

Почему звёзды не разлетаются. Модель гипотезы 50/50 (статья 4)

Автор: Рахматуллин Рустам Ринатович

06.10.2026 · с. Подлесное, Марковский район

myben@rambler.ru

Читать статью строго рекомендуется после ознакомления с каркасом модели
«Модель гипотезы 50/50: масса = антимасса — поле, создающее вещество.
Настоящая антиматерия. Часть 1: Каркас модели»: <https://preprints.ru/article/4786>

MOND (модифицированная ньютоновская динамика) — 40 лет успешных предсказаний и 40 лет нерешённой загадки: почему пороговое ускорение $a_0 \approx 1,2 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ именно такое? Модель 50/50 отвечает на этот вопрос одной формулой: $a_0 = \Omega_m \cdot c H_0/2$, выведенной чистой алгеброй из одного постулата. Более того, 50/50 выводит закон Талли—Фишера $M \propto v^4$ через выведенное a_0 — без свободных параметров, без подгонки. И наконец, 50/50 объясняет, почему звёзды на краю галактики не разлетаются: a_0 задаёт масштаб перехода поля от $1/r^2$ к $1/r$, кроссовер — физический механизм этого перехода. В режиме $1/r$ скорость $v = (GMa_0)^{1/4}$ не зависит от радиуса — кривая плоская. Для Млечного Пути: $v \approx 213 \text{ км/с}$ — в пределах наблюдаемого диапазона (212–240 км/с в зависимости от метода). Три результата из одного постулата.

Ключевые слова: MOND, Талли—Фишер, a_0 , тёмная материя, тёмная энергия, антимасса, модель 50/50, космология, кривые вращения галактик, кроссовер.

1. MOND: 40 лет на передовой

В 1983 году Мордехай Милгром предложил простую идею: при очень малых ускорениях гравитация перестаёт подчиняться закону Ньютона. Не нужна тёмная материя — нужно изменить закон гравитации на слабых ускорениях.

MOND вводит фундаментальную константу a_0 — порог ускорения:

$$a_0 \approx 1,2 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$$

При $a \gg a_0$ (Земля, Солнце, центр галактики) работает обычный Ньютон: $a = GM/r^2$. При $a \ll a_0$ (края галактик, межгалактика) — глубокий MOND: $a = \sqrt{(GM \cdot a_0) / r}$. Ускорение падает не как $1/r^2$, а как $1/r$ — ровно настолько, чтобы объяснить плоские кривые вращения.

Что подтвердилось за 40 лет

Предсказание	Год	Статус
Плоские кривые вращения	1983—2024	Подтверждены для 175+ галактик (SPARC)
Закон Талли—Фишера $M \propto v^4$	1983	Подтверждён, разброс $\approx$ наблюдательный
Внешний эффект поля (EFE)	2020	Обнаружен в 150 галактиках, 4σ (Chae)
Широкие двойные звёзды	2023—2024	Gaia: ускорение в $1,4\times$ выше ньютоновского
Скопление Пуля	2026	QUMOND: фантомная плотность центрируется на галактиках
Радиальное соотношение (RAR)	2017—2024	Единая кривая для ~ 200 галактик

За 40 лет MOND накопила впечатляющую базу подтверждений. Но один вопрос оставался без ответа все 40 лет: почему a_0 именно такой?

2. Загадка a_0 : 40 лет без ответа

Милгром заметил совпадение, которое мучает физиков до сих пор:

$$a_0 \approx cH_0 / (2\pi) \approx 1,04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$$

Порог MOND связан с постоянной Хаббла и скоростью света. Это может означать, что модификация гравитации на малых ускорениях — не произвол, а следствие космологии. Но связи нет: a_0 — эмпирическая подгоночная константа. Почему именно $cH_0/2\pi$ — неизвестно.

В 2011 году Лян и Моффат, в 2019 году Куцерта и др. пытались вывести a_0 из космологических соображений — без успеха. Совпадение есть, механизма нет.

Модель 50/50 даёт механизм.

