

Блазары с доминирующим направлением вращений позиционного угла поляризации

Шишкина Е. В.^{1,*}, Морозова Д. 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

Введение

Блазары - подкласс активных ядер галактик, джеты которых направлены практически на наблюдателя. Они излучают во всем спектральном диапазоне от радио до сверхвысоких энергий. В оптическом диапазоне для блазаров характерна сильная переменность плотности потока, а также высокая и переменная поляризация. Наблюдения блазаров показали, что в некоторые моменты времени позиционный угол плоскости поляризации (EVPA) приходящего от них излучения демонстрирует плавные упорядоченные изменения, называемые вращением. Иногда такие события могут 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 обнаружили, что пять источников (OJ 287, S5 0716+71, 3C 454.3, CTA 102, PG 1553+113) демонстрируют доминирующее направление вращений. Такой эффект можно объяснить спиральным магнитным полем в джете, в таком случае доминирующее направление вращений может отражать глобальную структуру магнитного поля, связанную с направлением вращения эргосферы центральной черной дыры или аккреционного диска.

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 Kuper & 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 CTA 102.

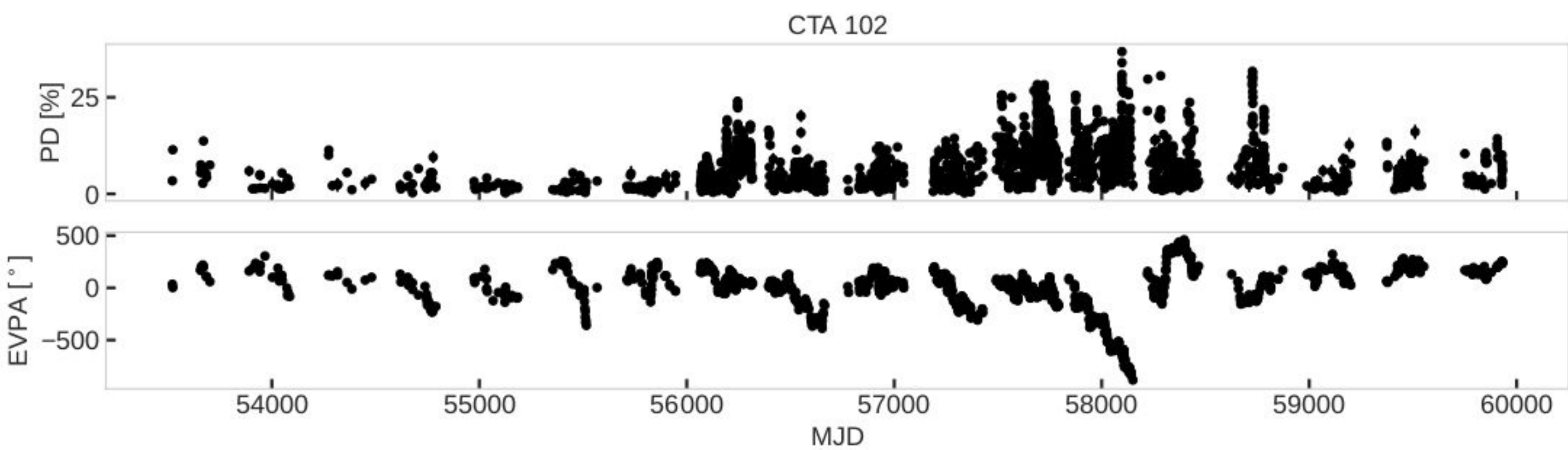


Рис. 1. Используемые в работе наблюдательные данные: зависимости степени и угла поляризации от времени для CTA 102. Из-за большого диапазона позиционных углов бары ошибок для них меньше размера значков.

Метод

Подробное описание метода, а также результаты его применения к блазарам 3C 454.3, CTA 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 Стюдента 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", Astronomy & Astrophysics, Volume 691, L18
* <https://vo.astro.spbu.ru/>

