



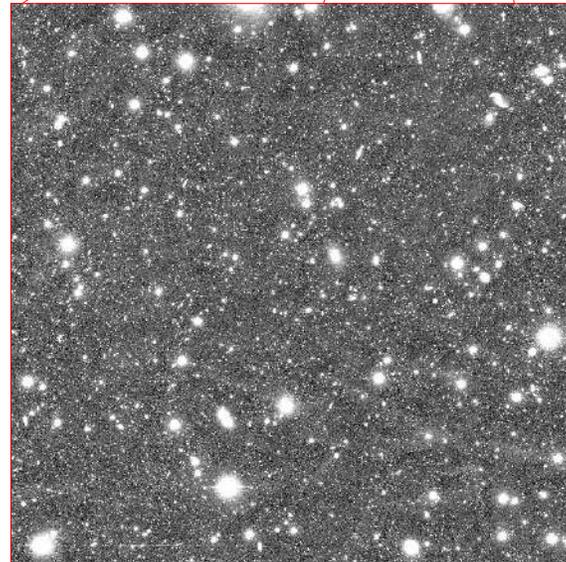
Санкт-Петербургский  
государственный университет

# Поляризационные наблюдения галактик с активными ядрами

Савченко Сергей Сергеевич  
ведущий научный сотрудник,  
заведующий лабораторией  
наблюдательной астрофизики СПбГУ

24.06.2024

# Введение: нормальные галактики

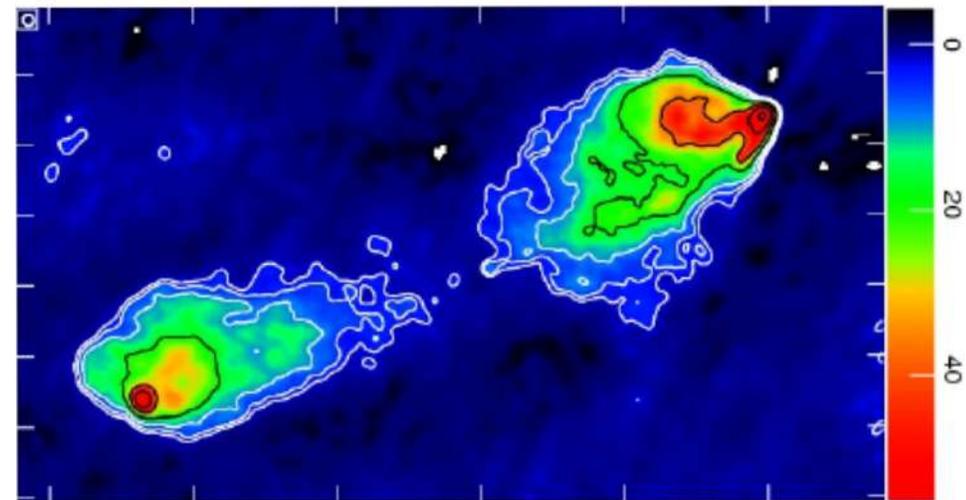
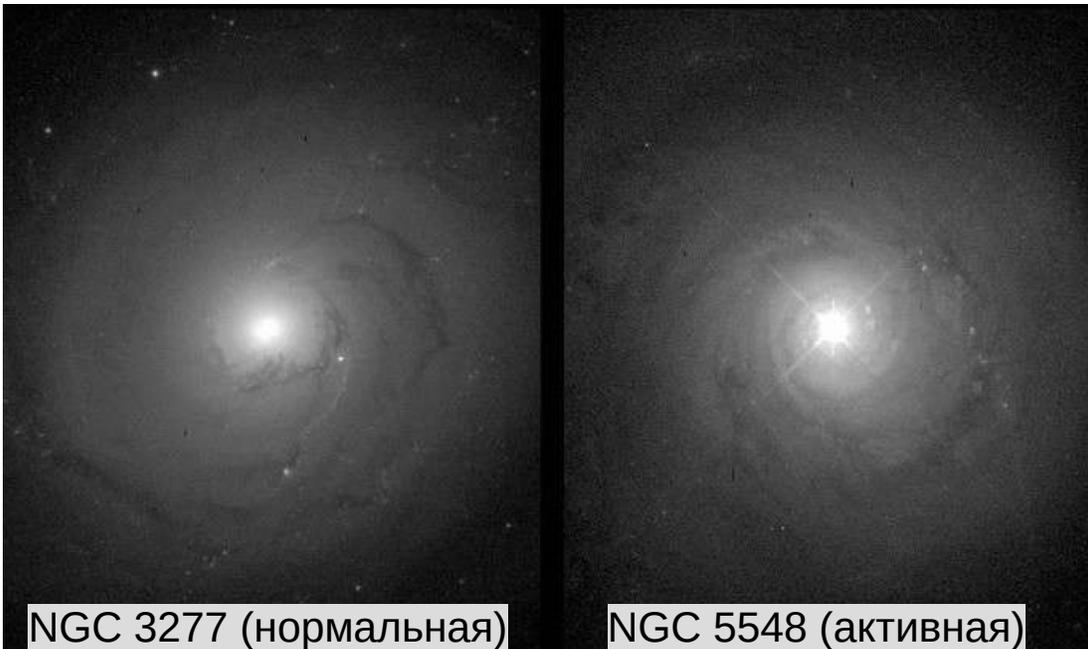
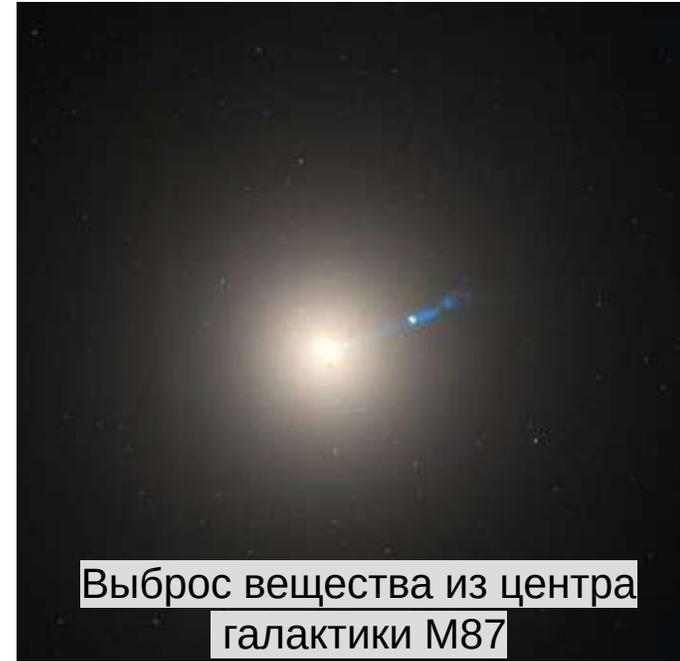


- Нормальные галактики – гигантские звездные системы
- Содержат миллиарды звезд
- Светятся практически исключительно за счет света звезд

