

Поиск вращений позиционного угла электрического вектора поляризации блазаров

Шишкина Е. В.^{1,*}, Морозова Д. А.¹, Новикова П. А.¹, Савченко С. С.^{1,2,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

³ Специальная астрофизическая обсерватория РАН

* e-mail: e.v.shishkina99@yandex.ru

Исследование поддержано грантом РФФИ № 23-22-00121, <https://rscf.ru/project/23-22-00121>

Введение

Отличительными чертами блазаров в оптическом диапазоне являются сильная переменность плотности потока, а также высокая и переменная поляризация. Фотополариметрические наблюдения блазаров показали, что в некоторые моменты времени позиционный угол плоскости поляризации (EVPA) исходящего от них излучения демонстрирует плавные упорядоченные изменения, называемые вращением. Иногда такие события могут происходить цепочками и совпадать с проявлениями активности блазаров в других диапазонах спектра. Поскольку направление EVPA связано с магнитным полем, детальное исследование его вращений позволит получить информацию о тонкой структуре джета блазара. Мы проанализировали оптические кривые степени и угла поляризации для 31 объекта, входящего в программу мониторинга лаборатории наблюдательной астрофизики СПбГУ*, и получили выборку из более 600 вращений EVPA. Вращения обнаружены во всех типах блазаров, а пять источников демонстрируют доминирующее направление вращений.

Данные

В работе использовались оптические фотополариметрические данные, полученные на следующих телескопах: LX-200 (40-см, СПбГУ, г. Петергоф), АЗТ-8 (70-см, Крымская астрофизическая обсерватория, п. Научный), Perkins (1.83-м, Лоуэлловская обсерватория, г. Флагстаф, Аризона, США) и Kiper & Bok (Обсерватория Стюарда, Тусон, Аризона, США). Также для блазара OJ 287 использовались данные из работы [1]. Наблюдения на всех телескопах проводились в полосе R с $\lambda_{\text{eff}} = 635$ нм, за исключением наблюдений на телескопе LX-200 в 2005-2010 гг., которые были получены в белом свете с $\lambda_{\text{eff}} = 650$ нм, а начиная с осени 2018 года также стали проводиться в фильтре R.

На Рис. 1 представлены зависимости степени и угла поляризации от времени для блазара СТА 102.

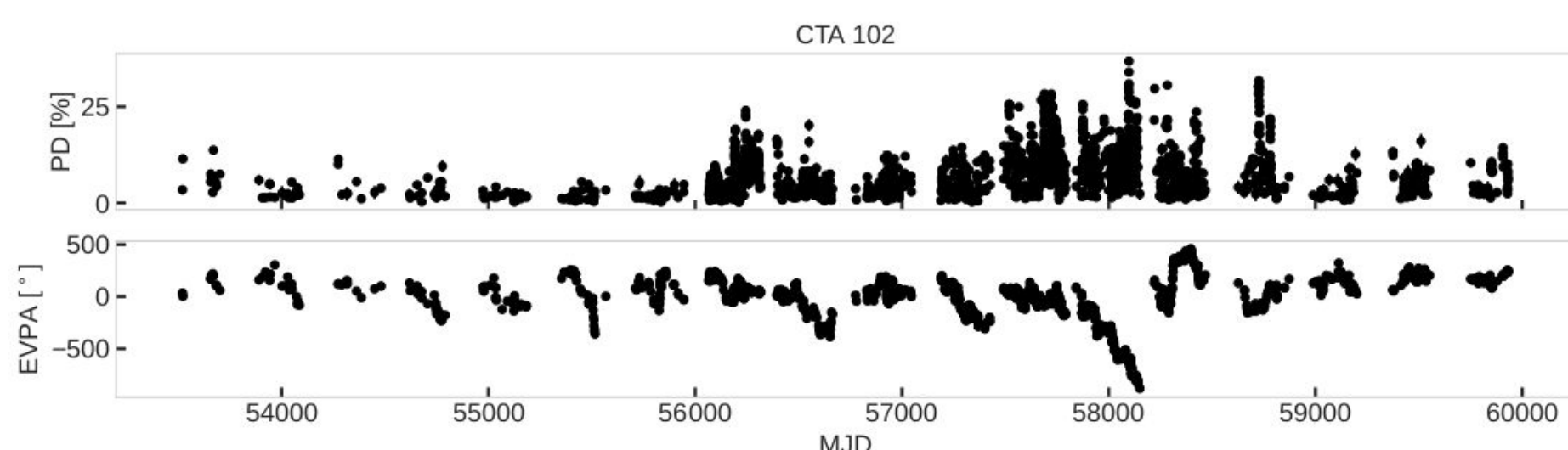


Рис. 1. Используемые в работе наблюдательные данные: зависимости степени и угла поляризации от времени для СТА 102. Из-за большого диапазона позиционных углов бары ошибок для них меньше размера значков.

