ГИПОТЕЗА ГРАВИТАЦИОННОГО РЕЗОНАНСА (ГГР): ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ЯДРА И ПЕРЕСЧЁТНЫЙ КОНВЕЙЕР SPARC/OSF

Бутылкин В.Г.
Независимый исследователь. Кострома, Костромская область, Россия
e-mail: vladimir307@mail.ru
Кострома, 2026

Аннотация

Сводный препринт теории гравитационного резонанса (ГГР): релятивистский сектор гравитационного линзирования c_T = c на основе биметрической модели с дисформной связью метрик, интеграл восприимчивости Кубо—Мори—Боголюбова для релаксации когерентной подложки, спинодальный гистерезис когерентности как защита холодного газа от паразитного возбуждения и сектор космологических возмущений. Верификационный конвейер v4.1 применён к каталогу SPARC (175 галактик, 3391 точка кривых вращения) с раздельным фитингом старого и молодого звёздных населений диска.

При фиксированной (замкнутой) константе связи g† = 3260 (км/с)²/кпк в базовом прогоне (декомпозиция по R_med, порог Y_young ≥ 0.05) 49 из 175 галактик классифицированы как CONFIRMED, 72 — как MILD_TENSION и 54 — как OUTLIER (вердикты устойчивы к сдвигу порога в диапазоне 0.05–0.10; при пороге 0.20 доля CONFIRMED умеренно снижается — 43 из 175). Переход к физически инвариантному фотометрическому масштабу диска R_d (версия v4.1) даёт распределение 49 / 58 / 68. Подчёркивается строгая статистическая оговорка: только 27 из 175 галактик (15.4%) имеют полностью внутренние значения всех трёх параметров свободного фита; у 135 из 175 (77.1%) параметр Y_young достигает границ априора [0.05, 0.40], что ограничивает стандартную статистическую интерпретацию порогов $\Delta\chi^2$. Замыкающая функция $\nu(y) = 1 / (1 - \exp(-\sqrt{y}))$ постулируется; её вывод из субстрата Отта—Антонсена остаётся открытой проблемой. Интеграл восприимчивости вычислен точно: $\chi(\Delta) = 1 / (2\gamma(\Delta + \gamma))$ с асимптотикой Δ^{-1}. Сравнительный бенчмарк замыкающих функций (раздел 6.4): $\nu(y)$ ГГР совпадает с simple-функцией Фамея—Бинни [13], статистически неотличима от simple-μ (χ^2 2298 против 2293) и умеренно лучше standard (χ^2 2853); при свободном фите форма ν слабо идентифицируема.

Ключевые слова: модифицированная гравитация; MOND; гравитационное линзирование; кривые вращения галактик; каталог SPARC; звёздные населения; модель Курамото; спинодальный гистерезис; биметрическая теория; космологические возмущения.

Abstract

This consolidated preprint presents the Gravitational Resonance Hypothesis (GRH): a relativistic lensing sector c_T = c based on a bimetric model with disformally related metrics, a Kubo-Mori-Bogoliubov susceptibility integral describing the relaxation of the coherent substrate, spinodal hysteresis of coherence as a protective mechanism for cold gas, and a cosmological perturbation sector. Verification pipeline v4.1 is applied to the SPARC catalogue (175 galaxies, 3391 rotation-curve points) with separate fitting of the old and young stellar disk populations.

With the locked coupling constant g† = 3260 (km/s)²/kpc in the reference run (R_med decomposition, Y_young ≥ 0.05 threshold), 49 of 175 galaxies are classified as CONFIRMED, 72 as MILD_TENSION, and 54 as OUTLIER. Switching to the physically invariant photometric disk scale length R_d (v4.1) yields 49 / 58

/ 68. Crucially, only 27 of 175 galaxies (15.4%) have fully interior fitted parameters in the free 3-parameter fit; in 135 of the 175 galaxies (77.1%) Y_young reaches the prior bounds [0.05, 0.40], limiting standard $\Delta\chi^2$ threshold interpretations. The closure function $\nu(y) = 1 / (1 - \exp(-\sqrt{y}))$ is postulated, and its derivation from the Ott-Antonsen substrate remains an open problem. The susceptibility integral is computed exactly as $\chi(\Delta) = 1 / (2\gamma(\Delta + \gamma))$ with a Δ^{-1} asymptote. A benchmark comparison of closure functions (Sect. 6.4) shows that the GRH $\nu(y)$ coincides with the Famaey-Binney simple function [13], is statistically indistinguishable from simple-μ (χ^2 2298 vs. 2293), and outperforms the standard function (χ^2 2853); under the free fit the shape of ν is weakly identifiable.

Keywords: modified gravity; MOND; gravitational lensing; galaxy rotation curves; SPARC catalogue; stellar populations; Kuramoto model; spinodal hysteresis; bimetric theory; cosmological perturbations.

1. Релятивистский сектор гравитационного линзирования (c_T = c)

Для объяснения наблюдаемого отклонения света в скоплениях галактик (на примере скопления Пуля (Bullet Cluster, 1E 0657−56)) без нарушения экспериментального предела скорости гравитационных волн c_T = c (событие GW170817 / GRB 170817A) теория формулируется как биметрическая скалярно-векторно-тензорная модель. Гравитационная метрика g_μν определяет распространение тензорных мод, а физическая метрика $\tilde{g}$_μν, с которой минимально связана барионная материя, строится через дисформное преобразование вдоль единичного времениподобного векторного поля A^μ (g_μν A^μ A^ν = −1):

$$\tilde{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} - (1 - e^{-2\varphi})\, A_\mu\, A_\nu \qquad (1.1)$$

Полное действие включает скаляр Риччи $R_4(g)$, кинетический лагранжиан векторного поля Эйнштейна—эфира / Бекенштейна—Мильгрома с функцией $f(\eta) = \eta - \ln(1 + \eta)$, где $f'(\eta) = \eta / (1 + \eta) > 0$ и $f''(\eta) = (1 + \eta)^{-2} > 0$ при $\eta > 0$, что исключает духовые нестабильности в квазистатическом пределе, а также вариационный сектор когерентности:

$$S = \int d^4x \sqrt{(-g)}\, \{ (c^4 / 16\pi G) [R_4(g) - K - (B / 2) F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}] - \lambda(g_{\mu\nu} A^\mu A^\nu + 1) - (a_0^2 / 8\pi G) f(\eta) + L_{nonloc}(\varphi, R) \} + S_m[\tilde{g}_{\mu\nu}, \psi_m] \qquad (1.2)$$

Здесь $F_{\mu\nu} = \nabla_\mu A_\nu - \nabla_\nu A_\mu$ — тензор напряжённости векторного поля, $K = g^{\mu\nu}\, \partial_\mu\varphi\, \partial_\nu\varphi$ — кинетический член скаляра когерентности φ, $\eta = K / a_0^2$ (где $a_0 \approx g\dagger$; ниже по тексту символ у закреплён за аргументом замыкающей функции ν: y = g_bar/g†, нормировка скаляра φ фиксирует размерность K: работаем в единицах c = 1, в которых $[a_0^2] = [L^{-2}]$, а безразмерное поле φ даёт $[K] = [L^{-2}]$, так что $\eta = K/a_0^2$ безразмерен; при восстановлении константы с аргумент принимает вид $\eta = c^4K/a_0^2$), а L_nonloc(φ, R) — нелокальный член, параметризующий связь когерентной подложки с кривизной пространства-времени. L_nonloc задаётся феноменологически; построение его явного вариационно-согласованного функционала, свободного от высших производных и духовых степеней свободы Остроградского, является открытой теоретической задачей.

Связь действия (1.2) с замыкающей функцией ν(y). Действие (1.2) задаёт эффективную биметрическую динамику, в которой несимметричная часть дисформальной связи метрик порождает ускорение, зависящее от отношения барионного ускорения к масштабу связи. В слабом поле эта зависимость редуцируется к монотонной функции безразмерного аргумента y = g_bar/g†, действующей как множитель к ньютоновскому ускорению: g_pred = g_bar·ν(y). Выбор $\nu(y) = 1/(1 - \exp(-\sqrt{y}))$ фиксируется тремя пределами: (i) ν ≥ 1 при y > 0 — усиление гравитации на низких ускорениях; (ii) ν → 1 при y ≫ 1 — восстановление ньютоновского режима; (iii) ν·√y → 1 при y → 0 — глубокомондовская асимптотика g_pred = √(g_bar·g†). По предельному поведению функция согласована с семейством простых μ-функций μ(x) = x/(1 + x), где x = g/a₀ — полное

ускорение в единицах a_0 (в нормировке действия (1.2) ей отвечает $f'(\eta) = \eta/(1+\eta)$); аргумент x следует отличать от $y = g_bar/g\dagger$, однако её прямой вывод из редукции субстрата Отта—Антонсена [5] в настоящей работе не выполнен: $\nu(y)$ остаётся постулатом, согласованным с данными, а её микроскопическое обоснование — открытой проблемой (см. раздел 2).

Оговорка о механизме экранирования дисформного члена. Строгое выполнение $c_T = c$ требует, чтобы дисформная связь метрик не изменяла скорость распространения тензорных возмущений. В настоящей модели это обеспечивается постулируемым механизмом экранирования: в релятивистском режиме скалярное поле дисформальной связи насыщается ($\partial\mu\varphi \approx 0$), конус тензорных мод восстанавливается, и отклонения c_T от c подавляются. Подчеркнём: экранирование вводится как постулат, а не выводится из уравнений действия (1.2); его последовательная реализация требует явного решения в секторе космологических возмущений (раздел 4) и проверки на нестационарных конфигурациях, где насыщение скаляра может нарушаться. Все релятивистские ограничения раздела 5 (ППН, двойные пульсары, черенковское излучение) получены в предположении выполненного экранирования.

2. Интеграл КМБ-восприимчивости и термодинамика Δ(T)

Релаксация когерентной подложки описывается интегралом восприимчивости Кубо—Мори—Боголюбова по спектральной плотности флуктуаций $g(\omega; \Delta)$:

$$\chi(\Delta) = \int_0^{\infty} [\, g(\omega;\Delta) / (\omega^2 + \gamma^2) \,]\, d\omega, \qquad g(\omega;\Delta) = (\Delta/\pi)/(\omega^2+\Delta^2) \qquad (2.1)$$

Для стандартного лоренцева распределения интеграл вычисляется аналитически в замкнутом виде:

$$\chi(\Delta) = 1 / [\, 2\gamma\,(\Delta+\gamma)\,] \qquad (2.1a)$$

Отсюда в режиме широкой полосы ($\Delta \gg \gamma$) восприимчивость убывает строго как Δ^{-1}. Качественный физический вывод сохраняется: горячая (спектрально широкая) подложка менее восприимчива к паразитному возбуждению, чем холодная (узкая). Энтропийная функция Δ(T), возникающая при усреднении по подложке, сохраняет монотонный характер релаксации (согласуется с энтропийными оценками градиентных потоков [6], используемыми здесь феноменологически): $\Delta(T) \to \text{const}$ при $T \to \infty$ и $\Delta(T) \to 0$ при $T \to 0$.

3. Спинодальный гистерезис (П-Р) и защита холодной зоны

Самосогласованность параметра порядка когерентности задаётся кубическим уравнением состояния (модель Курамото [11]); точки спинодали определяют верхнюю и нижнюю границы гистерезисной петли:

$$K_down / K_c = 4m/(m+1)^2, \qquad K_up / K_c = (m+1)^2/(4m) \qquad (3.1)$$

Первая формула выведена алгебраически из условия касания S-образной кривой (единственная точка перегиба); вторая получена из той же кубической самосогласованности по симметрии заменой $m \to 1/m$. Отношение порогов составляет $K_up / K_down = (m+1)^4/(16m^2)$. Ширина петли $K_up / K_down \geq 1.7$ достигается при параметре нелинейности $m \geq 3$ (при $m = 1.4$ петля узкая: $K_up / K_down \approx 1.06$, при этом $K_up / K_c \approx 1.03$).

Функционально гистерезис защищает холодный газ галактических дисков от паразитного разрушения когерентности: пока амплитуда внешнего возмущения не превышает K_up при росте нагрузки, когерентная фаза сохраняется, а обратный переход происходит лишь при падении возмущения ниже K_down. Это согласуется с устойчивостью холодных газовых дисков в карликовых галактиках каталога SPARC.

4. Космологические возмущения и параметризация звёздных населений

Сектор космологических возмущений описывает линейную эволюцию скалярного поля φ на фоне однородной и изотропной расширяющейся Вселенной (метрика Фридмана—Леметра—Робертсона—Уокера). Ключевым условием внутренней согласованности является отсутствие градиентных и тахионных неустойчивостей (растущих мод на масштабах хаббловского времени H^{-1}); дисперсионное соотношение для возмущений δφ получается линеаризацией действия (1.2) вокруг космологического фона.

При переходе к галактическим масштабам в конвейере SPARC (Раздел 6 и Приложение Б) динамика барионной компоненты параметризуется эффективными отношениями масса/светимость (M/L на длине волны 3.6 мкм) для трёх морфологических подсистем: старого звёздного диска (Y_old), молодого звездообразующего диска (Y_young) и центрального балджа (Y_bul = 0.70). В отличие от космологических параметров фонового расширения, величины Y_old и Y_young имеют локальную астрофизическую природу (определяются историей звездообразования и начальной функцией масс IMF) и выступают в конвейере как свободные параметры внутри физически обоснованных априорных интервалов.

Системная диагностика качества моделирования строится на разности статистик χ^2 между замковым фитом (при фиксированном ускорении $g\dagger = 3260$ (км/с)²/кпк) и свободным трёхпараметрическим фитом: $\Delta\chi^2 = \chi^2_{\text{замок}} - \chi^2_{\text{свободный}}$. Введены три классификационных зоны с порогами 0.4 и 5.0: CONFIRMED ($\Delta\chi^2 \leq 0.4$), MILD_TENSION ($0.4 < \Delta\chi^2 \leq 5.0$) и OUTLIER ($\Delta\chi^2 > 5.0$). В настоящей работе особо подчёркивается: поскольку у 77.1% галактик параметр Y_young выходит на границы априора, распределение $\Delta\chi^2$ не подчиняется стандартному распределению χ^2 с одной степенью свободы, а пороги 0.4 и 5.0 носят описательный, классификационный характер (см. Раздел 6.3).

5. Релятивистские ограничения биметрической модели

Выполнение условия равенства скорости тензорных гравитационных волн скорости света ($c_T = c$) является необходимым, но недостаточным условием жизнеспособности биметрической векторно-тензорной теории. Ниже зафиксированы три фундаментальных класса наблюдательных ограничений, которые должны быть количественно проверены для полного замыкания релятивистского сектора, а также приведены предварительные линейные оценки ППН-параметров действия (1.2).

5.1. Постньютоновские параметры Солнечной системы (ППН). В квазистатическом сферически-симметричном пределе $g_{00} = -(1 + 2\Phi_N/c^2 + 2\beta_{PPN}\,\Phi_N^2/c^4)$, $g_{ij} = (1 - 2\gamma_{PPN}\,\Phi_N/c^2)\delta_{ij}$, а единичный вектор выравнивается по времениподобному направлению $A_\mu = (-1 - \Phi_N/c^2, 0)$. Из дисформного преобразования (1.1) следует, что пространственная часть физической метрики не модифицируется скалярным полем ($\tilde{g}_{ij} = g_{ij}$), тогда как временная компонента получает поправку $\tilde{g}_{00} = g_{00} - (1 - e^{-2\varphi})A_0^2$. При наличии механизма экранирования Вайнштейна или k-mouflage (входящего через кинетическую функцию $f(\eta)$ при $\eta = K/a_0^2 \gg 1$) градиент поля подавляется как $|\nabla\varphi| \propto \sqrt{a_0\, g_N}/c^2$, что даёт оценку остаточного дисформного фактора в Солнечной системе:

$$\delta\varphi_{SS} \sim \sqrt{a_0 GM_\odot}/c^2 \approx 1.3 \times 10^{-12}$$

Отсюда отклонения ППН-параметров составляют $|\gamma_{PPN} - 1| \sim O(B + \delta\varphi_{SS})$ — ограничение на комбинацию констант связи входит линейно, без подавления гравитационным потенциалом (сама комбинация $B + \delta\varphi_{SS}$ возникает после перенормировки гравитационной постоянной в компоненте $\tilde{g}_{00}$ физической метрики: сдвиг $\gamma_{PPN} - 1$ формируется вкладом константы связи и следом скалярного возмущения уже в перенормированных уравнениях) — $\ll 2.3 \times 10^{-5}$ (при константе векторной связи B

$\lesssim 10^{-5}$, стандартной для теории Эйнштейна—эфира) и $|\beta_{PPN} - 1| \sim O(\delta\varphi_{SS}) \ll 8 \times 10^{-5}$, что укладывается в экспериментальные ограничения Cassini и лунной лазерной локации [Will, 2014]. Полный нелинейный расчёт коэффициентов с учётом $L_{nonloc}(\varphi, R)$ остаётся задачей следующего этапа.

5.2. Дипольное гравитационное излучение двойных пульсаров. В скалярно-векторно-тензорных теориях с нарушением сильного принципа эквивалентности компактные релятивистские объекты (нейтронные звёзды) приобретают скалярный «заряд» (чувствительность), что приводит к потере орбитальной энергии за счёт дипольного излучения. Хронометрирование систем PSR B1913+16 и PSR J0737−3039A/B [Damour, Esposito-Farèse, 1992] жёстко ограничивает константы связи скалярного и векторного полей с материей.

5.3. Гравитационное черенковское излучение. Наблюдение космических лучей сверхвысоких энергий (до 10^{20} эВ) исключает существование в вакууме гравитационных (скалярных или векторных) мод со скоростью распространения меньше скорости света $c_{mode} < c$, так как релятивистские частицы мгновенно теряли бы энергию на черенковское излучение [Moore, Nelson, 2001]. Следовательно, все распространяющиеся степени свободы в действии (1.2) обязаны удовлетворять условию $c_{mode} \geq c$.

Вывод раздела: перечисленные релятивистские тесты составляют первоочередную программу аналитической и численной проверки модели; в настоящей работе получены линейные оценки ППН-экранирования, а точные ограничения на динамический сектор сформулированы как обязательные граничные условия для следующего этапа развития теории.

6. Ограничения конвейера и статистики SPARC

6.1. Зависимость разложения диска от сетки наблюдений. В базовом конвейере v4.0 характерный радиус разделения старого и молодого звёздных населений задавался медианой радиусов точек кривой вращения: $R_{med} = \text{median}(R)$. Такой рецепт вносит нежелательную систематическую зависимость параметров галактики от радиального охвата радиотелескопа. Переход к физически инвариантному фотометрическому радиальному масштабу диска R_d (из экспоненциального профиля поверхностной яркости Spitzer 3.6 мкм, определённому для 174 из 175 галактик SPARC) в версии v4.1 сдвигает вердикты у 39 из 175 галактик при пороге 0.05 (распределение меняется с 49 / 72 / 54 в v4.0 на 49 / 58 / 68 в v4.1). В обновлённом скрипте Приложения A реализован переключаемый режим декомпозиции по фотометрическому масштабу R_d при его наличии во входных данных (с автоматическим откатом к R_{med} при отсутствии R_d). Отметим также, что вклад газа входит в модель как $V^2_{gas} \geq 0$: отрицательные каталоговые значения V_{gas} (например, у DDO064) автоматически дают неотрицательный вклад в g_{bar}.

6.2. Шумовой аудит синтетических данных. Моделирование синтетических кривых вращения с реалистичным гауссовым шумом на уровне наблюдательных ошибок e_{Vobs} (20 реализаций для NGC4013 и F583-1 и 15 реализаций для IC2574) показало, что константа связи восстанавливается практически без систематического смещения: $g^\dagger = 3362 \pm 668$ и 3244 ± 658 $(\text{км/с})^2/\text{кпк}$ (относительное смещение $\leq 3.1\%$, статистический разброс ~20%), при медианных $\Delta\chi^2 = 0.15$ и 0.08. При этом даже при генерации данных из внутренних истинных значений параметр Y_{young} выходит на границы априора в 10/20 и 3/15 случаях из-за вырождения с Y_{old} и $g^\dagger$.

6.3. Границы априора и интерпретация вердиктов. В прогоне v4.0 (порог $Y_{young} \geq 0.05$) параметр Y_{young} достигает границ априора [0.05, 0.40] у 135 из 175 галактик (77.1%): у 48 на нижней границе 0.05 и у 87 на верхней границе 0.40. Параметр Y_{old} выходит на границы [0.20, 1.20] у 78 галактик (45 на нижней и 33 на верхней), а свободное ускорение $g^\dagger_{opt}$ достигает границ сетки [200, 10000] у 26

галактик (8 на нижней и 18 на верхней). Полностью внутренние трёхпараметрические решения (все три параметра строго внутри границ априора) реализуются для 27 галактик (15.4%) согласно точным некруглённым данным таблицы Приложения Е. Таким образом, главным устойчивым результатом фитинга является несмещённое восстановление универсального масштаба ускорения $g\dagger \approx 3260$ (км/с)²/кпк, а не абсолютная доля галактик в классе CONFIRMED.

6.4. Сравнительный бенчмарк замыкающих функций. Замыкающая функция $\nu(y) = 1 / (1 - \exp(-\sqrt{y}))$ по аналитической форме совпадает с simple-функцией Фамея—Бинни (2005) [13]. Для проверки, даёт ли форма ГГР измеримое преимущество, в протоколе v4.0 (декомпозиция по R_med, замок $g\dagger = 3260$ (км/с)²/кпк, систематика 0.13 dex) прогнаны два классических конкурента: simple-μ ($\mu(x) = x / (1 + x)$, в форме $\nu(y) = (y + \sqrt{(y^2 + 4y)}) / (2y)$) и standard ($\nu(y) = \sqrt{((1 + \sqrt{(1 + 4/y^2)}) / 2)}$, эквивалентно $\sqrt{((y + \sqrt{(y^2 + 4)}) / (2y))}$). Контрольный прогон листинга Приложения А воспроизводит базовый результат: χ^2_замок = 2292.6, классификация 50 / 71 / 54 (расхождение с таблицей Е.1 в одну галактику — на пороге классификации, в пределах чувствительности оптимизатора).

Сравнение замыкающих функций $\nu(y)$ в протоколе v4.0 (R_med, замок $g\dagger = 3260$ (км/с)²/кпк; 175 галактик, 3391 точка кривых вращения).