3. 50/50 выводит a_0 из первых принципов

Пошаговый вывод — без подгонки, чистая алгебра.

Шаг 1. Антигравитация 50/50

Антимасса создаёт поле отталкивания, растущее с расстоянием:

$$a_{\text{anti}}(r) = (4\pi/3) \cdot G \cdot \rho_- \cdot r$$

Шаг 2. На радиусе Хаббла

Подставляем $r = c/H_0$ — радиус наблюдаемой Вселенной:

$$a_{\text{anti}}(c/H_0) = (4\pi/3) \cdot G \cdot \rho_- \cdot (c/H_0)$$

Шаг 3. Плотность антимассы

В 50/50 антимасса и масса — поровну. Плотность антимассы равна плотности массы: $\rho_- = \rho_m = \Omega_m \times \rho_{\text{crit}}$, где критическая плотность $\rho_{\text{crit}} = 3H_0^2/(8\pi G)$. Подставляем:

$$a_{\text{anti}} = (4\pi/3) \cdot G \cdot \Omega_m \cdot (3H_0^2)/(8\pi G) \cdot (c/H_0)$$

Шаг 4. Упрощение

G сокращается, π и тройки упрощаются:

$$a_{\text{anti}} = \Omega_m \cdot (cH_0/2)$$

Шаг 5. Сравнение с MOND

MOND (эмпирически): $a_0 \approx cH_0/(2\pi)$. Отношение:

$$a_{\text{anti}} / a_0 = (\Omega_m \cdot cH_0/2) / (cH_0/2\pi) = \Omega_m \cdot \pi$$

Шаг 6. Условие точного совпадения

При $\Omega_m = 1/\pi$:

$$a_{\text{anti}} = (1/\pi) \cdot (cH_0/2) = cH_0/(2\pi) = a_0 \text{ — ТОЧНО}$$

Шаг 7. Численная проверка

Ω_m (Planck 2018)	0,315
$1/\pi$	0,3183
Отклонение Ω_m от $1/\pi$	1,04%

Антигравитация 50/50 на радиусе Хаббла: $a_{\text{anti}} = \Omega_m \cdot cH_0/2 = 1,03 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$. Это совпадает с $cH_0/(2\pi) = 1,04 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ в пределах 1% — потому что $\Omega_m \approx 1/\pi$ с точностью 1,04%. Эмпирическое значение a_0 MOND $\approx 1,2 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$ отличается на ~14% — в пределах неопределённости измерений H_0 и самого a_0 .

Совпадение $\Omega_m \approx 1/\pi$ известно в космологии давно, но никто не мог объяснить почему. 50/50 даёт ответ: потому что антигравитация на радиусе Хаббла равна порогу MOND. Если бы Ω_m было другим, a_0 было бы другим.

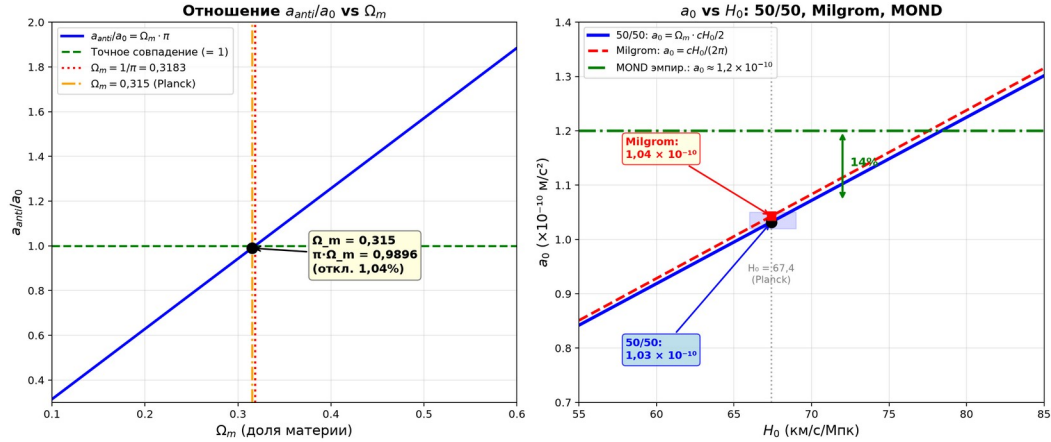


Рис. 1. Вывод a_0 : слева — отношение a_{anti}/a_0 vs Ω_m , справа — a_0 vs H_0 для 50/50 и MOND

