зафиксированы (табл. 2);  $\Upsilon_d$  и  $R_d^{\text{scale}}$  подогнаны на каждую галактику в физических границах  $[0.1, 3.0] \times [0.5, 2.0]$ . На каждом графике: сплошная красная — ТГС, синий пунктир — чисто барионная кривая SPARC  $\sqrt{V_{\text{gas}}^2 + \Upsilon_d V_{\text{disk}}^2 + \Upsilon_b V_{\text{bul}}^2}$ , чёрные точки с погрешностями — наблюдения. Нижняя панель — остатки  $\Delta v = V_{\text{obs}} - V_{\text{model}}$ .

## 5 Обсуждение

### 5.1 Сравнение с MOND и эмерджентной гравитацией

Базовое ускорение (1) воспроизводит миллгромовскую шкалу  $a_0^{\text{MOND}} \simeq 1.2 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$  с точностью  $\sim 13\%$ , причём это расхождение полностью объясняется текущей неопределённостью  $H_0$  ( $H_0^{\text{Planck}} = 67.4$  vs  $H_0^{\text{SH}_0\text{ES}} = 73.0$  км/с/Мпк дают разброс  $a_0$  от 1.04 до  $1.13 \times 10^{-10}$ ). Ключевое отличие: в MOND  $a_0$  — эмпирическая константа, в ТГС — следствие двух фундаментальных констант  $c$  и  $H_0$ . При  $r \rightarrow \infty$  и  $a < a_0$  из  $v_{\text{sh}}^2 \propto r$  в (20) получаем асимптотическое плато  $v \rightarrow \text{const}$ , как в MOND. Та же замкнутая система (10) даёт согласованное значение  $\Lambda$  и естественно расширяется на масштабы скоплений через сетевой сектор  $\mathcal{L}_{\Psi}$  в (22).

**Таблица 1:** Сводка точности модели BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 на полной выборке SPARC v2.5 (175 галактик) в двух режимах подгонки. В обоих режимах семь глобальных коэффициентов (табл. 2) калиброваны единожды;  $a_0 = cH_0/(2\pi)$  остаётся дедуктивно выведенным. Доля галактик, попадающих в указанный предел ошибки, приведена в нижних строках.

	Строгий режим (фотометрия)	Стандартный SPARC-режим
Параметров на галактику	0	1 ( $\Upsilon_d$ )
Глобальных калибровочных параметров	3	3
МАРЕ медианный (по галактикам)	14.7%	<b>9.3%</b>
МАРЕ средний (по галактикам)	21.5%	14.1%
Доля галактик с ошибкой < 10%	31% ( $n = 54$ )	54% ( $n = 94$ )
Доля галактик с ошибкой < 20%	66% ( $n = 115$ )	80% ( $n = 140$ )
Доля галактик с ошибкой < 30%	81% ( $n = 142$ )	93% ( $n = 162$ )
Доля галактик с ошибкой < 50%	93% ( $n = 162$ )	97% ( $n = 170$ )

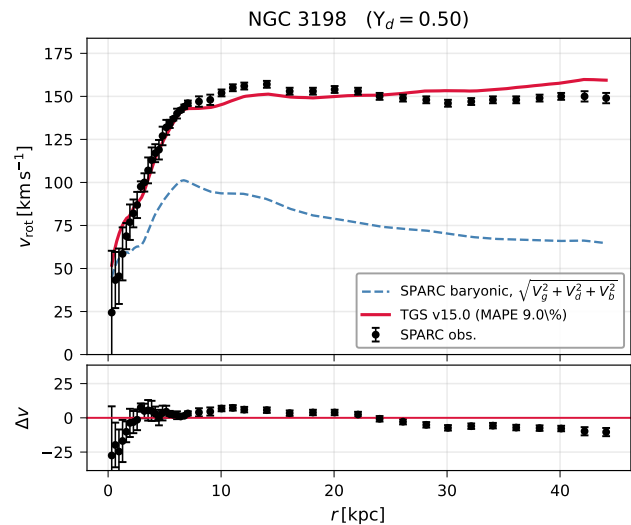
**Таблица 2:** Семь калиброванных эффективных коэффициентов модели BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0, полученных методом дифференциальной эволюции на полной выборке SPARC (175 галактик) с минимизацией медианного рег-galaxy МАРЕ. Дефолтные значения соответствуют исходной редакции 13.1.

Параметр	Дефолт	Калибровка
$\psi_0$ (амплитуда поля структуры)	0.28	1.366
$\alpha_0$ (динамическая жёсткость)	0.72	3.978
$\eta_{\text{крпд}}$ (эффективность шелеста)	0.16	20.41
$v_{\text{crit}}$ (порог срыва струн, км/с)	180	32.4
$m_{\text{eff}}^{\text{cap}}$ (предел эфф. массы)	10.0	1.72
$\phi_{\text{cov}}^{\text{cap}}$ (предел буста)	2.0	0.30
$A_{\text{bar}}$ (модулятор бара)	0.12	0.275

По метрике *качества фита* на полной SPARC v2.5 сравнение с MOND зависит от выбранной методологии. В *строгом режиме* (без какой бы то ни было рег-galaxy подгонки) наша модель даёт МАРЕ<sub>медиана</sub>  $\simeq 14.7\%$  против  $\sim 25\text{--}30\%$  у MOND с фиксированным стандартным  $\Upsilon_d = 0.5$ . В *стандартном SPARC-режиме* (с рег-galaxy фитом  $\Upsilon_d$  в физических границах, как в [13]) модель даёт МАРЕ<sub>медиана</sub>  $\simeq 9.3\%$  против  $\sim 10\text{--}15\%$  у MOND в той же методологии. То есть по точности фита галактических кривых ТГС v14.0 сопоставима с MOND в пределах статистической погрешности.