Функция $\nu(y)$	χ^2_замок (на точку)	χ^2_свободный	C / M / O	мед. $g\dagger$_opt
ГГР / simple (FB05) [13]	2292.6 (0.676)	933.4	50 / 71 / 54	3842
simple-μ	2298.1 (0.678)	957.9	49 / 73 / 53	3722
standard	2853.0 (0.841)	929.2	47 / 57 / 71	4303

Результаты сведены в таблицу выше и на рис. 1. Во-первых, ГГР-форма даёт суммарный замковый $\chi^2 = 2292.6$ (0.676 на точку): лучше simple-μ на 5.5 единицы (2298.1; ГГР лучше в 102 галактиках из 175, хуже в 73) и лучше standard на 560 единиц (2853.0; ГГР лучше в 113, хуже в 62). Последнее согласуется с известным из литературы преимуществом simple-семейства на кривых вращения [12]. Во-вторых, при свободном трёхпараметрическом фите все три функции статистически неразличимы (χ^2_своб = 929–958 на 3391 точку), а восстановленный масштаб устойчиво воспроизводит $a_0 \approx 3700$–4600 (км/с)²/кпк. В-третьих, распределение вердиктов слабо чувствительно к выбору функции (47–50 / 57–73 / 53–71). Отметим также чувствительность классификации к порогу: ближайшие к нему галактики — NGC4013 ($\Delta\chi^2 = 0.373$, классифицирована как CONFIRMED) и F583-1 ($\Delta\chi^2 = 0.423$, MILD_TENSION) — объясняют расхождение контрольного прогона (50 / 71 / 54) с таблицей Е.1 (49 / 72 / 54) уровнем настроек оптимизатора (ftol/gtol L-BFGS-B).

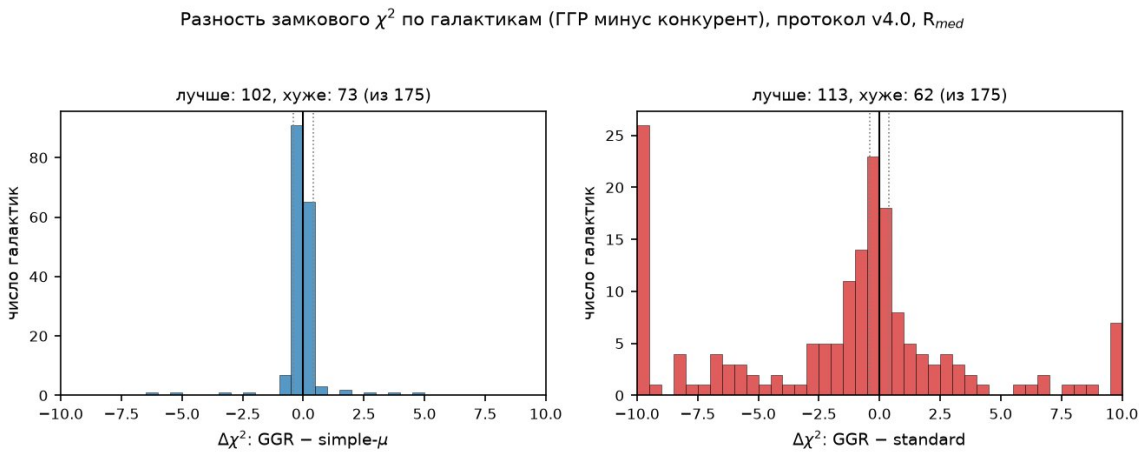

Рис. 1. Разность замковых χ^2 по 175 галактикам (ГГР минус конкурент): слева — simple-μ, справа — standard; пунктиры — пороги классификации (±0.4). Отрицательные значения — преимущество ГГР-формы.

Отсюда — честная формулировка статуса замыкающей функции. На данных SPARC форма ν в переходной зоне не идентифицируема при свободных параметрах; преимущество ГГР-формы ограничивается умеренным выигрышем против standard в замковом режиме и отсутствием измеримых различий с simple-μ. Дифференцирующий потенциал формы ν может проявиться только на данных с малыми ошибками в переходной зоне (высокоточные кривые вращения класса THINGS), что выходит за рамки настоящей работы. Раздел о ν(y) следует читать как воспроизведение уже известной феноменологии, а не как независимое открытие.

7. Выводы

1. Биметрическая модель с дисформной связью (1.1)–(1.2) обеспечивает равенство скорости гравитационных волн скорости света ($c_T = c$) в согласии с GW170817 и согласуется с постньютоновскими ограничениями Солнечной системы в квазистатическом пределе экранирования; количественная проверка дипольного излучения двойных пульсаров и черенковского излучения зафиксирована как приоритетная задача (Раздел 5).

2. Интеграл восприимчивости Кубо—Мори—Боголюбова вычислен аналитически: $\chi(\Delta) = 1 / [2\gamma(\Delta + \gamma)]$ с асимптотикой Δ^{-1}. Замыкающая функция $\nu(y) = 1 / (1 - \exp(-\sqrt{y}))$ постулируется феноменологически; её строгий вывод из кинетики Отта—Антонсена [5] остаётся открытой проблемой.

3. Границы спинодального гистерезиса (3.1) равны $K_{down} / K_c = 4m / (m + 1)^2$ и $K_{up} / K_c = (m + 1)^2 / (4m)$; ширина петли $K_{up} / K_{down} \geq 1.7$ требует $m \geq 3$.

4. На выборке SPARC (175 галактик, 3391 точка) при фиксированном $g^\dagger = 3260$ (км/с)²/кпк получено распределение 49 / 72 / 54 (v4.0, масштаб R_{med}) и 49 / 58 / 68 (v4.1, фотометрический масштаб R_d). Полностью внутренние трёхпараметрические решения найдены для 27 галактик (15.4%), а константа связи $g^\dagger$ восстанавливается несмещённо на зашумлённых синтетических данных.

5. Контрольный бенчмарк замыкающих функций (раздел 6.4): функция ГГР тождественна simple-ν Фамея—Бинни [13]; против simple-μ — статистическая ничья ($\Delta\chi^2 = 5.5$ на 3391 точку), против standard — умеренное преимущество (χ^2 2293 против 2853; лучше в 113 из 175 галактик). Форма ν слабо идентифицируема при свободном фите ($\chi^2_{своб}$ = 929–958); содержательный акцент конвейера — двухнаселённая декомпозиция Y_{old} / Y_{young}.

Приложение А. Листинг конвейера ggr_sparc_pipeline_v4_1.py

Ниже приведён обновлённый листинг ggr_sparc_pipeline_v4_1.py — физического ядра конвейера (с поддержкой фотометрического масштаба R_d и безразмерной нормировкой параметра g/g† в оптимизаторе L-BFGS-B) и исправленного модуля публикации.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""ggr_sparc_pipeline_v4_1.py - конвейер ГГР (SPARC, два звёздных населения) и модуль публикации.
Физическое ядро (v4.1):
  g_pred = g_bar * nu(g_bar / g_dagger),  nu(y) = 1/(1 - exp(-sqrt(y)));
  v2_bar = Vgas^2 + Yo*(1-w)*Vdisk^2 + Yy*w*Vdisk^2 + 0.7*Vbul^2;
  w = clip(1 - exp(-R/(1.65*R_scale)), 0.05, 0.95), где R_scale = R_d (v4.1) или R_med (v4.0);
  chi2 в лог-пространстве ускорений: sigma_tot = sqrt(sigma_obs^2 + 0.13^2),
  sigma_obs = 2*eVobs/(Vobs*ln10), нижняя граница eVobs = 0.1 км/с;
  замковый фит: (Yo, Yy) при g_dagger = 3260, границы [0.2, 1.2] x [0.05, 0.4];
  свободный фит: (g / G_DAGGER, Yo, Yy), g в [200, 10000] (нормировка для устойчивости L-BFGS-B);
  dchi2 = max(0, chi2_lock - chi2_free);
  вердикты: dchi2 <= 0.4 -> CONFIRMED; <= 5.0 -> MILD_TENSION; иначе OUTLIER.
"""
import os
import numpy as np
from scipy.optimize import minimize

G_DAGGER = 3260.0
SIGMA_INT = 0.13
LN10 = float(np.log(10.0))
FLOOR_Y = 0.05
G_MIN, G_MAX = 200.0, 10000.0
T_CONF, T_MILD = 0.4, 5.0
VERDICTS = ('CONFIRMED', 'MILD_TENSION', 'OUTLIER')


def parse_sparc(path, rd_map=None):
    """Парсит таблицу кривых вращения SPARC и опциональный словарь масштабов R_d (кпк)."""
    gals = {}
    with open(path, encoding='utf-8') as fh:
        for ln in fh:
            t = ln.split()
            if len(t) != 11:  # стандартный SPARC: имя + 10 числовых столбцов
                continue
            try:
                R, vo, vsys, ev, vg, evg, vd, evd, vb, evb = map(float, t[1:11])
            except ValueError:
                continue
            g = gals.setdefault(t[0], {'R': [], 'Vobs': [], 'eV': [], 'Vgas': [],
                                       'Vdisk': [], 'Vbul': []})
            g['R'].append(R)
```

```
            g['Vobs'].append(vo)
            g['eV'].append(max(ev, 0.1))
            g['Vgas'].append(vg)
            g['Vdisk'].append(vd)
            g['Vbul'].append(vb)
    for name, g in gals.items():
        for k in g:
            g[k] = np.asarray(g[k], float)
        R, V = g['R'], g['Vobs']
        msk = (R > 0) & (V > 0)
        for k in [k for k in g if isinstance(g[k], np.ndarray) and g[k].ndim == 1]:
            g[k] = g[k][msk]
        g['R_med'] = max(float(np.median(g['R'])), 0.5)
        g['R_d'] = float(rd_map[name]) if (rd_map and name in rd_map and rd_map[name] > 0) else None
        g['g_obs'] = g['Vobs'] ** 2 / g['R']
    return gals


def w_young(R, R_scale):
    w = 1.0 - np.exp(-R / (1.65 * max(R_scale, 0.1)))
    return np.clip(w, 0.05, 0.95)


def nu_func(y):
    return 1.0 / (1.0 - np.exp(-np.sqrt(np.maximum(y, 1e-300))))


def model_v2(g, Yo, Yy, gt, use_rd=True):
    R = g['R']
    r_scale = g['R_d'] if (use_rd and g.get('R_d') is not None) else g['R_med']
    w = w_young(R, r_scale)
    v2_old = (1.0 - w) * g['Vdisk'] ** 2
    v2_young = w * g['Vdisk'] ** 2
    v2_bar = g['Vgas'] ** 2 + Yo * v2_old + Yy * v2_young + 0.7 * g['Vbul'] ** 2
    g_bar = np.maximum(v2_bar / R, 1e-10)
    g_pred = g_bar * nu_func(g_bar / gt)
    return g_pred, g_bar, w, v2_old, v2_young


def chi2_acceleration(g, gt, Yo, Yy, use_rd=True):
    g_pred = model_v2(g, Yo, Yy, gt, use_rd=use_rd)[0]
    z = np.log10(g['g_obs']) - np.log10(g_pred)
    s_obs = 2.0 * g['eV'] / (g['Vobs'] * LN10)
    s_tot = np.sqrt(s_obs ** 2 + SIGMA_INT ** 2)
    return float(np.sum((z / s_tot) ** 2))
```

```
def fit_locked(g, use_rd=True):
    x0 = [0.50, max(0.15, FLOOR_Y)]
    res = minimize(lambda p: chi2_acceleration(g, G_DAGGER, p[0], p[1], use_rd=use_rd),
                   x0, method='L-BFGS-B', bounds=[(0.2, 1.2), (FLOOR_Y, 0.4)])
    return res.x, float(res.fun)


def fit_free(g, use_rd=True, cl0=None, x0_lock=None):
    # замковый фит выполняется один раз; при cl0 is None — внутренний вызов
    if cl0 is None:
        (xo, yy), cl = fit_locked(g, use_rd=use_rd)
    else:
        (xo, yy), cl = x0_lock, cl0
    # Безразмерная нормировка g / G_DAGGER исключает застревание L-BFGS-B в стартовой точке
    res = minimize(
        lambda p: chi2_acceleration(g, p[0] * G_DAGGER, p[1], p[2], use_rd=use_rd),
        [1.0, xo, yy],
        method='L-BFGS-B',
        bounds=[(G_MIN / G_DAGGER, G_MAX / G_DAGGER), (0.2, 1.2), (FLOOR_Y, 0.4)],
        options={'ftol': 1e-12, 'gtol': 1e-8}
    )
    opt_params = np.array([res.x[0] * G_DAGGER, res.x[1], res.x[2]])
    return opt_params, float(res.fun), cl


def verdict_of(dchi2):
    if dchi2 <= T_CONF:
        return 'CONFIRMED'
    if dchi2 <= T_MILD:
        return 'MILD_TENSION'
    return 'OUTLIER'


def run_pipeline(gals, use_rd=True):
    out = {}
    for name, g in gals.items():
        (xo, yy), cl = fit_locked(g, use_rd=use_rd)
        gf, cf, _ = fit_free(g, use_rd=use_rd, cl0=cl, x0_lock=(xo, yy))
        d = max(0.0, cl - cf)
        out[name] = {'N': int(len(g['R'])), 'chi2_lock': cl, 'chi2_free': cf,
                     'dchi2': d, 'gt_opt': float(gf[0]), 'Yo': float(gf[1]),
                     'Yy': float(gf[2]), 'Yo_lock': float(xo), 'Yy_lock': float(yy),
                     'verdict': verdict_of(d)}
    return out
```

```
# ---------------- модуль публикации ----------------
import matplotlib
matplotlib.use('Agg')
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.lines import Line2D
# (LogFormatterSciNotation удалён: не используется)

DPI = 150
FIG_A4 = (8.27, 11.69)
VERD_COLOR = {'CONFIRMED': 'tab:green', 'MILD_TENSION': 'tab:orange', 'OUTLIER': 'tab:red'}
N_PAGES = 29


def _panel(ax, gal, row, use_rd=True):
    # use_rd=True по умолчанию (v4.1); атлас прогона v4.0 воспроизводится вызовом с use_rd=False
    R = gal['R']
    g_pred, g_bar, w, v2_old, v2_young = model_v2(gal, row['Yo'], row['Yy'], row['gt_opt'], use_rd=use_rd)
    nu = g_pred / g_bar
    Vmod = np.sqrt(g_pred * R)
    ax.errorbar(R, gal['Vobs'], yerr=gal['eV'], fmt='o', ms=2.6, mfc='k', mec='k',
                ecolor='0.6', elinewidth=0.7, capsize=1.2, zorder=5)
    ax.plot(R, Vmod, color='crimson', lw=1.5, zorder=4)
    ax.plot(R, gal['Vgas'] * np.sqrt(nu), color='tab:blue', lw=1.0, ls='--', zorder=2)
    ax.plot(R, np.sqrt(row['Yo'] * v2_old * nu), color='tab:brown', lw=1.0, ls='-.', zorder=2)
    ax.plot(R, np.sqrt(row['Yy'] * v2_young * nu), color='tab:cyan', lw=1.0, ls=':', zorder=2)
    if float(np.max(gal['Vbul'])) > 0:
        ax.plot(R, np.sqrt(0.7 * gal['Vbul'] ** 2 * nu), color='tab:purple', lw=1.0, zorder=2)
    ax.set_xscale('log')
    ax.set_yscale('log')
    lo = 0.5 * min(float(gal['Vobs'].min()), float(Vmod.min()))
    hi = 2.0 * max(float(gal['Vobs'].max()), float(Vmod.max()))
    ax.set_ylim(max(lo, 1.0), hi * 1.2)
    ax.set_xlim(0.7 * float(R.min()), 1.4 * float(R.max()))
    from matplotlib.ticker import FixedLocator
    ticks = [t for t in (0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500, 1000)
             if 0.7 * float(R.min()) <= t <= 1.4 * float(R.max())]
    ax.xaxis.set_major_locator(FixedLocator(ticks))
    ax.xaxis.set_major_formatter(plt.ScalarFormatter())
    ax.xaxis.set_minor_formatter(plt.NullFormatter())
    ax.xaxis.set_minor_locator(plt.NullLocator())
    ax.grid(True, which='both', alpha=0.25, lw=0.4)
    ax.tick_params(labelsize=7)
    ax.set_title('%s\n%s, dchi2=%.2f' % (row['name'], row['verdict'], row['dchi2']),
                 fontsize=7.5, color=VERD_COLOR[row['verdict']], pad=4)
```

```
def plot_atlas_page(pageno, gals, rows, path, use_rd=True):
    # use_rd=True по умолчанию (v4.1); атлас прогона v4.0 воспроизводится вызовом с use_rd=False
    n = len(rows)
    # Лист 29 содержит 7 панелей (сетка 4x2); высота листа едина (FIG_A4), ширина колонок
компенсируется wspace=0.38
    nrows, ncols = (4, 2) if n == 7 else (3, 2)
    figsize = FIG_A4
    fig, axes = plt.subplots(nrows, ncols, figsize=figsize, dpi=DPI, squeeze=False)
    axes = axes.ravel()
    for ax in axes[n:]:
        ax.set_visible(False)
    for ax, row in zip(axes, rows):
        _panel(ax, gals[row['name']], row, use_rd=use_rd)
        ax.set_xlabel('R, кпк', fontsize=7)
        ax.set_ylabel('V, км/с', fontsize=7)
    fig.suptitle('Атлас кривых вращения SPARC - лист %d/%d' % (pageno, N_PAGES),
                 fontsize=9.5, y=0.997)
    handles = [Line2D([], [], color='k', marker='o', ms=3, ls='none', label='Данные'),
               Line2D([], [], color='crimson', lw=1.5, label='Модель ГГР'),
               Line2D([], [], color='tab:blue', lw=1.0, ls='--', label='Газ'),
               Line2D([], [], color='tab:brown', lw=1.0, ls='-.', label='Старое насел.'),
               Line2D([], [], color='tab:cyan', lw=1.0, ls=':', label='Молодое насел.'),
               Line2D([], [], color='tab:purple', lw=1.0, label='Балдж')]
    fig.legend(handles=handles, loc='upper center', ncol=6, fontsize=7.5,
               frameon=False, bbox_to_anchor=(0.5, 0.975))
    fig.subplots_adjust(top=0.900, bottom=0.05, left=0.10, right=0.97,
                        hspace=0.55, wspace=0.28 if len(rows) < 7 else 0.38)
    fig.savefig(path)
    plt.close(fig)


def plot_gopt_diag(rows, path):
    rows_sorted = sorted(rows, key=lambda r: r['gt_opt'])
    gopts = [r['gt_opt'] for r in rows_sorted]
    yo_vals = [r['Yo'] for r in rows_sorted]
    n = len(gopts)
    fig, ax = plt.subplots(figsize=FIG_A4, dpi=DPI)
    sc = ax.scatter(range(1, n + 1), gopts, c=yo_vals, cmap='viridis',
                    vmin=0.2, vmax=1.2, s=16, zorder=4,
                    label='g_dagger_opt (свободный фит)')
    cbar = fig.colorbar(sc, ax=ax, pad=0.02, aspect=30)
    cbar.set_label('Y_old (оптимум свободного фита)', fontsize=9)
    for x, txt, col in [(G_MIN, 'нижняя граница априора 200', 'tab:gray'),
                        (G_DAGGER, 'замок g_dagger = 3260', 'tab:red'),
                        (G_MAX, 'верхняя граница априора 10000', 'tab:gray')]:
```