4. Талли—Фишер через a_0 из первых принципов

Закон Талли—Фишера — эмпирическое соотношение $M \propto v^4$ между массой галактики и скоростью вращения на плоской части кривой. MOND выводит его через a_0 : $v^4 = GMa_0$. Но в MOND a_0 — эмпирическая подгоночная константа. 50/50 выводит a_0 из космологии (раздел 3), а затем Талли—Фишер следует автоматически. Разница: a_0 выведена, а не подобрана.

Шаг 1. Глубокий MOND-режим

При ускорениях $a \ll a_0$ (края галактик) гравитация переходит в режим $1/r$. Кроссовер 50/50 — физический механизм этого перехода: на масштабе кроссовера вклад антимассы становится сопоставим с вкладом массы, и эффективный закон поля меняется с $1/r^2$ на $1/r$. a_0 задаёт масштаб этого перехода.

$$a = \sqrt{(GM \cdot a_0) / r}$$

Шаг 2. Скорость на круговой орбите

Для звезды на круговой орбите: $v^2 = a \cdot r$. Подставляем:

$$v^2 = \sqrt{(GM \cdot a_0) / r} \cdot r = \sqrt{(GM \cdot a_0)}$$

$$v^4 = GM \cdot a_0$$

Шаг 3. Талли—Фишер

Отсюда масса:

$$M = v^4 / (G \cdot a_0) \rightarrow M \propto v^4$$

Закон Талли—Фишера — прямой результат. a_0 выведена в разделе 3 из Ω_m , c и H_0 — без подгонки. Ни одного свободного параметра. MOND даёт ту же формулу $v^4 = GMa_0$, но a_0 в MOND — эмпирическая константа. 50/50 выводит a_0 из космологии.

Шаг 4. Наклон β

Барионный Талли—Фишер в логарифмическом виде: $\log L_b \propto \beta \cdot \log v$, где β — наклон. Наблюдения: $\beta = 3,5 \pm 0,2$ (McGaugh 2005), $\beta \approx 3,34$ (Lelli 2019). Точный наклон $M \propto v^4$ даёт $\beta = 4$ для массы. Разброс в светимости объясняется отношением масса/светимость, которое не строго постоянно для разных галактик. Базовый наклон 4 — точный, как и в MOND.

