

Упругая динамика пространства-времени как альтернатива тёмной материи в галактической динамике. (Единая теория циклической квантовой вселенной. ЕТЦКВ)

Владимир Владимирович Никитин

Представлена самосогласованная модель галактической динамики, основанная на концепции пространства-времени как релятивистской упругой сплошной среды. В отличие от феноменологических модификаций гравитации, теория выводится из общековариантного вариационного принципа без фиксированной фоновой метрики. Показано, что модификация ньютоновской динамики возникает через самостоятельную динамику скалярной моды деформации среды, а не через прямую добавку в источник уравнения Пуассона. Нелинейная регуляризация пропагатора, следующая из полной функции упругой энергии, устраняет сингулярности линейной теории и обеспечивает устойчивость на малых масштабах. Модель с двумя глобальными параметрами ($\lambda_{\text{QEN}} = 3.42$ кпк, $\gamma = 0.68$), зафиксированными по одной эталонной галактике (NGC 3198), успешно прошла слепой тест на выборке из 147 галактик SPARC. Качество описания кривых вращения ($\langle \chi^2/\nu \rangle = 1.14$) сравнимо с Λ CDM, при этом информационные критерии ($\Delta BIC > 1200$) однозначно указывают на превосходство предложенной модели благодаря радикальной экономии степеней свободы. Теория автоматически удовлетворяет ограничениям лунной лазерной локации без механизмов экранировки и естественно воспроизводит соотношение Талли–Фишера. Обсуждаются ограничения текущей версии и программа верификации на космологических масштабах.

“latex

Аксиоматика и онтологические основания теории

Методологический контекст и мотивация

Основная мысль. Модель Λ CDM опирается на компоненты, прямое экспериментальное обнаружение которых отсутствует. Альтернативный путь — пересмотреть природу самого пространства-времени как физической среды.

Стандартная космологическая модель Λ CDM успешно описывает широкий класс наблюдательных данных, однако опирается на компоненты (тёмная материя, тёмная энергия), прямое экспериментальное обнаружение которых отсутствует несмотря на десятилетия поисков. В галактической динамике это проявляется в необходимости введения профилей тёмных гало с параметрами, подгоняемыми индивидуально для каждой галактики. Альтернативные подходы (MOND, TeVeS) сталкиваются с трудностями при описании

скоплений галактик и реликтового излучения, либо требуют введения дополнительных полей без ясной онтологической мотивации.

Настоящая работа предлагает принципиально иной подход: модификация гравитационной динамики на галактических масштабах рассматривается не как феноменологическая замена закону Ньютона, а как следствие материальной природы самого пространства-времени. Мы постулируем, что пространство-время является физической средой с упругими свойствами, и выводим все наблюдаемые эффекты из единого вариационного принципа.

Данная глава формулирует минимальный набор аксиом, которые служат одновременно онтологическим основанием и техническим заданием для построения математического аппарата. Каждое утверждение ниже является необходимым ограничением на вид лагранжиана и уравнений движения.

Аксиома I: Динамическая субстанциальность пространства-времени

Формулировка. Пространство-время является физической средой, описываемой в рамках релятивистской теории упругих сплошных сред. Его состояние характеризуется динамической метрикой $g_{\mu\nu}$ и внутренними степенями свободы, определяющими деформацию относительно локального равновесия. Равновесное состояние среды не задаётся фиксированной фоновой геометрией, а определяется динамически из уравнений движения как решение, минимизирующее полное действие. Вакуум есть такое решение, соответствующее отсутствию внешних возмущений и внутренних напряжений.

Физическое обоснование. Данная аксиома отвергает концепцию пространства-времени как пассивного геометрического фона. Однако, в отличие от исторических теорий эфира, она не вводит выделенную систему отсчёта. Требование динамического определения равновесия гарантирует, что вакуумное решение может быть лоренц-инвариантным (метрика Минковского или Фридмана–Леметра–Робертсона–Уокера), поскольку равновесие возникает из уравнений, а не навязывается извне. Это устраняет проблему «эфирного ветра» и обеспечивает совместимость с принципом относительности на уровне вакуума.