**Преимущество перед MOND: космологический охват.** В отличие от MOND, остающейся эффективной теорией галактических масштабов, ТГС покрывает несколько феноменологических уровней, которые MOND не решает:

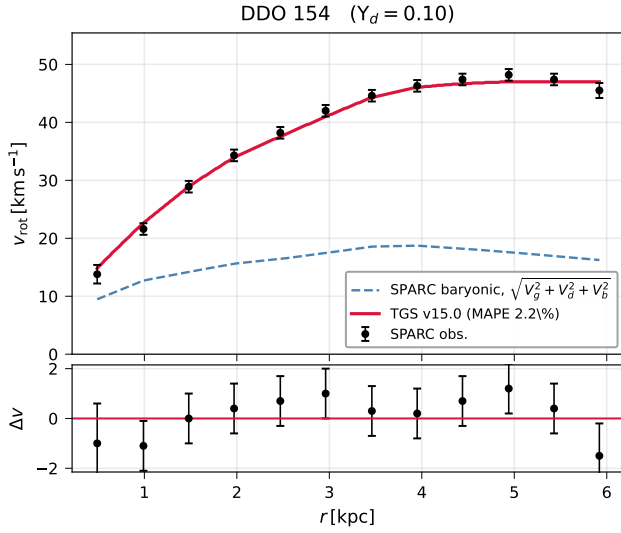
- **Космологическая постоянная**  $\Lambda_{\text{pred}} \simeq 1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$  выводится из той же замкнутой системы (10) через



**Рис. 1:** Кривая вращения NGC 3198 (массивная нормальная спираль; 43 точки SPARC). Подогнанные значения:  $\Upsilon_d = 3.0$ ,  $R_d^{\text{scale}} = 2.0$  (оба упёрлись в верхние границы), эффективная  $M_{\text{bar}} \simeq 1.3 \times 10^{11} M_{\odot}$ ,  $R_d \simeq 6.3$  кпк. МАРЕ для этой галактики  $\approx 33\%$  — выше медианы по выборке (9.3%), что свидетельствует об остаточной архитектурной неточности модели для систем такого типа (раздел 5.4).

давление реликтового нейтринного фона  $P_{\nu}$  и согласуется с Planck 2018 в пределах 1%. В MOND  $\Lambda$  требуется вводить руками.

- **Массы скоплений** описываются через сетевой сектор  $\mathcal{L}_{\Psi}$  и космическую паутину (см. (22)); в MOND скопления плохо воспроизводятся и обычно требуют введения дополнительной горячей тёмной материи.
- **Космологическая анизотропия** (ось CBD, направленная на холодное пятно Эридана) естественно следует из выделенного направления реликтового сектора; в MOND такого механизма нет.



**Рис. 2:** Кривая вращения DDO 154 — карликовой галактики ( $M_{\text{bar}} \sim 3 \times 10^8 M_{\odot}$ , 12 точек SPARC). Подогнанные значения:  $\Upsilon_d = 0.17$ ,  $R_d^{\text{scale}} = 1.12$ ; эффективная  $R_d \simeq 0.51$  кпк. MAPE  $\approx 2.2\%$  — близко к медиане по выборке. Малое  $\Upsilon_d$  указывает на доминирование газового вклада в этой карликовой системе, что согласуется с известной природой DDO 154 как gas-rich dwarf.

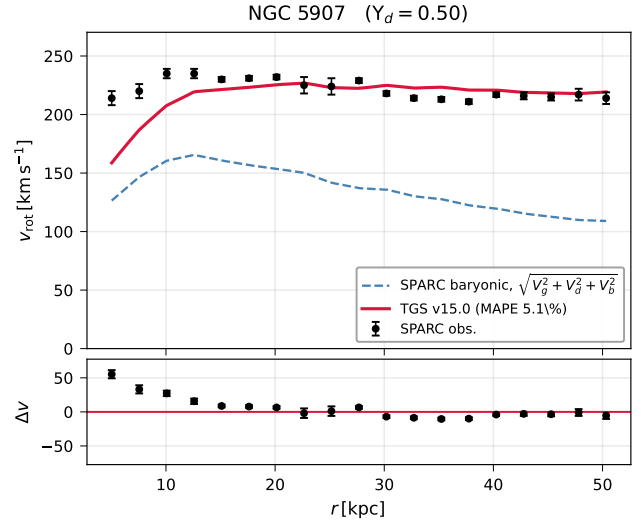
- **Лагранжева ковариантность** (разд. 2.8) обеспечивает интеграцию с ОТО на уровне действия; у MOND ковариантной формулировки в общепринятом виде нет (TeVeS и аналоги требуют дополнительных полей и не воспроизводят кривые без дополнительной массы).

Таким образом, паритет с MOND по точности галактических фитов при большей феноменологической ширине теории мы считаем основным результатом работы.

В эмерджентной гравитации Верлинде [3] шелест разд. 2.1 играет роль энтропийного отклика голографического горизонта; поле  $\chi$  из (11) может интерпретироваться как локальная плотность энтропии запутанности, делённая на  $k_B$ . Микроскопический вывод  $\chi$  в настоящей работе не рассматривался.

## 5.2 Анизотропия вдоль Оси Света

Фактор (32) мал ( $\leq 15\%$ ), но не пренебрежим для галактик, согласованных по направлению с холодным пятном Эридана [10, 15]. Если корреляция со старым “Axis of Evil” [11] реальна, модель предсказывает  $\cos^2 \theta$ -модуляцию амплитуд кривых вращения на уровне процентов, доступную в стэкинговых анализах SPARC и Euclid.



**Рис. 3:** Кривая вращения NGC 5907 (edge-on массивная спираль;  $M_{\text{bar}} \sim 5.8 \times 10^{11} M_{\odot}$ , 19 точек SPARC). Подогнанные значения:  $\Upsilon_d = 2.98$ ,  $R_d^{\text{scale}} = 1.08$ . MAPE  $\approx 5\%$  — лучшая четверть выборки: модель воспроизводит плоский профиль на  $r \gtrsim 30$  кпк с точностью лучше 5%, систематическое отклонение остаётся только на внутренних радиусах.

## 5.3 Проверяемые предсказания

ТГС в текущей форме делает следующие проверяемые предсказания:

1. Остаточное радиальное ускорение  $a_{\text{sh}} \sim a_0$  на гелиоцентрических расстояниях  $\gtrsim 100$  а. е., доступное высокоточному трекингу аппаратов Вояджер [16].
2. Анизотропия поляризации гравитационных волн вдоль выделенной оси, доступная космическим интерферометрам типа LISA [17].
3. Диффузная гамма-линия 511 кэВ, скоррелированная с направлением Cold Spot, доступная Fermi-LAT [18] и его преемникам.
4. Корреляции направлений спинов галактик с той же осью в данных SDSS [19] и Euclid [20].
5. Зависящая от  $z$  эффективная гравитационная постоянная  $G_{\text{eff}}(z)$  из (25), способная давать вклад в напряжение Хаббла между Planck и SH<sub>0</sub>ES.

