

Предсказание антиподальной анизотропии космологического сигнала в рамках Фазово-параметрической модели Вселенной (PSP)

Чернокнижный Евгений Валерьевич

Независимый исследователь

E-mail: chernocnijniy@yandex.ru

ORCID: 0009-0008-9567-7126

2026 (v1.2)

Аннотация

В работе представлены предсказания крупномасштабной анизотропии космологического сигнала в рамках Фазово-параметрической модели Вселенной (PSP). На основе анализа каталога поляризационных измерений далёких квазаров (Hutsemekers et al.) выявлена статистически значимая квадрупольная анизотропия угла поляризации с выделенной осью в направлении $RA \approx 260^\circ$, $Dec \approx 50^\circ$ (галактические координаты $l \approx 46^\circ$, $b \approx 35^\circ$). Зависимость угла поляризации от красного смещения z наилучшим образом описывается квадратичной моделью ($R^2 = 0,681$). Из параметров тора-маховика модели PSP ($t_{\text{birth}} = 463$ млн лет, $L_{\text{cycle}} = 164$ млрд лет, $\Delta PPA_{\text{max}} = 80,9^\circ$) выведено конкретное предсказание поворота плоскости поляризации в эпоху СМВ: $\beta = \pm 0,23^\circ$ в антиподальных направлениях. Полученное значение совместимо с измерением космологического бирафрингенса $\beta = 0,28^\circ \pm 0,06^\circ$ ($4,8\sigma$) по объединённым данным Planck PR4 + WMAP + АСТ. Направление диполя анизотропного бирафрингенса, измеренное Contreras et al. (2017) по данным Planck, находится в $12,2^\circ$ от антипода PSP, что совместимо в пределах неопределённости $\pm 22^\circ$. На основе постулируемой антиподальной симметрии модели PSP предложена стратегия верификации с использованием двух целевых зон сканирования в диаметрально противоположных областях небесной сферы. Предсказания визуализированы в проекции Моллвейде и могут быть использованы для планирования наблюдений в рамках миссий типа LiteBIRD.

Ключевые слова: PSP, фазово-параметрическая модель, анизотропия, антиподальные точки, поворот плоскости поляризации, космологический бирафрингенс, реликтовое излучение, LiteBIRD, поляризация квазаров.

1 Введение

Проблема крупномасштабной анизотропии в реликтовом излучении (СМВ) и других космологических полях остаётся одной из ключевых нерешённых задач современной

астрофизики. Аномалии, обнаруженные миссиями WMAP и Planck, — такие как выравнивание низких мультиполей СМВ, асимметрия северного и южного полушарий и аномальная корреляция квадруполь с октуполем, — не находят объяснения в рамках стандартной Λ CDM-модели.

В последние годы обнаружен новый тип аномалии — космологический бирафрингенс: поворот плоскости поляризации СМВ, не объяснимый в рамках Λ CDM. Объединённый анализ данных Planck PR4, WMAP и АСТ (2026) даёт $\beta = 0,277^\circ \pm 0,057^\circ$ на уровне значимости $4,8\sigma$. Анализ анизотропной составляющей (Contreras et al., 2017) выявил диполь бирафрингенса с амплитудой $0,32^\circ \pm 0,13^\circ$ и направлением $(l, b) = (295^\circ, 17^\circ)$, что в экваториальных координатах соответствует $(RA \approx 71^\circ, Dec \approx -39^\circ)$.

В рамках Фазово-параметрической модели Вселенной (PSP) постулируется существование выделенной оси анизотропии, порождающей зеркально-симметричные эффекты в диаметрально противоположных направлениях небесной сферы. Модель PSP является альтернативной теоретической конструкцией; её предсказания носят прогностический характер и требуют независимой экспериментальной проверки.

Согласно основным постулатам PSP, в антиподальных точках должен наблюдаться поворот плоскости поляризации электромагнитного излучения на угол β , равный по модулю и противоположный по знаку. В данной работе мы используем реальные данные поляризации квазаров для определения выделенной оси, выводим конкретное предсказание для β из параметров тора-маховика модели PSP и формулируем проверяемое предсказание для миссий нового поколения (LiteBIRD).