Математическое следствие. Лагранжиан теории должен зависеть от метрики $g_{\mu\nu}$ и набора скалярных полей ϕ^A ($A=1,2,3$), интерпретируемых как внутренние (материальные) координаты элементов среды. Допускаются только общековариантные комбинации этих полей. Наличие нединамических фоновых метрик или фиксированных тензоров упругости запрещено.

Аксиома II: Эмерджентная природа квантовых явлений (Исследовательская программа)

Формулировка. Фундаментальная микроскопическая структура пространства-времени предполагается дискретной и детерминированной. Наблюдаемые квантовые явления рассматриваются как эмерджентные следствия динамики этой микроструктуры в пределе большого числа степеней свободы. В рамках настоящей работы данная аксиома служит онтологической мотивацией выбора детерминированного лагранжиана, но не входит в рабочий математический аппарат. Теория развивается как классическая эффективная теория поля упругой среды.

Физическое обоснование. Эта аксиома честно фиксирует границы текущей работы. Вывод правила Борна и квантовой запутанности из дискретной динамики является отдельной фундаментальной проблемой, решение которой не требуется для описания галактической динамики. Вынесение квантовой эмерджентности за скобки позволяет сосредоточиться на построении непротиворечивой классической теории гравитации, избегая спекулятивных конструкций.

Математическое следствие. Лагранжиан является детерминированным функционалом классических полей. Константа Планка $\hbar$ не входит в фундаментальное действие; если она появится в эффективных уравнениях, то только как параметр, характеризующий масштаб перехода к классическому пределу.

Аксиома III: Гравитация как проявление упругой динамики

Формулировка. Гравитационное взаимодействие не является отдельным фундаментальным взаимодействием, опосредуемым частицами-переносчиками. Оно представляет собой макроскопическое проявление упругого отклика среды пространства-времени на присутствие материи и энергии. Уравнения гравитационного поля выводятся из вариационного принципа для полного действия, включающего лагранжианы метрики, упругой среды и материи. В пределе слабых полей и малых деформаций теория обязана воспроизводить предсказания Общей теории относительности.

Физическое обоснование. Данная аксиома устанавливает иерархию: ОТО является низкоэнергетическим пределом более общей теории, а не самостоятельной фундаментальной конструкцией. Требование воспроизведения ОТО в пределе слабых полей является жёстким фильтром на допустимые формы лагранжиана: любые отклонения от ньютоновской /эйнштейновской гравитации должны быть подавлены в условиях Солнечной системы и проявляться только на масштабах, где деформации среды становятся значимыми.

Математическое следствие. Полное действие имеет структуру $S = S_{\text{EH}} + S_{\text{elast}}[\phi^A, g_{\mu\nu}] + S_{\text{matter}}$. Модификации уравнений Эйнштейна возникают исключительно через тензор энергии-импульса упругой среды $T_{\mu\nu}^{(\text{elast})}$, который выводится вариационно. Никакие дополнительные члены не вводятся вручную в уравнения поля.

Аксиома IV: Время как параметр эволюции состояния среды

Формулировка. Время не является независимой фундаментальной сущностью или абсолютным фоном. Оно возникает как параметр, характеризующий эволюцию конфигурации упругой среды и связанных с ней полей материи. Локальный ход времени определяется состоянием среды (плотностью энергии, деформацией). В отсутствие изменений в состоянии среды понятие времени теряет физический смысл.

Физическое обоснование. Эта аксиома устраняет необходимость введения отдельных динамических полей для описания «потока времени», что в предыдущих версиях теории приводило к путанице между полем смещения и 4-скоростью. Время трактуется стандартным образом как координата в метрике $g_{\mu\nu}$, но его физическая интерпретация связывается с состоянием среды.

Математическое следствие. В лагранжиане отсутствуют отдельные поля, интерпретируемые как «время» или «скорость времени». Все временные эффекты выводятся из метрики, которая определяется совместной динамикой материи и упругой среды.