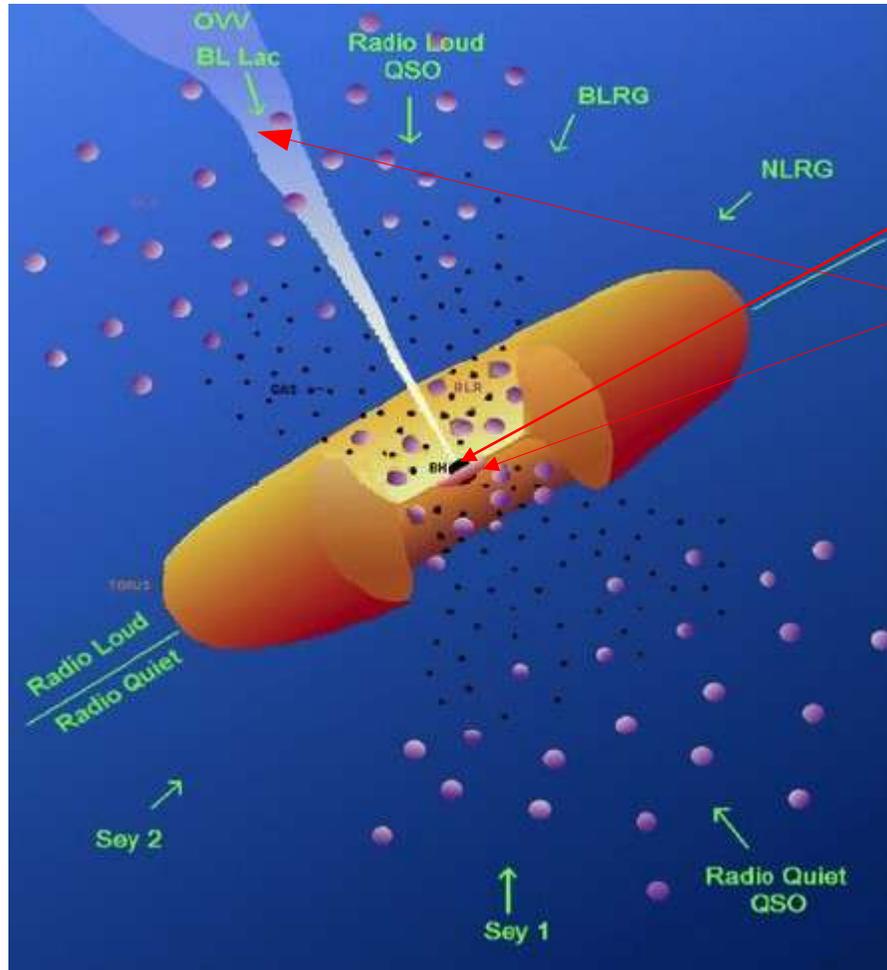
# Введение: галактики с активными ядрами

Небольшая галактик обладает особыми свойствами:

- Большая часть излучения происходит из центральных областей галактики
- Огромная светимость (в сотни и тысячи раз ярче обычных галактик)
- Это не может быть светом звезд
- Может происходить выброс вещества
- Сильная переменность светимости:
  - по мощности: от нескольких процентов до сотен раз
  - по времени: от часов (и даже минут) до лет



# Унифицированная схема



Urry & Padovani 1995

Унифицированная схема объединила разнообразные наблюдаемые феномены в одном механизме

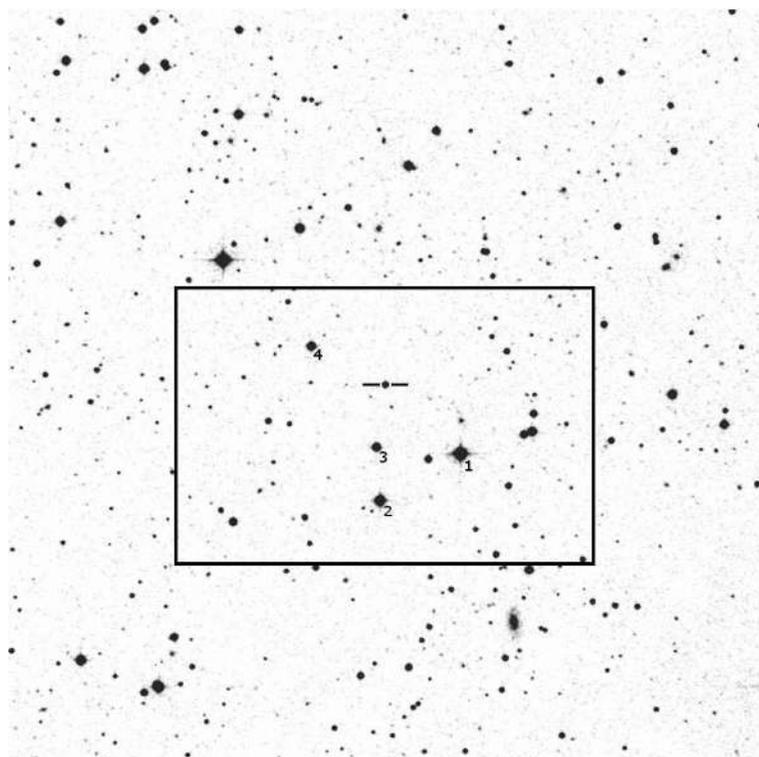
- В центре – сверхмассивная черная дыра
- На ЧД выпадает вещество из окружающего пространства
- Выброс вещества с околосветовой скоростью (джет)
- Система окружена непрозрачным кольцом (тором) из космической пыли



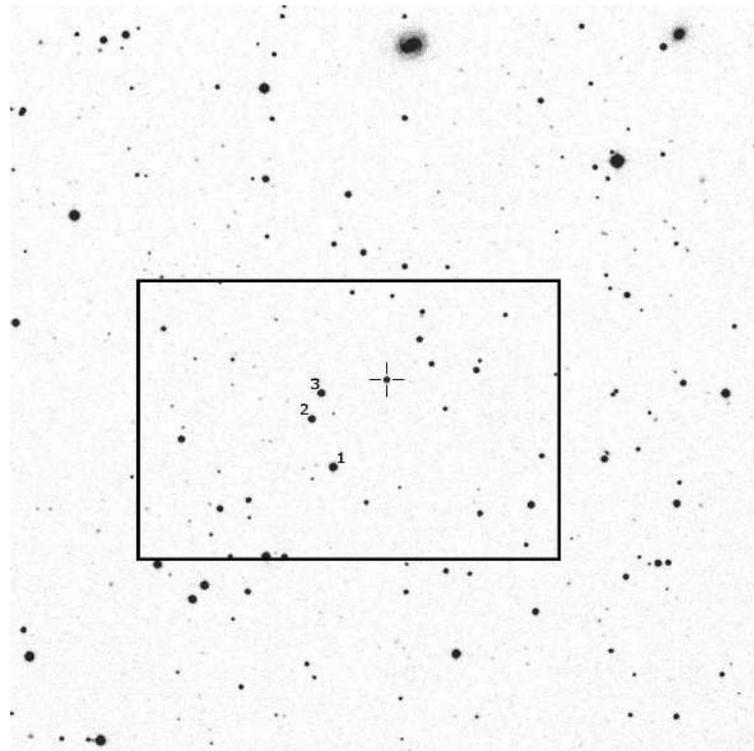
Художественное представление (littleastronomy.com)

