

# Многочастотные поляриметрические исследования физических условий в активных ядрах галактик

---

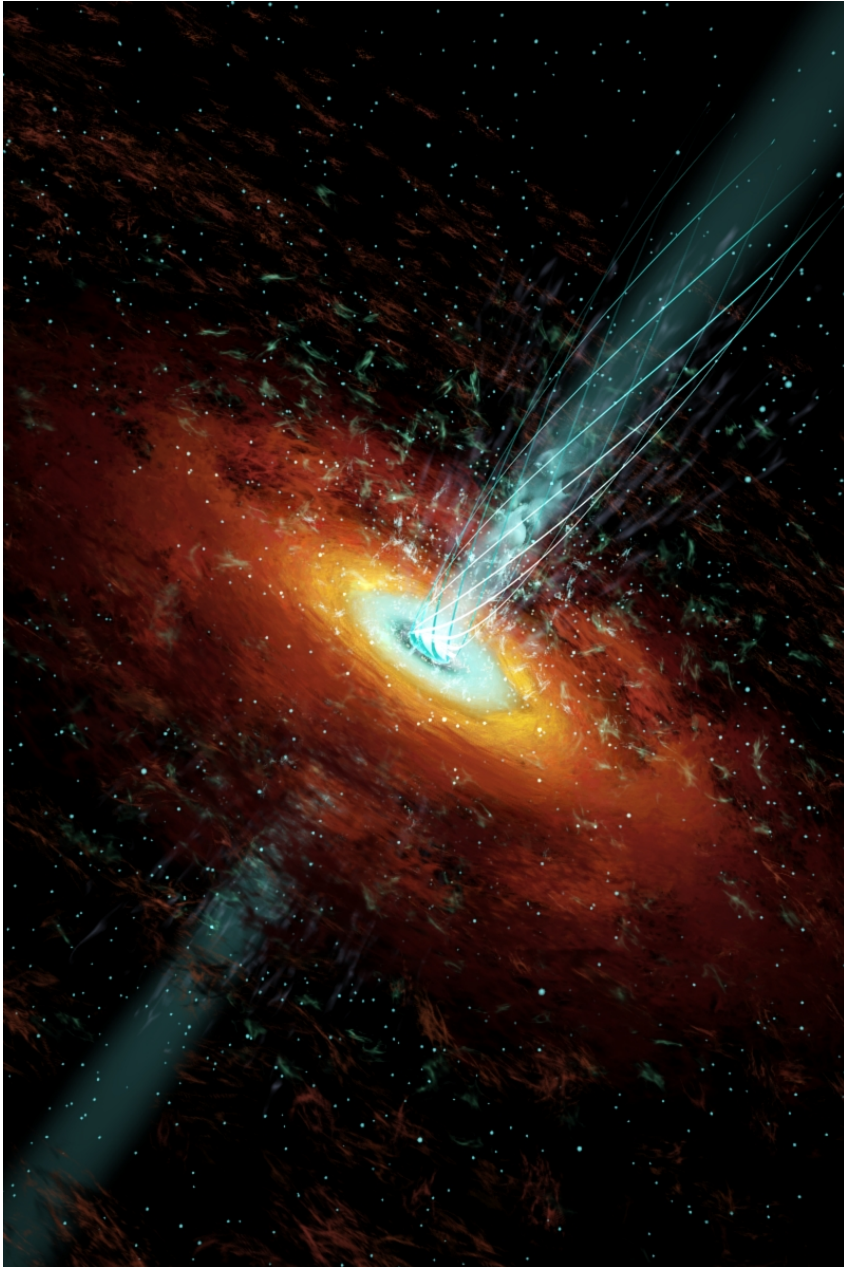


Евгения КРАВЧЕНКО