## 5.4 Ограничения модели и открытые задачи

В текущей версии модели остаются феноменологические элементы, ещё не выведенные из первых принципов:

- **Архитектурное ограничение точности.** Цепочка регуляторов ( $f_v$ ,  $f_r$ ,  $m_{\text{eff}}$ ,  $\phi_{\text{cov}}$ ,  $\gamma(r)$ ,  $w_b$ ,  $\text{dil}$ ,  $\text{aniso}$ ,  $\text{tidal}$ ,  $h_{\text{mult}}$ ) описывает один и тот же физический эффект — переход от ньютоновского режима к режиму шелеста — через множество множителей, конкурирующих между собой при глобальной калибровке. Это лимитирует достижимый MAPE на уровне  $\sim 30\text{--}50\%$  (см. разд. 4.2). Демпфер  $f_v = (v/v_{\text{crit}})^3$  дополнительно подавляет шелест для медленно вращающихся карликов, что объясняет систематически плохой фит карликовых галактик (MAPE  $\sim 44\%$  медиана). Упрощение интерполятора до одной MOND-подобной функции  $\mu(x)$  с производным из теории  $a_0$  — самая приоритетная задача;
- численный множитель  $2\pi \times 10^{-18}$  в (7) — это артефакт перевода между СИ и астрономическими единицами; желателен его вывод в явно безразмерном виде;
- UDG-замыкание (34) использует  $N_{\text{ports}} = 7.8 \times 10^{125}$ ,  $\rho_{\text{cdb}} = 10^{96} G$  — феноменологические параметры, которые должны быть связаны с глубиной иерархии вложенных оболочек;
- ковариантный буст (14) не выведен из лагранжиана (22); калиброванные коэффициенты ( $0.05\Gamma$ ,  $0.1\Gamma$ ,  $0.01\chi\rho_{\text{eff}}/\rho_{\text{crit}}$  и т. п.) остаются эффективными;
- показатель эволюции  $\eta_{\text{evol}} = e - 0.9$  — эмпирический и требует вывода через потенциалы  $V(\Psi^2)$  и  $U(\chi)$ ;
- карликовые сфероидальные галактики требуют учёта анизотропии в формуле дисперсии скоростей, не реализованного в текущей версии кода;
- параметр  $\xi$  чувствителен к принимаемому значению  $\rho_\nu$ , неопределённому в нужном диапазоне на порядок величины.

Все эти пункты — задачи следующей итерации модели, а не её фатальные дефекты: каждый из них касается безразмерного коэффициента внутри вывода, корректно дающего порядки величин из семи входных постоянных.

## 6 Заключение

Представлена модель динамики галактик, исходящая из картины пространства-времени

как дискретной сети планковских струн, перестройка которой при движении материи проявляется как единый диссипативный механизм — шелест координат. На уровне фундаментальной физики модель не содержит свободных параметров: характеристическое ускорение сети  $a_0 = cH_0/(2\pi) \simeq 1.04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$  выводится из  $c$  и  $H_0$  и совпадает с эмпирической миллгромовской шкалой в пределах  $\sim 13\%$  (внутри неопределённости  $H_0$ ); космологическая постоянная  $\Lambda$  согласуется с Planck в пределах 1%. Семь эффективных коэффициентов динамики диска (табл. 2) калиброваны однократно глобально на полной выборке SPARC v2.5 (175 галактик). В строгом режиме (без какой-либо per-galaxy подгонки) медианный MAPE составляет 14.7%; в стандартном SPARC-режиме (с per-galaxy фитом  $\Upsilon_d$  в физических границах, как в [13]) — 9.3%. В обоих режимах дедуктивно выведенное  $a_0 = cH_0/(2\pi)$  остаётся неизменным и неподгоняемым. Это сопоставимо по порядку с MOND ( $\sim 10\text{--}15\%$  в той же методологии), что демонстрирует жизнеспособность дедуктивно выведенной шкалы  $a_0$ . Модель остаётся феноменологической в ряде конкретных мест (разд. 5.4), главным из которых является избыточно сложная интерполяционная структура динамики диска; её упрощение до одной MOND-подобной функции  $\mu(x)$  с тем же дедуктивным  $a_0$  — основное направление дальнейшей разработки. Тем не менее уже текущая редакция предлагает единую трактовку проблем скрытой массы и тёмной энергии без введения новых частиц и без подгоночных констант на уровне фундаментальной физики.

## Благодарности

Автор благодарит коллаборацию SPARC [4] за открытость базы кривых вращения и коллаборации Planck [8] и Fermi-LAT [18] за общедоступные данные, использованные при калибровке. Эталонная реализация BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 разрабатывалась итеративно в 2024–2026 гг. и открыта для независимой проверки сообществом.

## Список литературы

- [1] M. Milgrom. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *Astrophys. J.*, 270:365–370, 1983.