# Наблюдения блазаров

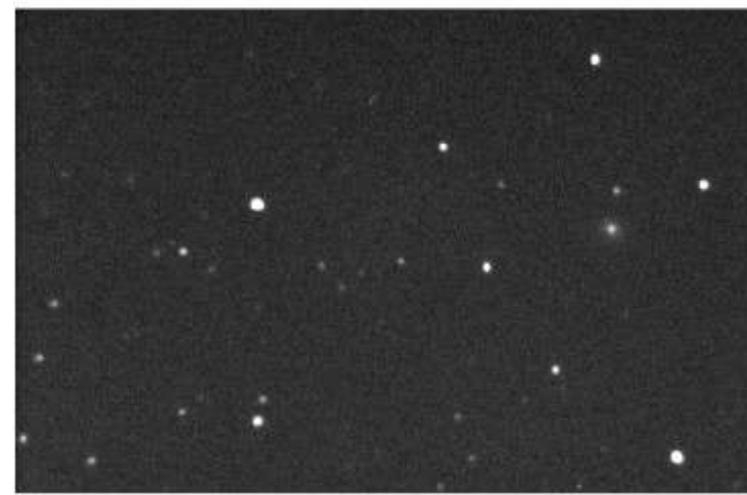
Основная трудность наблюдений: большая удаленность объектов, из-за чего невозможно получить детальное изображение их внутренних областей



S5 0716



OJ 287

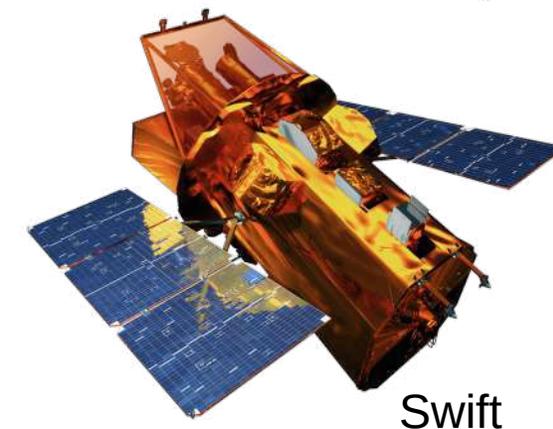


CTA 102

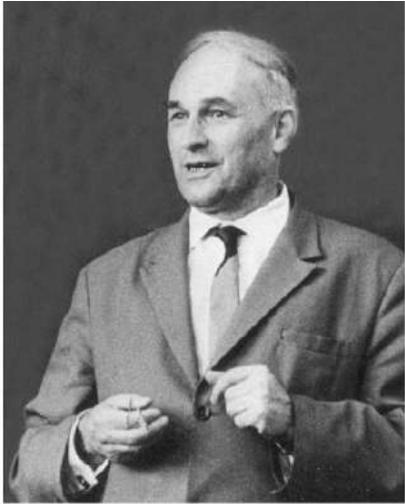
# Наблюдения блазаров

Напрямую заглянуть во внутренние области блазаров нельзя, но это не значит, что ничего нельзя сделать. Нам доступны:

- Измерения светимости в различных диапазонах спектра
  - Радиоволны
  - Инфракрасный диапазон
  - Оптические наблюдения
  - Ультрафиолетовый диапазон
  - Рентгеновский диапазон
  - Гамма-лучи
  - Сверхвысокие энергии (Черенковские телескопы)
- Поляризационные наблюдения
- Зависимость всего вышеперечисленного от времени
- Наблюдения нейтрино



# Наблюдения блазаров: наш вклад



Домбровский В.А. (1913-1972)



Шулов О.С. (1935-2006)



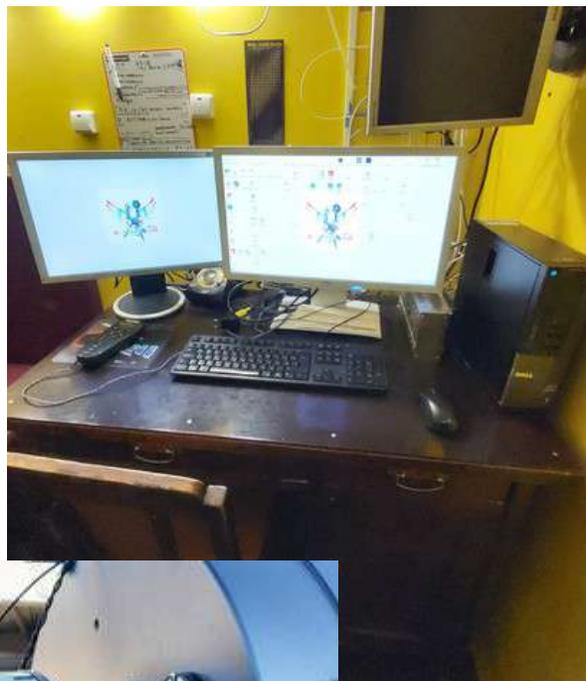
Ларионов В.М. (1950-2020)



# Наблюдения блазаров: наш вклад



LX-200  
(Петергоф)

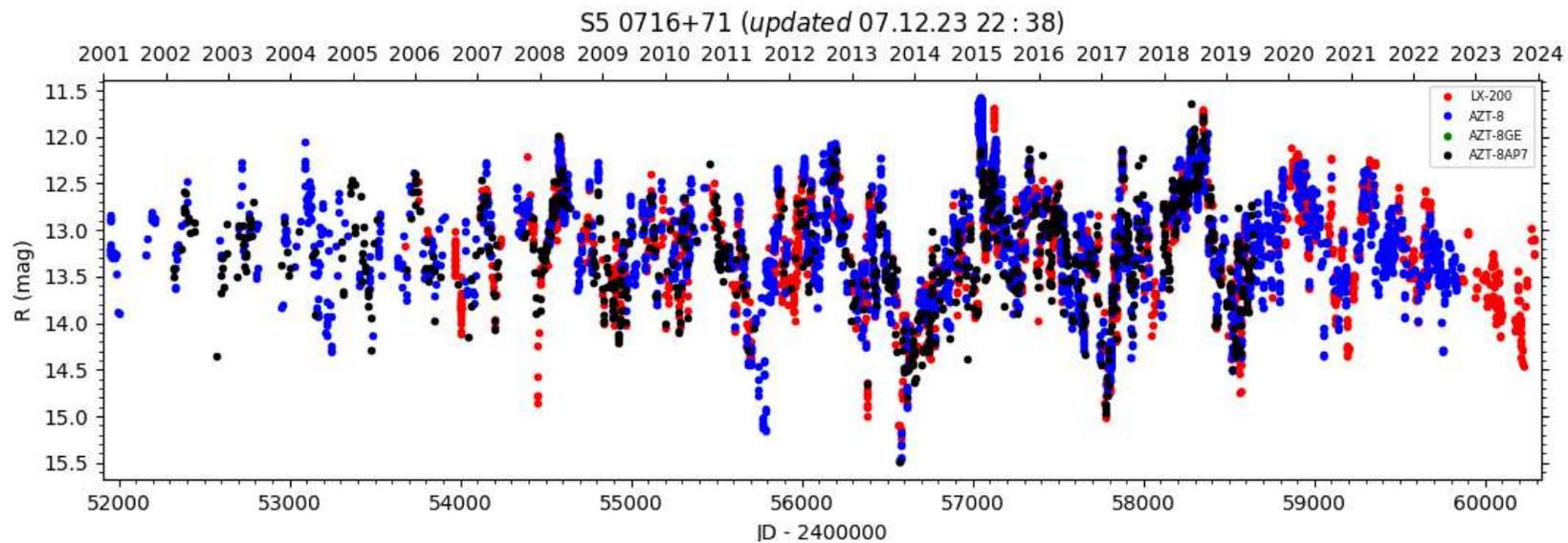
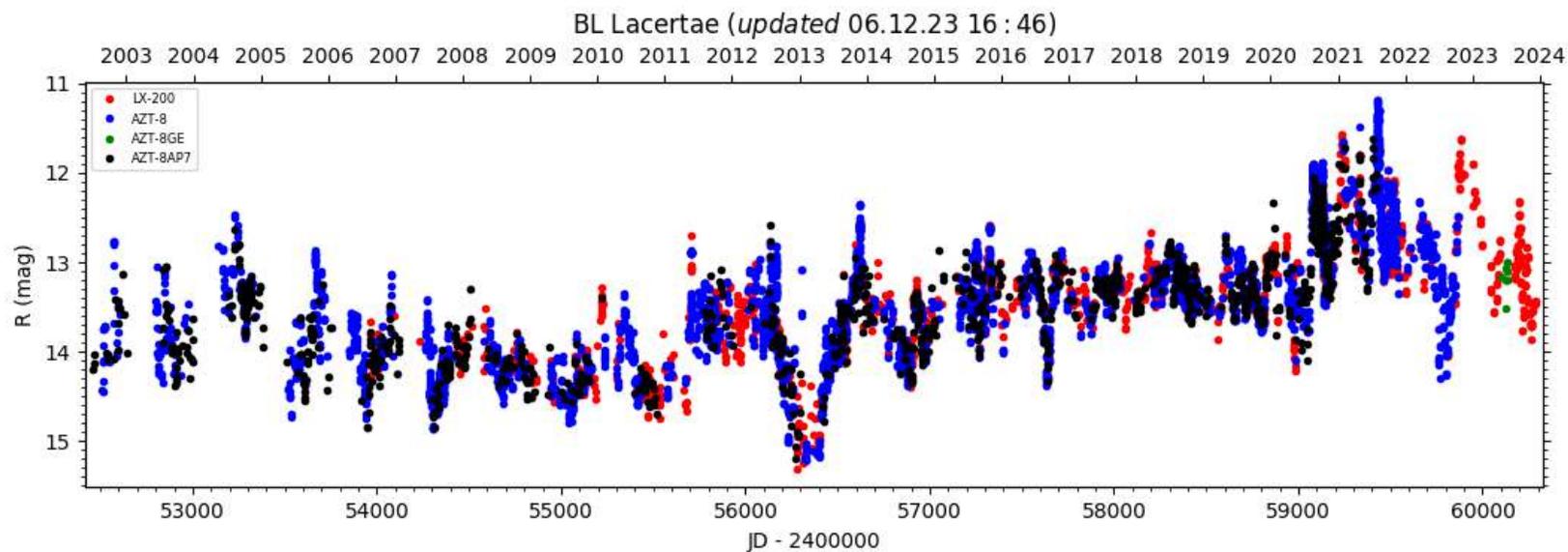