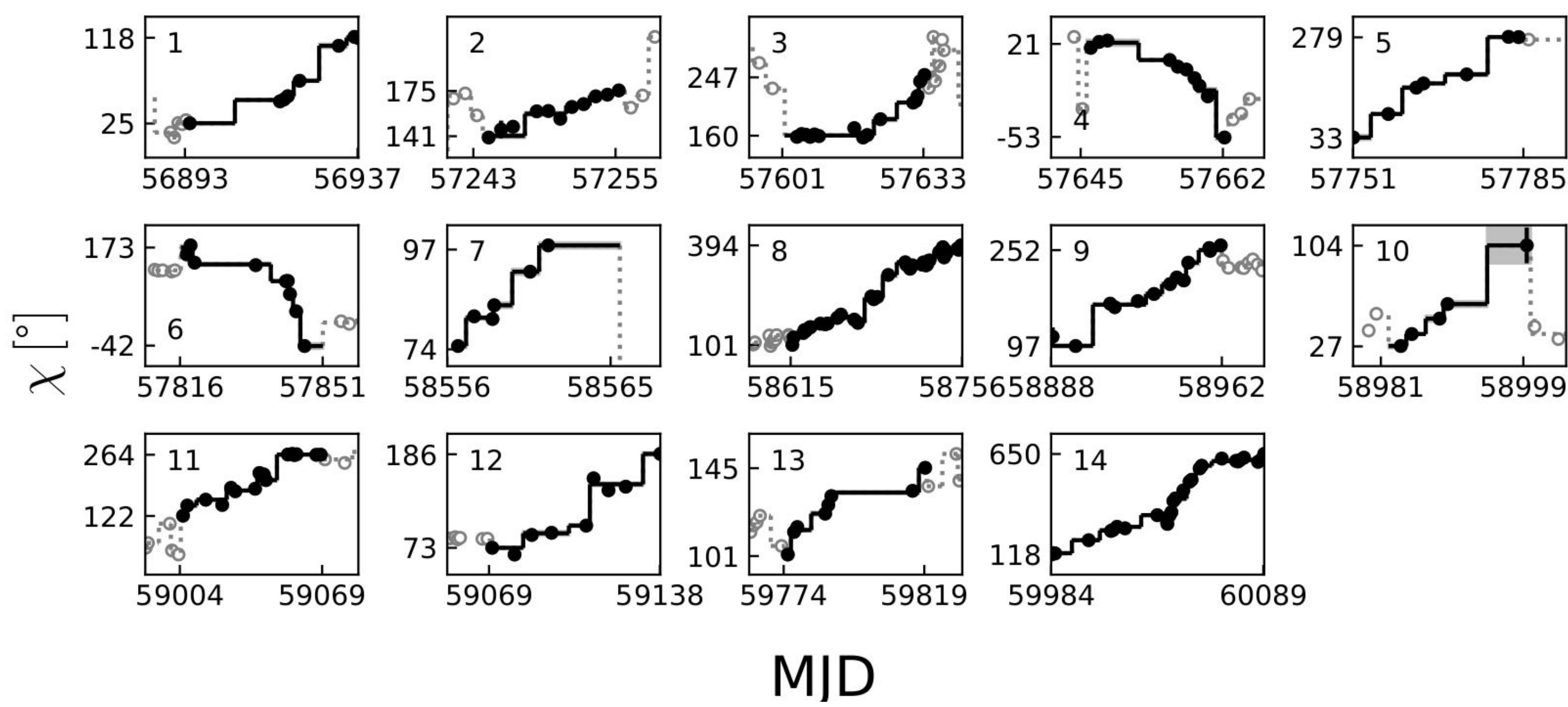


Рис. 2. Вращения EVPA, выделенные в блазаре PG 1553+113.

Результаты

Объект	Тип	SED peak classification	Кол-во вращений		σ
OJ 287	BL Lac	LSP	84	30 ♂	2.75
				54 ♀	
S5 0716+71	BL Lac	ISP	77	47 ♂	2.12
				30 ♀	
3C 454.3	FSRQ, HPQ	LSP	50	33 ♂	2.41
				17 ♀	
CTA 102	FSRQ, HPQ	LSP	31	9 ♂	2.43
				22 ♀	
PG 1553+113	BL Lac	HSP	14	12 ♂	2.75
				2 ♀	

- Получена наиболее объемная выборка вращений из опубликованных в литературе (всего 256 вращений).
- Рассматриваемые блазары демонстрируют доминирующее направление вращений ($\sigma \sim 2-3$, [6]).
- Исследование параметров вращений (амплитуды, длительности, средней скорости и средней степени поляризации) в различных направлениях не позволило выявить значимых различий, за исключением CTA 102, в котором вращения в доминирующем направлении оказались в среднем в 2 раза медленнее ($\sigma = 2.85$). Не исключено влияние наблюдательных эффектов (пропуски в наблюдениях не всегда позволяют видеть вращение целиком).
- Значительную долю составляют вращения с амплитудами до 90°. Ранее в литературе такие вращения не учитывались, что приводило к снижению средней степени поляризации во время вращений.
- Наличие вращений EVPA может объясняться спиральной структурой магнитного поля в джете (например, модель ударной волны, бегущей по джету[5]). 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.