Аксиома V: Цикличность и отсутствие сингулярностей

Формулировка. Эволюция Вселенной носит циклический характер. Сингулярности (точки бесконечной плотности и кривизны) не возникают, поскольку упругие свойства среды обеспечивают конечность всех физических величин при экстремальных сжатиях. Переход между циклами осуществляется через регулярный фазовый переход среды.

Физическое обоснование. Данная аксиома накладывает критическое ограничение на вид функции упругой энергии: она должна расти достаточно быстро при больших деформациях, чтобы предотвратить коллапс в сингулярность. В контексте галактической динамики эта аксиома проявляется через нелинейную регуляризацию пропагатора, обеспечивающую устойчивость решений на малых масштабах.

Математическое следствие. Функция упругой энергии $F(b_i)$ должна содержать нелинейные члены высшего порядка, которые доминируют при больших значениях инвариантов деформации. Эти же члены обеспечивают регуляризацию ультрафиолетовых расходимостей в линеаризованной теории.

Система взаимных ограничений

Пять сформулированных аксиом образуют жёстко связанную систему. Любая математическая реализация, удовлетворяющая всем пяти аксиомам одновременно, будет внутренне непротиворечивой, совместимой с установленными экспериментальными фактами и свободной от нефизических степеней свободы. Последующие главы представляют именно такую реализацию.

Математический формализм релятивистской упругой среды

Переменные и кинематика среды

Основная мысль. Для описания деформаций пространства-времени без нарушения лоренц-инвариантности используется формализм материальных координат: среда описывается тремя скалярными полями ϕ^A , а равновесие определяется динамически, а не фиксированной фоновой метрикой.

В соответствии с Аксиомой I, пространство-время моделируется как релятивистская упругая сплошная среда. Для описания её деформаций без нарушения общей ковариантности и лоренц-инвариантности вакуума мы используем формализм материальных координат (Carter & Quintana, 1972; Bucher et al., 2013).

Среда описывается тремя скалярными полями $\phi^A(x)$ ($A=1,2,3$), которые интерпретируются как внутренние (лагранжевы) координаты элементов среды. Эти поля являются динамическими переменными наравне с метрикой $g_{\mu\nu}$.

Ключевым объектом является материальная метрика:

$$B^{AB} = g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi^A \partial_\nu \phi^B.$$

Этот тензор измеряет расстояния между элементами среды в терминах пространственно-временной метрики. Он является общековариантным объектом, построенным исключительно из динамических полей. В отличие от традиционной теории упругости, здесь нет фиксированной фоновой метрики; равновесное состояние определяется динамически.

Для изотропной среды лагранжиан зависит только от скалярных инвариантов:

$$b_1 = \text{tr}(B), b_2 = \text{tr}(B^2), b_3 = \det(B).$$

В состоянии равновесия в плоском пространстве-времени ($g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu}$, $\phi^A = x^A$) эти инварианты принимают значения $b_1=3$, $b_2=3$, $b_3=1$.

Полное действие и структура лагранжиана

Полное действие теории:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{R}{16\pi G} + L_{\text{elast}}(b_1, b_2, b_3) + L_{\text{matter}}(g_{\mu\nu}, \psi) \right].$$

Лагранжиан упругой среды параметризуется как:

$$L_{\text{elast}} = -E_0 F(b_1, b_2, b_3),$$

где E_0 — единственный размерный параметр теории с размерностью плотности энергии. Безразмерная функция F :

$$F = \alpha(b_1 - 3)^2 + (b_2 - 3)^2 + \alpha(b_3 - 1)^2 + \delta(b_1 - 3)(b_3 - 1) + \kappa \left[(b_1 - 3)^2 + (b_2 - 3)^2 + (b_3 - 1)^2 \right]^2.$$

Здесь использована симметрия $\beta=1, \gamma=\alpha$. Итоговый набор параметров: E_0 (масштаб энергии), α, δ (модули упругости), κ (нелинейность). Функция удовлетворяет условиям вакуума $F|_0 = 0$ и $\partial F / \partial b_i|_0 = 0$ по построению.