АЗТ-8 (пгт. Научный, Крым)



# Наблюдения блазаров: наш вклад

Примеры  
наблюдательных рядов,  
полученных группой  
СПбГУ



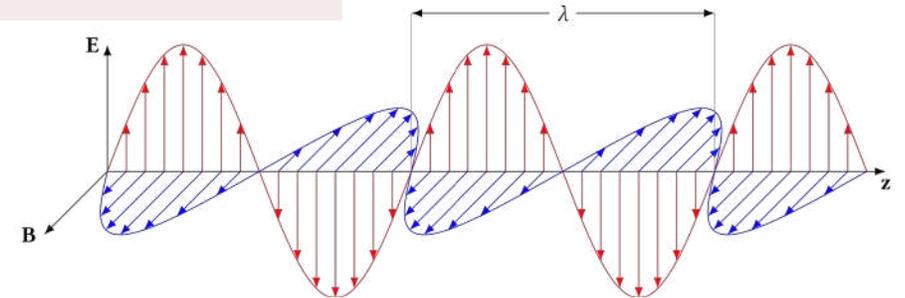
# Наш вклад: поляриметрия

Наши телескопы оборудованы поляриметрами – приборами, способными измерять поляризацию света

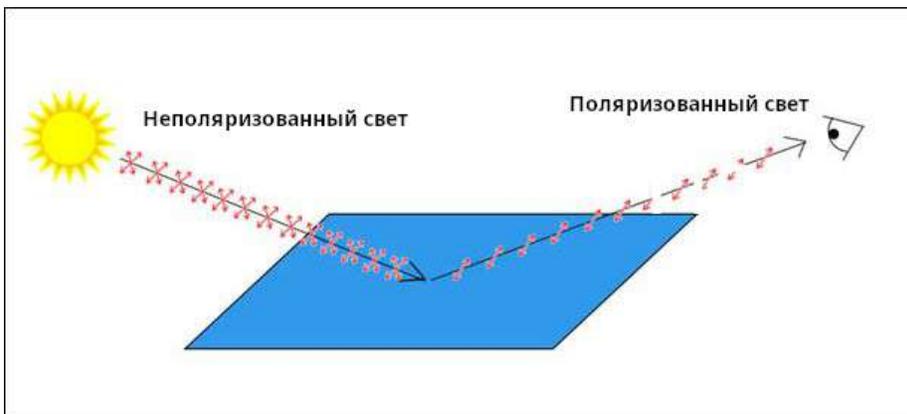
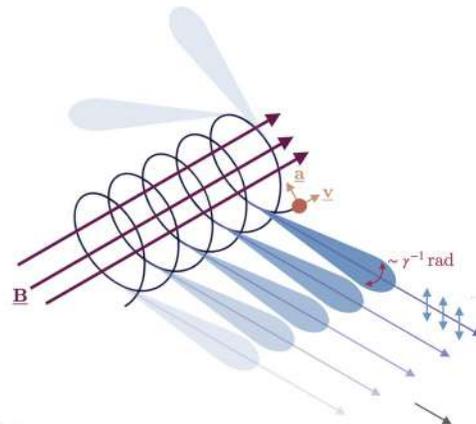
Два измеримых параметра: степень поляризации и ее угол

Естественный свет в природе, как правило, не поляризован, но поляризация может возникать при некоторых условиях:

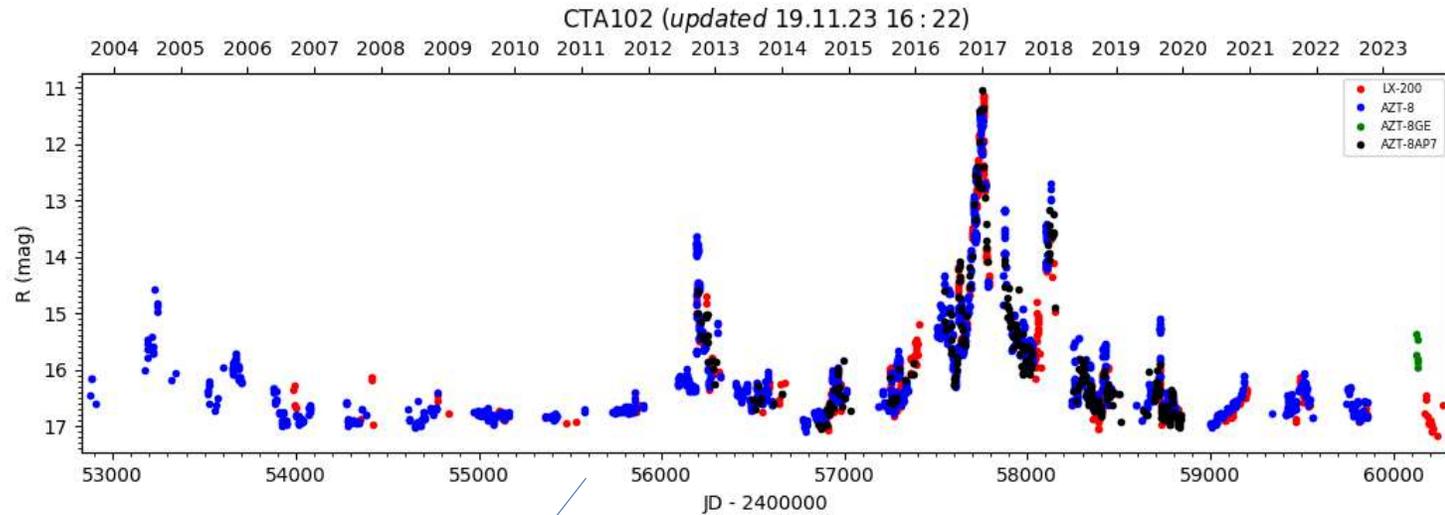
- отражение от поверхности
- рассеяние мелкими ориентированными частицами (пылью)
- особые условия излучения света