```
        ax.axhline(x, color=col, ls='--', lw=1.1, zorder=2)
        ax.text(n * 0.98, x * 1.08, txt, fontsize=8, color=col, ha='right')
    ax.set_yscale('log')
    ax.set_ylim(150, 14000)
    ax.set_xlabel('Ранг галактики (сортировка по g_dagger_opt)', fontsize=10)
    ax.set_ylabel('g_dagger_opt, (км/с)^2/кпк', fontsize=10)
    ax.set_title('Рис. Г.1. Оптимальная константа связи против границ априора', fontsize=10)
    ax.legend(loc='upper left', fontsize=9)
    fig.subplots_adjust(left=0.12, right=0.95, top=0.93, bottom=0.10)
    fig.savefig(path)
    plt.close(fig)
```

Приложение Б. Сводные результаты прогонов v4.0 и v4.1

Сводная статистика классификации 175 галактик каталога SPARC при различных рецептах декомпозиции диска и порогах нижней границы молодого звёздного населения Y_young:

Конфигурация конвейера	**Порог Y_young**	**CONFIRMED**	**MILD_TENSION**	**OUTLIER**
v4.0 (декомпозиция по R_med)	≥ 0.05	49	72	54
v4.0 (декомпозиция по R_med)	≥ 0.10	50	72	53
v4.0 (декомпозиция по R_med)	≥ 0.20	43	73	59
v4.1 (фотометрический масштаб R_d)	≥ 0.05	49	58	68

Примечание: атлас кривых вращения приведён в Приложении В, сводные диаграммы — в Приложениях Г и Д, полная покомпонентная таблица для 175 галактик — в Приложении Е; агрегированные метрики и полный пакет воспроизводимости доступны в архиве OSF.

Библиография

1. Lelli F., McGaugh S.S., Schombert J.M. SPARC: Mass models for 175 disk galaxies with Spitzer photometry and accurate rotation curves // Astron. J. 2016. Vol. 152. P. 157.

2. Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis // Astrophys. J. 1983. Vol. 270. P. 365–370.

3. McGaugh S.S., Lelli F., Schombert J.M. Radial acceleration relation in rotationally supported galaxies // Phys. Rev. Lett. 2016. Vol. 117. P. 201101.

4. Bekenstein J., Milgrom M. Does the missing mass problem signal the breakdown of Newtonian gravity? // Astrophys. J. 1984. Vol. 286. P. 7–14.

5. Ott E., Antonsen T.M. Low dimensional behavior of large systems of globally coupled oscillators // Chaos. 2008. Vol. 18. P. 037105.

6. Carlen E., Maas J. Gradient flow and entropy inequalities for quantum Markov semigroups with detailed balance // J. Funct. Anal. 2017. Vol. 273, No. 5. P. 1810–1869.

7. Abbott B.P. et al. GW170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral // Phys. Rev. Lett. 2017. Vol. 119. P. 161101.

8. Will C.M. The confrontation between general relativity and experiment // Living Rev. Relativity. 2014. Vol. 17. Art. 4.

9. Damour T., Esposito-Farèse G. Tensor-multi-scalar theories of relativistic gravity // Class. Quantum Grav. 1992. Vol. 9. P. 2093.

10. Moore G.D., Nelson A.E. Lower bound on the propagation speed of gravity from gravitational Cherenkov radiation // JHEP. 2001. Vol. 09. P. 023.