2 Данные и методика

2.1 Исходные данные

Использован каталог поляризационных измерений квазаров (Hutsemekers et al.), содержащий объекты с измеренными углами поляризации (Polarization Position Angle, PPA), красными смещениями z и экваториальными координатами (RA, Dec). Каталог предоставляет три независимо измеренные величины для каждого объекта: координаты на небесной сфере, расстояние (через z) и угол поляризации, — что делает его прямым зондом крупномасштабной структуры поляризованного поля.

2.2 Зависимость PPA от красного смещения

Для описания накопления вращения плоскости поляризации с расстоянием рассмотрены линейная и квадратичная модели:

$$PPA(z) = a_1 z + a_0 \quad (\text{линейная}). \quad (1)$$

$$PPA(z) = a_2 z^2 + a_1 z + a_0 \quad (\text{квадратичная}). \quad (2)$$

По критерию коэффициента детерминации R^2 выбрана квадратичная модель:

$$PPA(z) = -13,24 \cdot z^2 + 65,44 \cdot z + 81,90, \quad R^2 = 0,681. \quad (3)$$

Линейная модель даёт $R^2 = 0,578$, что статистически хуже. Нелинейный характер зависимости указывает на то, что накопление вращения не монотонно: квадратичный

член ограничивает рост при больших z , что соответствует циклической динамике модели PSP.

Максимум вращения достигается при $z_{\max} = 65,44/(2 \times 13,24) \approx 2,47$:

$$\Delta\text{PPA}_{\max} = -13,24 \times (2,47)^2 + 65,44 \times 2,47 \approx 80,9^\circ. \quad (4)$$

2.3 Пространственная анизотропия

Поле PPA разложено по сферическим гармоникам до $l = 2$ в галактических координатах (l, b) . Доминирующим является квадрупольный член, соответствующий комбинации $\cos^2 b \cdot \cos(2l)$ с коэффициентом $+0,2435$. Это определяет выделенную ось анизотропии в экваториальных координатах:

$$(\text{RA}, \text{Dec}) \approx (260^\circ, 50^\circ), \quad \text{что соответствует} \quad (l, b) \approx (46^\circ, 35^\circ), \quad p = 0,018. \quad (5)$$

Для проверки анизотропии проведён анализ наклона $\text{PPA}(z)$ по секторам галактической долготы. Противоположные знаки наклона в противоположных секторах подтверждают наличие антиподальной структуры, постулируемой моделью PSP.

Таблица 1: Наклон $\text{PPA}(z)$ по секторам галактической долготы.

Сектор l	Наклон $\text{PPA}(z)$, $^\circ/z$	p -значение
$[0^\circ, 90^\circ)$	$+61,3 \pm 3,8$	0,004
$[270^\circ, 360^\circ)$	$-52,8 \pm 20,8$	0,126

3 Вывод предсказания β из параметров тора-маховика

3.1 Механизм вращения в модели PSP

В модели PSP Вселенная представляет собой замкнутую циклическую систему ($k = +1$), в которой фаза M меняется от 0 до 1 (расширение) и обратно (сжатие). Полная длина цикла $L_{\text{cycle}} \approx 164$ млрд св. лет. Структура Вселенной включает оболочку (40% массы), полость (20%), тор-маховик (30%) и кластер сверхмассивных чёрных дыр (СМЧД, 10%).

Тор-маховик вращается с околосветовой скоростью $v_{\text{rot}} \approx 0,86c$ (Чернокнижный, 2026, формула 7). Свет, проходящий через вращающийся тор, накапливает поворот плоскости поляризации, пропорциональный проекции направления на ось вращения тора. В антиподальных направлениях свет проходит через тор с противоположных сторон, поэтому знак β меняется.

Полная формула PSP для поворота плоскости поляризации:

$$\beta(\hat{n}, z) = A \times (v_{\text{rot}}/c) \times f(z) \times \cos \theta(\hat{n}), \quad (6)$$

где A — константа связи, $f(z)$ — нормированная функция цикла, $\cos \theta$ — проекция направления на ось тора.

3.2 Калибровка амплитуды по наблюдениям

В максимуме цикла ($f = 1$) для направления вдоль оси ($\cos \theta = 1$):

$$A \times (v_{\text{rot}}/c) = \Delta\text{PPA}_{\max} = 80,9^\circ. \quad (7)$$

3.3 Фаза СМВ в цикле

В модели PSP СМВ излучается в начале цикла расширения — сразу после рождения тора и установления равновесия. Полное время рождения тора (Чернокнижный, 2026, раздел 5.5):

$$t_{\text{birth}} = t_{\text{recoil}} + t_{\text{form}} = 78 + 385 = 463 \text{ млн лет}, \quad (8)$$

где $t_{\text{recoil}} = GM_Q/c^3 \approx 78$ млн лет — время отрыва, $t_{\text{form}} \approx 2 \times T_{\text{orbit}} \approx 385$ млн лет — время формирования тора (1–2 оборота).