Основная идея поляризационных наблюдений: структура магнитного поля в объекте должна отражаться в поляризации наблюдаемого света → можно исследовать внутреннюю структуру объекта  
Грубо говоря – **направление поляризации отражает направление магнитного поля**

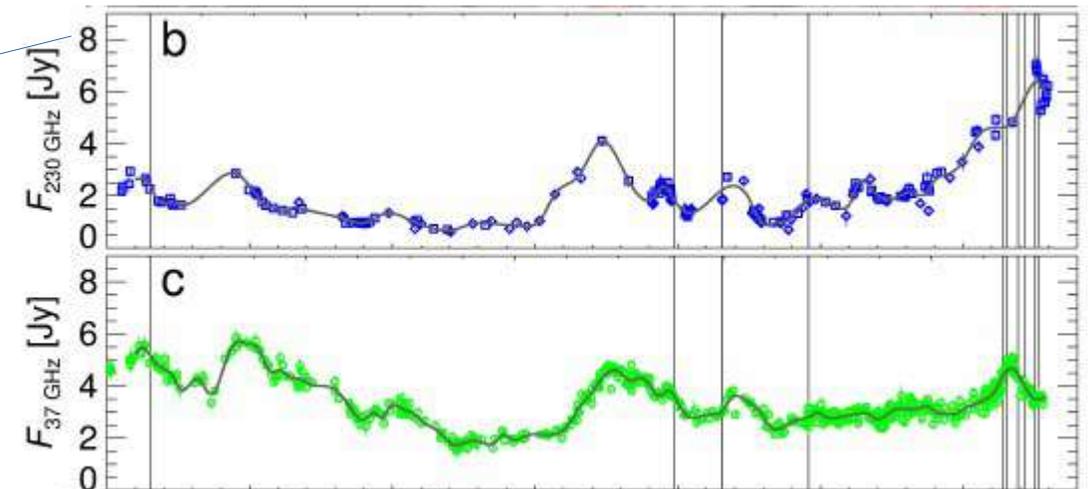
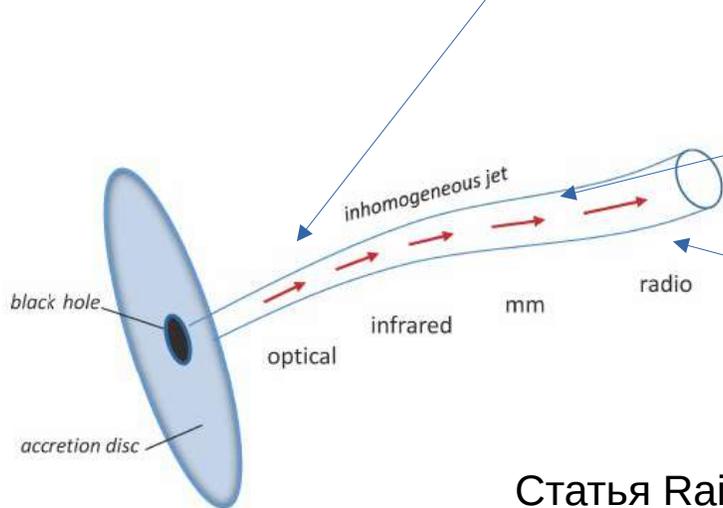


# Наблюдения блазаров: наш вклад



Наши наблюдения в оптике

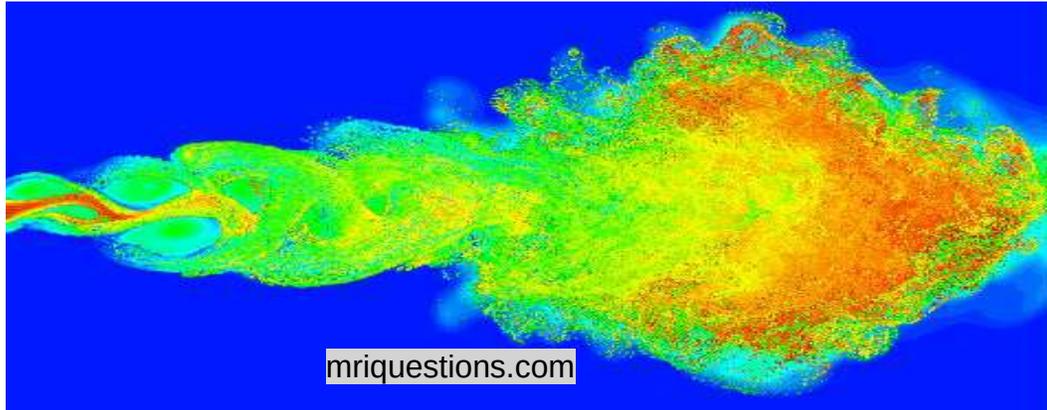
Наблюдения других групп на других инструментах



Статья Raiteri, ..., Grishina, Koratskaya, Larionov, Larionova, Larionova, Morozova, Savchenko, Troitskaya, Troitsky, Vasilyev, et al., **Nature**, 552, 7685, 374-377 (2017)

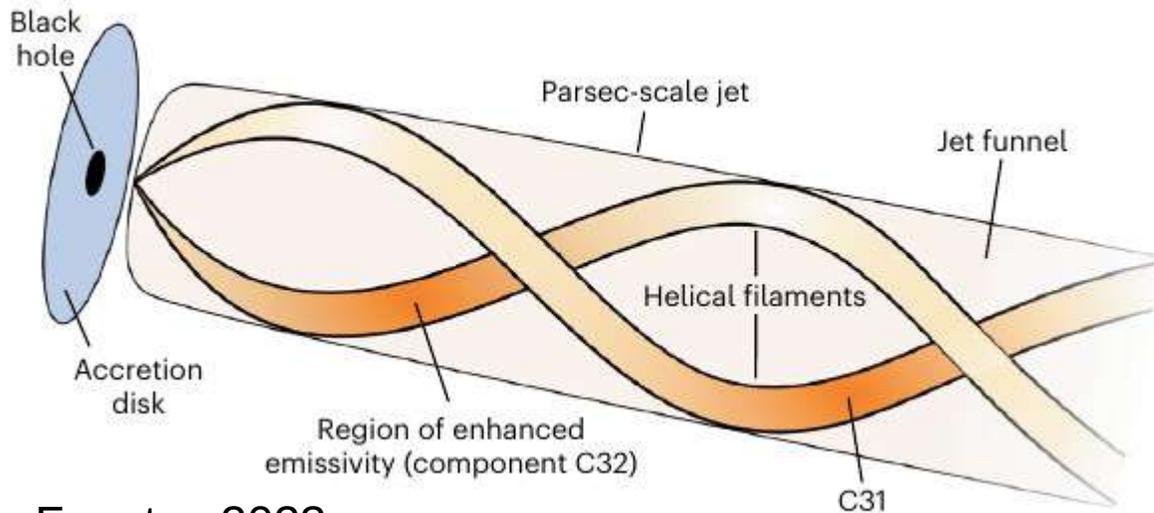
# Отпечаток структуры магнитного поля в поляризации излучения