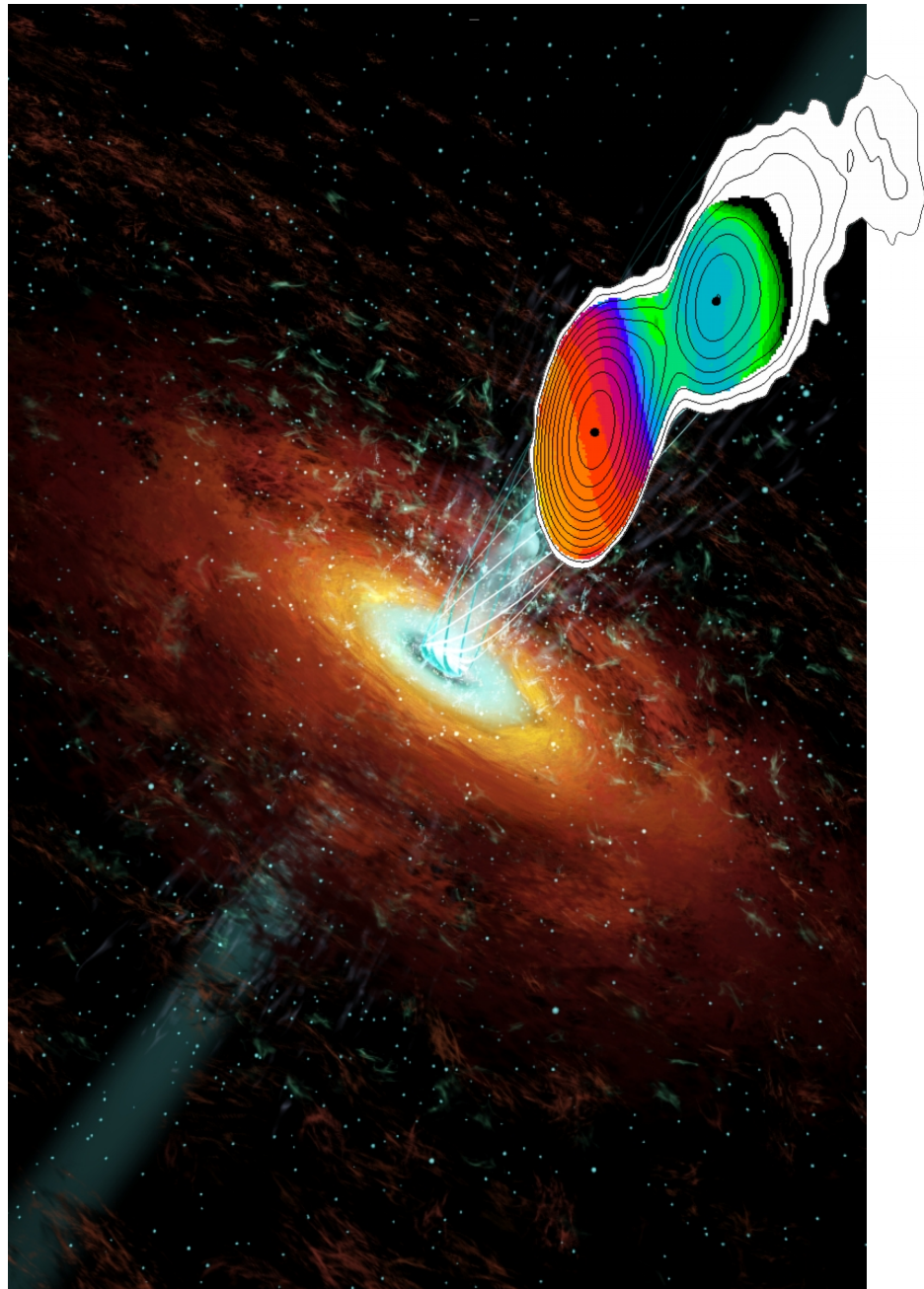
Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звёздная астрономия

Научный руководитель: Ю.Ю. Ковалёв

АКЦ ФИАН 23 мая 2017 г.