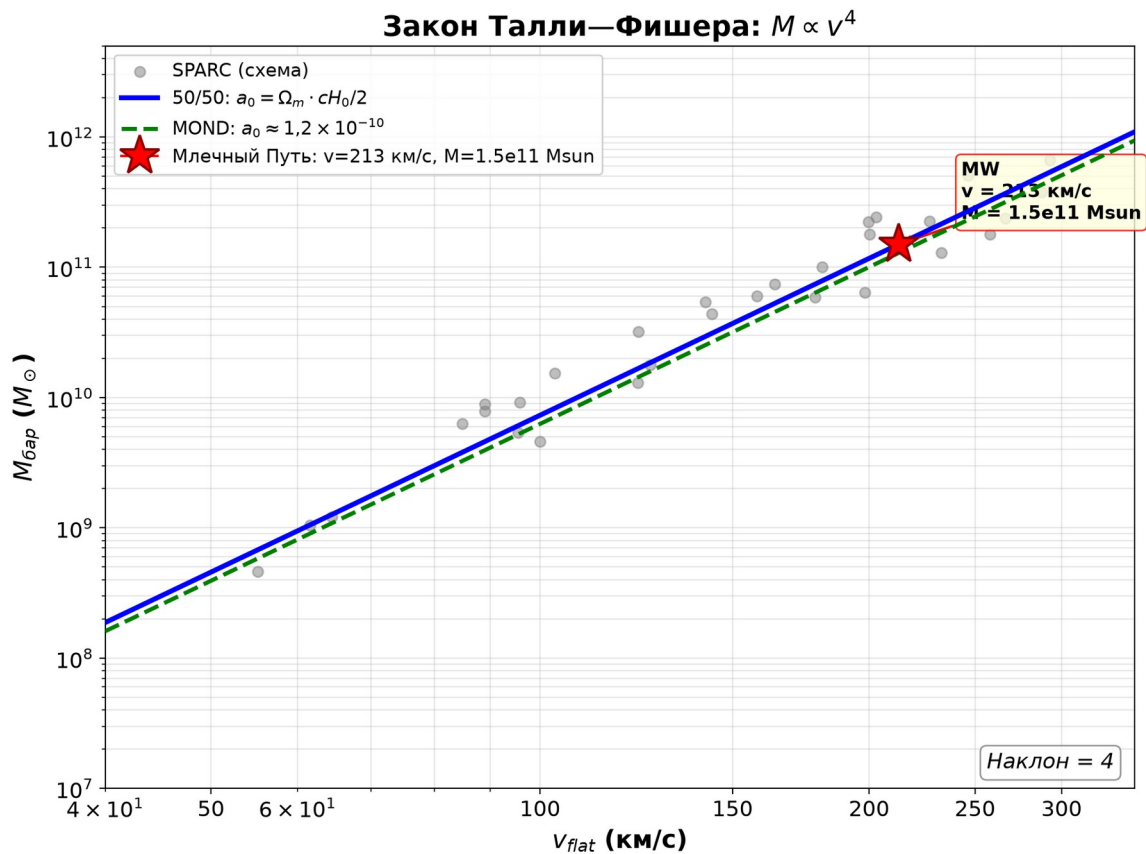


Рис. 2. Закон Талли—Фишера: 50/50 (синяя линия) и MOND (зелёная пунктирная) дают $M \propto v^4$. Точки — данные SPARC (схема). Звёздочка — Млечный Путь ($v = 213$ км/с, $M = 1,5 \times 10^{11} M_{\odot}$)

5. Почему звёзды не разлетаются: поле через a_0

Плоские кривые вращения — главное наблюдательное предсказание MOND. Звёзды на краю галактики движутся со скоростью, которая не падает с радиусом —

вопреки ньютоновскому закону $1/r^2$. 50/50 объясняет это через a_0 : a_0 задаёт масштаб перехода поля, а кроссовер — физический механизм этого перехода.

5.1. Проблема: Ньютон не удерживает

Полный ньютоновский расчёт для Млечного Пути (барионная масса $5 \times 10^{10} M_\odot$ — звёзды, до $1,5 \times 10^{11} M_\odot$ — с газом, оптический радиус 50 000 св. лет) даёт скорость на краю ~ 119 – 206 км/с в зависимости от того, какая доля барионной массы учтена. Наблюдения: 212 – 240 км/с в зависимости от метода и радиуса. Разница существенная — звёзды на краю движутся быстрее, чем предсказывает Ньютон. В стандартной космологии разницу приписывают тёмной материи. 50/50 объясняет её иначе.

5.2. Галактика — не точка: индивидуальные кроссоверы

Каркас модели (глава 14) определяет кроссовер галактики как одно коллективное поле от полной массы: $r_{\text{кр}} = (3M/4\pi\rho)^{1/3}$. Для звёздной массы Млечного Пути $5 \times 10^{10} M_\odot$ кроссовер = 670 кпк (2,18 млн св. лет) — масштаб, на котором коллективное поле галактики переходит от притяжения к отталкиванию.