Турбулентное магнитное поле



Хаотическое поведение поляризации

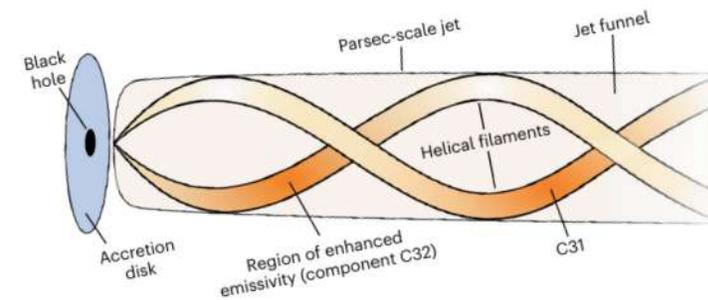
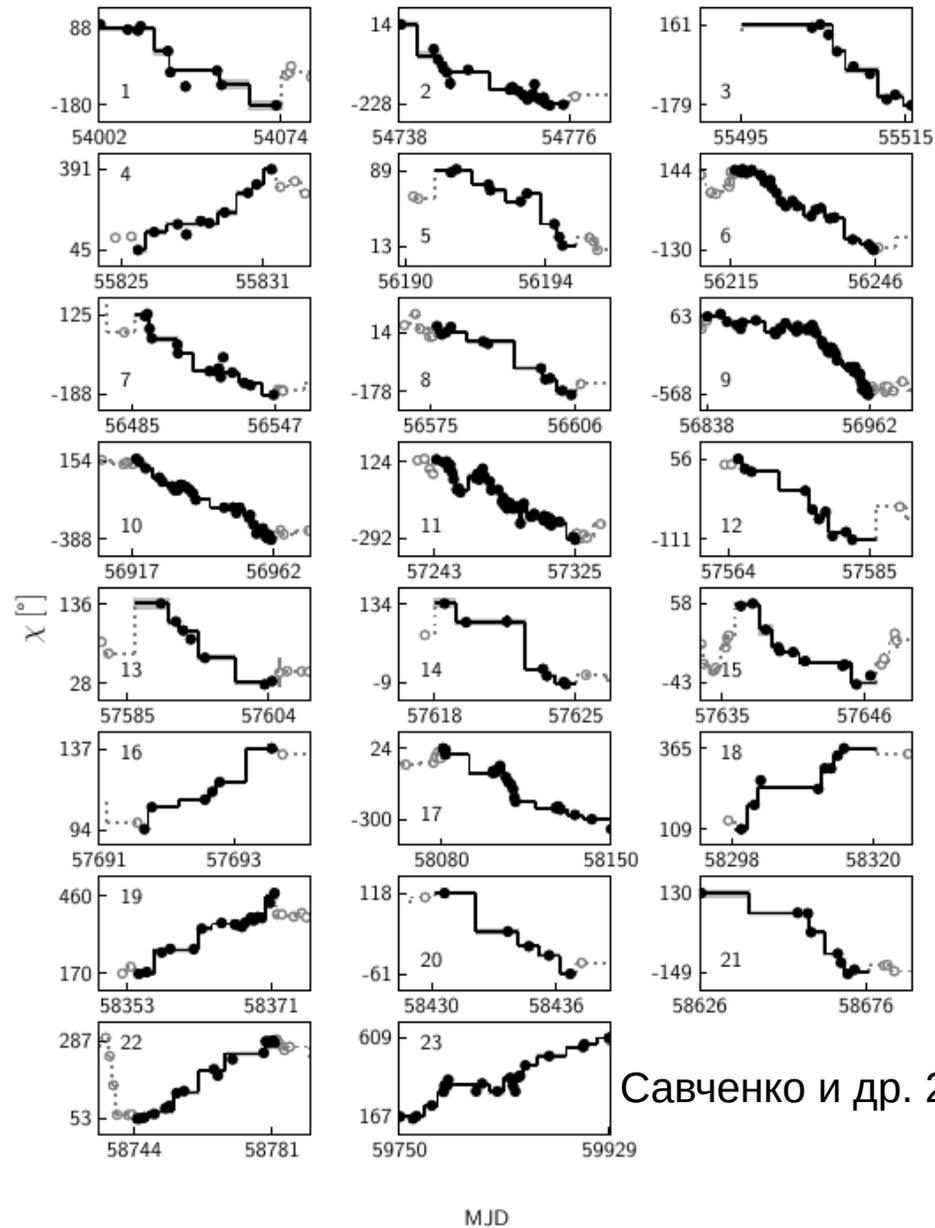
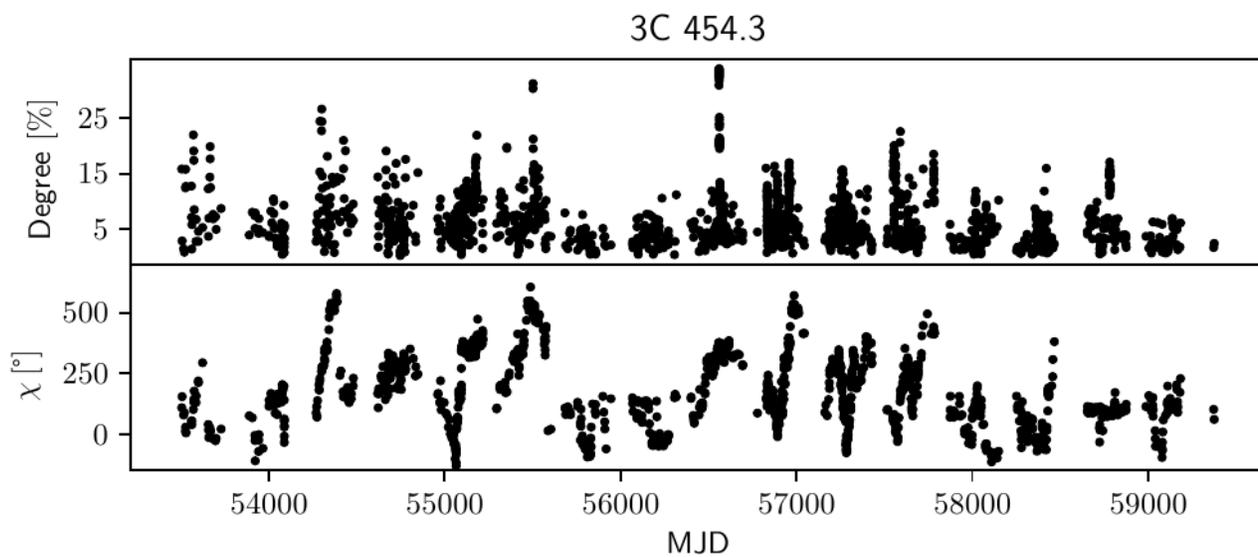
Спиральное магнитное поле