Метод

Подробное описание метода, а также результаты его применения к блазарам 3C 454.3, СТА 102 и OT 081 приведены в статье [2]. Метод основан на двух статистических критериях: биномиальном критерии и критерии на основе Т-теста, и применяется к кривой EVPA после разрешения $\pm\pi$ неоднозначности и сглаживания на основе байесовских блоков.

- Если на каком-то участке кривой EVPA наблюдается доминирующее направление изменения позиционного угла поляризации, односторонний биномиальный тест позволяет оценить вероятность того, что такое поведение возникло случайно.
- Критерий на основе Т-теста Стьюдента позволяет оценить значимость отличия средней скорости вращения от нуля, тем самым проверяя требование о равномерности поворота EVPA.

Таким образом, мы определяем вращение как участок кривой EVPA, на котором оба значения статистики < 0.05 , что свидетельствует об уровне значимости 95%. Основные преимущества нового метода относительно предыдущих подходов (например, [3], [4]) состоят в снятии ограничений на минимальную амплитуду вращения и отказе от требования строгой монотонности.

Литература

- [1] C. Villforth et al. 2010 "Variability and stability in blazar jets on time-scales of years: optical polarization monitoring of OJ 287 in 2005-2009". MNRAS 402 (3), 2087.
 - [2] С. С. Савченко и соавт. 2024 "О методе поиска вращений позиционного угла поляризации квазаров". Астрофизический Бюллетень, том 79, № 2, с. 189-206.
 - [3] D. Blinov and V. Pavlidou 2019 "The RoboPol Program: Optical Polarimetric Monitoring of Blazars". Galaxies, 7(2), 46.
 - [4] S. Kiehlmann et al. 2016 "Polarization angle swings in blazars: the case of 3C 279". A&A, 590, A10.
 - [5] A. P. Marscher, S.G. Jorstad, et al. 2008 "The inner jet of an active galactic nucleus as revealed by a radio-to-gamma-ray outburst". Nature 452 (7190), 966.
 - [6] E. V. Shishkina et al. 2024 "Discovery of the preferred direction of EVPA rotations in blazars", submitted to A&AL
- * <https://vo.astro.spbu.ru/>