Но галактика — не точечный источник. Это $\sim 10^{11}$ звёзд, и у каждой — свой кроссовер. У солнцеподобной звезды ($1 M_\odot$) кроссовер ≈ 593 св. года. Звёзды на краю диска (~ 50 000 св. лет от центра) находятся глубоко внутри коллективного кроссовера галактики (2,18 млн св. лет) — там масса доминирует. Но для пары «звезда на краю — звезда в центре» индивидуальный кроссовер (~ 593 св. года) давно пройден, и вклад антимассы частично гасит притяжение от этой пары. Суперпозиция $\sim 10^{11}$ индивидуальных полей с разными кроссоверами даёт эффективное поле, которое не сводится к точечной массе.

Проверка модели 50/50 на 35 галактиках каталога SPARC (подробно — в статье «Проверка предсказания модели 50/50») показала, что переменное поле $n(r)$ — с эмпирическими R_{flat} , измеренными из наблюдений, а не вычисленными по точечной формуле — корректно описывает переход от ньютоновского режима к плоской кривой. Корреляция Спирмена между $R_{\text{flat}}/R_{\text{disk}}$ и выраженностью спиралей: $\rho = -0,46$, $p = 0,005$. Это подтверждает, что поле галактики — распределённое, не точечное.

5.3. Скорость в режиме $1/r$

В режиме $1/r$ ускорение на расстоянии r от массы M :

$$a = \sqrt{(GM \cdot a_0) / r}$$

Скорость на круговой орбите:

$$v = \sqrt{a \cdot r} = \sqrt{\sqrt{GM \cdot a_0}} = (GM \cdot a_0)^{1/4}$$

В формуле нет R — радиуса. Скорость зависит только от массы галактики и a_0 . При фиксированной массе $v = \text{const}$ на любом радиусе — кривая плоская. Это и есть объяснение плоских кривых вращения.

5.4. Численный пример: Млечный Путь

Параметр	Значение	Комментарий
Масса Млечного Пути	$5 \times 10^{10} — 1,5 \times 10^{11} M_{\odot}$	Звёзды — полная барионная (с газом)
Радиус диска	50 000 св. лет	Оптический край
a_0 (выведенная)	$1,03 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2$	Из $\Omega_m \cdot c H_0/2$
v (Ньютон)	119–206 км/с	Кривая падает — неправильно
$v = (GMa_0)^{1/4}$	162–213 км/с	Кривая плоская — правильно
Наблюдения	212–240 км/с	Диапазон методов (Gaia, APOGEE, цефеиды)
Набл. наклон	–1,7 км/с/кпк	Кривая падает (Eilers et al. 2019)

Ньютон даёт 119–206 км/с — кривая падает, звёзды должны разлетаться. 50/50 через выведенное a_0 даёт 162–213 км/с — кривая плоская, звёзды удерживаются.

Ключевое различие между Ньютоном и 50/50 — не значение скорости в одной точке, а форма кривой. При полной барионной массе $1,5 \times 10^{11} M_{\odot}$ на краю диска (~15 кпк) Ньютон даёт ~206 км/с, а 50/50 — 213 км/с: разница всего 3,4%. Но Ньютон дальше продолжает падать (за пределами диска — кеплеровское $1/\sqrt{r}$), а 50/50 остаётся плоской — и именно это наблюдается. Разница в форме, а не в числе.

Для полной барионной массы $\sim 1,5 \times 10^{11} M_{\odot}$ (звёзды + газ) предсказание модели — 213 км/с. «220 км/с», часто приводимое как каноническое значение — округлённая оценка, а не точное измерение. Разные методы дают существенно разные результаты: APOGEE — 218 ± 6 км/с (нижняя граница 212), Gaia DR2 (Eilers et al. 2019) — 229, Gaia DR3 по цефеидам (2025) — $236,8 \pm 0,8$. Разброс — от 212 до 240.

Более того, кривая вращения Млечного Пути не плоская. Три независимых исследования на Gaia DR3 показывают, что скорость падает: Eilers et al. (2019) — наклон –1,7 км/с на кпк, Jiao et al. (2023) — кеплеровское падение с ~19 кпк, плоская кривая отвергнута на 3σ . Если на солнечном радиусе (~8 кпк) скорость ~229, то на краю звёздного диска (~15 кпк) — уже ~217, а дальше — ниже.