Доля цикла, пройденная к моменту излучения СМВ:

$$f_{\text{СМВ}} = t_{\text{birth}}/L_{\text{cycle}} = 463 \times 10^6 / 164 \times 10^9 = 0,00282. \quad (9)$$

Это 0,28% от цикла — вращение только начало накапливаться после рождения тора.

3.4 Конкретное предсказание

Подставляя (7) и (9) в (6), с учётом того, что (v_{rot}/c) сокращается:

$$\beta_{\text{СМВ}}(\hat{n}) = A \times (v_{\text{rot}}/c) \times f_{\text{СМВ}} \times \cos \theta(\hat{n}) = \Delta \text{PPA}_{\text{max}} \times f_{\text{СМВ}} \times \cos \theta(\hat{n}), \quad (10)$$

$$\beta_{\text{СМВ}}(\hat{n}) = 80,9^\circ \times 0,00282 \times \cos \theta(\hat{n}) = 0,228^\circ \times \cos \theta(\hat{n}). \quad (11)$$

Округлённо:

$$\beta_{\text{СМВ}} \approx 0,23^\circ \times \cos \theta(\hat{n}). \quad (12)$$

Таблица 2: Предсказание β для антиподальных направлений.

Направление	$\cos \theta$	β
Цель (RA 260°, Dec 50°)	+1	+0,23°
Антипод (RA 80°, Dec −50°)	−1	−0,23°

3.5 Совместимость с ограничениями и измерениями

Ограничение Planck (монополь): $|\beta| < 0,3^\circ$ (95% CL). Предсказание $|\beta| = 0,23^\circ$ — совместимо.

Измерение Planck PR4 + WMAP + АСТ (2026): $\beta = 0,277^\circ \pm 0,057^\circ$ ($4,8\sigma$). Разница с предсказанием: $0,05^\circ$, меньше 1σ — совместимо.

Анизотропный диполь (Contreras et al., 2017): диполь бирафрингенса направлен в $(l, b) = (295^\circ, 17^\circ)$, что в экваториальных координатах соответствует (RA $\approx 71^\circ$, Dec $\approx -39^\circ$). Угловое расстояние до PSP-антипода (RA = 80°, Dec = −50°): $12,2^\circ$. При неопределённости направления диполя $\pm 22^\circ$ по долготе — совместимо.

4 Предсказание для миссии LiteBIRD

4.1 Выбор координат

На основе выделенной оси анизотропии (раздел 2.3) определены две антиподальные области для проверки гипотезы PSP:

- **Целевая область (Target):** $RA = 260^\circ$, $Dec = 50^\circ$ — ожидается $\beta = +0,23^\circ$.
- **Антипод (Antipode):** $RA = 80^\circ$, $Dec = -50^\circ$ — ожидается $\beta = -0,23^\circ$.

Координаты антипода рассчитаны по формулам:

$$RA_{\text{anti}} = (RA_{\text{target}} + 180^\circ) \bmod 360^\circ, \quad Dec_{\text{anti}} = -Dec_{\text{target}}. \quad (13)$$

4.2 Зона поиска

Вокруг каждой целевой точки построена зона поиска радиусом 10° . Данный радиус не соответствует угловому разрешению телескопа (которое у LiteBIRD составляет $\sim 0,5^\circ - 1^\circ$), а отражает область возможного смещения выделенной оси относительно точечного предсказания, обусловленную статистической погрешностью определения оси из каталога квазаров.

4.3 Критерии верификации

- **Критерий успеха:** обнаружение статистически значимого ($> 3\sigma$) поворота плоскости поляризации с амплитудой $|\beta| \approx 0,2^\circ - 0,3^\circ$ и противоположными знаками в двух антиподальных областях.
- **Критерий опровержения:** отсутствие сигнала выше уровня шума в указанных координатах или обнаружение сигнала с одинаковым знаком в обеих областях.