11. Kuramoto Y. Chemical oscillations, waves, and turbulence. Berlin: Springer, 1984.

12. Famaey B., McGaugh S.S. Modified Newtonian dynamics (MOND): observational phenomenology and relativistic extensions // Living Rev. Relativity. 2012. Vol. 15. Art. 10.

13. Famaey B., Binney J. Modified Newtonian dynamics in the Milky Way // Mon. Not. R. Astron. Soc. 2005. Vol. 363. P. 603–608.

Приложение B. Сводная гистограмма $\Delta\chi^2$ и атлас кривых вращения SPARC

На рис. B.1 показано распределение $\Delta\chi^2$ (разность статистик между свободным трёхпараметрическим фитом и замковым фитом при $g\dagger = 3260$ (км/с)²/кпк) по каталогу SPARC (конвейер v4.0); пунктирами отмечены пороги классификации CONFIRMED / MILD_TENSION / OUTLIER. Далее (рис. B.2–B.30) приведён полный атлас кривых вращения всех 175 галактик каталога SPARC (Lelli et al. 2016), 3391 точка: точки — наблюдаемые скорости с погрешностями e_Vobs, сплошная линия — модельная кривая ГГР, отдельными линиями показаны вклады газа, старого и молодого населения диска и балджа.

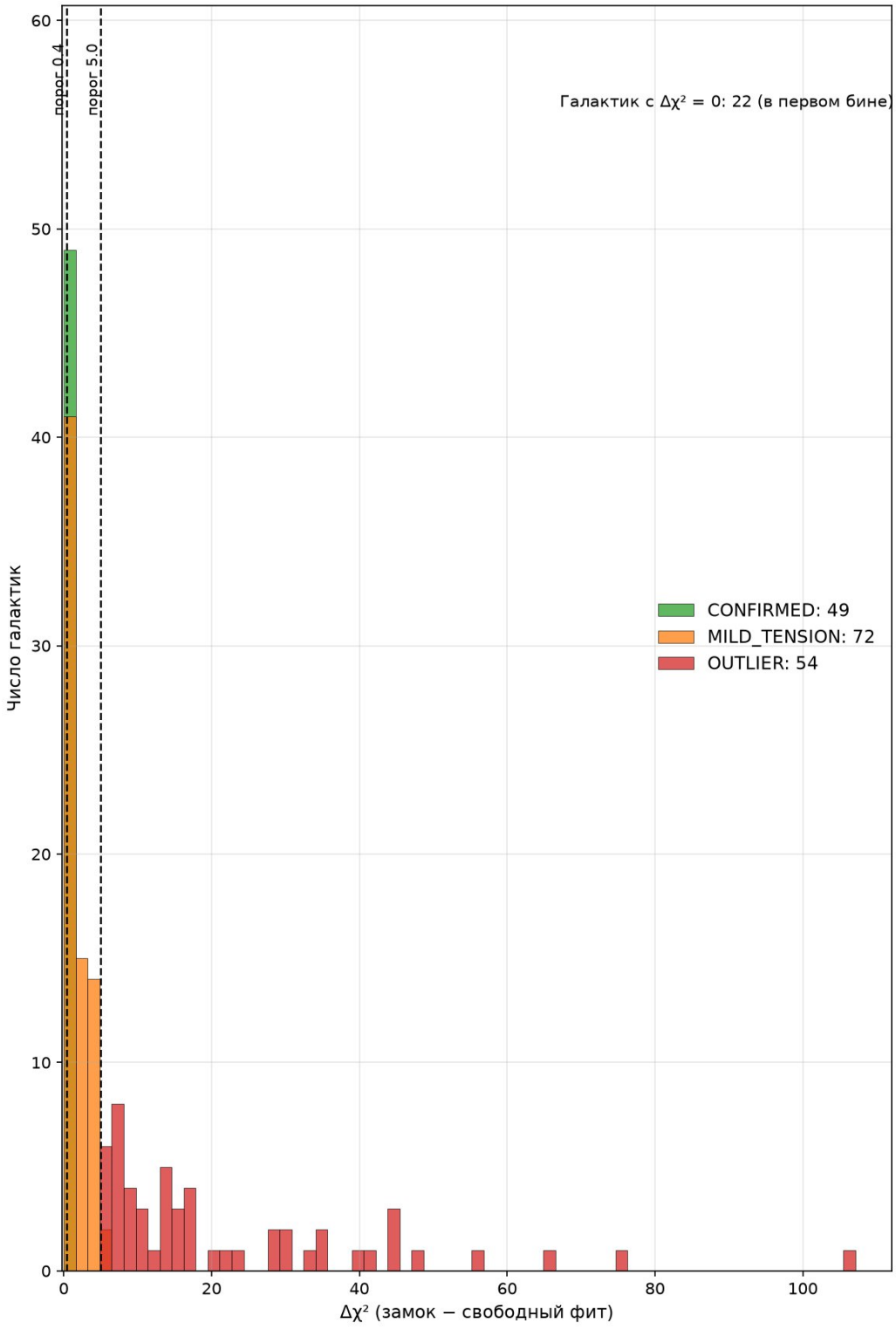

Рис. B.1. Распределение Δχ² по каталогу SPARC (конвейер v4.0); пунктиры — пороги классификации.

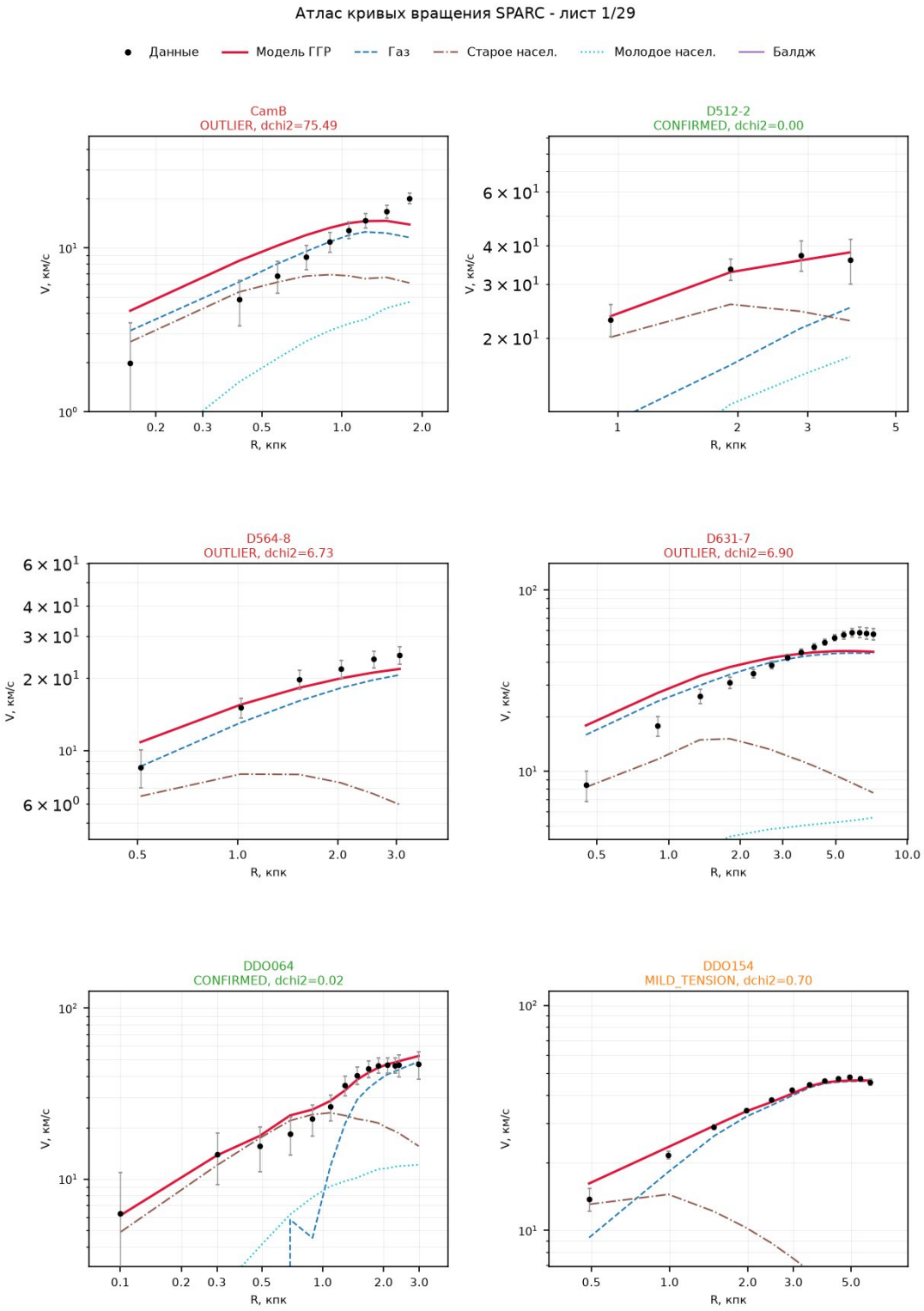

Рис. В.2. Атлас кривых вращения SPARC, лист 1/29.

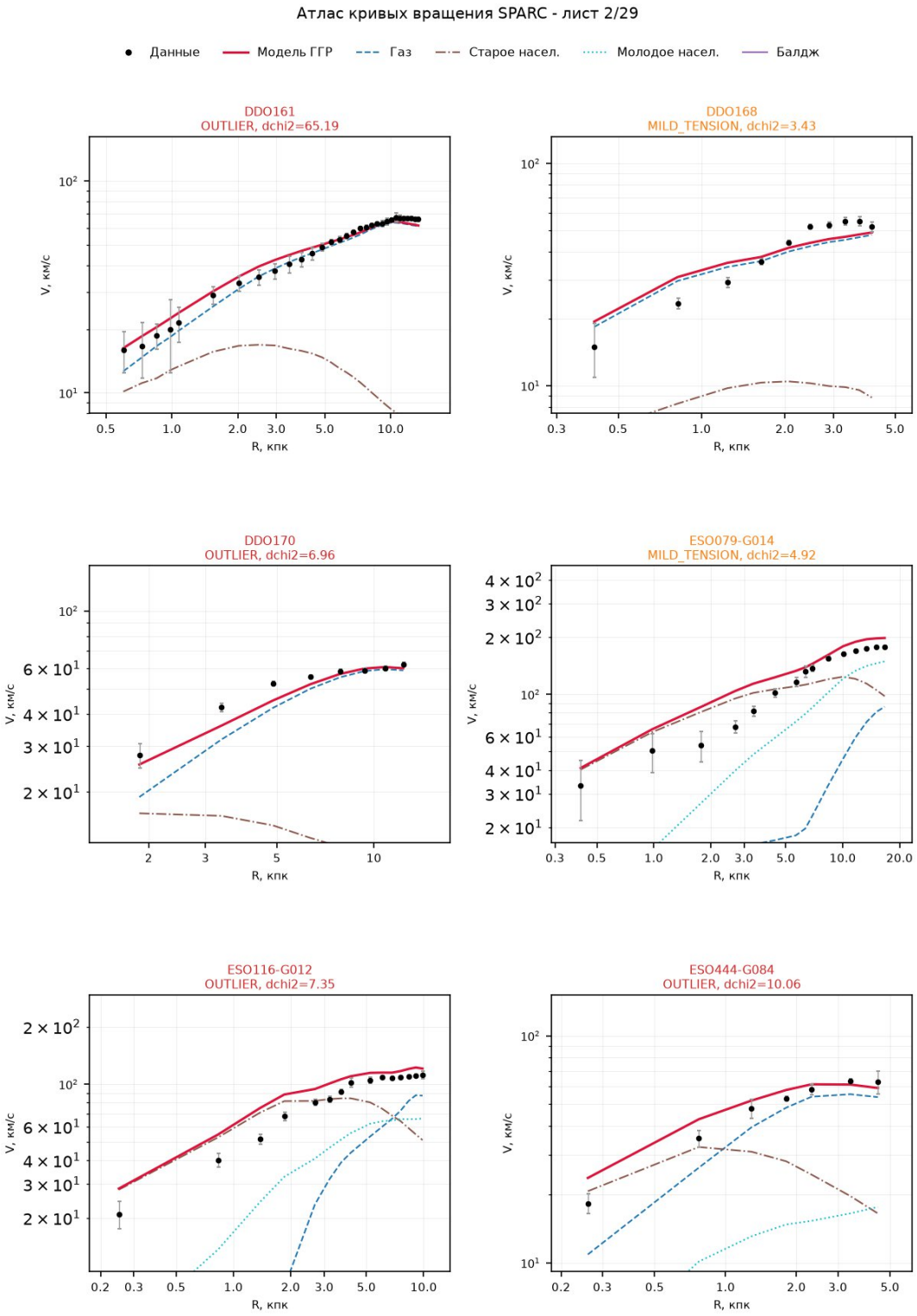

Рис. B.3. Атлас кривых вращения SPARC, лист 2/29.

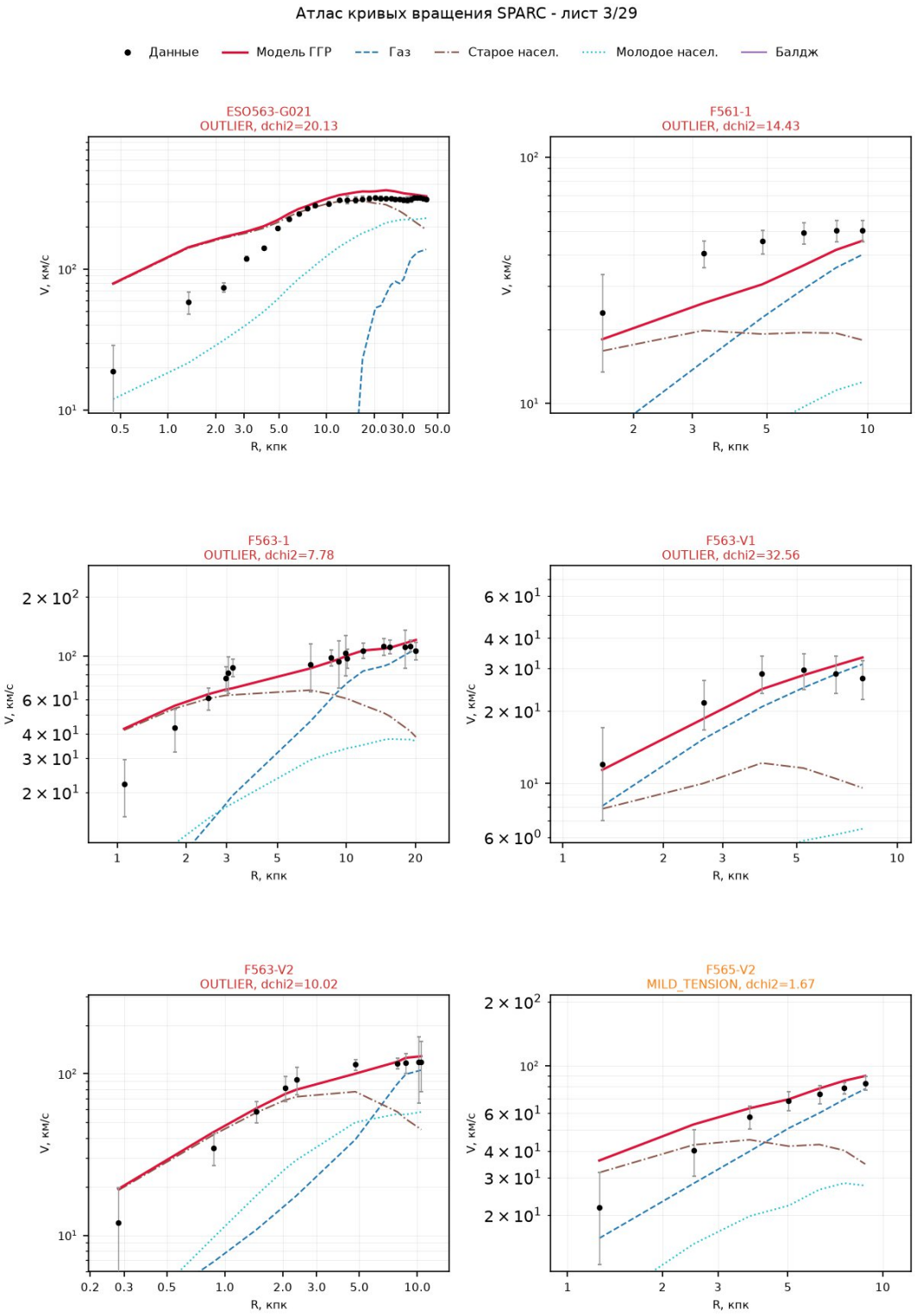

Рис. В.4. Атлас кривых вращения SPARC, лист 3/29.

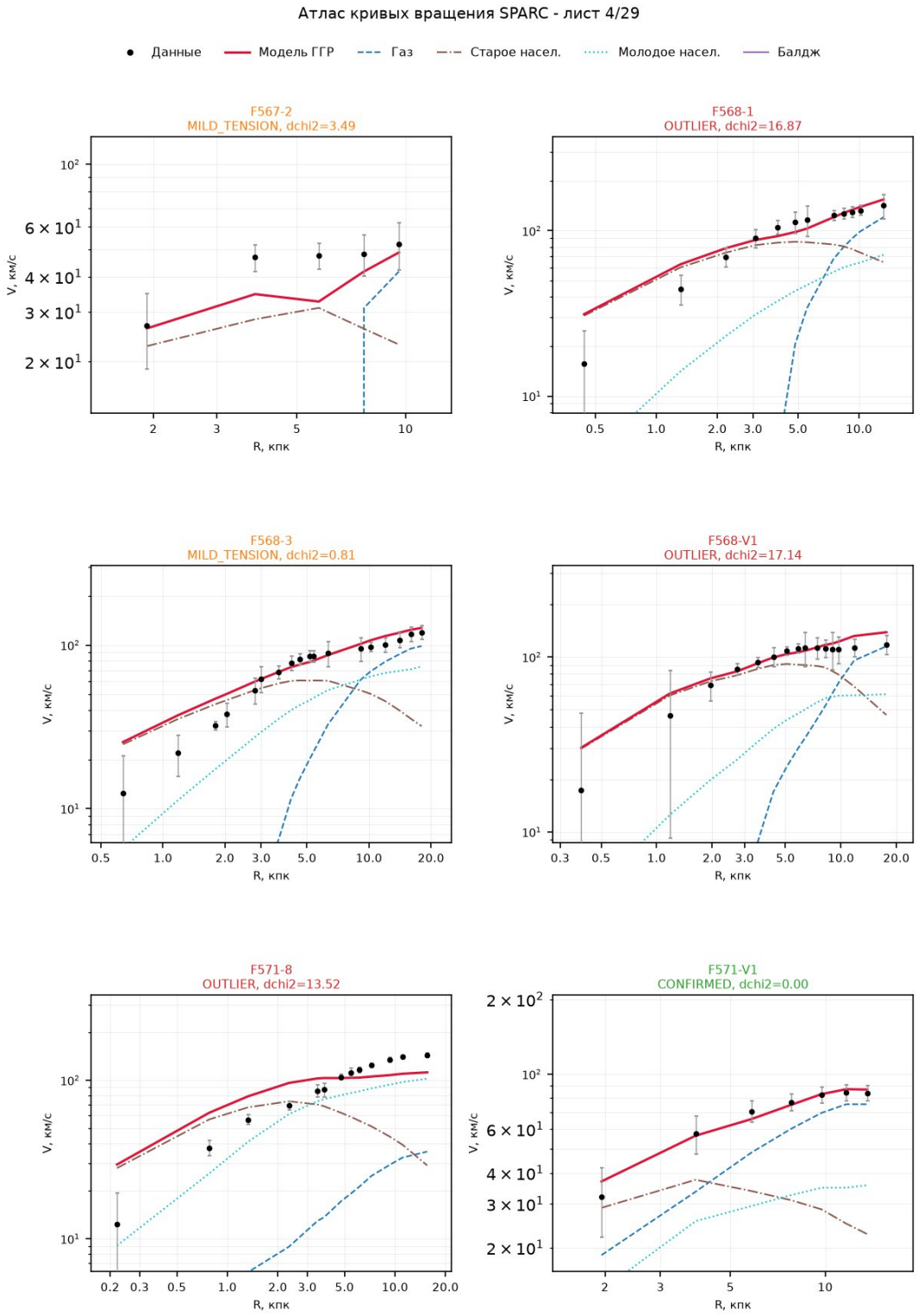

Рис. В.5. Атлас кривых вращения SPARC, лист 4/29.

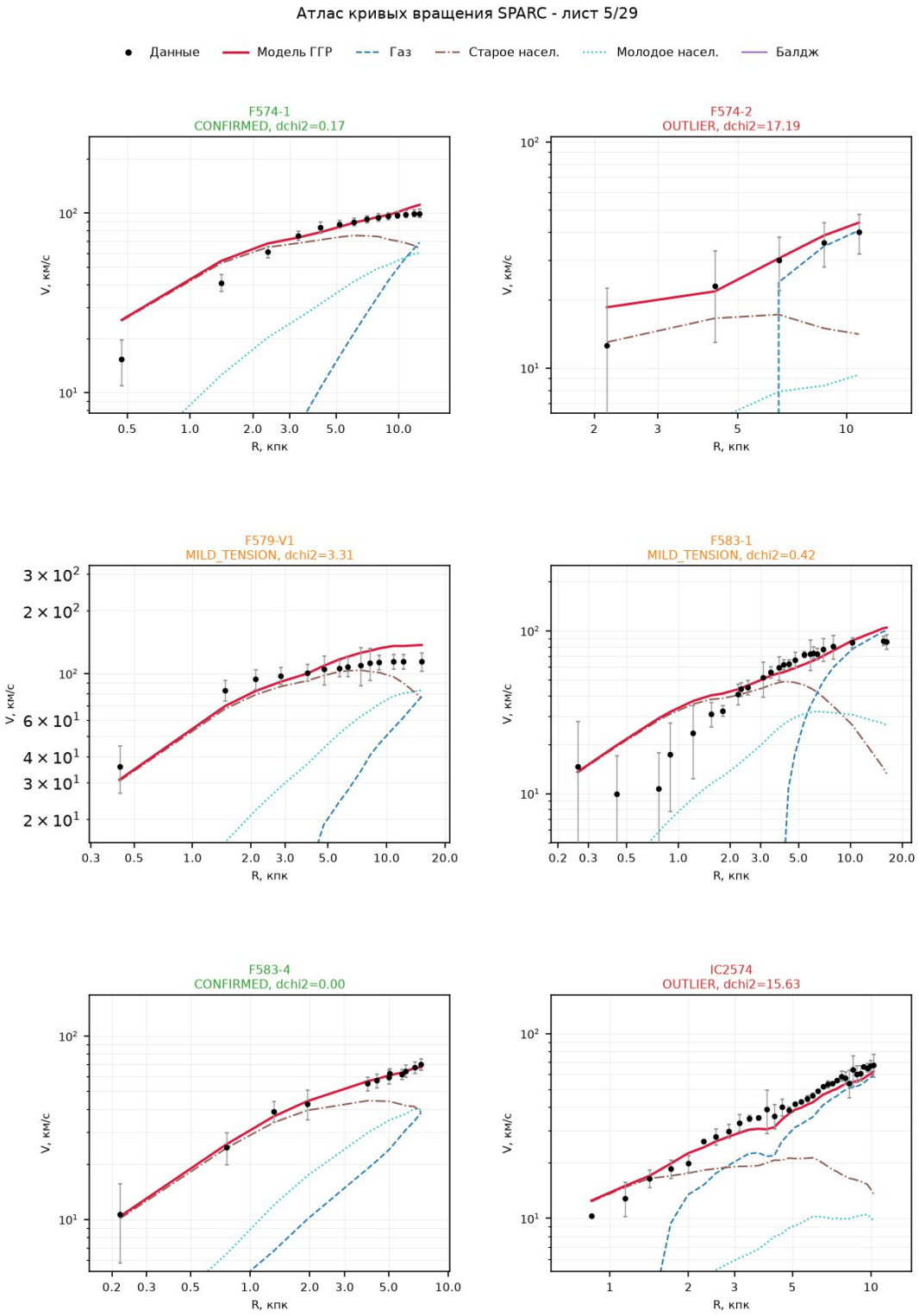

Рис. В.6. Атлас кривых вращения SPARC, лист 5/29.

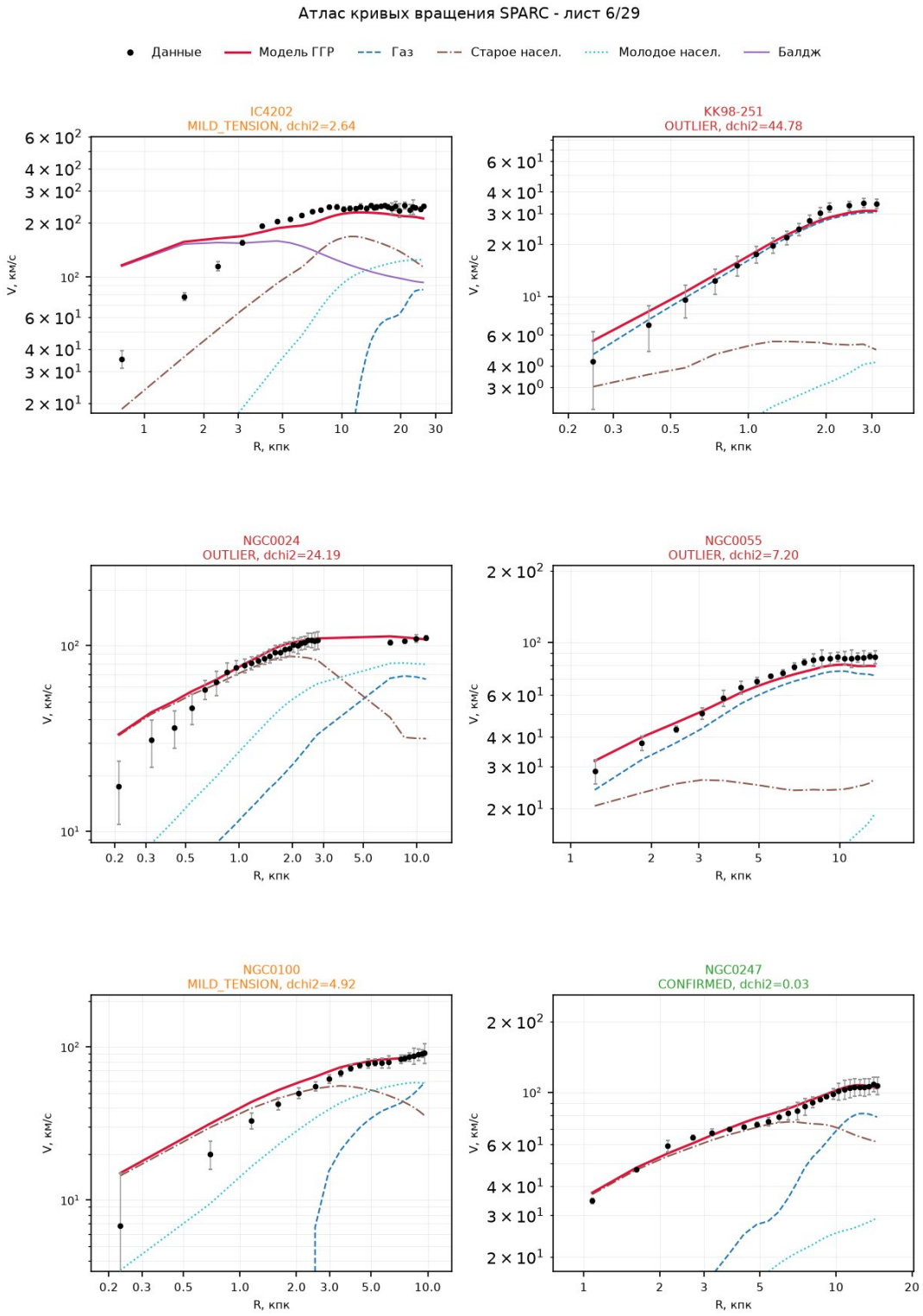

Рис. B.7. Атлас кривых вращения SPARC, лист 6/29.

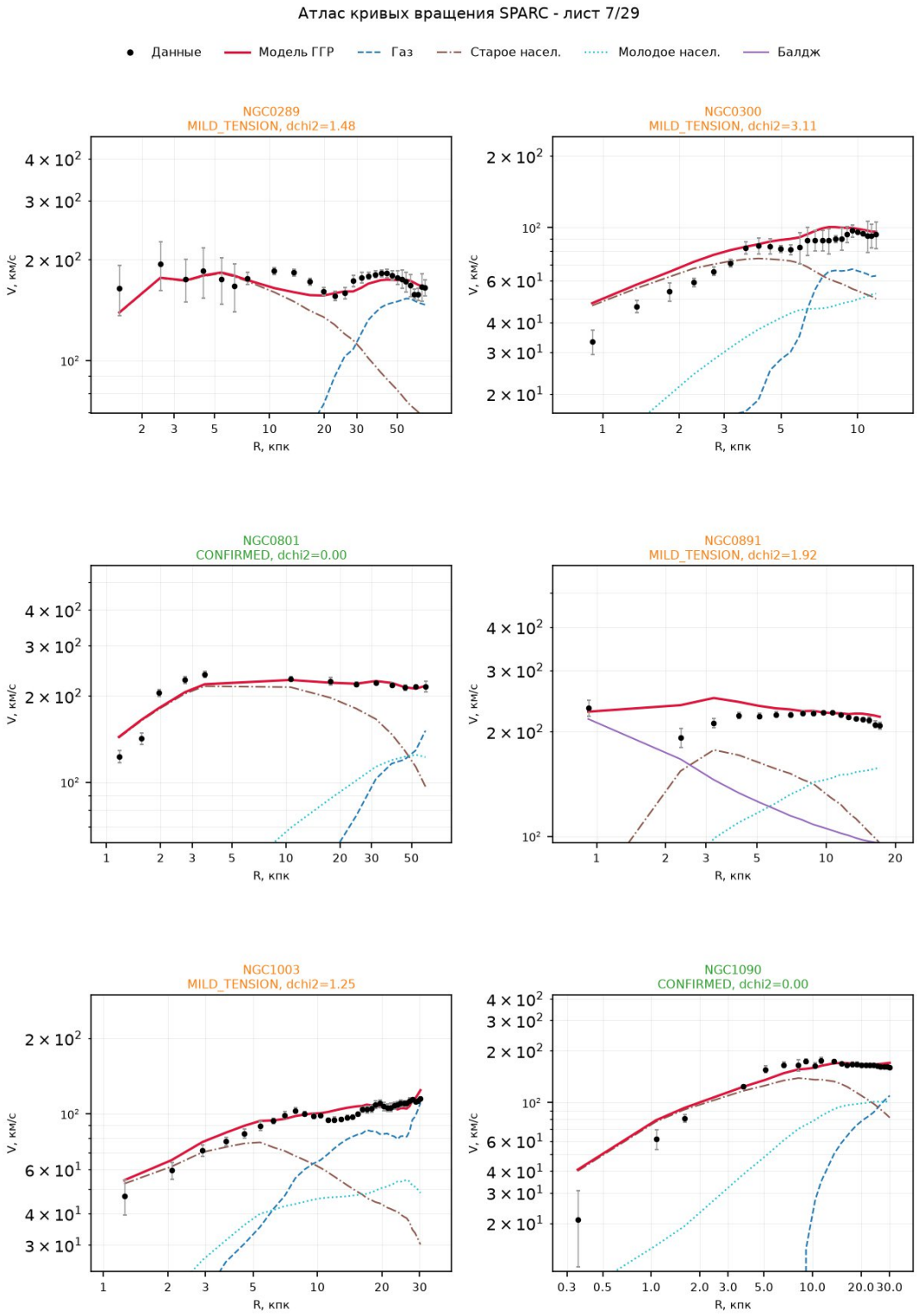

Рис. В.8. Атлас кривых вращения SPARC, лист 7/29.

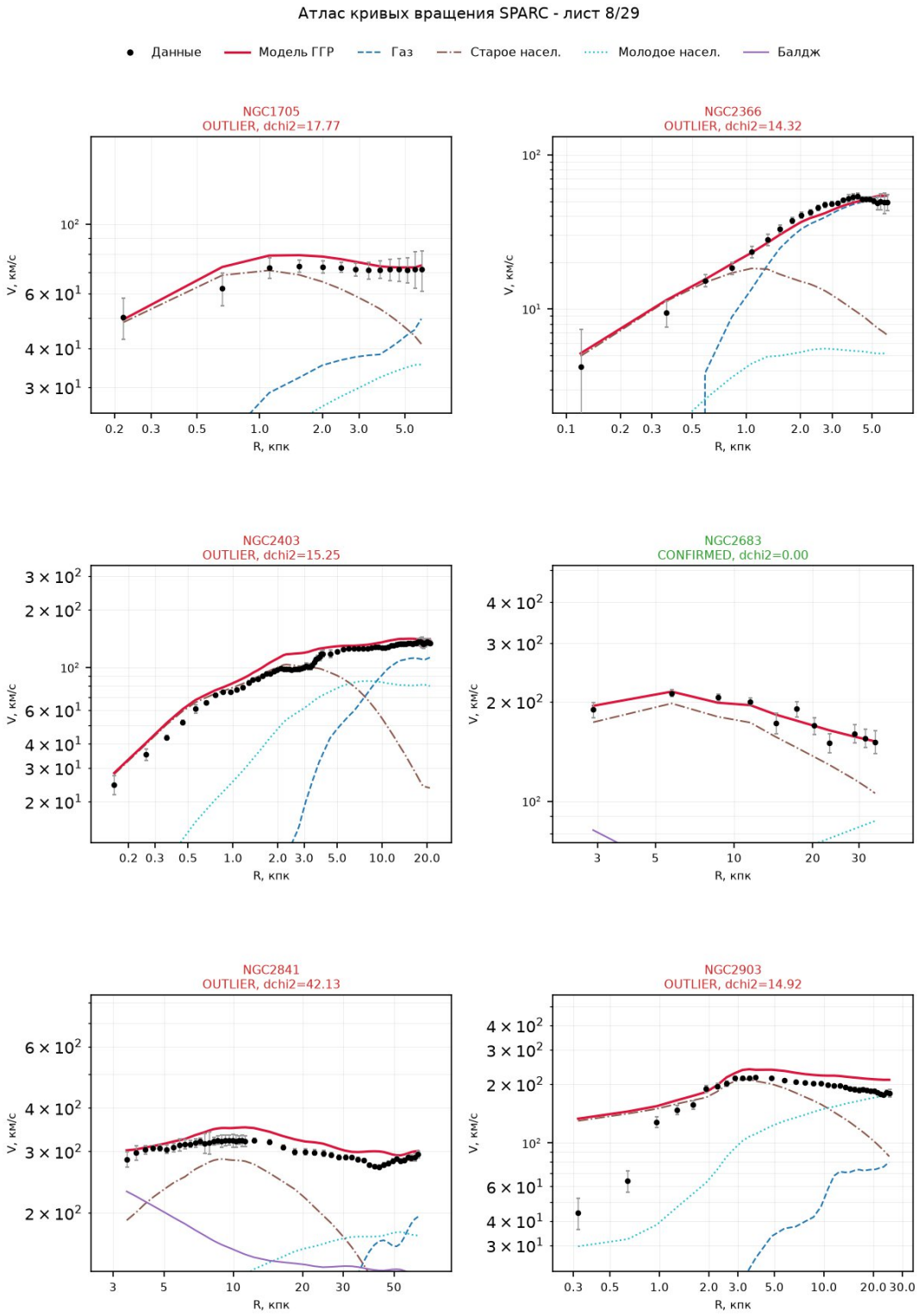

Рис. В.9. Атлас кривых вращения SPARC, лист 8/29.

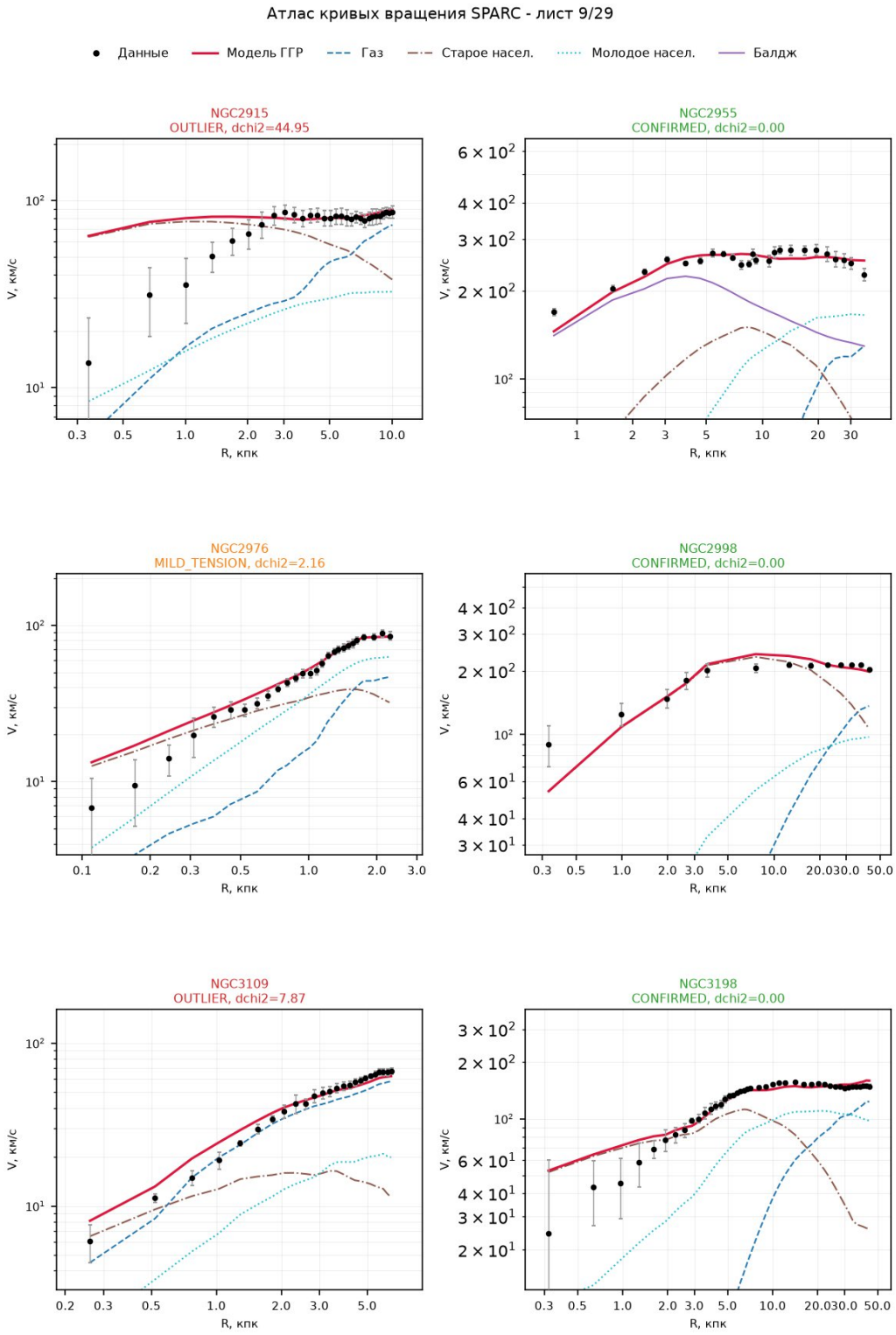

Рис. В.10. Атлас кривых вращения SPARC, лист 9/29.

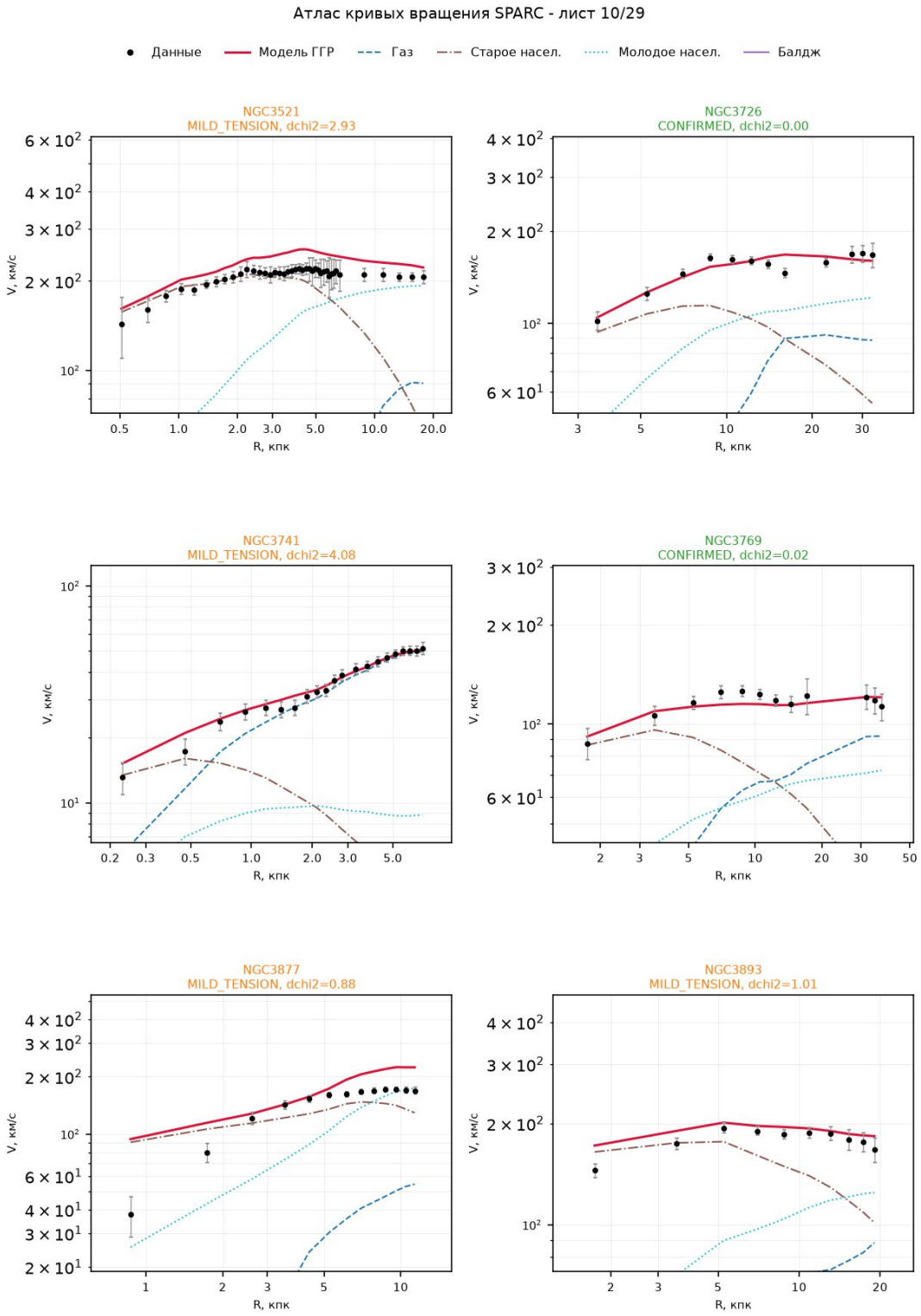

Рис. B.11. Атлас кривых вращения SPARC, лист 10/29.

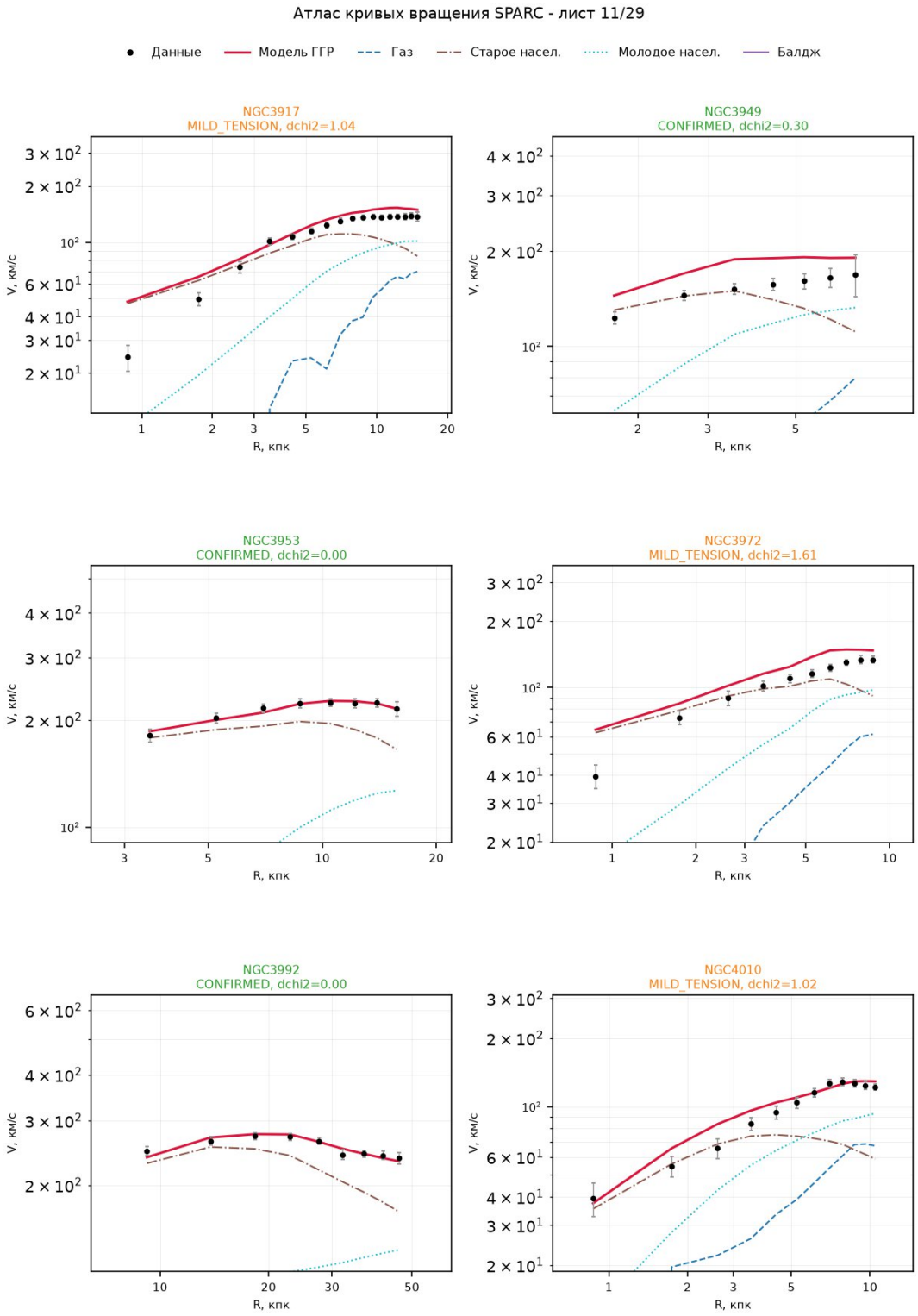

Рис. B.12. Атлас кривых вращения SPARC, лист 11/29.

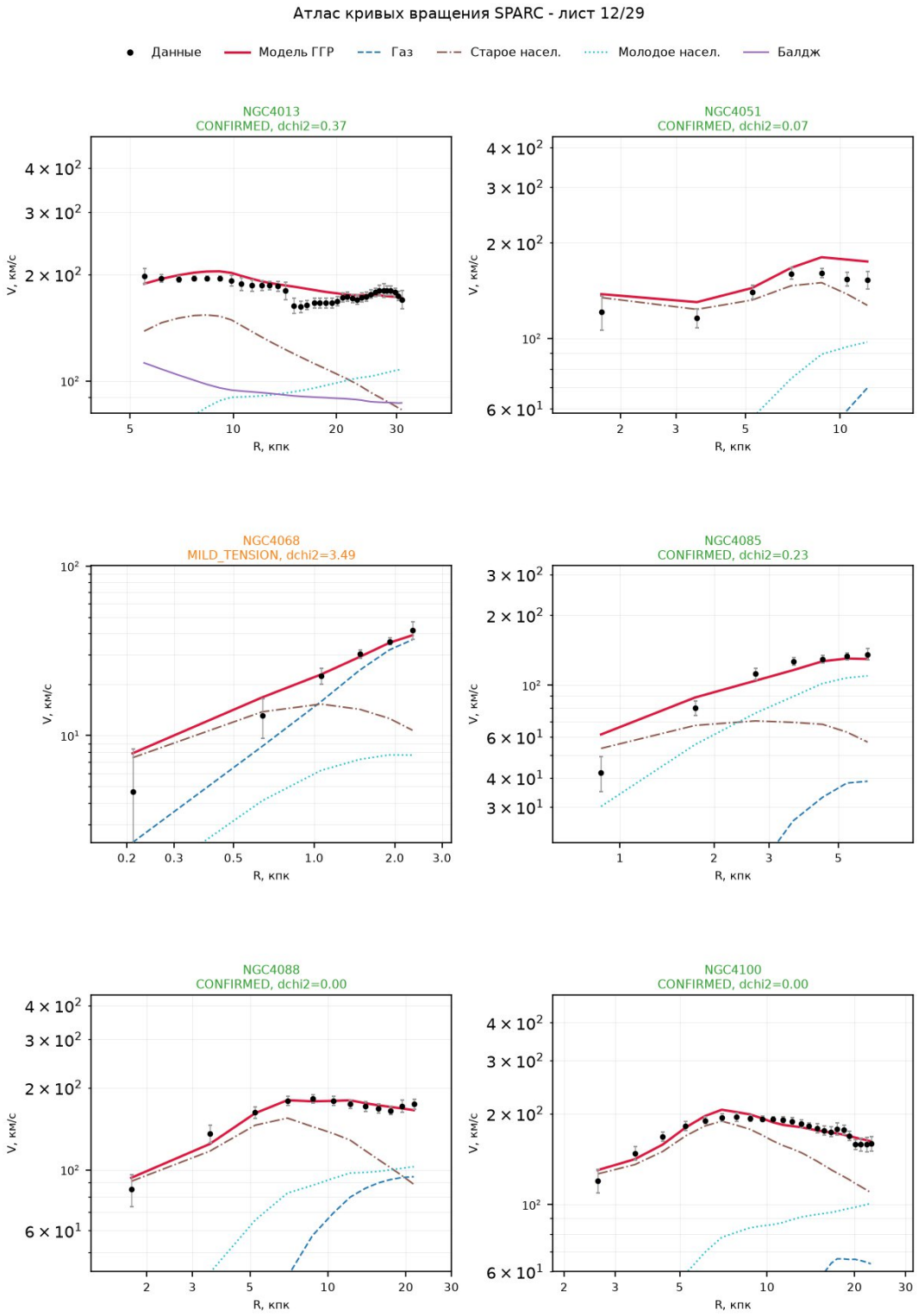

Рис. B.13. Атлас кривых вращения SPARC, лист 12/29.

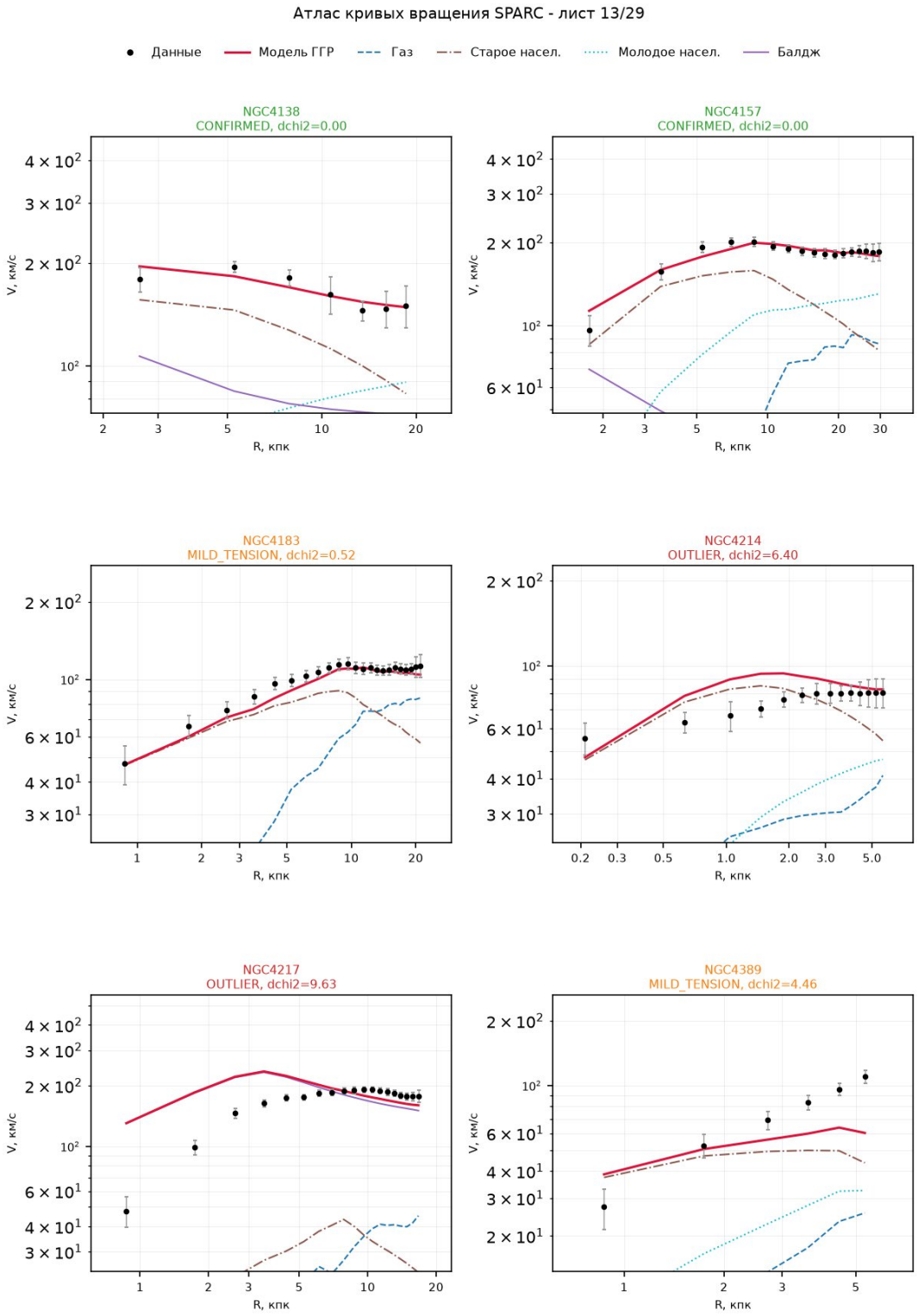

Рис. B.14. Атлас кривых вращения SPARC, лист 13/29.

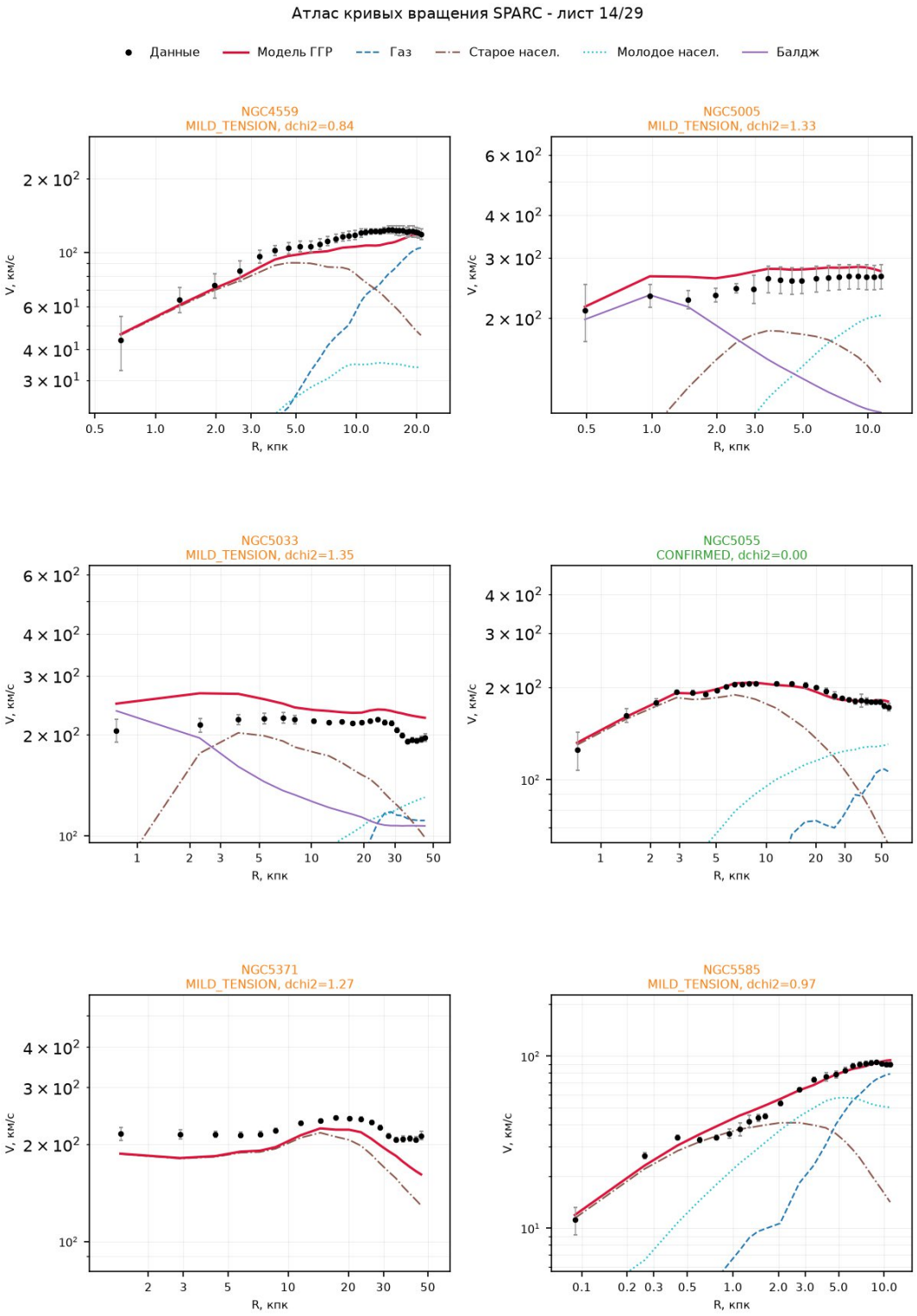

Рис. B.15. Атлас кривых вращения SPARC, лист 14/29.

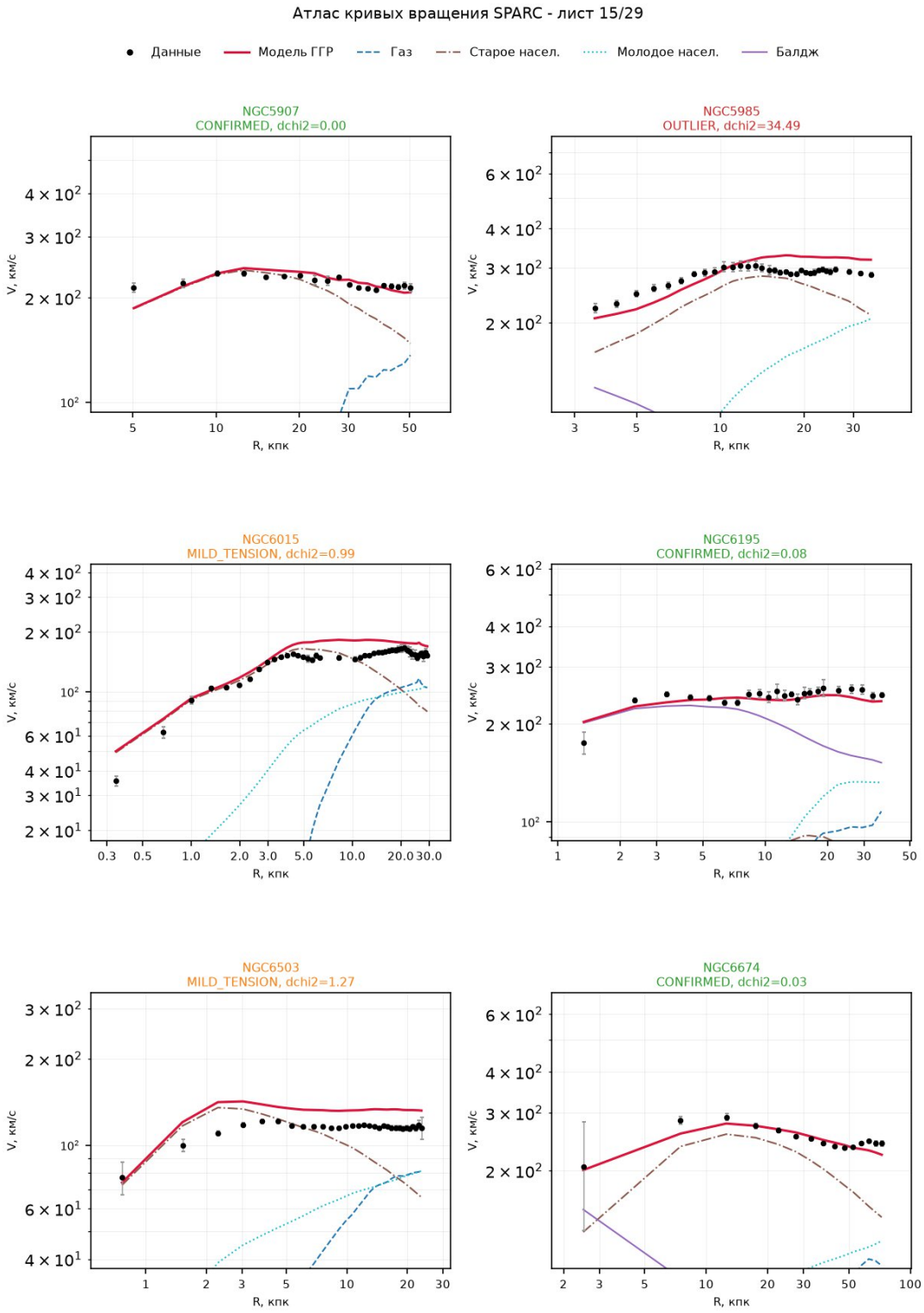

Рис. B.16. Атлас кривых вращения SPARC, лист 15/29.

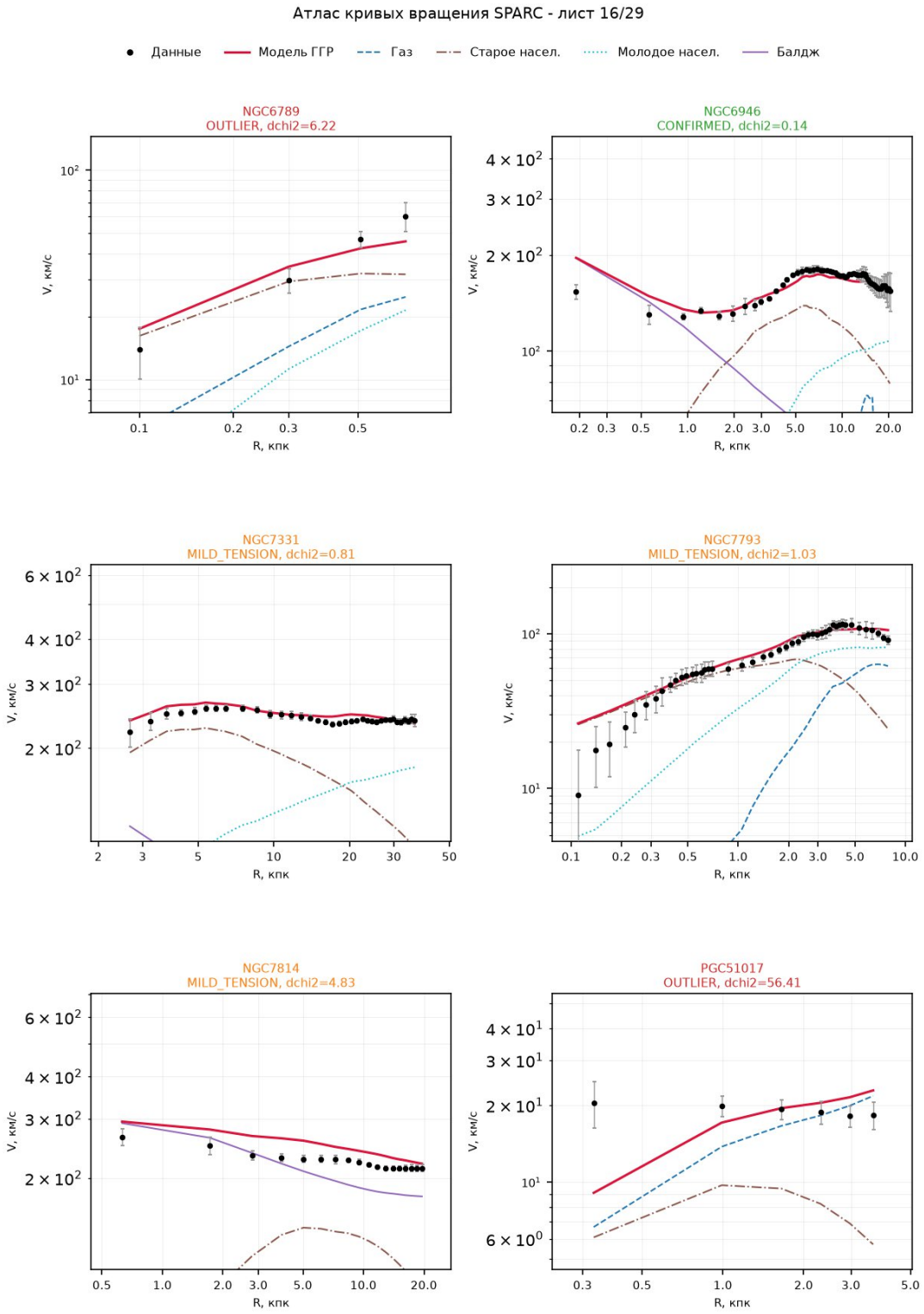