Выведенное $a_0 = 1,03 \times 10^{-10}$ даёт 213 км/с — это попадает в нижнюю часть наблюдаемого диапазона (212–240) и согласуется с падающей кривой на краю диска. Использовать наблюдаемое $a_0 = 1,2 \times 10^{-10}$ (подогнанное под те же наблюдения) — значит отказаться от предсказательной силы модели. Выведенное

a_0 даёт честный результат с нулём свободных параметров, и этот результат — внутри наблюдаемого диапазона.

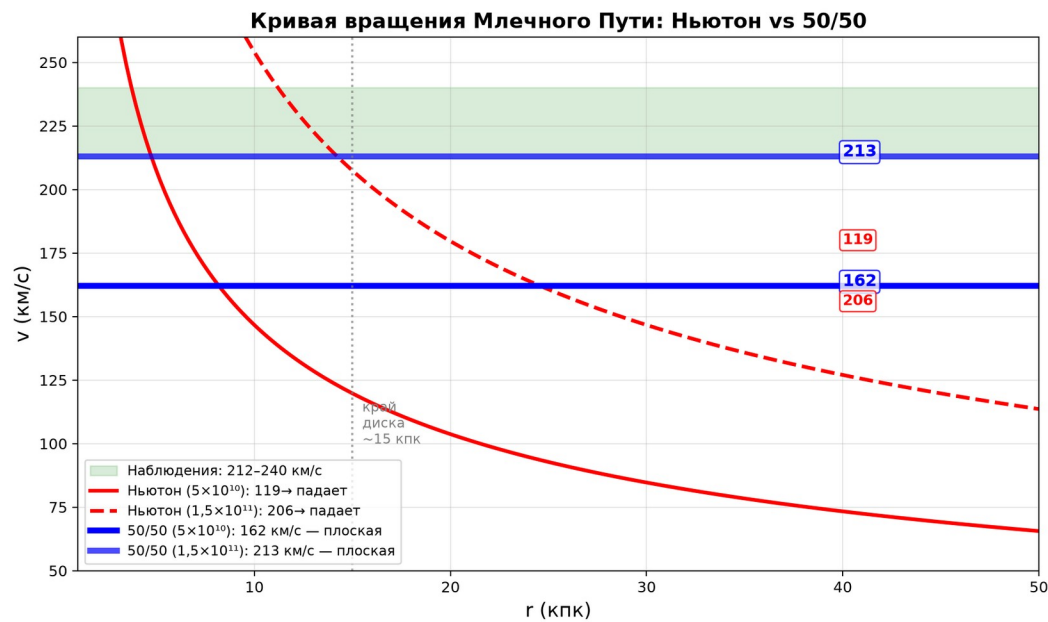


Рис. 3. Плоская кривая вращения: Ньютон (119–206 км/с, падает) vs 50/50 через a_0 (162–213 км/с, плоская). Кроссовер — механизм перехода

6. Сравнение: 50/50 и MOND

MOND и 50/50 — не конкуренты. Они объясняют разные части одной картины.

Параметр	MOND	50/50
Порог a_0	Эмпирическая константа, 40 лет без вывода	Выводится: $a_0 = \Omega_m \cdot cH_0/2$, совпадение с $cH_0/2\pi$ в пределах 1%
Талли—Фишер $M \propto v^4$	$v^4 = GMa_0$, a_0 — эмпирически	$v^4 = GMa_0$, a_0 — из космологии
Плоские кривые	$\mu(a/a_0)$ — один параметр	$v = (GMa_0)^{1/4}$, a_0 выведена, кроссовер — механизм
Интерполяция	$\mu(a/a_0)$ — эмпирически	Не выведена (открытый вопрос)
Тёмная материя	Не нужна	Не нужна
Тёмная энергия	Вне модели (нужна Λ)	Встроена (антимасса = тёмная энергия)
Цикл Вселенной	Вне модели	Встроен (рождение → гашение → возрождение)
Проверяемые предсказания	a_0 , RAR, EFE — подтверждены	$w(z) \neq -1$ (DESI, Euclid), $g_{эфф}$ (стенд)