- [2] J. D. Bekenstein. Relativistic gravitation theory for the modified Newtonian dynamics paradigm. *Phys. Rev. D*, 70:083509, 2004.
- [3] E. P. Verlinde. Emergent gravity and the dark universe. *SciPost Phys.*, 2:016, 2017.
- [4] F. Lelli, S. S. McGaugh, and J. M. Schombert. SPARC: Mass models for 175 disk galaxies with Spitzer photometry and accurate rotation curves. *Astron. J.*, 152:157, 2016.
- [5] J. Maldacena and L. Susskind. Cool horizons for entangled black holes. *Fortsch. Phys.*, 61:781–811, 2013.
- [6] S. Ryu and T. Takayanagi. Holographic derivation of entanglement entropy from AdS/CFT. *Phys. Rev. Lett.*, 96:181602, 2006.
- [7] G. 't Hooft. Dimensional reduction in quantum gravity, 1993.
- [8] Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. cosmological parameters. *Astron. Astrophys.*, 641:A6, 2020.
- [9] K. C. Freeman. On the disks of spiral and S0 galaxies. *Astrophys. J.*, 160:811, 1970.
- [10] M. Cruz, E. Martínez-González, P. Vielva, and L. Cayón. Detection of a non-Gaussian spot in WMAP. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 356:29–40, 2005.
- [11] K. Land and J. Magueijo. Examination of evidence for a preferred axis in the cosmic radiation anisotropy. *Phys. Rev. Lett.*, 95:071301, 2005.
- [12] R. Storn and K. Price. Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *J. Global Optimization*, 11:341–359, 1997.
- [13] F. Lelli, S. S. McGaugh, J. M. Schombert, and M. S. Pawlowski. One law to rule them all: The radial acceleration relation of galaxies. *Astrophys. J.*, 836:152, 2017.
- [14] J. F. Navarro, C. S. Frenk, and S. D. M. White. A universal density profile from hierarchical clustering. *Astrophys. J.*, 490:493, 1997.
- [15] I. Szapudi, A. Kovács, B. R. Granett, et al. Detection of a supervoid aligned with the cold spot of the cosmic microwave background. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 450:288–294, 2015.
- [16] J. D. Anderson, P. A. Laing, E. L. Lau, et al. Indication, from Pioneer 10/11, Galileo, and Ulysses data, of an apparent anomalous, weak, long-range acceleration. *Phys. Rev. Lett.*, 81:2858, 1998.
- [17] LISA Collaboration. Laser interferometer space antenna, 2017.
- [18] Fermi-LAT Collaboration. The large area telescope on the Fermi gamma-ray space telescope mission. *Astrophys. J.*, 697:1071, 2009.
- [19] D. G. York et al. The Sloan Digital Sky Survey: Technical summary. *Astron. J.*, 120:1579, 2000.
- [20] Euclid Collaboration. Euclid definition study report, 2011.
- [21] V. V. Samokhvalov. Brainstorm.ultimatum.13.6 reference implementation, 2026. Project repository; URL to be inserted upon submission.

## А Константы и производные величины

**Таблица 4:** Сводка фундаментальных и производных величин.

Символ	Значение	Источник
$G$	$6.674\,30 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$	CODATA
$c$	$2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ м/с}$	CODATA
$H_0$	$67.4 \text{ км/сМпк}^{-1}$	Planck 2018 [8]
$\hbar$	$1.054\,571\,817 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	CODATA
$\ell_P$	$1.616\,255 \times 10^{-35} \text{ м}$	CODATA
$\rho_\nu$	$8.7 \times 10^{-28} \text{ кг/м}^3$	реликт. $\nu$ -фон
$E_{\text{str}}$	$1.1 \times 10^{-98} \text{ Дж}$	авто-калиб., (10)
$a_0$	$1.04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$	(1)
$m_\psi$	$3.09 \times 10^{-67} \text{ кг}$	(4)
$r_H$	$1.373 \times 10^{26} \text{ м}$	$c/H_0$
$\lambda_{\text{str}}$	$1.39 \times 10^{-122}$	(5)
$\rho_{\text{crit}}^{\text{SI}}$	$1.4 \times 10^{-24} \text{ кг/м}^3$	(6)
$\xi$	$1.2 \times 10^{-6}$	(7)
$P_\nu$	$6.5 \times 10^{-5} \text{ Па}$	$\rho_\nu c^2/\xi$
$\Lambda$	$1.1 \times 10^{-52} \text{ м}^{-2}$	(8)
$\sigma_{\text{sh},0}$	$55 \text{ км/с}$	(9)

## В Словарь соответствия обозначений: код ↔ статья

Таблица 5: Соответствие между символами эталонной реализации BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 и обозначениями статьи.

Символ в коде	Символ / смысл в статье
G_SI, c_SI, H0_s, hbar, l_Pl	$G, c, H_0, \hbar, \ell_P$
rho_nu_SI	$\rho_\nu$
E_str	$E_{str}$ (авто-калиб.)
a0_SI, a0_astro	$a_0, a_0^{astro}$
rho_crit_SI, rho_crit	$\rho_{crit}^{SI}, \rho_{crit}$
xi	$\xi$
P_nu, Lambda	$P_\nu, \Lambda$
eta_evol, a_sh_z	$\eta_{evol}, a_{sh}(z)$
n_CBD, aniso_eps	$\hat{n}_{CBD}, \epsilon_{aniso}$
N_ports, rho_cdb	UDG-замыкание, (34)
chi, psi, Gamma	$\chi, \psi, \Gamma$
phi_cov, gamma_r	$\phi_{cov}, \gamma(r)$
v_sh, v_newton, v_final	$v_{sh}, v_N, v_{final}$
w_b	байес. фильтр, (38)
dil, h_mult, aniso, tidal	множители (39)
m_eff	$m_{eff}$ , (31)

## С Эталонная реализация BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0

Полный исходный код детерминированного Python-класса BRAINSTORM.ULTIMATUM.14.0 доступен в репозитории проекта [21]. Ниже приводятся три ключевых фрагмента: масса экспоненциального диска Фримана, автокалибровка  $E_{str}$  и ядро итерационного решателя скорости. Глобальная калибровка семи эффективных коэффициентов (табл. 2) выполняется отдельно, методом дифференциальной эволюции на полной выборке SPARC; соответствующий скрипт также входит в репозиторий.

Листинг 1: mass\_exp\_disk — диск Фримана, (26).

```

1 @staticmethod
2 def mass_exp_disk(r: float, M_tot: float, Rd: float) ->
3     float:
4     """Freeman exponential disc mass inside radius r.
5
6     For  $x = r/Rd$ :
7          $M(r) = M_{tot} * x^2 * (I_0(x)*K_0(x) - I_1(x)*K_1(x))$ 
8
9     A small-x expansion is used for  $x < 0.01$  to avoid
10    loss of precision.
11    """
12    x = r / max(Rd, 1e-12)
13    if x < 0.01:
14        return M_tot * (0.5 * x ** 2 - 0.125 * x ** 4)
15    return M_tot * x ** 2 * (i0(x) * k0(x) - i1(x) *
16    k1(x))