Активные ядра галактик (АЯГ)  
с релятивистскими струями,  
видимыми наблюдателю под  
малым углом зрения



Области струй  $10^4$ - $10^6 R_g$   
(для  $10^9 M_\odot$   $R_g \sim 10^4$  пк)

## Цели:

- Структура и строение струйных выбросов;
- Физические параметры струи и окружающей среды;
- Магнитные поля струй;
- Вспышки в АЯГ

▶ **Введение**

▶ **Глава 1**

Радиоинтерферометрия. Методы наблюдений, обработки и анализа данных

▶ **Глава 2**

Фарадеевское вращение в АЯГ

▶ **Глава 3**

Степень и направление линейной поляризации в струях АЯГ

▶ **Глава 4**

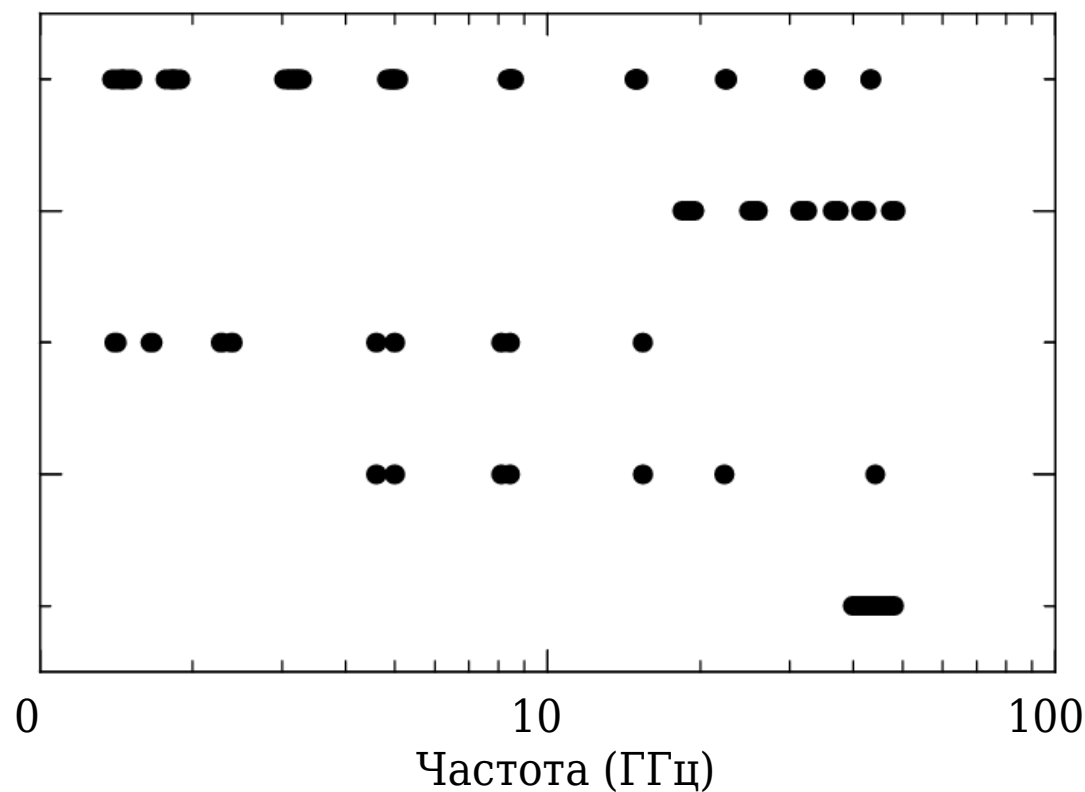
Широкодиапазонное исследование квазара S4 1030+61

▶ **Заключение**





31 АЯГ + 1 пульсар:



7 / VLA / 1.4-44 ГГц

3 АЯГ / VLA / 19-48 ГГц

20 АЯГ / VLBA / 1.4-15 ГГц

S4 1030+61 / VLBA / 5-43 ГГц

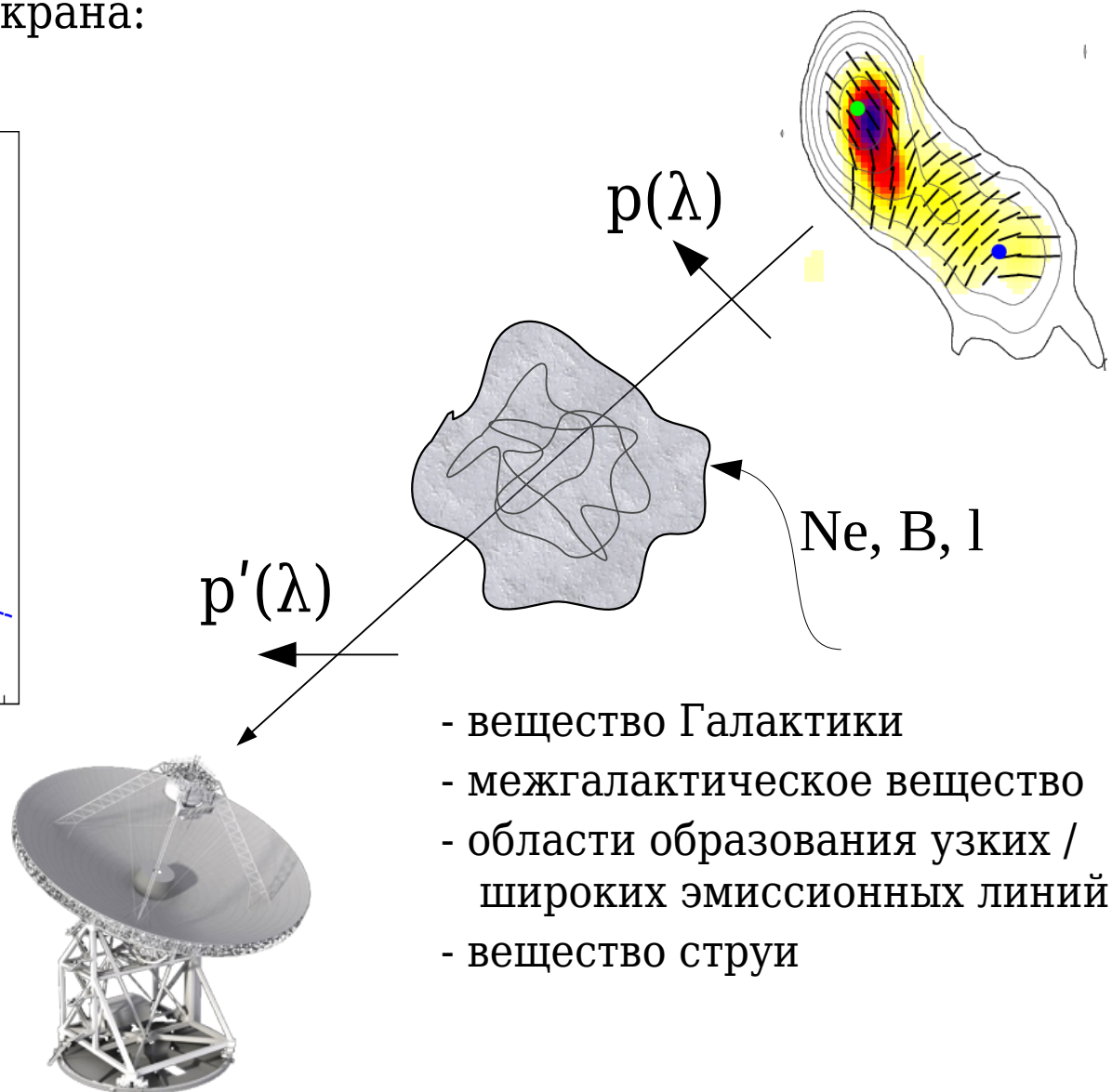
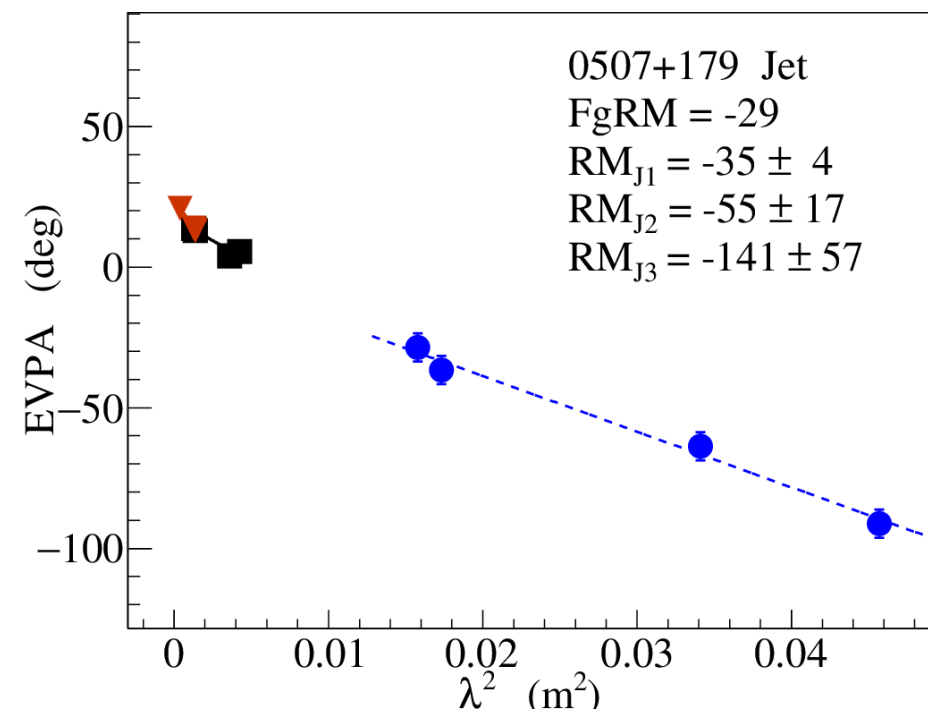
PSR J1745-2900 / VLA / 40-48 ГГц