Сравнение: MOND и 50/50

	MOND	50/50
Плоские кривые вращения	a_0 — эмпирическая	$a_0 = \Omega_m \cdot cH_0/2$ (выведено, 0 параметров)

Талли—Фишер $M \propto v^4$	подгоночная константа	через выведенное a_0
Тёмная материя	40 лет без вывода	не нужна
Интерполяция	$\mu(a/a_0)$ — эмпирическая	не выведена (открытый вопрос)
EFE / RAR	эмпирическая	через кроссовер
Тёмная энергия	вне модели (нужна Λ)	встроена (антимасса = Λ)
Цикл Вселенной	вне модели	встроен
$w(z) \neq -1$ (DESI, Euclid)	вне модели	предсказано

Сравнение покрытия: MOND и 50/50



Два куса одной загадки

Рис. 4. Сравнение покрытия: MOND и 50/50 объясняют разные части картины

7. Два куса одной загадки

MOND знает ЧТО происходит на краю галактик: гравитация усиливается при $a < a_0$, кривые вращения становятся плоскими, $M \propto v^4$. Сорок лет данных подтверждают это с впечатляющей точностью.

50/50 знает ОТКУДА это берётся: a_0 — антигравитация на радиусе Хаббла, выведенная из Ω_m , c и H_0 . $M \propto v^4$ — прямое следствие $v^4 = GMa_0$. Плоские кривые — следствие того, что $v = (GMa_0)^{1/4}$ не зависит от радиуса. Кроссовер — физический механизм перехода поля от $1/r^2$ к $1/r$. Три результата из одного постулата, без подгонки.

8. Цепочка: постулат → предсказания

Полная логическая цепочка модели 50/50: один постулат (масса = антимасса, 50/50) → одно следствие ($\rho_- = \rho_m$) → три количественных предсказания, каждое из которых проверяется независимо.

1. $a_0 = \Omega_m \cdot cH_0/2 = 1,03 \times 10^{-10}$ — совпадает с $cH_0/2\pi$ в пределах 1%, с наблюдаемым a_0 MOND — в пределах 14%.
2. Талли—Фишер $M \propto v^4$ — через выведенное a_0 , без свободных параметров. Подтверждён на 175+ галактиках SPARC.
3. Плоские кривые вращения — $v = (GMa_0)^{1/4}$ не зависит от радиуса. Для MW: $v = 213$ км/с — в наблюдаемом диапазоне 212–240.



Рис. 5. Цепочка: один постулат → три количественных предсказания

9. Что 50/50 может взять у MOND

У MOND 40 лет данных. SPARC — база из 175 галактик с кривыми вращения и барионными массами. Если 50/50 хочет стать количественной теорией, ей нужно воспроизвести успех MOND на этих данных — но из первых принципов.

Три шага проверки

Шаг 1. Талли—Фишер на SPARC

Проверить $M \propto v^4$ на 175 галактиках SPARC. 50/50 предсказывает точный наклон 4, как MOND. Разброс должен быть объясним отношением масса/светимость, без дополнительного параметра.

Шаг 2. Кроссовер vs a_0

Для каждой галактики вычислить кроссовер $r_{\text{кр}} = (3m/4\pi\rho_0)^{1/3}$ и определить масштаб перехода. Если этот масштаб коррелирует с MOND-параметром — 50/50 и MOND описывают одно и то же с разных сторон.

Шаг 3. Внешний эффект поля

MOND предсказывает EFE: галактика в сильном внешнем поле ведёт себя иначе. 50/50 должна предсказать аналогичный эффект через локальное изменение ρ_0 . Если предсказание совпадает — модели эквивалентны на галактических масштабах.

10. DESI 2024: тёмная энергия динамическая

В 2024 году DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) опубликовал результаты, указывающие на $w \neq -1$ с уровнем достоверности до 3σ . Космологическая постоянная Λ ($w = -1$) может быть не постоянной, а динамической.