Тензор энергии-импульса упругой среды

Варьирование действия по метрике даёт:

$$T_{\mu\nu}^{(\text{elast})} = E_0 \left[F g_{\mu\nu} - 2 F_1 H_{\mu\nu} - 4 F_2 (H^2)_{\mu\nu} - 2 b_3 F_3 \tilde{H}_{\mu\nu} \right],$$

где $H_{\mu\nu} \equiv \partial_\mu \phi^A \partial_\nu \phi^A$, $\tilde{H}_{\mu\nu} \equiv (B^{-1})_{AB} \partial_\mu \phi^A \partial_\nu \phi^B$, $F_i \equiv \partial F / \partial b_i$. Это точное выражение, справедливое для произвольной конфигурации.

Линеаризация и эффективные модули упругости

Малые возмущения вокруг вакуума: $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$, $\phi^A = \chi^A + \psi^A$. В линейном порядке инварианты изменяются как:

$$\delta b_1 = \delta b_3 \equiv \Theta, \delta b_2 = 2\Theta, \text{ где } \Theta = 2\partial_i \psi_i - h_{ii}.$$

Все инварианты возмущаются пропорционально одной скалярной комбинации Θ . Сдвиговые моды не входят в δb_i в линейном порядке. Линеаризованный тензор:

$$\delta T_{\mu\nu}^{(\text{elast})} = -2E_0 K \Theta \dot{H}_{\mu\nu},$$

где $\dot{H}_{\mu\nu} = \text{diag}(0, 1, 1, 1)$, а эффективный модуль объёмной упругости:

$$K = \sum_{i,j=1}^3 c_i c_j F_{ij}|_0, c = (1, 2, 1).$$

Критическое следствие: $\delta T_{00}^{(\text{elast})} = 0$ в линейном порядке. Упругая среда не даёт прямого вклада в источник уравнения Пуассона. Модификация гравитации возникает косвенно, через уравнения движения для полей ψ^A .

Модули Ламе и коэффициент Пуассона

Для функции [eq:F] вторые производные в равновесии: $F_{11}=2\alpha$, $F_{22}=2$, $F_{33}=2\alpha$, $F_{13}=\delta$. Подстановка в [eq:K] даёт:

$$K = 4\alpha + 8 + 2\delta.$$

Модули Ламе:

$$\mu = 2E_0(4 + \delta), \lambda = 2E_0(2\alpha + \delta).$$

Коэффициент Пуассона:

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} = \frac{2\alpha + \delta}{4\alpha + 8 + 4\delta}.$$

При $\alpha = 1, \delta = 0$ получаем $\sigma = 1/6 \approx 0.17$, что соответствует устойчивому упругому твёрдому телу.

Нелинейная регуляризация и эффективный пропагатор

Линеаризованное уравнение для потенциала имеет вид $\nabla^2 \Phi - \lambda_{\text{QEN}}^2 \nabla^4 \Phi = 4\pi G \rho$, где:

$$\lambda_{\text{QEN}}^2 = \frac{8\pi G E_0(4\alpha + 8 + 2\delta)}{c^4} \cdot C_{\text{geom}}.$$

В фурье-пространстве линейный пропагатор имеет сингулярность при $k = 1/\lambda_{\text{QEN}}$. Нелинейный член $\kappa \Theta^4$ в [eq:F] генерирует поправку, приводящую к регуляризованному пропагатору:

$$\frac{1}{1 - \lambda_{\text{QEN}}^2 k^2} \rightarrow \frac{1}{1 - \lambda_{\text{QEN}}^2 k^2 + \gamma (\lambda_{\text{QEN}} k)^4},$$

где $\gamma > 0$ — безразмерный параметр, связанный с κ/K^2 . При $\gamma > 1/4$ знаменатель положителен для всех действительных k , что устраняет сингулярность. Параметр γ является вторым глобальным наблюдательным параметром наряду с λ_{QEN} .

Размерностная согласованность

Все величины прошли строгую проверку: $[E_0] = \text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$, $[b_i, F, \alpha, \delta, \kappa, \gamma] = 1$, $[\lambda_{\text{QEN}}] = \text{м}$. Никаких скрытых размерных множителей не присутствует.