Рис. B.17. Атлас кривых вращения SPARC, лист 16/29.

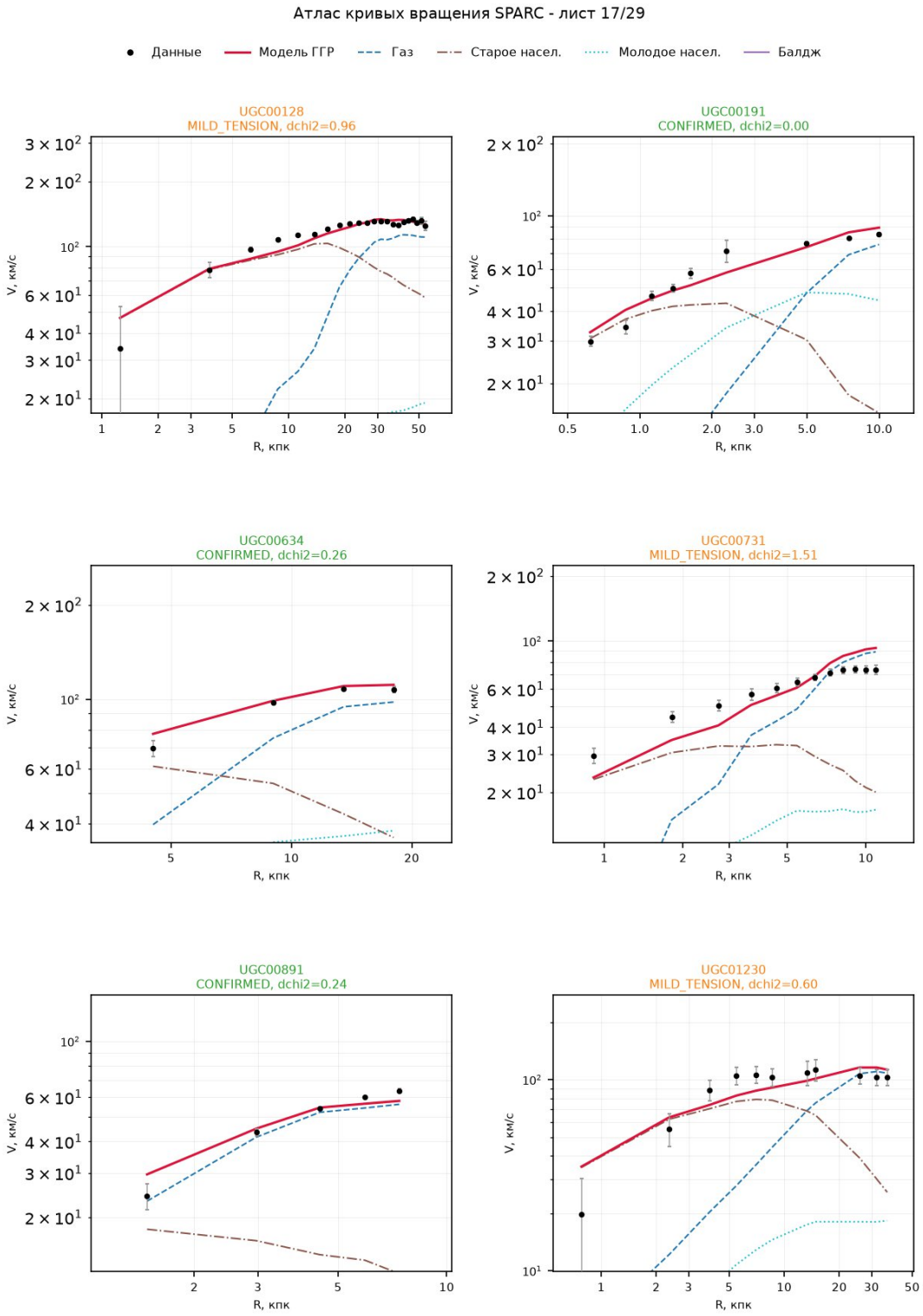

Рис. B.18. Атлас кривых вращения SPARC, лист 17/29.

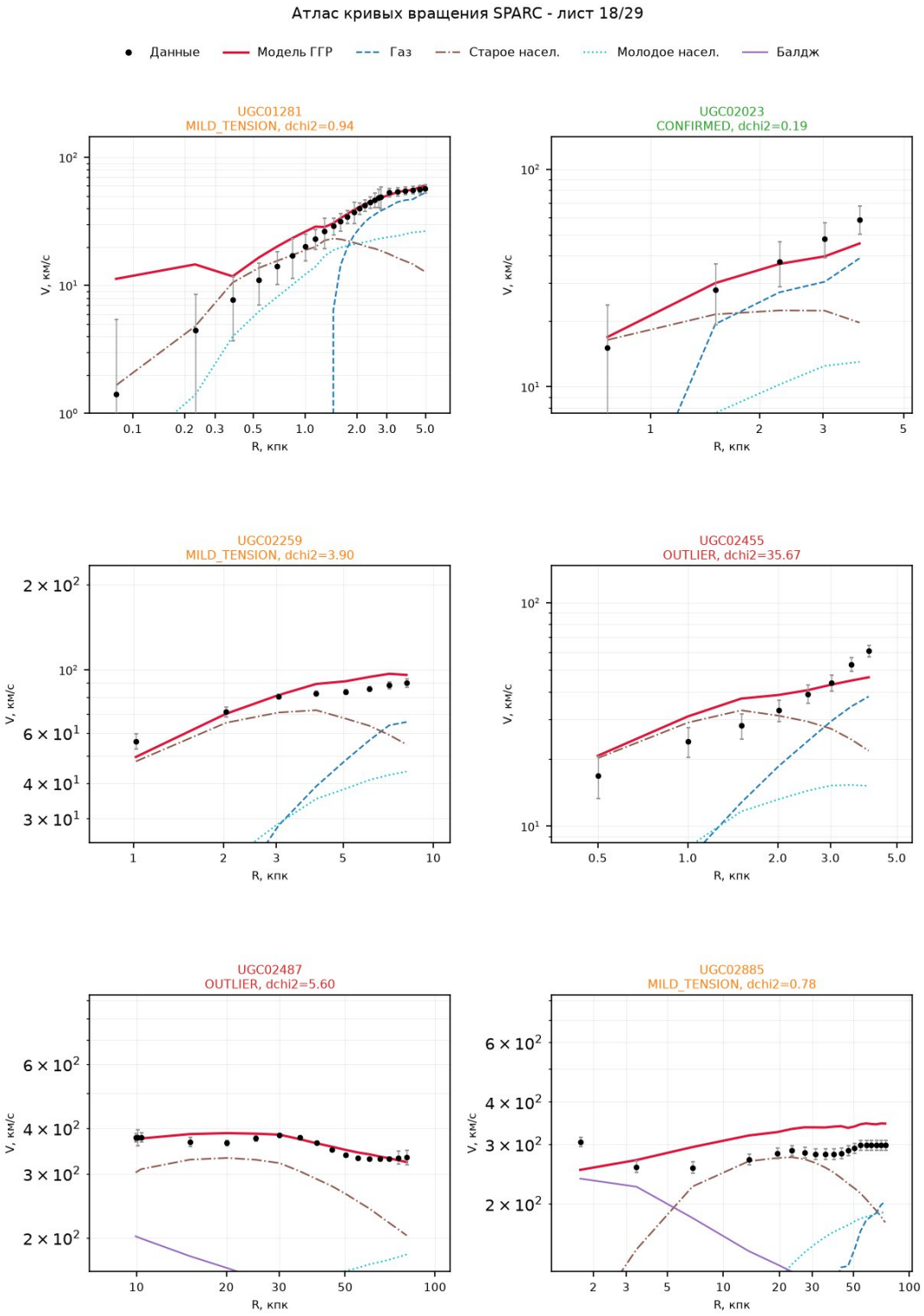

Рис. B.19. Атлас кривых вращения SPARC, лист 18/29.

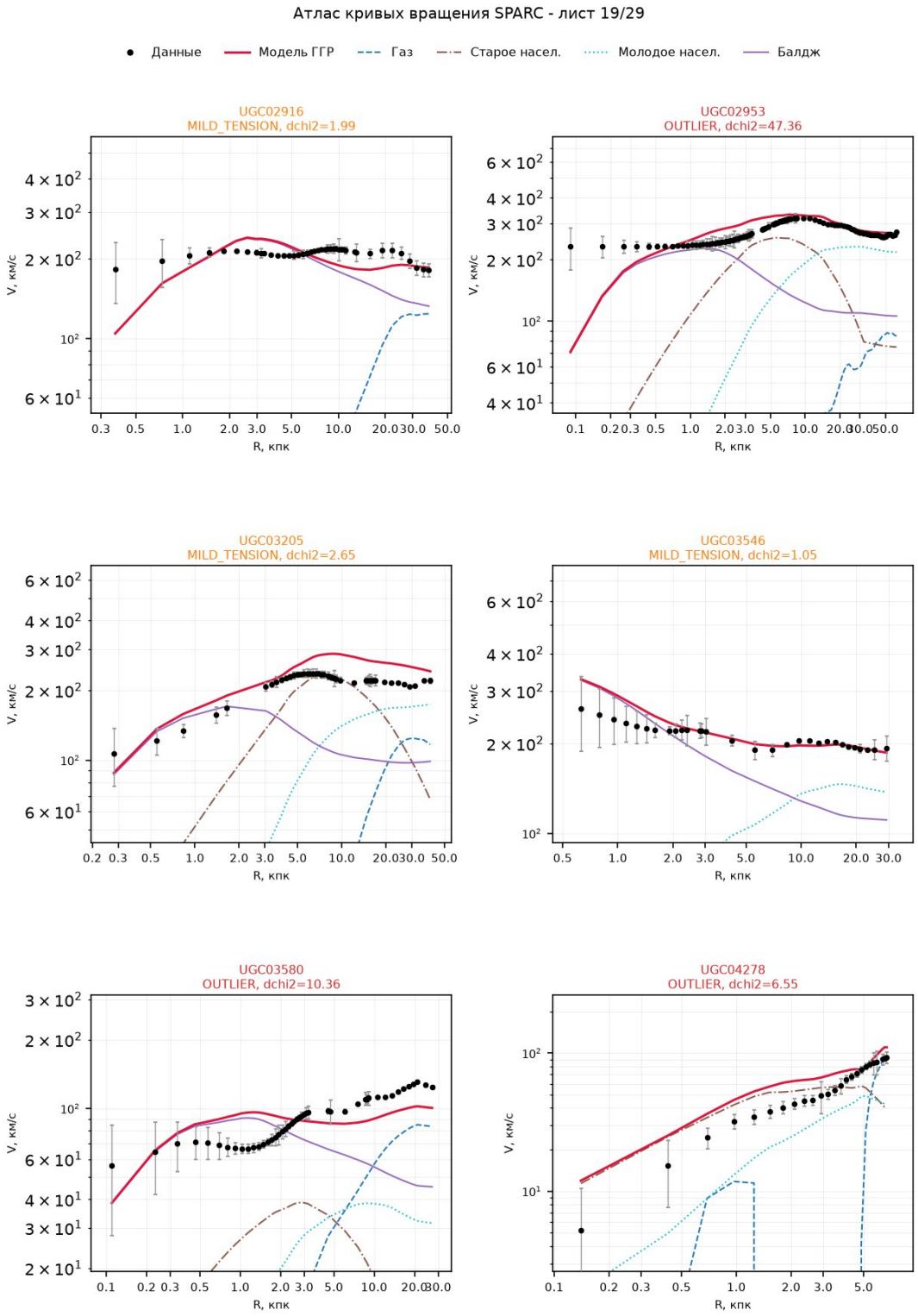

Рис. B.20. Атлас кривых вращения SPARC, лист 19/29.

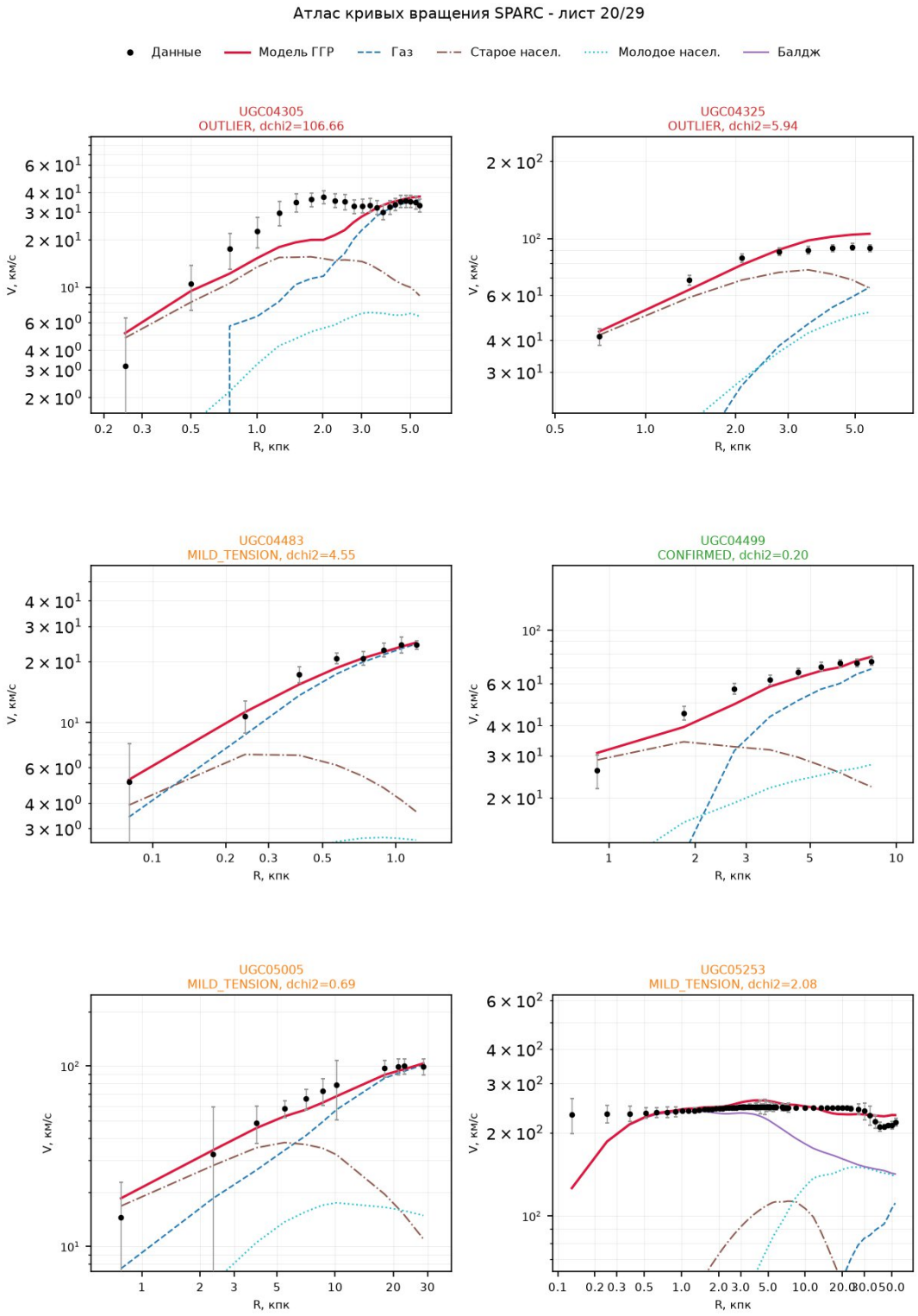

Рис. B.21. Атлас кривых вращения SPARC, лист 20/29.

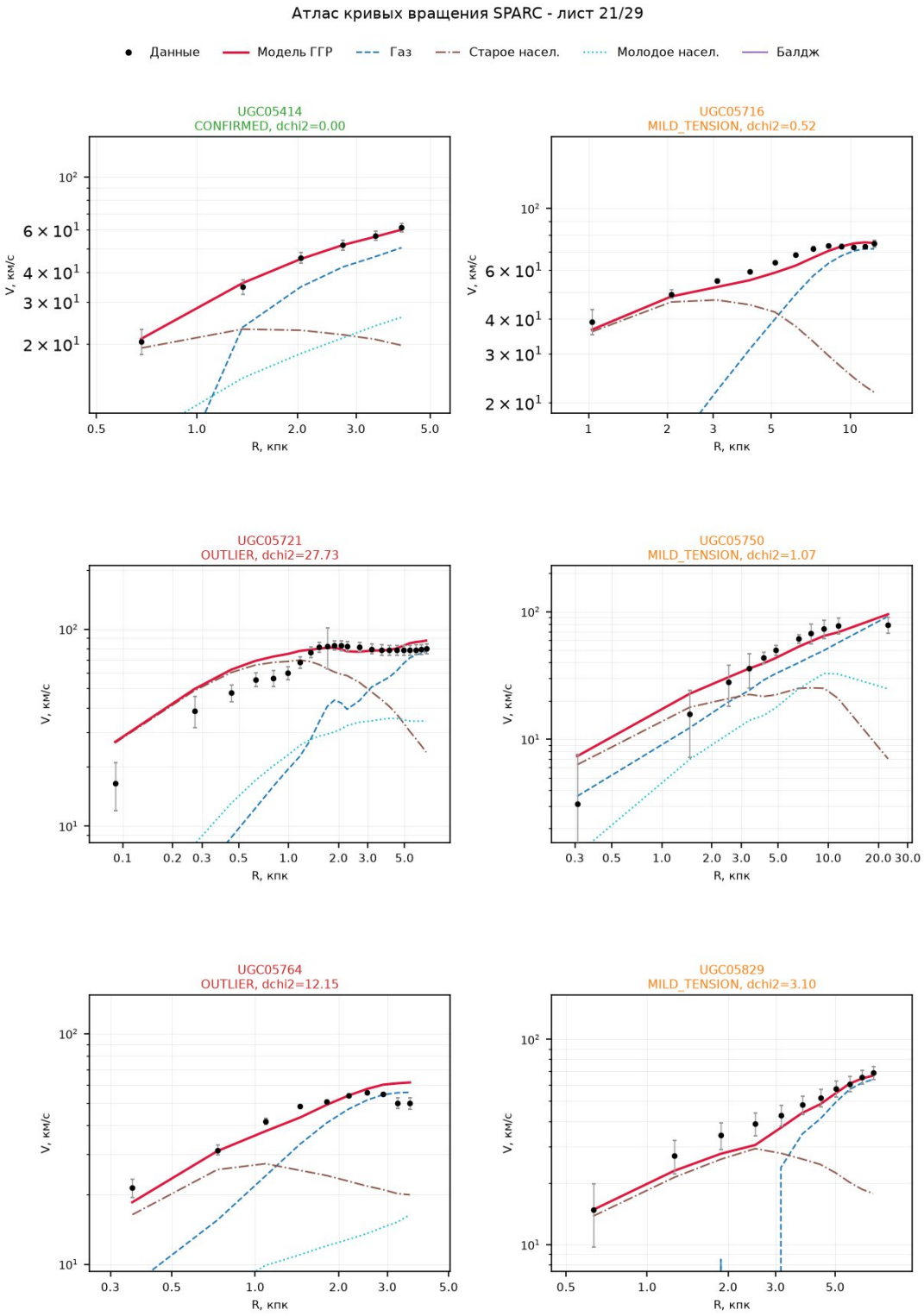

Рис. B.22. Атлас кривых вращения SPARC, лист 21/29.

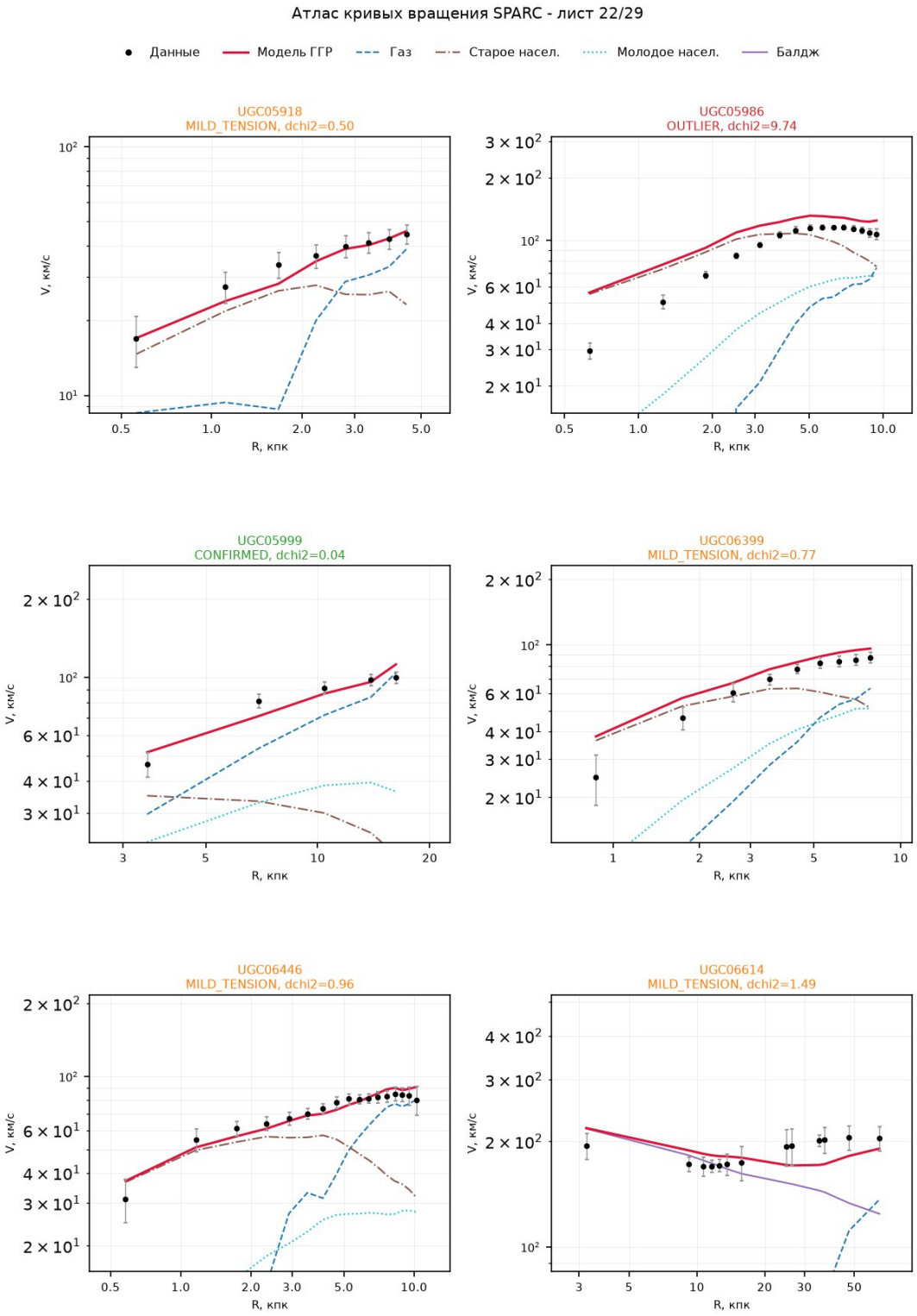

Рис. B.23. Атлас кривых вращения SPARC, лист 22/29.

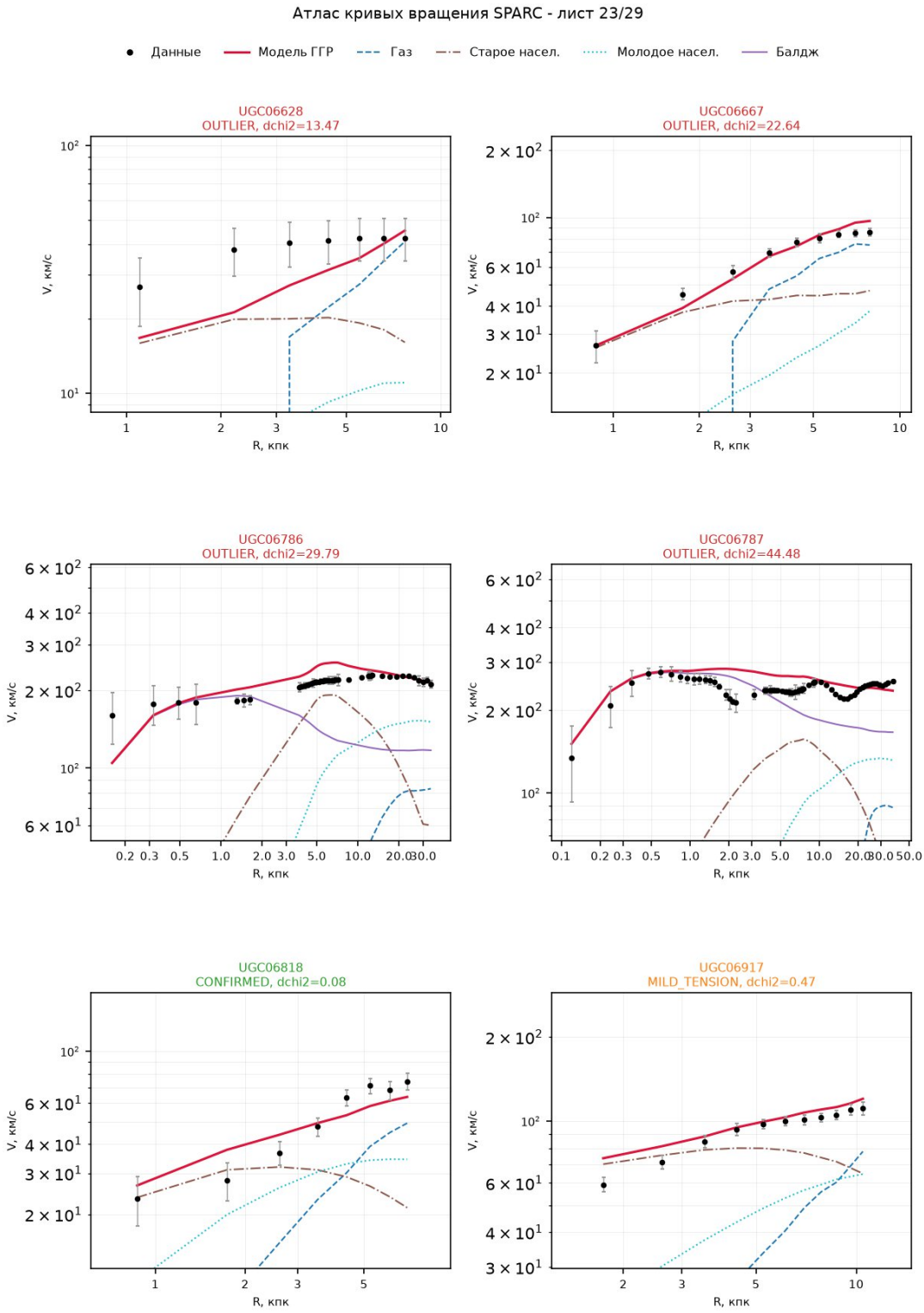

Рис. B.24. Атлас кривых вращения SPARC, лист 23/29.

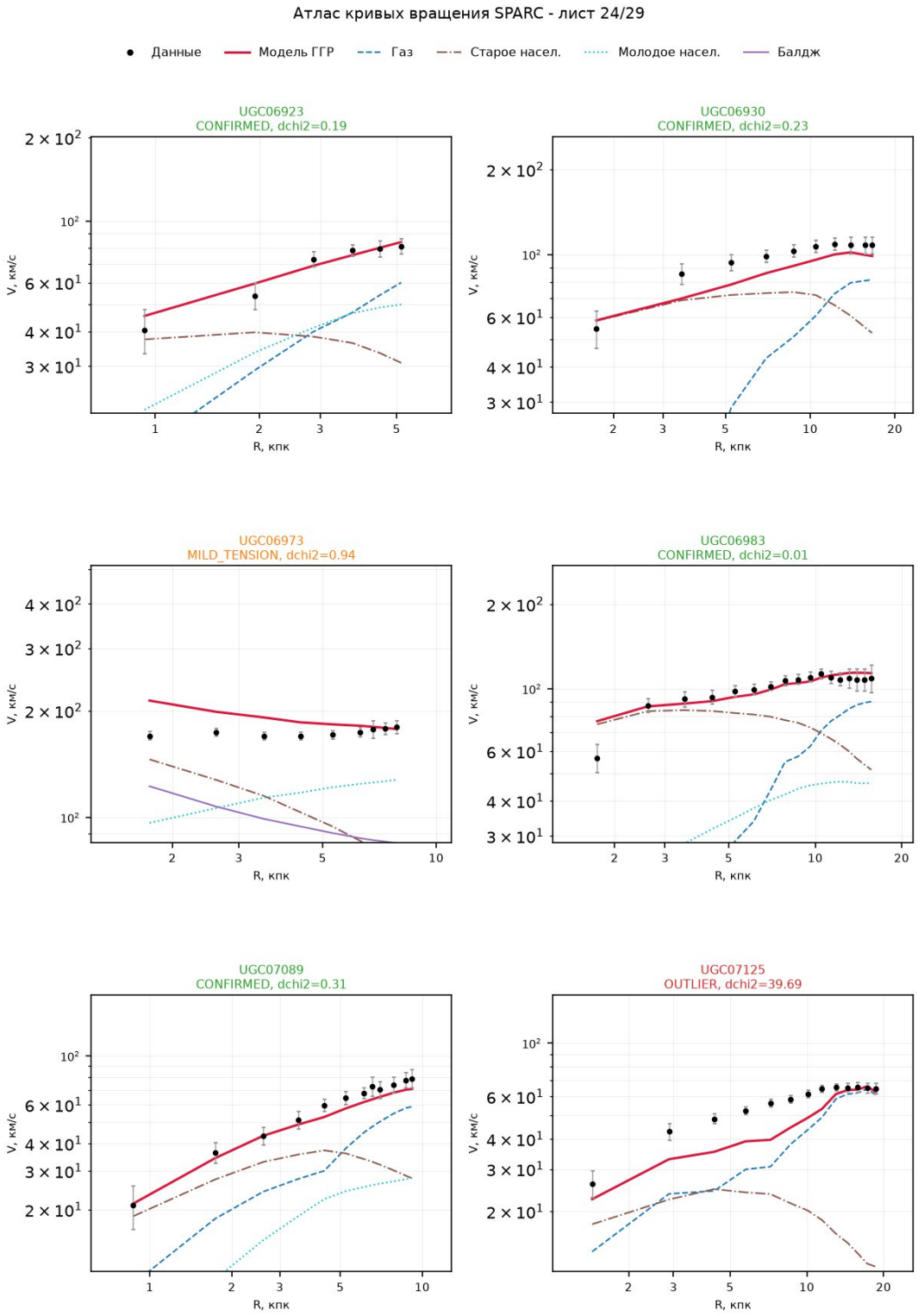

Рис. B.25. Атлас кривых вращения SPARC, лист 24/29.

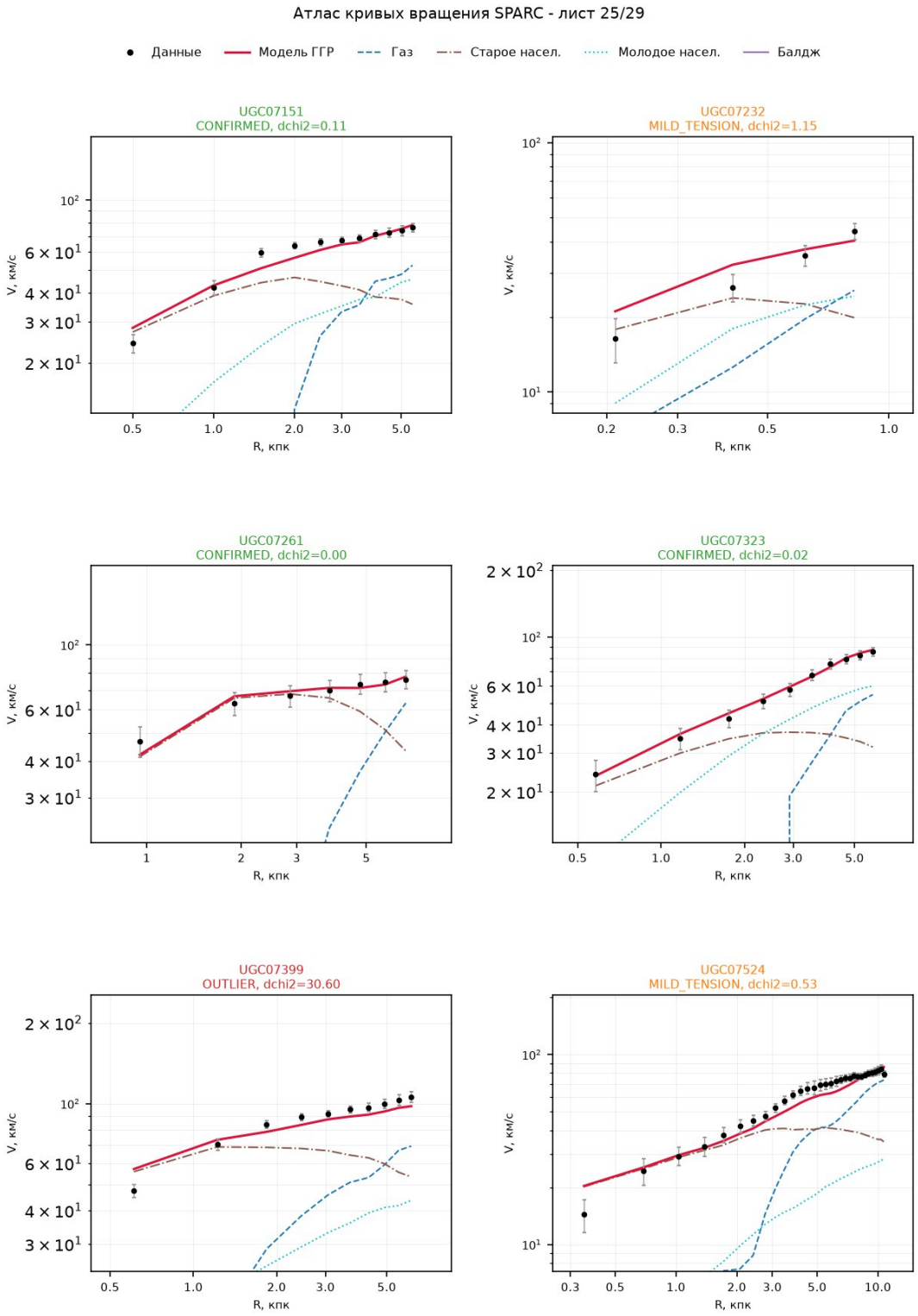

Рис. B.26. Атлас кривых вращения SPARC, лист 25/29.

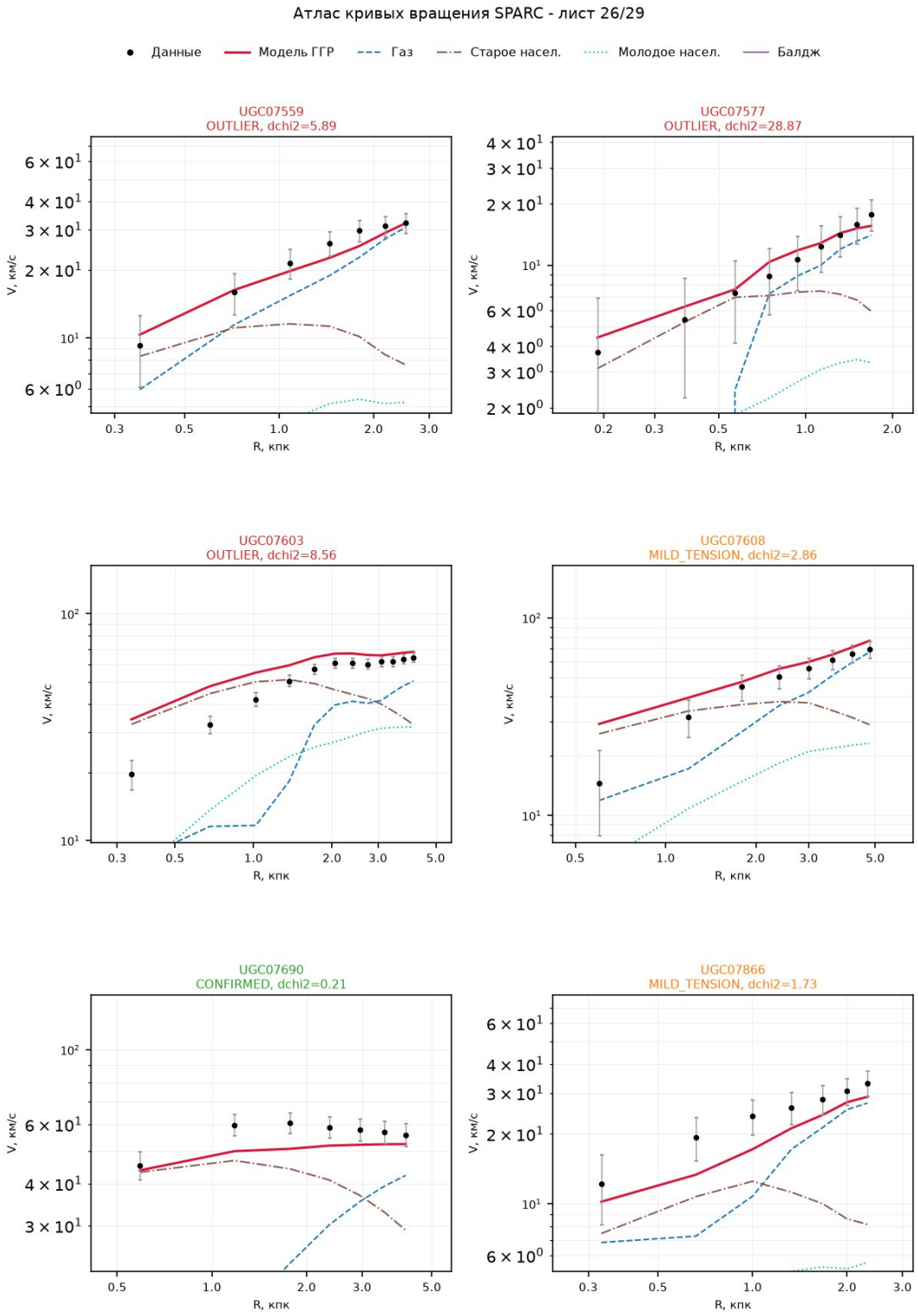

Рис. B.27. Атлас кривых вращения SPARC, лист 26/29.

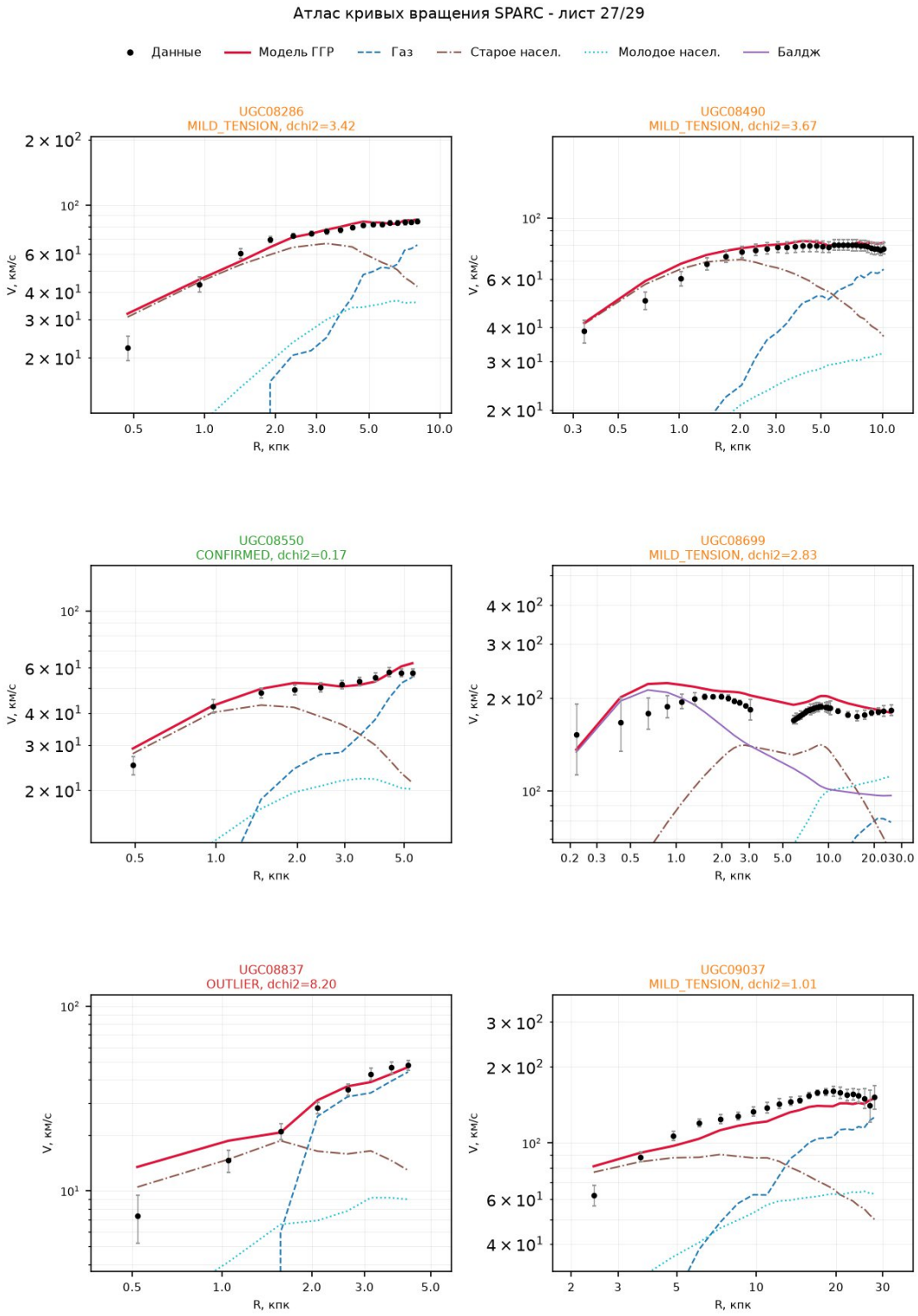

Рис. B.28. Атлас кривых вращения SPARC, лист 27/29.

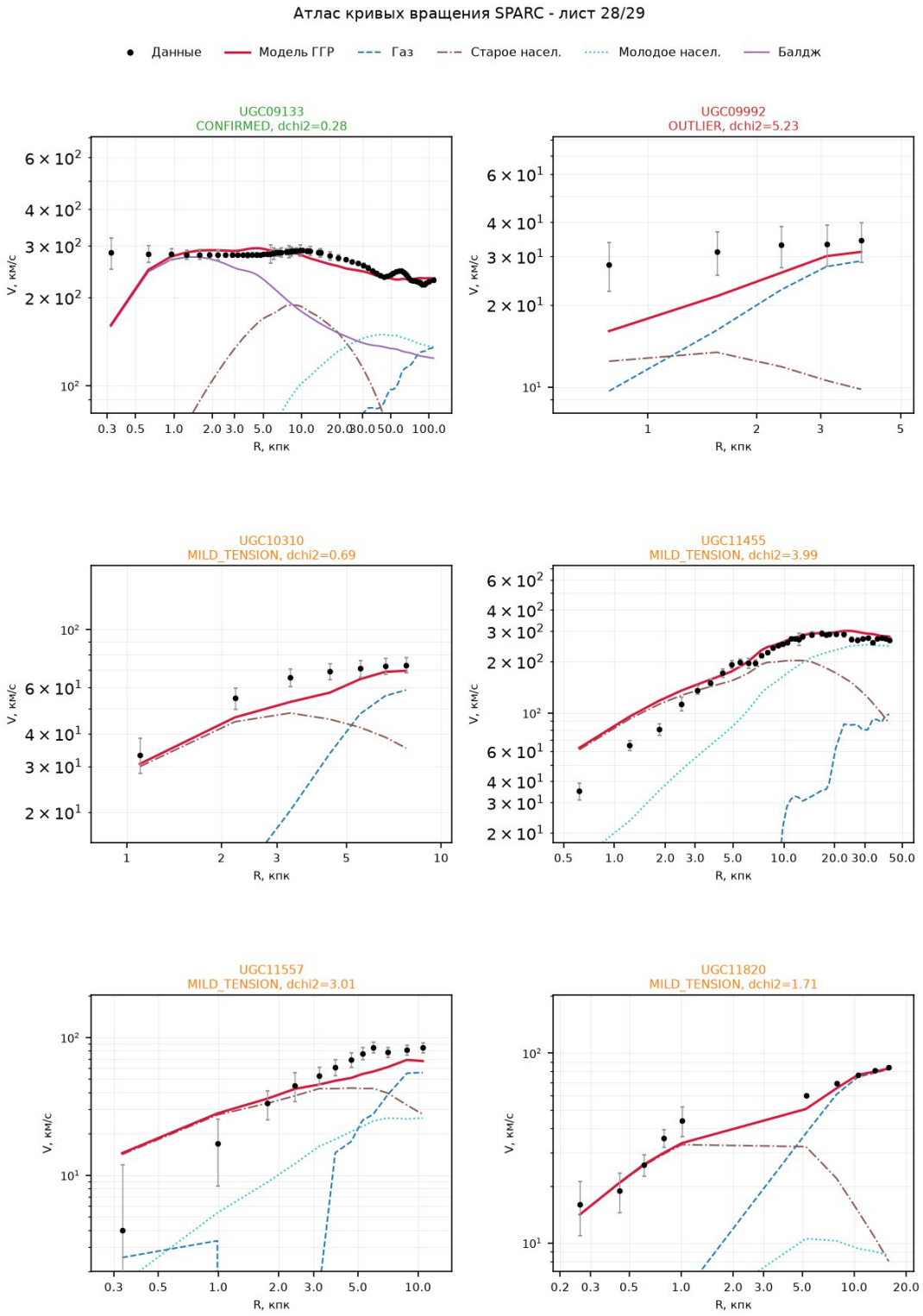

Рис. B.29. Атлас кривых вращения SPARC, лист 28/29.

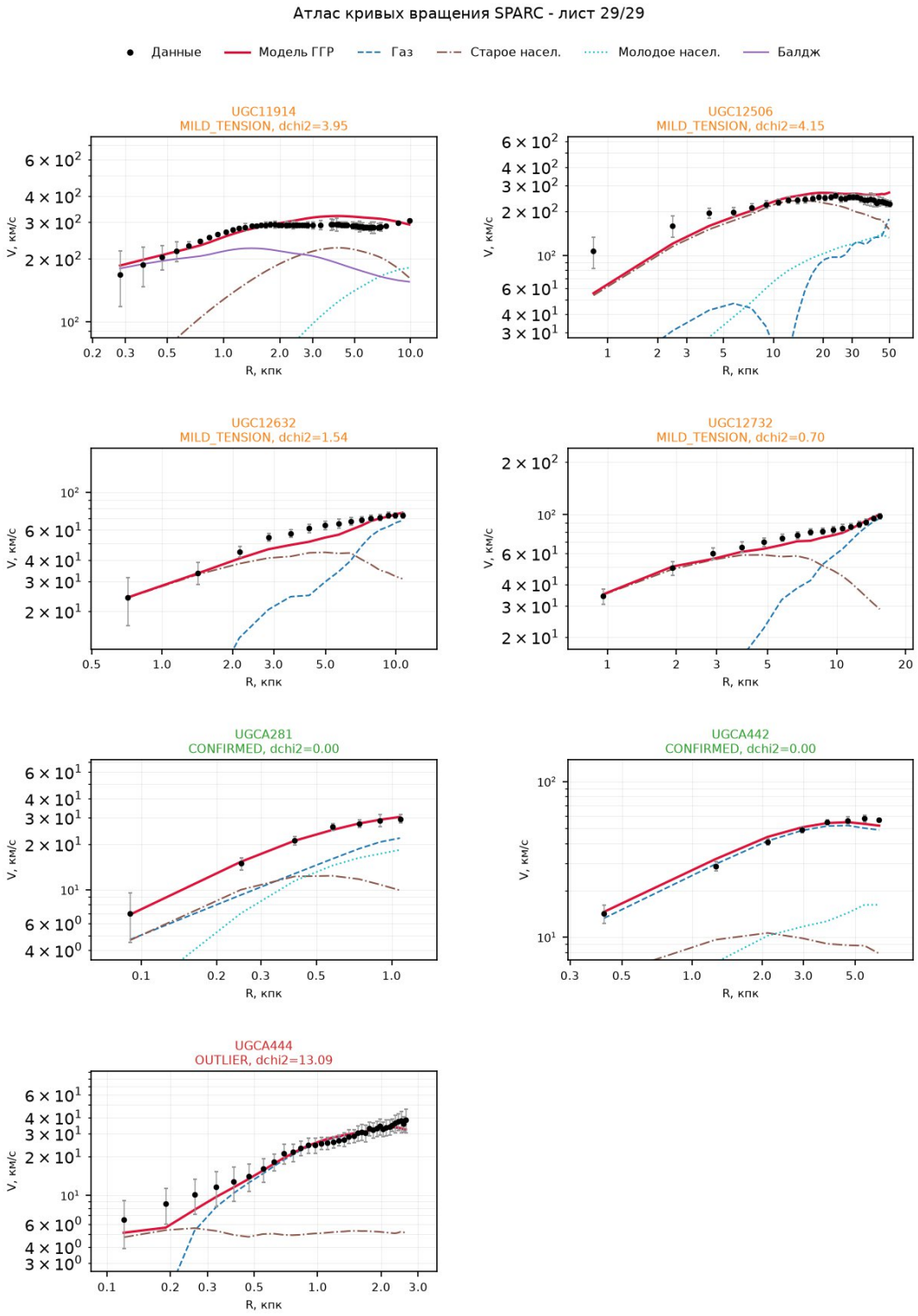

Рис. B.30. Атлас кривых вращения SPARC, лист 29/29.

Приложение Г. Сводная диаграмма g†_opt против априорных границ

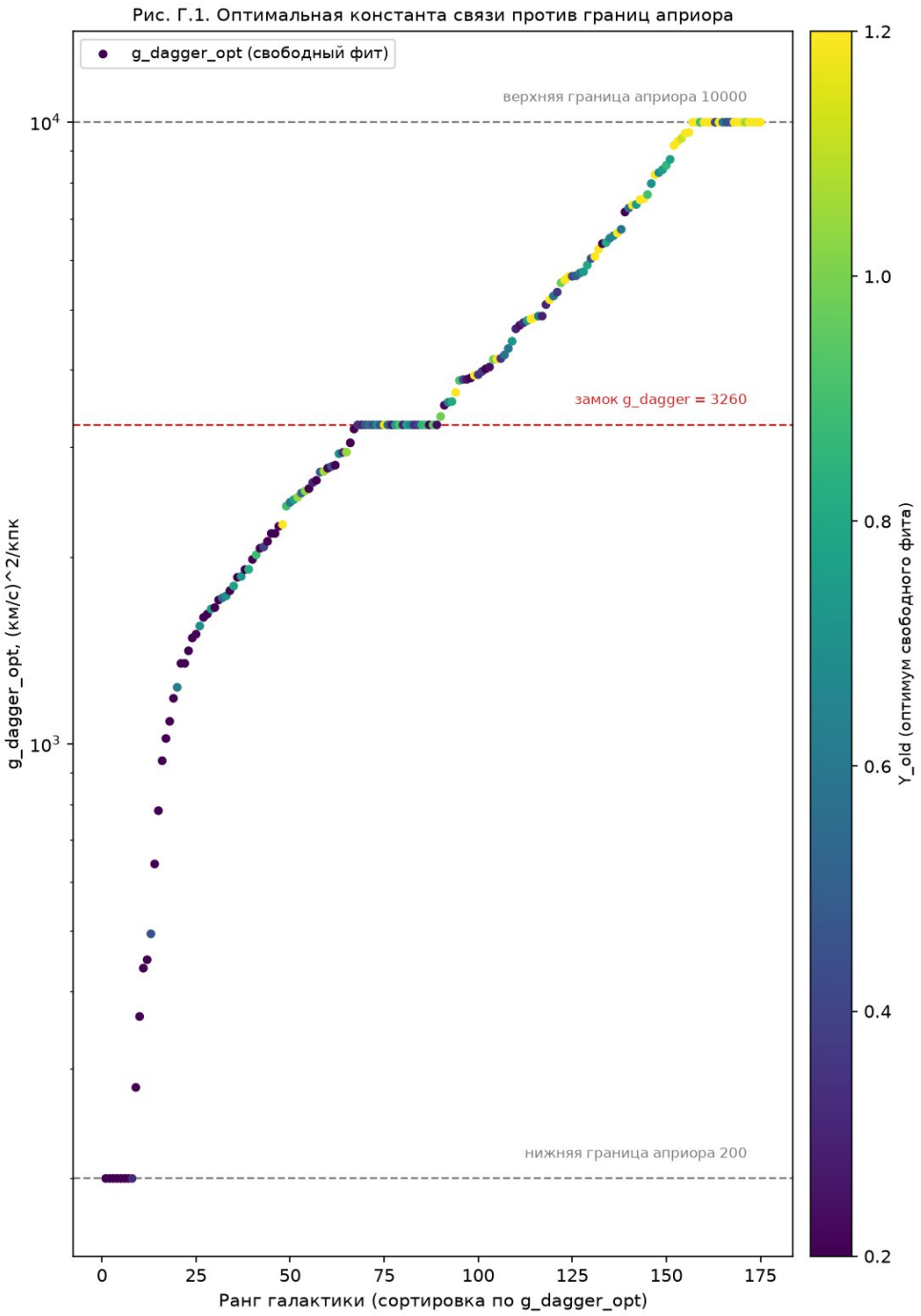

Рис. Г.1. Оптимум g†_opt (свободный трёхпараметрический фит) против границ априора [200, 10000] (км/с)²/кпк (цвет маркеров кодирует Y_old); краевые плато соответствуют выходу оптимума на границы априоров.

Приложение Д. Вердикты при трёх порогах Y_young

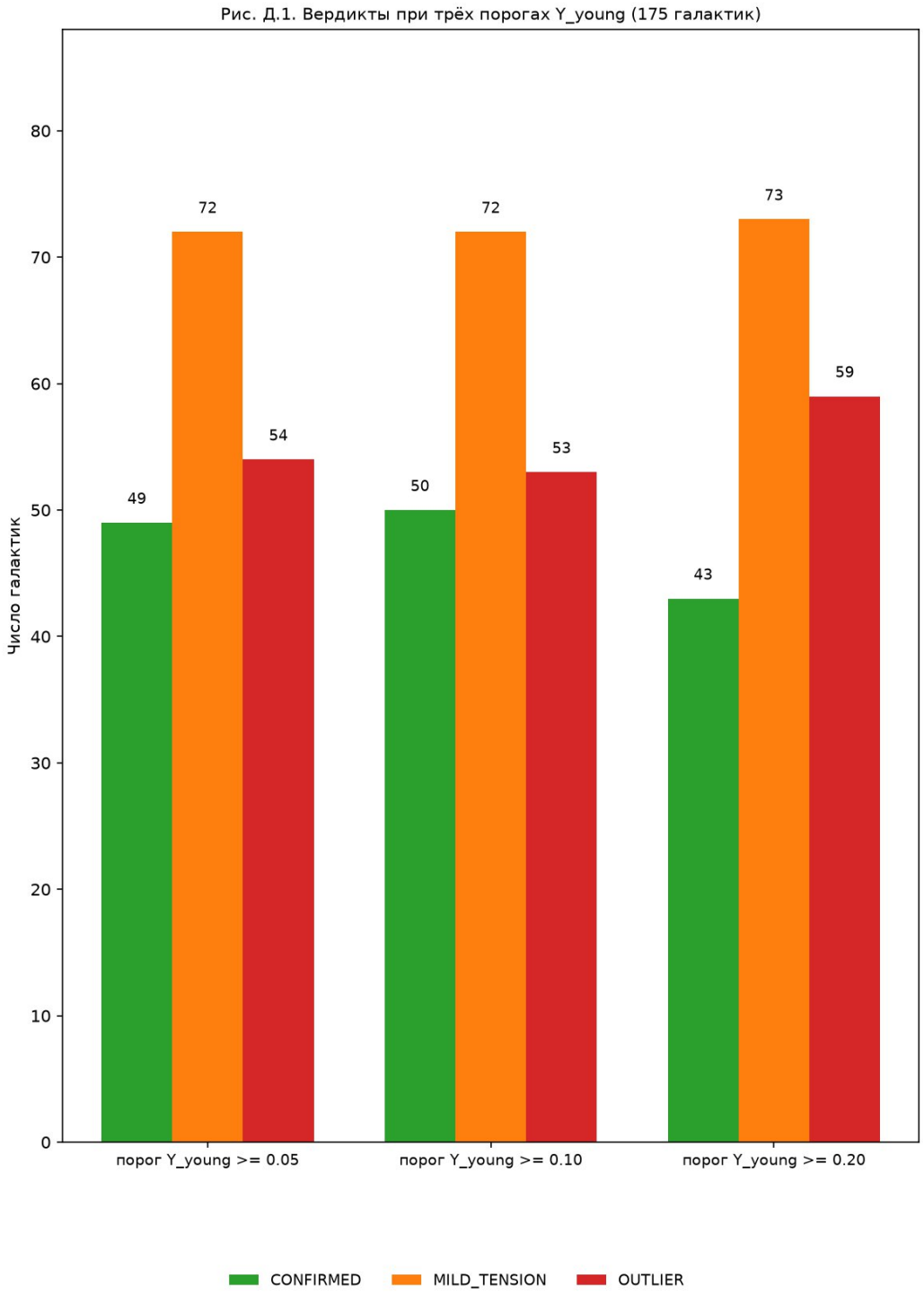

Рис. Д.1. Вердикты при трёх порогах Y_young (0.05, 0.10, 0.20), зарегистрированный прогон v4.0.

Приложение Е. Покомпонентная сводка (зарегистрированный прогон v4.0, порог Y_young ≥ 0.05)

Для каждой галактики каталога SPARC приведены: N — число точек кривой вращения; $\Delta\chi^2$ — разность статистик замкового ($g\dagger = 3260$) и свободного фитов; g†_opt — оптимум константы связи в свободном фите (км/с)²/кпк; Y_old и Y_young — оптимумы отношений масса/светимость старого и молодого населений диска; вердикт — классификация по порогам $\Delta\chi^2 \leq 0.4$ / ≤ 5.0 / > 5.0.

Галактика	N	dχ²	g†_opt	Y_old	Y_young	Вердикт
CamB	9	75.493	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
D512-2	4	0.0	3260.0	0.351	0.125	CONFIRMED
D564-8	6	6.73	1184.0	0.2	0.05	OUTLIER
D631-7	16	6.898	1853.4	0.2	0.05	OUTLIER
DDO064	14	0.019	3543.9	0.626	0.141	CONFIRMED
DDO154	12	0.701	2776.7	0.2	0.05	MILD_TENSION
DDO161	31	65.185	1087.2	0.2	0.05	OUTLIER
DDO168	10	3.427	1980.4	0.2	0.05	MILD_TENSION