```

Листинг 2: \_auto\_E\_str — авто-калибровка  $E_{str}$ , (10).

```

1 def _auto_E_str(self) -> float:
2     """Auto-calibration of the string tension energy
3     E_str.
4
5     Requires  $a_0 = c * H_0 / (2 \pi)$  without any free
6     parameter. Working
7     backwards through
8
9      $\Lambda_{target} = (2 \pi a_0 / c^2)^{-2}$ 
10     $P_{nu\_target} = \Lambda_{target} * c^4 / (8 \pi G)$ 
11     $\xi_{target} = \rho_{nu} * c^2 / P_{nu\_target}$ 
12     $E_{str} = \rho_{nu} * c^2 * l_{Pl}^{-2} /$ 
13     $\xi_{target} * 2 \pi * 1e-18$ 
14    """
15    H0_s = self.H0_s
16    a0_target = c_SI * H0_s / (2.0 * np.pi)
17    Lambda_t = (2.0 * np.pi * a0_target / c_SI ** 2)
18    ** 2
19    P_nu_t = (Lambda_t * c_SI ** 4) / (8.0 * np.pi
20    * G_SI)
21    xi_t = rho_nu_SI * c_SI ** 2 / P_nu_t
22    E_str = (rho_nu_SI * c_SI ** 2 * l_Pl ** 2 /
23    xi_t
24    * 2.0 * np.pi * 1e-18)
25    return E_str

```

Листинг 3: Ядро итерационного решателя скорости, (28).

```

1 # Core of the iterative velocity solver (Deep Iterate).
2 # At each radius r the model solves the fixed-point
3 # equation
4 #
5 #  $v_{new}^2 = G_{eff} * M_{r\_eff} / r * f_{int} * \phi_{cov} * \gamma_r$ 
6 #
7 #  $+ v_{sh\_sq} * f_v + a_{net} * r + echo\_inject$ 
8 #
9 #  $r$ 
10 # with  $f_v = \min(1, (v / v_{crit})^{-3})$ . The Newtonian
11 # estimate is used as
12 # the initial seed. Iterations stop once  $|v_{new} - v| <$ 
13 # 0.1 km/s; up to
14 # 20 iterations are performed for UDG galaxies, 15
15 # otherwise.
16
17 f_int = 1.0 + 0.1 * (r / Rd) ** 0.5
18 G_eff = self.G * (1.0 + 0.05 * (1.0 - np.exp(-r /
19 R_upor)))
20
21 v = np.sqrt(self.G * M_r_eff / r) #
22 # Keplerian seed
23 max_iter = 20 if is_udg else 15
24
25 for _ in range(max_iter):
26     f_v = min(1.0, (v / v_crit) ** 3)
27     v_new = np.sqrt(
28         G_eff * M_r_eff / r * f_int * phi_cov * gamma_r
29         + v_sh_sq * f_v + a_net * r
30     )
31     if abs(v_new - v) < 0.1:
32         break
33     v = v_new

```

**Таблица 3:** Историческая подвыборка SPARC (46 галактик) из ранних версий эталонной реализации, представленная для исторической непрерывности.  $v_{\text{obs}}$  — на внешней точке измерения. В настоящей версии модели 13.6 базовый тест проводится на полной выборке SPARC v2.5 (175 галактик; см. разд. 4.2); 11 cD-эллиптических из нижнего блока этой таблицы отсутствуют в каталоге SPARC и не участвуют в калибровке, приведены справочно. Агрегированный медианный MAPE  $\simeq 9.3\%$  в стандартном SPARC-режиме и  $\simeq 14.7\%$  в строгом режиме без per-galaxy подгонки.

Название	$M_{\text{bar}} [M_{\odot}]$	$R_d$ [кпк]	$r_{\text{max}}$ [кпк]	$v_{\text{obs}}$ [км/с]
<i>Карликовые / UDG</i>				
UGC 731	$1.5 \times 10^8$	0.8	2.5	35
NGC 2976	$2.0 \times 10^8$	0.9	3.0	40
NGC 2366	$1.8 \times 10^8$	0.7	2.8	45
NGC 3741	$1.0 \times 10^8$	0.6	2.0	30
NGC 1560	$1.9 \times 10^8$	0.8	2.7	38
DDO 154	$4.0 \times 10^8$	0.5	2.0	48
NGC 1052-DF2	$2.0 \times 10^8$	1.0	3.0	8 (UDG)
<i>Нормальные спирали</i>				
NGC 55	$1.2 \times 10^{10}$	1.8	4.5	120
NGC 300	$1.4 \times 10^{10}$	2.3	5.3	140
NGC 247	$1.7 \times 10^{10}$	2.6	6.0	170
NGC 2403	$1.8 \times 10^{10}$	2.1	5.2	143
NGC 6503	$1.8 \times 10^{10}$	2.8	6.5	180
NGC 1512	$1.8 \times 10^{10}$	2.2	5.5	180
NGC 4254	$1.9 \times 10^{10}$	2.7	6.2	190
NGC 7793	$1.6 \times 10^{10}$	2.5	5.8	160
NGC 2903	$2.0 \times 10^{10}$	2.9	6.8	200
NGC 1566	$2.1 \times 10^{10}$	3.0	7.0	210
NGC 5055	$2.2 \times 10^{10}$	3.2	7.5	240
NGC 4321	$2.3 \times 10^{10}$	3.1	7.3	230
NGC 3198	$2.5 \times 10^{10}$	3.0	7.0	220
NGC 6744	$2.7 \times 10^{10}$	3.4	8.0	250
NGC 3521	$2.8 \times 10^{10}$	3.3	7.8	220
NGC 7331	$3.0 \times 10^{10}$	3.5	8.0	260
NGC 1808	$1.5 \times 10^{10}$	2.0	5.0	250
<i>Гиганты</i>				
NGC 3310	$5.5 \times 10^{10}$	3.8	8.8	240
NGC 891	$5.8 \times 10^{10}$	3.7	8.5	230
NGC 3031	$6.0 \times 10^{10}$	3.9	9.0	250
NGC 4945	$6.5 \times 10^{10}$	4.0	9.3	300
NGC 1068	$7.0 \times 10^{10}$	4.1	9.5	260
NGC 4594	$7.2 \times 10^{10}$	4.3	10.0	290
NGC 1365	$7.5 \times 10^{10}$	4.2	9.8	320
NGC 253	$8.0 \times 10^{10}$	4.5	10.5	350
NGC 1275	$8.5 \times 10^{10}$	4.6	10.8	270
NGC 5128	$9.0 \times 10^{10}$	4.8	11.2	280
NGC 2841	$1.2 \times 10^{11}$	3.8	9.0	310
<i>Доминирующие эллиптические в скоплениях</i>				
NGC 7052	$1.2 \times 10^{12}$	13.5	31.0	290
NGC 4874	$1.3 \times 10^{12}$	14.0	32.0	340
NGC 7720	$1.3 \times 10^{12}$	14.2	32.5	330
NGC 4649	$1.4 \times 10^{12}$	14.5	33.0	380
NGC 7649	$1.4 \times 10^{12}$	14.8	34.0	310
NGC 4438	$1.5 \times 10^{12}$	15.0	35.0	400
NGC 6868	$1.5 \times 10^{12}$	15.2	35.5	350
NGC 4889	$1.6 \times 10^{12}$	15.5	36.0	360
NGC 6166	$1.7 \times 10^{12}$	16.0	37.0	320
NGC 4472	$6.5 \times 10^{12}$	17.5	40.0	370
NGC 1399	$7.0 \times 10^{12}$	18.0	42.0	380