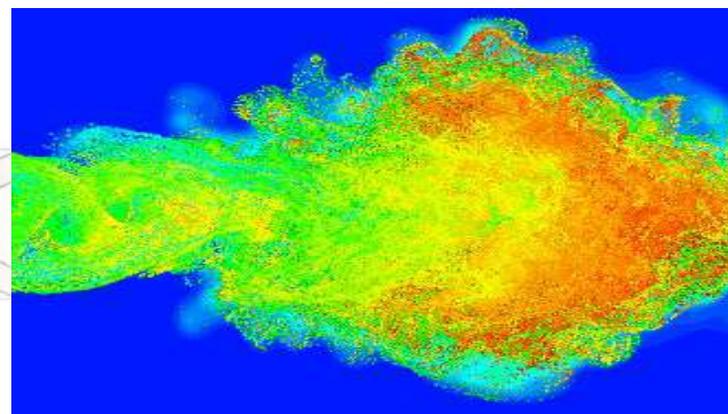
Упорядоченная поляризация

Fuentes 2023

# Результаты поляриметрических наблюдений



Упорядоченная часть джета

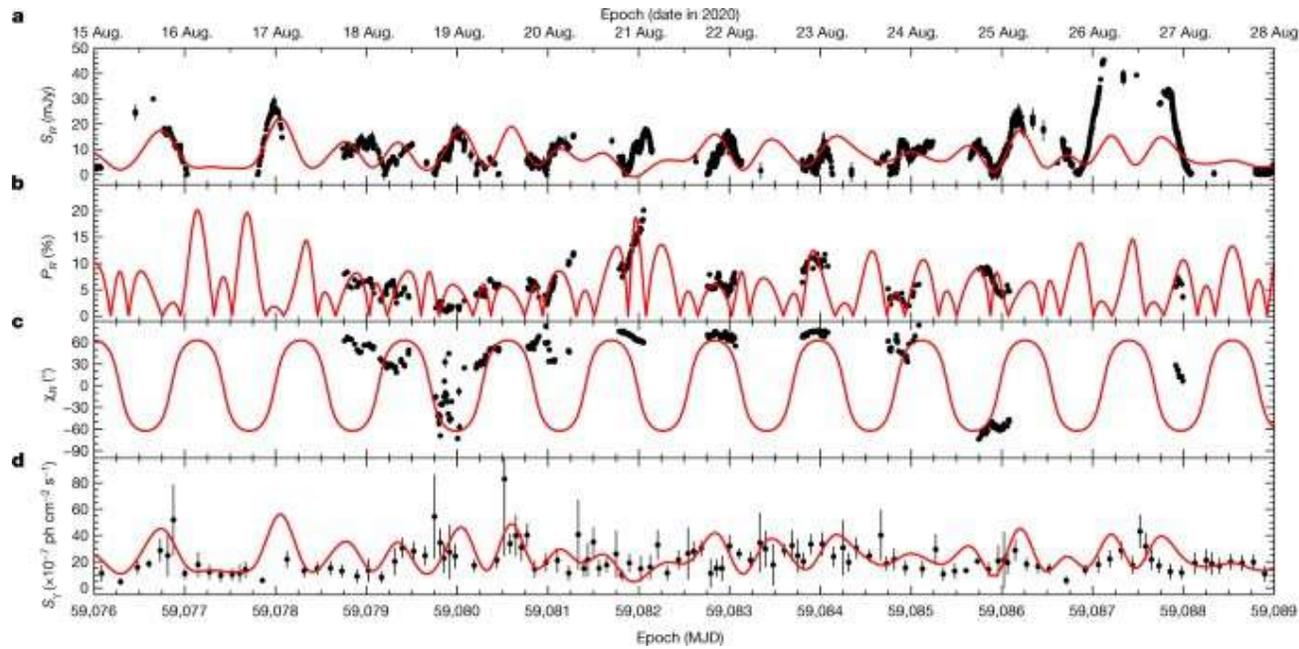


Турбулентная часть джета

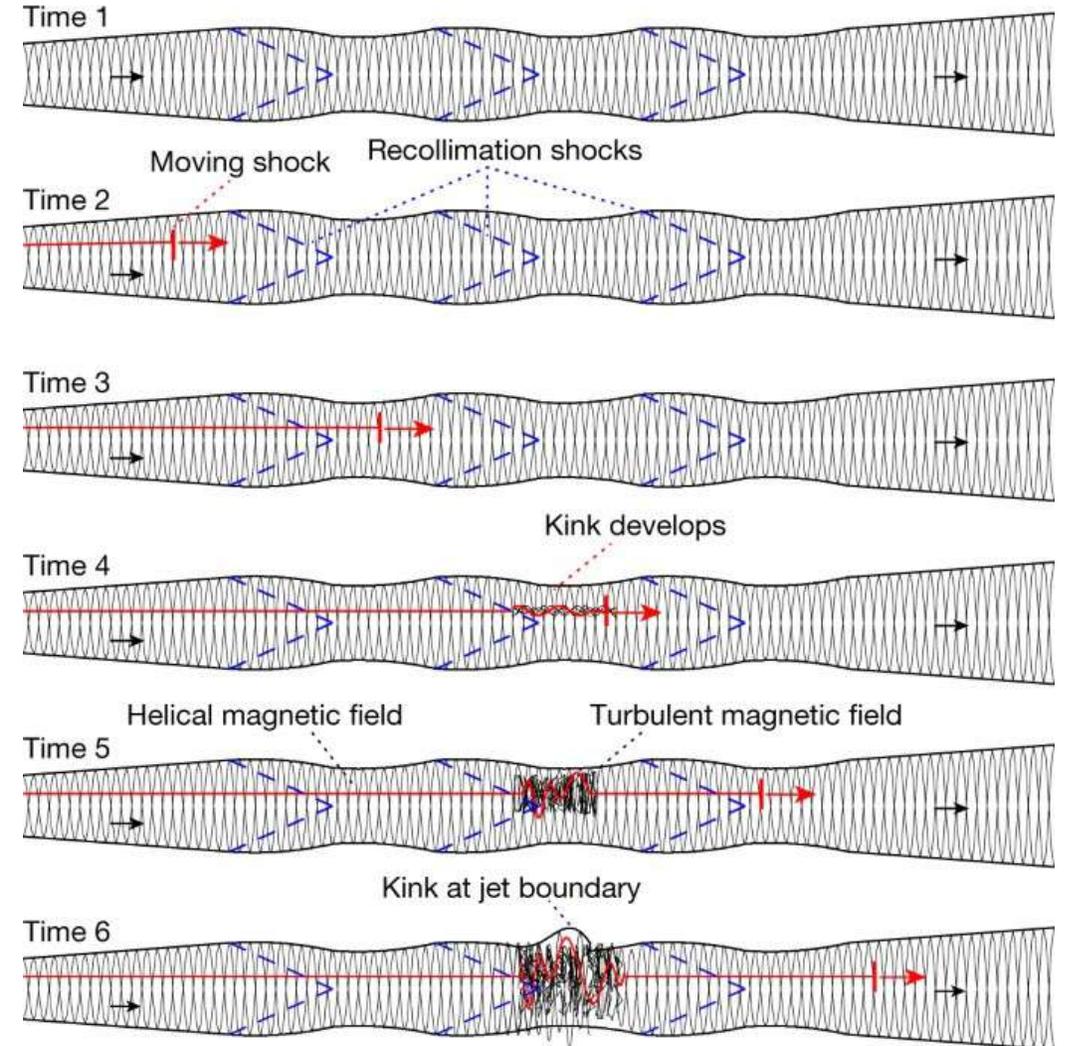
Савченко и др. 2024

# Результаты поляриметрических наблюдений

## Изгибные неустойчивости в джете



Jorstad et al., *Nature*, volume 609, pages 265–268 (2022)