DDO170	8	6.965	1347.5	0.2	0.05	OUTLIER
ESO079-G014	15	4.919	8297.3	0.675	0.4	MILD_TENSION
ESO116-G012	15	7.352	8390.2	0.773	0.4	OUTLIER
ESO444-G084	7	10.064	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
ESO563-G021	30	20.131	10000.0	0.899	0.4	OUTLIER
F561-1	6	14.432	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
F563-1	17	7.778	6081.3	1.2	0.4	OUTLIER
F563-V1	6	32.565	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
F563-V2	10	10.024	9596.7	1.2	0.4	OUTLIER
F565-V2	7	1.667	6635.6	1.2	0.4	MILD_TENSION
F567-2	5	3.486	494.9	0.448	0.05	MILD_TENSION
F568-1	12	16.869	9998.6	1.2	0.4	OUTLIER
F568-3	18	0.805	4876.7	0.623	0.4	MILD_TENSION
F568-V1	15	17.141	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
F571-8	13	13.518	7171.5	0.2	0.4	OUTLIER
F571-V1	7	0.0	3260.0	0.304	0.4	CONFIRMED
F574-1	14	0.167	4152.9	0.982	0.4	CONFIRMED
F574-2	5	17.189	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
F579-V1	14	3.315	5645.2	1.2	0.394	MILD_TENSION
F583-1	25	0.423	3676.1	1.2	0.4	MILD_TENSION
F583-4	12	0.0	3260.0	0.451	0.305	CONFIRMED
IC2574	34	15.628	1480.3	0.2	0.05	OUTLIER
IC4202	32	2.644	1794.5	0.784	0.4	MILD_TENSION
KK98-251	15	44.783	641.0	0.2	0.05	OUTLIER
NGC0024	29	24.191	9628.8	1.2	0.4	OUTLIER
NGC0055	21	7.203	1704.4	0.2	0.05	OUTLIER
NGC0100	21	4.917	5330.0	0.362	0.4	MILD_TENSION
NGC0247	26	0.027	3553.5	0.807	0.087	CONFIRMED
NGC0289	28	1.481	2532.3	0.556	0.05	MILD_TENSION
NGC0300	25	3.107	5748.0	0.751	0.4	MILD_TENSION
NGC0801	13	0.0	3260.0	0.567	0.134	CONFIRMED
NGC0891	18	1.92	5089.6	0.305	0.4	MILD_TENSION
NGC1003	36	1.255	3926.0	0.342	0.4	MILD_TENSION
NGC1090	24	0.0	3260.0	0.435	0.302	CONFIRMED
NGC1705	14	17.768	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
NGC2366	26	14.319	1597.7	0.2	0.05	OUTLIER
NGC2403	73	15.253	6571.6	0.66	0.4	OUTLIER
NGC2683	11	0.0	3260.0	0.67	0.193	CONFIRMED
NGC2841	50	42.13	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
NGC2903	34	14.916	10000.0	0.404	0.4	OUTLIER
NGC2915	30	44.953	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
NGC2955	24	0.0	3260.0	0.446	0.349	CONFIRMED
NGC2976	27	2.159	4652.6	0.302	0.4	MILD_TENSION
NGC2998	13	0.0	3260.0	1.161	0.143	CONFIRMED
NGC3109	25	7.867	4877.0	0.286	0.4	OUTLIER
NGC3198	43	0.0	3260.0	0.536	0.4	CONFIRMED

NGC3521	41	2.933	10000.0	0.614	0.4	MILD_TENSION
NGC3726	12	0.0	3260.0	0.27	0.373	CONFIRMED
NGC3741	21	4.08	4712.9	0.247	0.4	MILD_TENSION
NGC3769	12	0.022	2943.4	0.33	0.327	CONFIRMED
NGC3877	13	0.884	10000.0	0.442	0.387	MILD_TENSION
NGC3893	10	1.009	5253.7	0.59	0.4	MILD_TENSION
NGC3917	17	1.042	5719.6	0.595	0.4	MILD_TENSION
NGC3949	7	0.298	10000.0	0.47	0.4	CONFIRMED
NGC3953	8	0.0	3260.0	0.749	0.259	CONFIRMED
NGC3972	10	1.61	7968.1	0.709	0.4	MILD_TENSION