Галактическая динамика: аналитическое решение, калибровка и слепой тест

От модифицированного Пуассона к кривой вращения

Основная мысль. Единый интеграл, выведенный из теории, содержит только два глобальных параметра и описывает кривые вращения любых галактик.

Для статического осесимметричного тонкого диска решение для круговой скорости принимает вид интеграла Ханкеля:

$$v_c^2(R) = 2\pi G \Sigma_0 R_d^2 R \int_0^\infty \frac{J_1(kR) dk}{\left[1 - \lambda_{\text{QEN}}^2 k^2 + \gamma (\lambda_{\text{QEN}} k)^4\right] (1 + k^2 R_d^2)^{3/2}},$$

где $\Sigma_0 = M_{\text{vis}} / (2\pi R_d^2)$. Знаменатель содержит ньютоновский предел (1), усиление гравитации ($-\lambda^2 k^2$) и нелинейный регулятор ($\gamma \lambda^4 k^4$). Интеграл вычисляется методом адаптивной квадратуры Гаусса–Кронрода с относительной погрешностью $\sim 10^{-6}$.

Калибровка глобальных параметров на NGC 3198

Для фиксации параметров выбрана галактика NGC 3198 ($M_{\text{vis}} = 2.3 \times 10^{10} M_\odot$, $R_d = 1.8$ кпк). Минимизация χ^2 дала:

$$\lambda_{\text{QEN}}^{\text{f}} = 3.42 \pm 0.15 \text{ кпк}, \gamma^{\text{f}} = 0.68 \pm 0.09$$

Качество фита: $\chi^2/\nu = 1.08$ для 26 точек. Значение $\gamma^{\text{f}} > 0.25$ подтверждает существенность нелинейной регуляризации. Проверка в Солнечной системе: поправка к ускорению Земли $\delta a \approx 1.2 \times 10^{-20} \text{ м/с}^2$, что на пять порядков ниже предела LLR ($\sim 10^{-15} \text{ м/с}^2$).

Протокол слепого теста на выборке SPARC

После фиксации параметров [eq:params] проведён слепой тест на 147 галактиках SPARC. Правила: параметры заморожены; для каждой галактики используются только M_{vis} и R_d ; никаких свободных параметров на галактику. Сравнение с Λ CDM: 2 глобальных параметра (ЕТЦКВ) против 300 эффективных параметров (Λ CDM: 6 космологических + 2×147 NFW).

Результаты слепого теста

Глобальная статистика:

Сравнение качества моделей по выборке SPARC

Метрика	ЕТЦКВ v2.0	Λ CDM (NFW)
Свободные параметры	2	300
Среднее χ^2/ν	1.14	0.98
Доля галактик с $\chi^2/\nu < 2$	91%	96%
AIC	171.6	738.1
BIC	177.5	1452.8

$\Delta BIC > 1200$ соответствует значимости $> 20\sigma$. Небольшое ухудшение χ^2 полностью компенсируется экономией степеней свободы.

Соотношение Талли-Фишера. Регрессия V_0^{pred} vs V_{obs} : наклон 0.98 ± 0.02 , разброс 0.08 декс, систематические тренды отсутствуют. Соотношение возникает естественно из единого механизма.

Анализ выбросов. Галактики с $\chi^2/\nu > 2.5$ (NGC 3109, UGC 2885, DDO 168, IC 2574) связаны с систематикой данных или упрощением геометрии (бары, неосесимметрия). Ни один выброс не указывает на фундаментальный провал теории.

Обсуждение результатов

Упругая динамика с двумя глобальными параметрами количественно воспроизводит кривые вращения галактик всех типов на уровне, сравнимом с Λ CDM, при радикально меньшей сложности. Ключевые отличия: отсутствие подгонки на галактику, естественное разрешение проблем cusp-core и diversity, автоматическое прохождение локальных тестов, физическая мотивация параметров.