# Поляриметрия высоких энергий

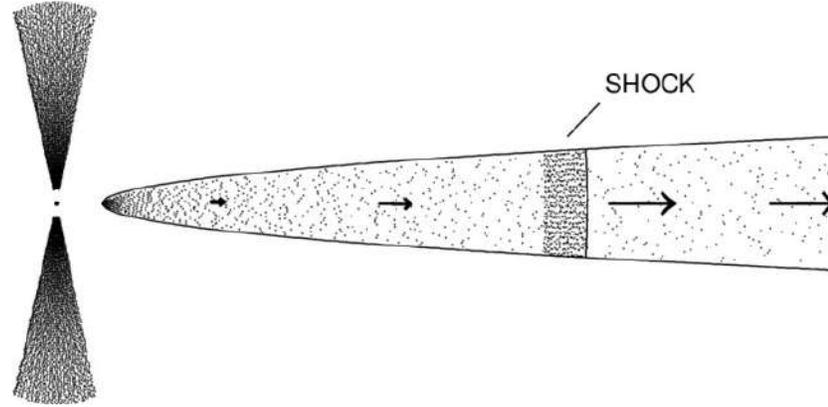
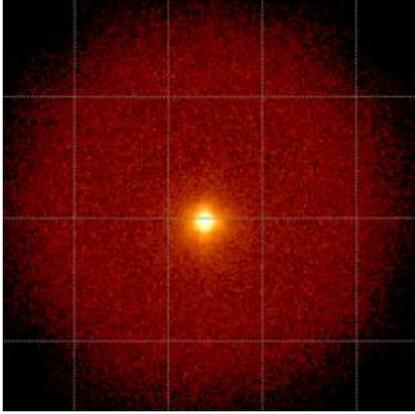
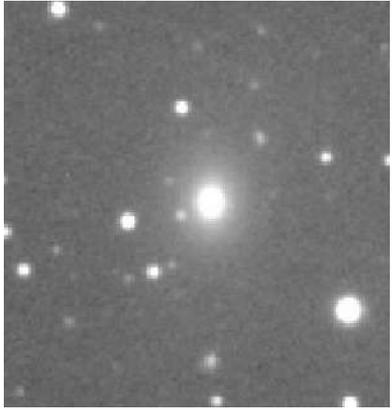
- Орбитальный телескоп IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer)
- Запуск 9.12.2021
- Первый инструмент, способный наблюдать поляризацию в рентгеновском диапазоне

- Был выполнен ряд совместных наблюдений:
- 4-6 и 7-9 июня 2022 – объект MKN 421
- 6-8 декабря 2022 – объект MKN 421
- 8-10 и 26-28 марта 2022 – объект MKN 501
- 3-4 мая 2022 – объект Q1959
- 6-14 мая 2022 – объект VL Lac
- 31 мая — 2 июня 2022 – объект 3C 454.4
- 2-4 июня 2022 – объект 3C 273
- апрель и май 2024 – объект MKN 421



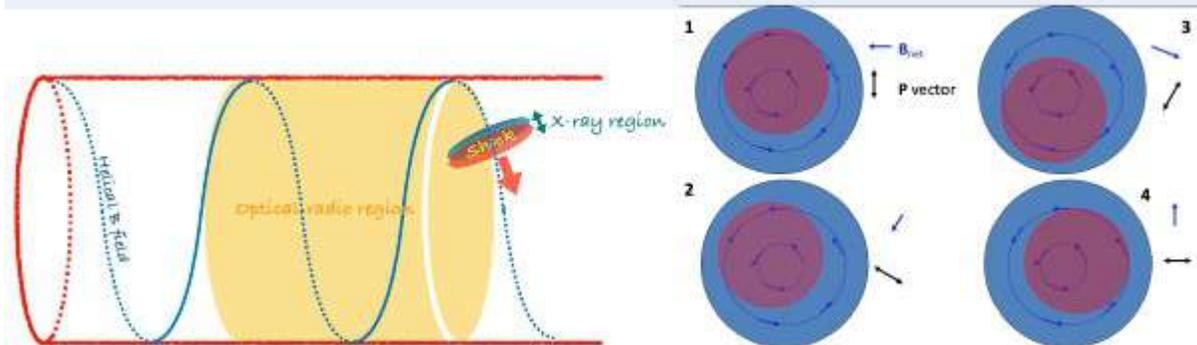
# Поляриметрия высоких энергий: результаты

- Наблюдения MKN 501 8-10 и 26-28 марта 2022



Статья Lioudakis, ..., Jorstad, Koratskaya, Larionova, Morozova, Savchenko, Vasilyev, et al., **Nature**, 611, 677–681 (2022)

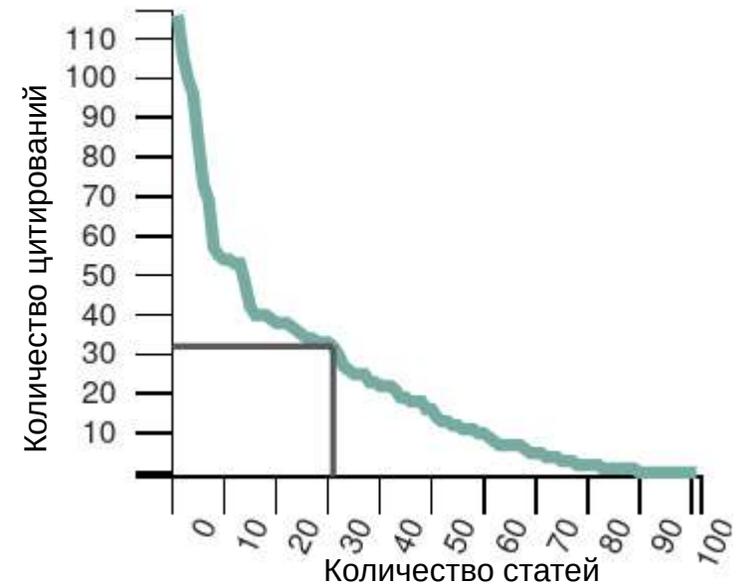
- 4-6 и 7-9 июня 2022 – объект MKN 421



Публикация Di Gesu, ..., Savchenko, Vasilyev et al., **Nature Astronomy**, 7, 1245-1258 (2023)

# Заключение

- В СПбГУ ведется успешная многолетняя программа наблюдений активных ядер галактик
- Оптические наблюдения (с поляризацией) являются важной составляющей международной программы исследования блазаров
  - Участие в международных кампаниях
  - Наземное сопровождение космических исследований
- Важные новые результаты включают информацию о тонкой структуре джетов:
- 101 публикация по результатам наблюдений в период 2014-2024 (эти статьи цитируются 2283 раза)



Спасибо за внимание!