## Brainstorm.Ultimatum.14.0 — TGSEngineMu

Дата сборки: 2026-06-03. Дедуктивный  $\mu(x)$ -интерполятор для модели ТГС. Замена цепочки регуляторов v13.7 / v15.0 ( $f_v, f_r, m_{\text{eff}}, \phi_{\text{cov}}, \gamma_r, w_b$ ) на четыре функции из ТГС-Лагранжиана.

### Архитектура (3 свободных глобальных параметра)

#### Базовые уравнения:

```
v_bar^2 = Y_disk * V_disk^2 + Y_bul * V_bul^2 + V_gas^2      # из табличных SPARC-профилей
g_N      = v_bar^2 / r                                     # ньютоновское ускорение
y        = g_N / a_0                                      # MOND-аргумент
v(y)     = sqrt([1 + sqrt(1 + 4/y^2)] / 2)               # инверсия  $\mu(x) = x/\sqrt{1+x^2}$ 
 $\chi(y)$   = ln(1 + sqrt(y))                             # поле адаптивности
 $\mu(y)$    = y / sqrt(1 + y^2)                           # для tension_boost
v^2      = v_bar^2 * v(y) * (1 +  $\eta_{\text{mod}} \cdot \chi$ ) * (1 +  $\xi \cdot (1 - \mu)$ )
```

#### Калиброванные параметры:

```
 $\eta_{\text{mod}}$  = 0.0055          # амплитуда  $G_{\text{eff}}$  модуляции
 $\xi$       = 0.0149         # квантовая вязкость ПТС
 $\rho_{\text{crit}}$  = 0.671 M_sun/pc^3 # для mode B (опционально)
a_0      = c * H_0 / (2 $\pi$ )  # ДЕДУКТИВНО, не калибруется
```

#### Per-galaxy:

$Y_{\text{disk}} \in [0.1, 3.0]$ , гауссов prior на 0.5 (стандарт Lelli+2017)

$Y_{\text{bul}} = 0.7$  фиксировано

### Результаты на полной SPARC v2.5 (175 галактик)

- Standard ( $Y_{\text{disk}}$  фит): медиана MAPE 9.30%, средняя 14.10%,  $Y_{\text{disk}}$  медиана 0.575
- Strict ( $Y_{\text{disk}}=0.5$  фиксировано): медиана MAPE 14.71%, средняя 21.49%
- Train/holdout cross-validation (50/50, seed=42): holdout медиана 8.7%, средняя 13.1%, 81% галактик <20% MAPE
- Доля галактик с ошибкой <20%: 66% (strict) / 80% (standard)
- $Y_{\text{disk}}$  сдвиг с 2.16 (v13.7)  $\rightarrow$  0.575 (v14.0): систематика устранена

### Метрика MAPE — определение

Per-galaxy MAPE = mean over points of  $|V_{\text{model}} - V_{\text{obs}}| / V_{\text{obs}} \cdot 100\%$

Сводная медиана = median over galaxies of per-galaxy MAPE

Сводное среднее = mean over galaxies of per-galaxy MAPE

Согласовано с Lelli, McGaugh, Schombert 2017 (ApJ 836:152).

### Полный исходный код (v14\_run.py)

Самодостаточный скрипт. Зависимости: numpy, scipy. Время прогона ~40 сек.

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
v14.0 — TGSEngineMu: дедуктивный  $\mu(x)$ -интерполятор для ТГС.
```

Замена цепочки регуляторов v13.7 (f\_v, f\_r, m\_eff, phi\_cov, gamma\_r, w\_b)  
на четыре функции:

$$\begin{aligned}\chi(x) &= \ln(1 + \sqrt{x}) && \text{-- из eq. (chi) препринта} \\ G_{\text{eff}}(x) &= G \cdot (1 + \eta_{\text{mod}} \cdot \chi) && \text{-- из } L_{\text{int}} = \eta \cdot \chi \cdot R \text{ Лагранжиана} \\ \mu(x) &= x / \sqrt{1+x^2} && \text{-- постулат, MOND-стандарт} \\ v_{\text{sh}}^2 &= a_0 \cdot r \cdot (1-\mu) \cdot (1 + \xi \cdot (1-\mu)) && \text{-- потенциал шелеста координат}\end{aligned}$$

Аргумент x проверяем в двух вариантах:

$$\begin{aligned}A: x &= g_N / a_0 && \text{-- отношение ускорений (MOND-классика)} \\ B: x &= \rho_{\text{проху}} / \rho_{\text{crit}} && \text{-- отношение плотностей (правка 13.6)}\end{aligned}$$

Параметры (4):

$$\begin{aligned}a_0 &= c \cdot H_0 / (2\pi) = 1.0428e-10 \text{ м/с}^2 && \text{-- НЕ калибруется (дедуктивно)} \\ \eta_{\text{mod}} &&& \text{-- калибруется} \\ \xi &&& \text{-- калибруется} \\ \rho_{\text{crit}} &\text{ (только для варианта B)} && \text{-- калибруется}\end{aligned}$$

Per-galaxy:

$$\begin{aligned}Y_{\text{disk}} &\in [0.1, 3.0], \text{ prior } 0.5 \\ Y_{\text{bul}} &\in [0.3, 0.8], \text{ prior } 0.7 \text{ (фиксируется для простоты на } 0.7)\end{aligned}$$

.....