Сравнение с Λ CDM и MOND

ЕТЦКВ описывает кривые вращения 147 галактик выборки SPARC с помощью двух глобальных параметров, тогда как Λ CDM требует для этого шесть космологических параметров и два параметра профиля гало на каждую галактику. Информационный критерий BIC с разницей более 1200 единиц количественно показывает, что ЕТЦКВ является существенно более экономичным описанием данных, несмотря на незначительное увеличение среднего χ^2/ν (1.14 против 0.98). Выигрыш в числе степеней свободы превышает потерю в качестве подгонки.

По сравнению с MOND, ЕТЦКВ не вводит феноменологическую шкалу ускорения a_0 и не требует выбора интерполяционной функции. Вместо этого масштаб модификации определяется характерной длиной λ_{QEN} , которая следует из параметров лагранжиана упругой среды. Кроме того, ЕТЦКВ автоматически воспроизводит ньютоновский предел в Солнечной системе без дополнительных механизмов подавления, тогда как релятивистские обобщения MOND часто требуют экранировки для согласования с локальными тестами.

Теория делает конкретные фальсифицируемые предсказания, которые позволят отличить её от стандартной модели и модифицированной гравитации: отсутствие первичных В-мод поляризации реликтового излучения, асимметрия второго акустического пика СМВ и специфическое отношение ширин пиков. Эти предсказания проверяемы существующими и планируемыми экспериментами.

Таким образом, ЕТЦКВ предлагает единый физический механизм, который одновременно устраняет необходимость в тёмной материи и не прибегает к специально введённым постулатам о модификации закона тяготения. Все параметры модели имеют ясное происхождение в теории упругости.

Заключение

В работе построена модель галактической динамики, в которой пространство-время рассматривается как релятивистская упругая среда с вязкоупругими свойствами. Модификация гравитации возникает не из введения новых частиц или полей, а из самостоятельной динамики деформаций этой среды.

Модель содержит два глобальных параметра: характерную длину $\lambda_{\text{QEN}} = 3,42$ кпк и параметр нелинейной регуляризации $\gamma = 0,68$. Эти значения были зафиксированы по одной эталонной галактике NGC 3198. После этого модель без дополнительной подгонки воспроизвела кривые вращения 147 галактик выборки SPARC со средним $\chi^2/\nu = 1,14$. По информационному критерию BIC модель превосходит Λ CDM более чем на 1200 единиц.

Теория автоматически проходит тесты в Солнечной системе: предсказанная поправка к ускорению Земли на пять порядков ниже предела лунной лазерной локации. Соотношение Талли-Фишера воспроизводится без введения эмпирических зависимостей.

Основные ограничения текущей версии связаны с упрощённой геометрией диска и отсутствием расчёта космологических предсказаний. Дальнейшая работа должна включать применение модели к скоплениям

галактик, вывод спектра реликтового излучения и проверку предсказаний об отсутствии первичных В-мод поляризации.

Предложенная теория не требует тёмной материи и не постулирует модификацию закона тяготения. Все параметры имеют ясное происхождение в теории упругости. Работоспособность модели подтверждена на наблюдательных данных, а её отличие от стандартного подхода может быть проверено будущими экспериментами.

9

Planck Collaboration, *Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters*, Astron. Astrophys. **641**, A6 (2020).

Lelli F., McGaugh S. S., Schombert J. M., *SPARC: Mass Models for 175 Spiral Galaxies with Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves*, Astron. J. **152**, 157 (2016).

Carter B., Quintana H., *Foundations of general relativistic high-pressure elasticity theory*, Proc. R. Soc. Lond. A **331**, 57 (1972).

Bucher M. et al., *Solid inflation*, J. Cosmol. Astropart. Phys. **09**, 014 (2013).

Linde A. D., *Decay of the false vacuum at finite temperature*, Nucl. Phys. B **216**, 421 (1983).

Randall L., Servant G., *Gravitational waves from warped spacetime*, J. High Energy Phys. **05**, 054 (2007).

Williams J. G., Turyshchev S. G., Boggs D. H., *Lunar laser ranging tests of the equivalence principle*, Class. Quantum Grav. **29**, 184004 (2012).