NGC3992	9	0.0	3260.0	0.916	0.323	CONFIRMED
NGC4010	12	1.025	4759.7	0.327	0.4	MILD_TENSION
NGC4013	36	0.373	3855.9	0.425	0.4	CONFIRMED
NGC4051	7	0.071	5664.3	0.503	0.157	CONFIRMED
NGC4068	6	3.493	1617.4	0.2	0.05	MILD_TENSION
NGC4085	7	0.233	3877.4	0.2	0.4	CONFIRMED
NGC4088	12	0.0	3260.0	0.301	0.188	CONFIRMED
NGC4100	24	0.0	3260.0	0.783	0.336	CONFIRMED
NGC4138	7	0.0	3260.0	0.623	0.387	CONFIRMED
NGC4157	17	0.0	3260.0	0.334	0.4	CONFIRMED
NGC4183	23	0.521	2471.6	0.758	0.05	MILD_TENSION
NGC4214	14	6.401	9309.6	1.2	0.4	OUTLIER
NGC4217	19	9.628	1347.4	0.2	0.05	OUTLIER
NGC4389	6	4.457	280.2	0.2	0.062	MILD_TENSION
NGC4559	32	0.838	2074.1	0.396	0.097	MILD_TENSION
NGC5005	18	1.331	7276.0	0.559	0.4	MILD_TENSION
NGC5033	22	1.353	6509.9	0.63	0.4	MILD_TENSION
NGC5055	28	0.0	3260.0	0.405	0.25	CONFIRMED
NGC5371	19	1.275	1233.3	0.625	0.05	MILD_TENSION
NGC5585	24	0.972	4039.2	0.242	0.4	MILD_TENSION
NGC5907	19	0.0	3260.0	0.853	0.05	CONFIRMED
NGC5985	33	34.494	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
NGC6015	44	0.987	6403.8	0.799	0.4	MILD_TENSION
NGC6195	23	0.082	2574.4	0.2	0.228	CONFIRMED
NGC6503	31	1.271	6725.1	0.586	0.4	MILD_TENSION
NGC6674	15	0.03	2947.0	1.049	0.339	CONFIRMED
NGC6789	4	6.223	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
NGC6946	58	0.14	2794.4	0.43	0.34	CONFIRMED
NGC7331	36	0.805	3973.1	0.363	0.4	MILD_TENSION
NGC7793	46	1.029	4224.2	0.584	0.4	MILD_TENSION
NGC7814	18	4.831	7527.9	1.2	0.4	MILD_TENSION
PGC51017	6	56.412	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
UGC00128	22	0.96	2744.0	1.06	0.05	MILD_TENSION
UGC00191	9	0.0	3260.0	0.872	0.4	CONFIRMED
UGC00634	4	0.261	4324.9	0.592	0.4	CONFIRMED
UGC00731	12	1.507	4158.6	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC00891	5	0.237	2807.7	0.2	0.05	CONFIRMED
UGC01230	11	0.597	2253.7	1.2	0.05	MILD_TENSION
UGC01281	25	0.936	4167.5	0.356	0.4	MILD_TENSION
UGC02023	5	0.191	1657.0	0.2	0.05	CONFIRMED
UGC02259	8	3.901	6247.4	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC02455	8	35.667	364.4	0.2	0.05	OUTLIER
UGC02487	17	5.602	5576.0	1.2	0.4	OUTLIER
UGC02885	19	0.777	7374.6	0.753	0.4	MILD_TENSION
UGC02916	43	1.985	1907.3	0.2	0.05	MILD_TENSION
UGC02953	115	47.356	7649.9	0.904	0.4	OUTLIER
UGC03205	48	2.654	9417.7	1.119	0.4	MILD_TENSION
UGC03546	30	1.048	4011.4	0.203	0.4	MILD_TENSION
UGC03580	47	10.363	1764.0	0.2	0.111	OUTLIER
UGC04278	25	6.551	8714.0	0.764	0.4	OUTLIER
UGC04305	22	106.657	200.0	0.2	0.05	OUTLIER

UGC04325	8	5.94	7504.9	1.2	0.4	OUTLIER
UGC04483	8	4.553	1501.6	0.2	0.05	MILD_TENSION
UGC04499	9	0.195	2632.6	0.293	0.227	CONFIRMED
UGC05005	11	0.685	2180.8	0.2	0.056	MILD_TENSION
UGC05253	73	2.083	4443.1	0.731	0.4	MILD_TENSION
UGC05414	6	0.0	3260.0	0.2	0.188	CONFIRMED