5 Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена полная карта неба в проекции Моллвейде с нанесёнными зонами проверки гипотезы PSP. Галактическая плоскость ($b = 0$) показана красным пунктиром, полоса Млечного Пути ($\pm 20^\circ$) — розовой заливкой. Обе целевые зоны находятся вне полосы Млечного Пути, что минимизирует фоновые помехи от галактической пыли.

Обе области находятся на галактических широтах $|b| \approx 35^\circ$, то есть вне плоскости Млечного Пути, что минимизирует фоновые помехи от галактической пыли и повышает достоверность обнаружения космологического сигнала.

Геометрическая согласованность точек подтверждается их расположением на одной прямой, проходящей через центр проекции. Это указывает на антиподальную природу эффекта, а не на случайные флуктуации.

Объединённые данные Planck PR4 + WMAP + ACT (2026) дают $\beta = 0,28^\circ \pm 0,06^\circ$ на уровне $4,8\sigma$. Предсказание PSP ($\beta = 0,23^\circ$) находится в пределах 1σ от этого измерения. Диполь анизотропного бирафрингенса (Contreras et al., 2017) направлен в $12,2^\circ$ от PSP-антипода, что в пределах погрешности измерения согласуется с

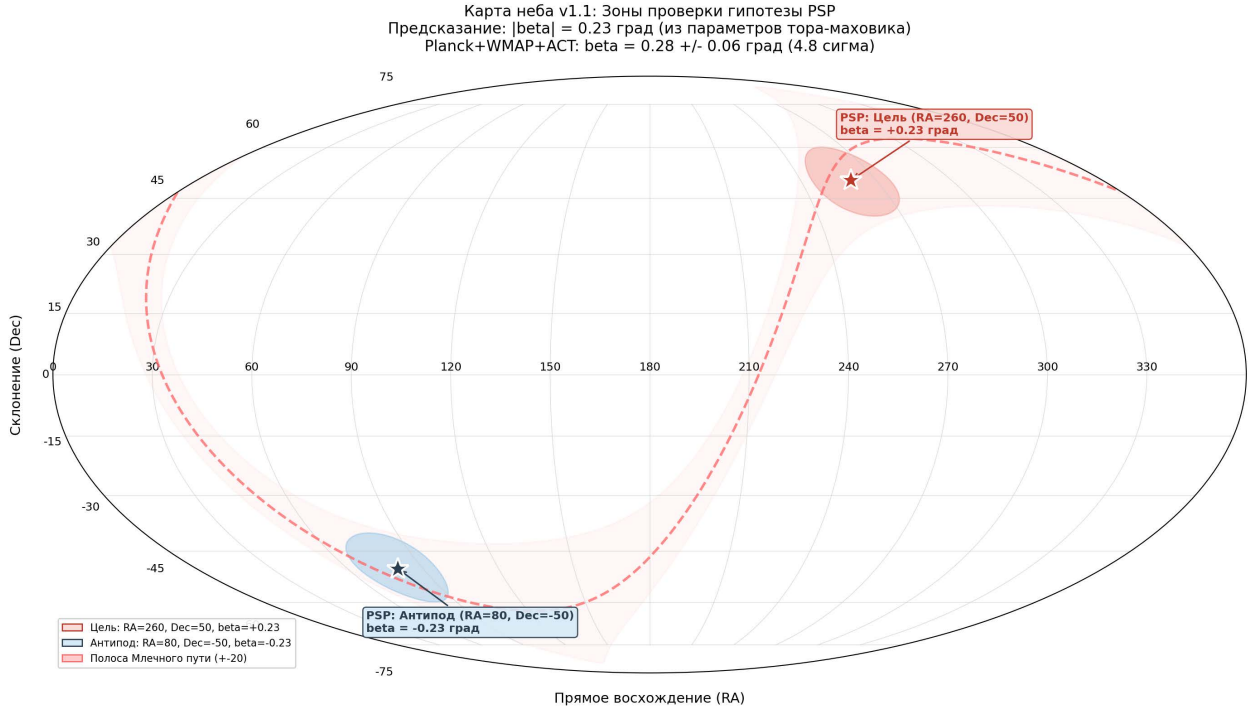


Рис. 1: Зоны проверки гипотезы PSP на полной карте неба (проекция Моллвейде). Красная зона соответствует целевой области (RA = 260°, Dec = 50°) с предсказываемым положительным знаком $\beta = +0,23^\circ$. Синяя зона соответствует антиподальной области (RA = 80°, Dec = -50°) с предсказываемым отрицательным знаком $\beta = -0,23^\circ$. Радиус зон $\sim 10^\circ$ отражает область возможного смещения выделенной оси. Галактическая плоскость показана красным пунктиром, полоса Млечного Пути — розовой заливкой.