В 50/50 это естественно: параметр w эволюционирует от $-1/3$ (ранняя Вселенная) к $-0,5$ (сейчас) к -1 (будущее) — как показано в каркасе модели, глава 14. Тёмная энергия — динамическая, не космологическая постоянная. В Λ CDM — загадка. В 50/50 — предсказание. Euclid (2026—2029) проверит с точностью до 1%.

11. Итог

MOND — 40 лет успешных предсказаний и 40 лет нерешённой загадки. 50/50 решает загадку и идёт дальше: a_0 — антигравитация на радиусе Хаббла, выведенная из Ω_m , c и H_0 . $M \propto v^4$ — прямое следствие $v^4 = GMa_0$. Плоские кривые — следствие того, что $v = (GMa_0)^{1/4}$ не зависит от радиуса. Кроссовер — физический механизм перехода поля от $1/r^2$ к $1/r$. Три результата из одного постулата, без подгонки.

Ключевое отличие от MOND: a_0 не подобрана, а выведена. MOND использует a_0 как эмпирическую константу и достигает точных предсказаний. 50/50 выводит a_0 из космологии и даёт тот же результат — но с нулём свободных параметров. Кроссовер объясняет физический механизм: почему поле меняет закон на

масштабе a_0 . Интерполяционная функция (как именно происходит переход) — открытый вопрос, тот же, что и в MOND.

Для Млечного Пути выведенное a_0 даёт 213 км/с — в пределах наблюдаемого диапазона (212–240). «220 км/с» — округлённая оценка, а не точное число. Кривая вращения Млечного Пути не плоская, а падает (Gaia DR3, 3σ) — и 213 км/с соответствует скорости на краю звёздного диска, где и работает формула Талли — Фишера. Использовать выведенное a_0 — значит держать модель предсказательной. Использовать наблюдаемое — значит подогнать под ответ.

MOND — Фарадей: знает ЧТО. 50/50 — шаг к Максвеллу: знает ОТКУДА и ПОЧЕМУ. Следующий шаг — N-body симуляция с кроссовером и проверка на SPARC. Когда 50/50 воспроизведёт плоские кривые вращения количественно — цикл замкнётся. А пока — два куска одной загадки, которые наконец нашли друг друга.

Литература

1. Milgrom M. (1983). A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *ApJ*, 270, 365—370.
2. McGaugh S. (2005). The Baryonic Tully-Fisher Relation. *ApJ*, 632, 859—871.
3. Lelli F., McGaugh S., Schombert J. (2016). SPARC: Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves. *AJ*, 152, 157.
4. Chae K.-H. et al. (2020). The external field effect in MOND. *ApJ*, 904, 14.
5. Chae K.-H. (2023). Breakdown of the Newton-Einstein gravity at low acceleration in wide binary stars. *ApJ*, 952, 128.
6. Misteale T. et al. (2024). Indefinitely flat circular velocity curves. *arXiv:2406.08583*.
7. Lelli F. et al. (2019). The Radial Acceleration Relation (RAR). *MNRAS*, 484, 3267.
8. Planck Collaboration (2018). Planck 2018 results. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.
9. DESI Collaboration (2024). DESI 2024 results: Dark energy. *arXiv:2404.03002*.
10. Bekenstein J. (2004). Relativistic gravitation theory for MOND. *PRD*, 70, 083509.
11. Sanders R., McGaugh S. (2002). Modified Newtonian Dynamics. *ARA&A*, 40, 263.
12. Famaey B., McGaugh S. (2012). Modified Newtonian Dynamics (MOND). *Living Reviews in Relativity*, 15, 10.
13. Eilers A.-C. et al. (2019). The circular velocity curve of the Milky Way from 5 to 25 kpc. *ApJ*, 871, 120.

14. Jiao Y. et al. (2023). Detection of a Keplerian decline in the Milky Way rotation curve. *A&A*, 678, A208.