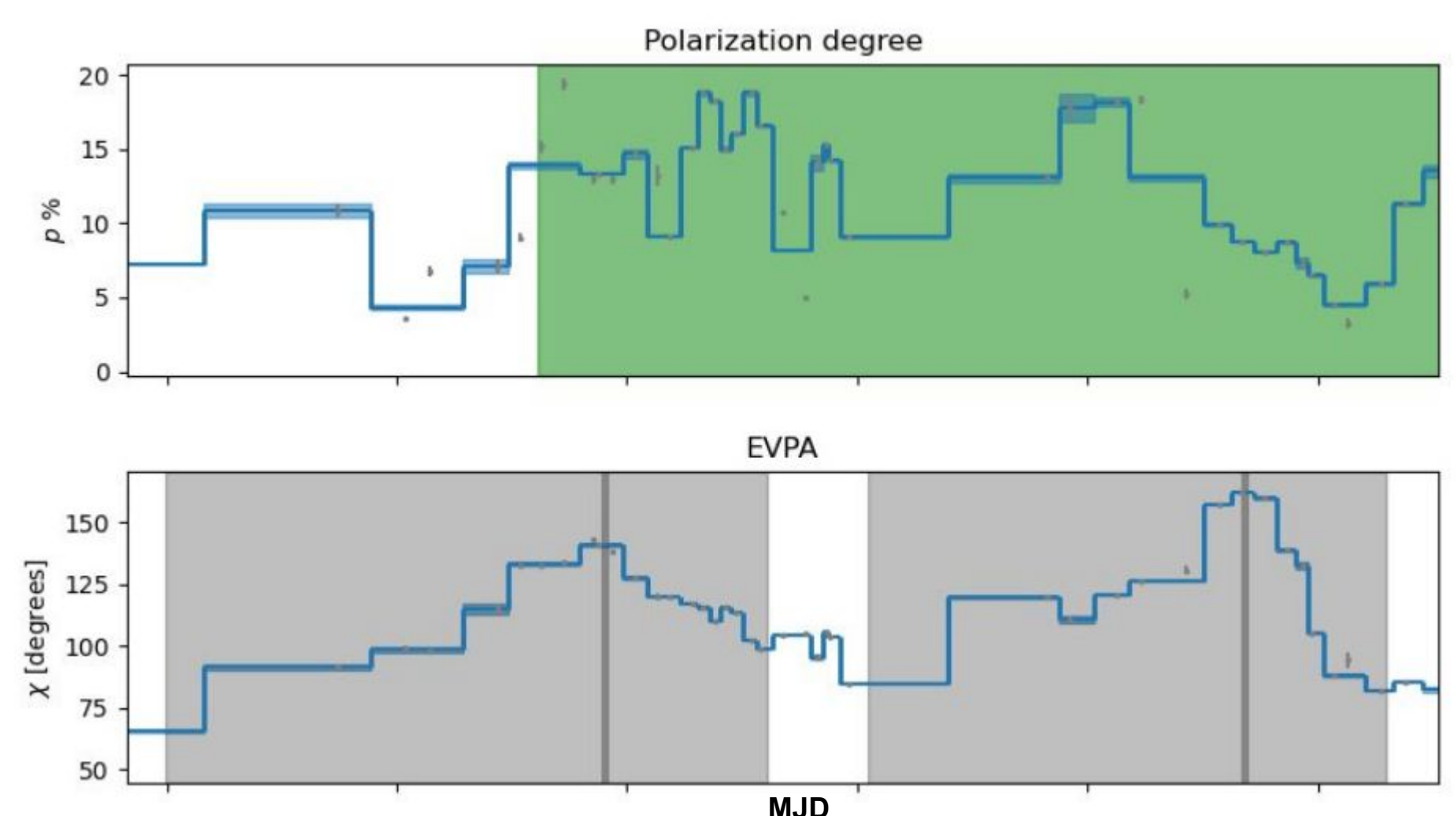


Рис. 2. зависимости степени и угла поляризации от времени для OJ 287 в промежутке с MJD 57080 по MJD 57130. Видно, что на этом участке имеет место кратное вращение (четыре последовательных вращения выделены серым), сопровождающееся выбросом яркой радиокомпоненты (зеленая область на верхней панели графика).

Обсуждение результатов

- Вращения EVPA присутствуют в каждом объекте выборки. 18 источников показывают значительное количество вращений (более 10).
- Общее количество выделенных вращений: 683. На данный момент это самая объемная выборка вращений из опубликованных в литературе.
- В одном и том же объекте вращения могут происходить в разные стороны, а также с различными скоростями.
- 5 блазаров (OJ 287, S5 0716+71, 3C 454.3, СТА 102 и PG 1553+113) демонстрируют статистически значимое доминирующее направление вращений (p -value < 0.05) [5].
- В 18 объектах обнаружены кратные вращения (эпизоды последовательных вращений в противоположные стороны с примерно равными скоростями и амплитудами).
- Вращения обнаружены во всех типах блазаров (BL Lac/FSRQ и HSP/ISP/LSP).
- Значительную долю составляют вращения с малыми амплитудами (до 90°). При этом ранее в литературе такие вращения не учитывались из-за ограничения на минимальную амплитуду вращения.
- Вращения могут генерироваться как детерминированными, так и стохастическими механизмами. При этом нельзя исключать влияние геометрических эффектов.
- Присутствие вращений вектора поляризации может объясняться спиральной структурой магнитного поля в джете (например, модель ударной волны, бегущей по джету [6]). В таком случае, наблюдаемое доминирующее направление вращений отражает глобальную структуру магнитного поля, которая связана с направлением вращения черной дыры или аккреционного диска.
- Существование вращений, направленных в противоположную сторону от доминирующего направления, может говорить об одновременном действии механизма случайного блуждания вектора поляризации в результате турбулентных движений в джете.