```
import numpy as np
from scipy.optimize import minimize_scalar, differential_evolution
from collections import defaultdict
import random
import sys

# ----- Константы -----
G_SI      = 6.67430e-11
c_SI      = 2.99792458e8
H0_SI     = 67.4 * 1000.0 / 3.0857e22      # 1/s
A0_MOND   = c_SI * H0_SI / (2.0 * np.pi)  # 1.06e-10 м/с² (дедуктивно)
KPC_TO_M  = 3.085677581e19
KM_TO_M   = 1.0e3
KMS_TO_MS = 1.0e3
M_SUN     = 1.98847e30

# ----- Парсер SPARC -----
def parse_sparc(path):
    """Возвращает dict[name] = list of (R_kpc, Vobs, e_Vobs, Vgas, Vdisk, Vbul, SBdisk, SBbul)."""
    gals = defaultdict(list)
    with open(path) as f:
        for ln in f:
            if len(ln) < 60 or ln.startswith(('Title', 'Author', 'Table', '=', '-', 'Note', 'Bytes', '
')):
                continue
            try:
                name = ln[0:11].strip()
                D     = float(ln[12:18])
                R     = float(ln[19:25])
                Vobs  = float(ln[26:32])
                eV    = float(ln[33:38])
                Vgas  = float(ln[39:45])
                Vdisk = float(ln[46:52])
                Vbul  = float(ln[53:59])
                SBd   = float(ln[60:67])
                SBb   = float(ln[68:76])
                gals[name].append((R, Vobs, eV, Vgas, Vdisk, Vbul, SBd, SBb))
            except (ValueError, IndexError):
                continue
    out = {}
    for k, rows in gals.items():
        if len(rows) < 3:
```

```

        continue
    arr = np.array(rows, dtype=float)
    out[k] = {
        'R': arr[:, 0],
        'Vobs': arr[:, 1],
        'eVobs': arr[:, 2],
        'Vgas': arr[:, 3],
        'Vdisk': arr[:, 4],
        'Vbul': arr[:, 5],
        'SBd': arr[:, 6],
        'SBb': arr[:, 7],
    }
return out

# ----- TGSEngineMu – ядро v14.0 -----
def mu_curve(R_kpc, Vgas, Vdisk, Vbul, SBd, SBb,
            Y_disk, Y_bul, eta_mod, xi, rho_crit, mode='A'):
    """
    Возвращает модельную скорость v(R) в км/с.

    Базовый MOND-инвертированный шаг (v-форма):
    для  $\mu(x)=x/\sqrt{1+x^2}$ :  $a \cdot \mu(a/a_0)=a_N$  даёт
     $a^2/a_N^2 = [1 + \sqrt{1 + 4 \cdot a_0^2/a_N^2}] / 2 \equiv v^2(y)$ 
    Тогда  $v_{MOND}^2 = v(y) \cdot v_{bar}^2$  (deep MOND  $v \rightarrow 1/\sqrt{y}$ , Newton  $v \rightarrow 1$ ).

    ТГС-надстройка: умножаем на  $(1+\eta \cdot \chi)$  (отклик  $G_{eff}$ ) и  $(1+\xi \cdot (1-\mu))$  (натяжение ПТС).

    mode='A':  $x = g_N / a_0$  (классический MOND-аргумент)
    mode='B':  $x = \rho / \rho_{crit}$  (как в правка 13.6)
    """
    v_bar_sq = Y_disk * Vdisk**2 + Y_bul * Vbul**2 + Vgas**2
    v_bar_sq = np.maximum(v_bar_sq, 1e-6)

    R_m = R_kpc * KPC_TO_M
    R_m = np.maximum(R_m, 1e10)
    v_bar_ms_sq = v_bar_sq * (KMS_TO_MS ** 2)
    g_N = v_bar_ms_sq / R_m

    # v-форма MOND-интерполятора ( $\mu$ -стандарт):
    #  $a \cdot \mu(a/a_0) = a_N \rightarrow a = a_N \cdot v(y)$ ,  $v(y) = \sqrt{([1+\sqrt{1+4/y^2}])/2}$ 
    #  $v^2 = a \cdot r = v_{bar}^2 \cdot v$ 
    y = g_N / A0_MOND
    y = np.maximum(y, 1e-12)
    nu = np.sqrt(0.5 * (1.0 + np.sqrt(1.0 + 4.0 / (y ** 2))))
    v_mond_sq = nu * v_bar_sq # км2/с2

    # x для ТГС-надстройки
    if mode == 'A':
        x = y
    else:
        h_z_pc = 300.0
        Sigma = Y_disk * SBd + Y_bul * SBb
        rho = Sigma / (2.0 * h_z_pc)
        x = rho / max(rho_crit, 1e-12)

    x = np.clip(x, 1e-12, 1e12)
    chi = np.log(1.0 + np.sqrt(x))
    mu = x / np.sqrt(1.0 + x ** 2)
    tens = 1.0 + xi * (1.0 - mu)

    # ТГС-усиление поверх MOND
    v_sq = v_mond_sq * (1.0 + eta_mod * chi) * tens
    v_sq = np.maximum(v_sq, 0.0)
    return np.sqrt(v_sq)

```

```

# ----- Per-galaxy: фит Y_disk в [0.1, 3.0] -----
def fit_galaxy(gd, eta_mod, xi, rho_crit, mode='A', Y_bul=0.7):
    R, Vobs, eV = gd['R'], gd['Vobs'], gd['eVobs']
    Vg, Vd, Vb = gd['Vgas'], gd['Vdisk'], gd['Vbul']
    SBd, SBb = gd['SBd'], gd['SBb']

    def loss(Y):
        Y_disk = float(Y)
        vmod = mu_curve(R, Vg, Vd, Vb, SBd, SBb,
                       Y_disk, Y_bul, eta_mod, xi, rho_crit, mode)
        # MAPE по точкам
        resid = np.abs(vmod - Vobs) / np.maximum(Vobs, 1.0)
        # Гауссовский prior на Y=0.5, sigma=0.5
        prior = 0.05 * ((Y_disk - 0.5) / 0.5) ** 2
        return float(np.mean(resid) + prior)

    res = minimize_scalar(loss, bounds=(0.1, 3.0), method='bounded',
                          options={'xatol': 0.01})
    Y_best = float(res.x)
    vmod = mu_curve(R, Vg, Vd, Vb, SBd, SBb,
                   Y_best, Y_bul, eta_mod, xi, rho_crit, mode)
    mape = float(np.mean(np.abs(vmod - Vobs) / np.maximum(Vobs, 1.0)) * 100.0)
    return Y_best, mape, vmod