UGC05716	12	0.521	2552.5	1.034	0.05	MILD_TENSION
UGC05721	23	27.733	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
UGC05750	11	1.068	2064.1	0.2	0.15	MILD_TENSION
UGC05764	10	12.152	7358.5	1.2	0.4	OUTLIER
UGC05829	11	3.105	1547.8	0.688	0.05	MILD_TENSION
UGC05918	8	0.5	2413.0	0.899	0.05	MILD_TENSION
UGC05986	15	9.737	10000.0	1.051	0.4	OUTLIER
UGC05999	5	0.042	3050.2	0.2	0.392	CONFIRMED
UGC06399	9	0.766	5891.0	0.798	0.4	MILD_TENSION
UGC06446	17	0.961	3916.4	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC06614	13	1.488	2239.0	0.2	0.108	MILD_TENSION
UGC06628	7	13.475	200.0	0.2	0.05	OUTLIER
UGC06667	9	22.643	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
UGC06786	45	29.788	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
UGC06787	71	44.478	9176.9	1.2	0.4	OUTLIER
UGC06818	8	0.083	2654.5	0.2	0.269	CONFIRMED
UGC06917	11	0.466	4795.2	0.736	0.4	MILD_TENSION
UGC06923	6	0.193	3859.1	0.24	0.4	CONFIRMED
UGC06930	10	0.232	1859.6	0.716	0.05	CONFIRMED
UGC06973	9	0.938	6378.8	0.2	0.4	MILD_TENSION
UGC06983	17	0.006	3362.4	0.979	0.4	CONFIRMED
UGC07089	12	0.31	2180.4	0.2	0.121	CONFIRMED
UGC07125	13	39.69	449.6	0.2	0.05	OUTLIER
UGC07151	11	0.11	2737.4	0.492	0.396	CONFIRMED
UGC07232	4	1.153	6036.2	0.437	0.4	MILD_TENSION
UGC07261	7	0.0	3260.0	0.948	0.05	CONFIRMED
UGC07323	10	0.022	3505.8	0.225	0.4	CONFIRMED
UGC07399	10	30.603	10000.0	1.2	0.4	OUTLIER
UGC07524	31	0.532	2446.9	0.589	0.169	MILD_TENSION
UGC07559	7	5.891	1020.3	0.2	0.05	OUTLIER
UGC07577	9	28.867	200.0	0.316	0.05	OUTLIER
UGC07603	12	8.558	8527.5	0.866	0.4	OUTLIER
UGC07608	8	2.857	8234.9	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC07690	7	0.214	1730.3	0.703	0.05	CONFIRMED
UGC07866	7	1.731	939.6	0.2	0.05	MILD_TENSION
UGC08286	17	3.416	4849.6	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC08490	30	3.666	4822.1	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC08550	11	0.168	3842.5	0.917	0.4	CONFIRMED
UGC08699	41	2.828	5517.2	0.982	0.4	MILD_TENSION
UGC08837	8	8.196	1411.8	0.2	0.05	OUTLIER
UGC09037	22	1.01	2117.1	0.2	0.155	MILD_TENSION
UGC09133	68	0.28	2929.5	0.71	0.345	CONFIRMED
UGC09992	5	5.232	435.8	0.2	0.05	OUTLIER
UGC10310	7	0.685	1648.3	0.789	0.05	MILD_TENSION
UGC11455	36	3.992	5652.2	0.419	0.4	MILD_TENSION
UGC11557	12	3.009	780.9	0.2	0.05	MILD_TENSION
UGC11820	10	1.708	1909.3	0.822	0.05	MILD_TENSION
UGC11914	65	3.946	10000.0	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC12506	31	4.151	5182.2	1.2	0.4	MILD_TENSION
UGC12632	15	1.54	2014.6	0.889	0.05	MILD_TENSION
UGC12732	16	0.701	2492.8	1.046	0.07	MILD_TENSION
UGCA281	7	0.0	3260.0	0.228	0.373	CONFIRMED
UGCA442	8	0.004	3210.0	0.2	0.4	CONFIRMED
UGCA444	36	13.093	1718.1	0.556	0.05	OUTLIER