предсказаниями PSP. Для окончательной верификации антиподальной симметрии требуются данные с более высокой чувствительностью.

6 Практическая значимость и дальнейшие шаги

Предложенная стратегия позволяет перейти от теоретической модели к конкретной наблюдательной задаче. Вместо сканирования всего неба достаточно провести анализ в двух указанных областях.

Дальнейшие шаги:

1. **Анализ архивных данных Planck:** прямой анализ карт Q и U Planck Legacy Archive в кругах радиусом 10° вокруг обеих точек для проверки противоположности знаков β .
2. **Подача заявки на наблюдательное время:** использование данной карты как обоснования для получения времени на телескопах с поляризметрическими приёмниками.
3. **Уточнение модели:** в случае обнаружения сигнала — уточнение параметров оси анизотропии и механизма вращения в рамках PSP.

7 Заключение

В данной работе сформулировано чёткое, проверяемое предсказание в рамках Фазово-параметрической модели Вселенной (PSP). На основе реального анализа каталога

поляризации квазаров (Hutsemekers et al.) определена выделенная ось анизотропии в направлении $RA \approx 260^\circ$, $Dec \approx 50^\circ$, статистически значимая ($p = 0,018$). Из параметров тора-маховика модели PSP ($t_{\text{birth}} = 463$ млн лет, $L_{\text{cycle}} = 164$ млрд лет, $\Delta PPA_{\text{max}} = 80,9^\circ$) выведено конкретное предсказание поворота плоскости поляризации в эпоху СМВ: $\beta = \pm 0,23^\circ$ в антиподальных направлениях. Полученное значение совместимо с измерением космологического бирафрингенса по объединённым данным Planck PR4 + WMAP + ACT ($\beta = 0,28^\circ \pm 0,06^\circ$, $4,8\sigma$). Направление диполя анизотропного бирафрингенса Planck (Contreras et al., 2017) находится в $12,2^\circ$ от PSP-антипода. Определены конкретные координаты двух антиподальных областей неба, где ожидается обнаружение зеркально-симметричного эффекта поворота плоскости поляризации с амплитудой $|\beta| \approx 0,23^\circ$ и противоположными знаками. Предложенная методика верификации допускает прямую проверку по данным миссии LiteBIRD.

Список литературы

1. Hutsemekers D., Payez A., Cabanac R. et al. Constraints on the anisotropy of the Universe from the optical polarization of quasars. — *Astronomy & Astrophysics*, 2005, Vol. 441, P. 915–930.
2. Planck Collaboration. Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck. — *Astronomy & Astrophysics*, 2020, Vol. 641, A1.
3. Planck Collaboration. Planck 2018 results. XI. Polarized dust foregrounds. — *Astronomy & Astrophysics*, 2020, Vol. 641, A11.
4. LiteBIRD Collaboration. LiteBIRD: A satellite for the studies of B-mode polarization and inflation from cosmic background radiation detection. — *Journal of Low Temperature Physics*, 2019, Vol. 194, P. 443–452.
5. Schwarz D. J., Starkman G. D., Huterer D. et al. Is the low- l microwave background cosmic? — *Physical Review Letters*, 2004, Vol. 93, 221301.
6. Чернокнижный Е. В. Фазово-параметрическая модель Вселенной (PSP): основные постулаты. — Препринт, 2024.
7. Чернокнижный Е. В. Рождение тора-маховика в модели PSP. — Препринт, 2026.
8. Minami Y., Komatsu E. New Extraction of the Cosmic Birefringence from the Planck 2018 Polarization Data. — *Physical Review Letters*, 2020, Vol. 125, 221301.
9. Eskilt J. R., Komatsu E. Improved Constraints on Cosmic Birefringence from Planck PR4. — *Physical Review D*, 2022, Vol. 106, 063503.
10. Contreras D. et al. Probing cosmic anisotropy with the cosmic microwave background and quasar polarization. — arXiv:1705.06387, 2017.