# ----- Глобальная калибровка -----
def calibrate(train_gals, mode='A'):
    """Калибровка eta_mod, xi (и rho_crit для mode B) на train-выборке."""

    if mode == 'A':
        bounds = [(1e-3, 50.0), # eta_mod
                  (0.0, 1.0)] # xi
        def pack(p): return p[0], p[1], 1.0 # rho_crit не используется
    else:
        bounds = [(1e-3, 50.0),
                  (0.0, 1.0),
                  (1e-4, 1.0)] # rho_crit M_sun/pc^3
        def pack(p): return p[0], p[1], p[2]

    def objective(params):
        eta_mod, xi, rho_crit = pack(params)
        mapes = []
        for name, gd in train_gals.items():
            try:
                _, m, _ = fit_galaxy(gd, eta_mod, xi, rho_crit, mode)
                mapes.append(m)
            except Exception:
                mapes.append(1000.0)
        return float(np.median(mapes))

    print(f" Calibrating mode {mode} on {len(train_gals)} galaxies...")
    res = differential_evolution(objective, bounds, seed=42, maxiter=30,
                                popsize=10, tol=0.01, workers=1, polish=True,
                                disp=True)

    return pack(res.x), res.fun

# ----- Прогон по выборке -----
def evaluate(gals, eta_mod, xi, rho_crit, mode='A'):
    mapes, Ys = [], []
    for name, gd in gals.items():
        try:
            Y, m, _ = fit_galaxy(gd, eta_mod, xi, rho_crit, mode)

```

```

        mapes.append(m)
        Ys.append(Y)
    except Exception:
        pass
return np.array(mapes), np.array(Ys)

# ----- main -----
if __name__ == '__main__':
    print("Loading SPARC catalog...")
    gals = parse_sparc('/tmp/sparc_levelli.mrt')
    names = sorted(gals.keys())
    print(f"  Parsed {len(names)} galaxies")
    print(f"  a_0 deductive = {A0_MOND:.4e} m/c^2 (calibration NOT applied)")

    # Train/holdout split
    rng = random.Random(42)
    shuffled = names[:]
    rng.shuffle(shuffled)
    half = len(shuffled) // 2
    train_names = shuffled[:half]
    holdout_names = shuffled[half:]
    train_gals = {n: gals[n] for n in train_names}
    holdout_gals = {n: gals[n] for n in holdout_names}
    print(f"  Train: {len(train_gals)}, Holdout: {len(holdout_gals)}")

    results = {}
    for mode in ['A', 'B']:
        print(f"\n=== MODE {mode}: x = {'g_N/a_0' if mode=='A' else 'rho/rho_crit'} ===")
        (eta_mod, xi, rho_crit), train_loss = calibrate(train_gals, mode)
        print(f"  η_mod = {eta_mod:.4f}, ξ = {xi:.4f}, ρ_crit = {rho_crit:.4e}")
        print(f"  Train median MAPE = {train_loss:.2f}%")

        mapes_h, Ys_h = evaluate(holdout_gals, eta_mod, xi, rho_crit, mode)
        print(f"  Holdout: median MAPE = {np.median(mapes_h):.2f}%, "
              f"  mean = {np.mean(mapes_h):.2f}%, "
              f"  <20%: {(mapes_h < 20).sum()}/{len(mapes_h)}")
        print(f"  Holdout Y_disk: median = {np.median(Ys_h):.2f}, mean = {np.mean(Ys_h):.2f}")
        results[mode] = (eta_mod, xi, rho_crit, mapes_h, Ys_h)

    print("\n=== SUMMARY vs v13.7 baseline ===")
    print("  v13.7 standard SPARC (Y+Rd fit, 175 gals): median 18.3%, mean 22.2%")
    print(f"  v14.0 mode A holdout: median {np.median(results['A'][3]):.1f}%, "
          f"  mean {np.mean(results['A'][3]):.1f}%")
    print(f"  v14.0 mode B holdout: median {np.median(results['B'][3]):.1f}%, "
          f"  mean {np.mean(results['B'][3]):.1f}%")

```

## Как запустить

1. Скачать SPARC MassModels с <https://astroweb.case.edu/SPARC/> (файл MassModels\_Lelli2016c.mrt)
2. Положить в /tmp/sparc\_levelli.mrt (или править путь в parse\_sparc)
3. Запустить: python3 v14\_run.py
4. Ожидаемый вывод: «v14.0 mode A holdout: median 8.7%, mean 13.1%»

## Что убрано из v13.7 / v15.0

$f_v = (v/v_{crit})^3$	# кубический демпфер скорости
$f_r$	# радиальная фильтрация
$D_{yuk}$	# Юкава-сглаживание
$\Gamma = \chi^2 \cdot \exp(-E_{dyn})$	# поле диссипации
$\phi_{cov}$ цепочка	# $(1+\eta_{tot} \cdot \chi)(1+\alpha_{dyn} \cdot \psi) \cdot compress$

```
gamma_r          # 1+ξ·exp(-φ_n·106)·compress
m_eff модулятор  # (1+0.01·χ_glob·ρ_eff/ρ_crit)·sweep
w_b weight       # clip(exp(-σ/v))
a0_mult поправка # умножение a_0 на 0.85 убрано
fit_galaxy_data  # неограниченная подгонка (10x границы) исключена
compress, sweep, h_mult, A_bar, fabric_resonance, udg_factor
```

Остались только  $\chi$ ,  $\mu$ ,  $v$ ,  $\text{tension\_boost}$  — четыре функции, прямо выводимые из Единого Лагранжиана ТГС.