# Глава 2. Фарадеевское вращение

$$RM = d\chi/d(\lambda^2)$$

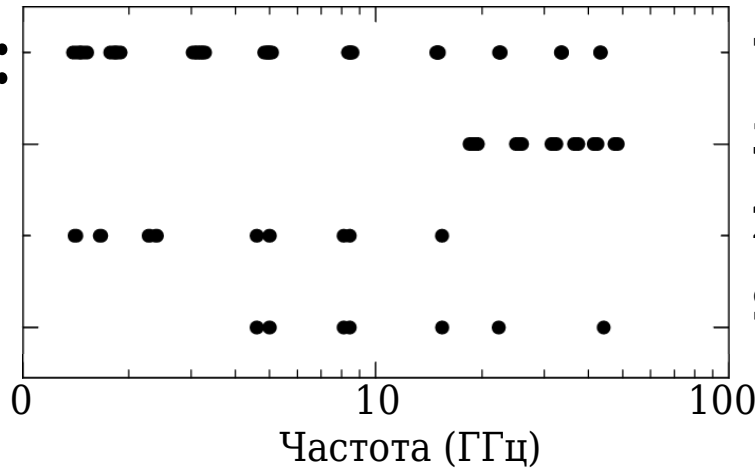
В случае внешнего пассивного экрана:

$$\chi = \chi_0 + RM \lambda^2$$

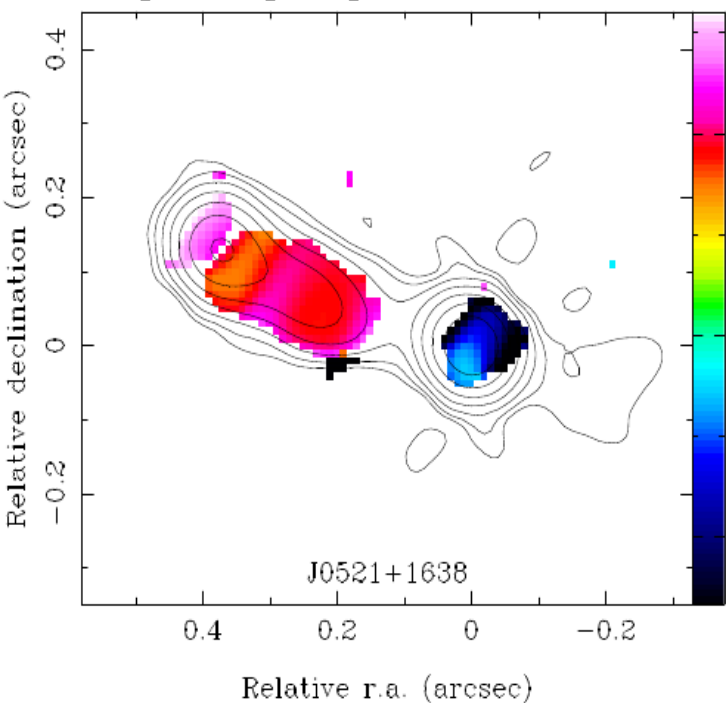


# Глава 2. Фарадеевская мера вращения (МВ)

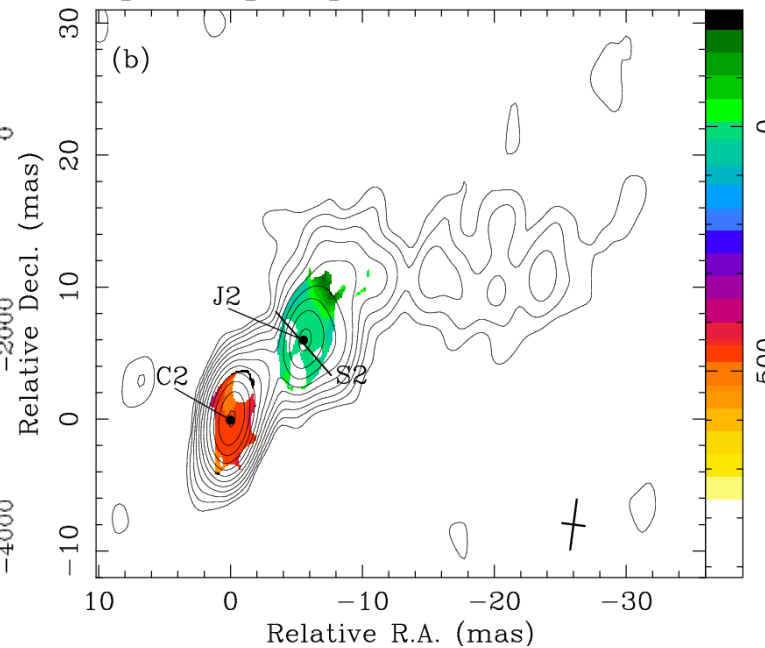
31 АЯГ:



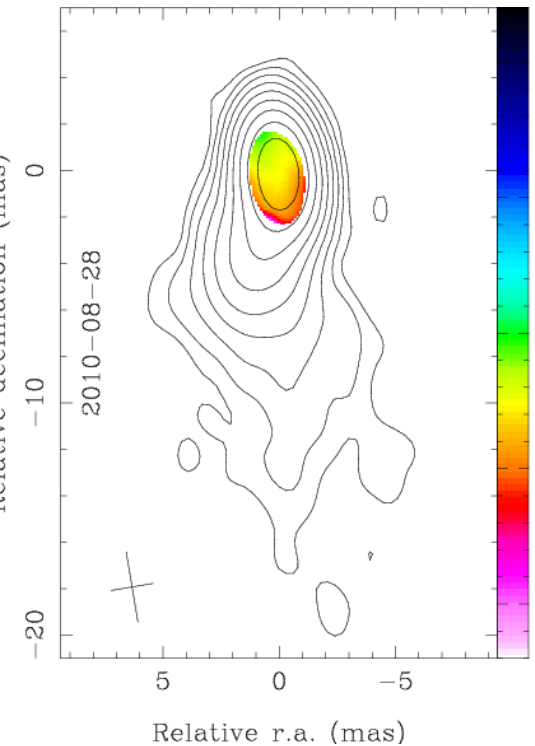
Карта меры вращения 3С138



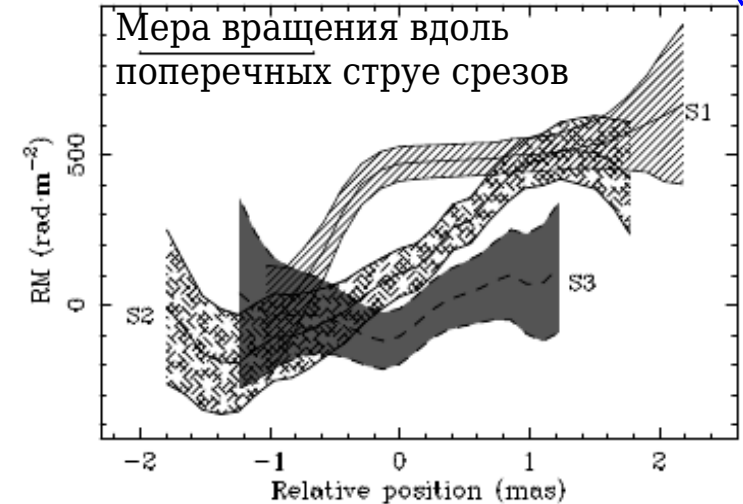
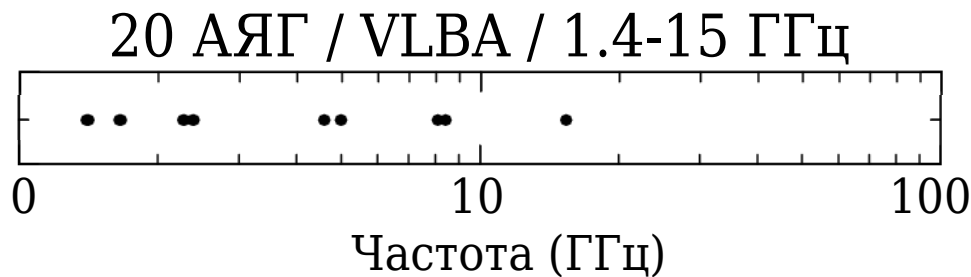
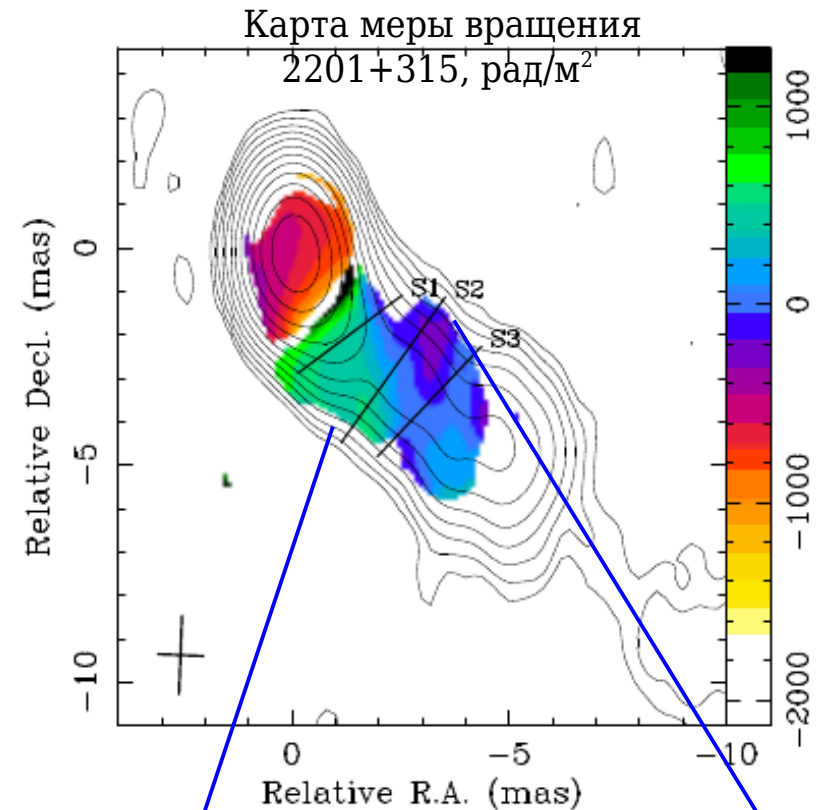
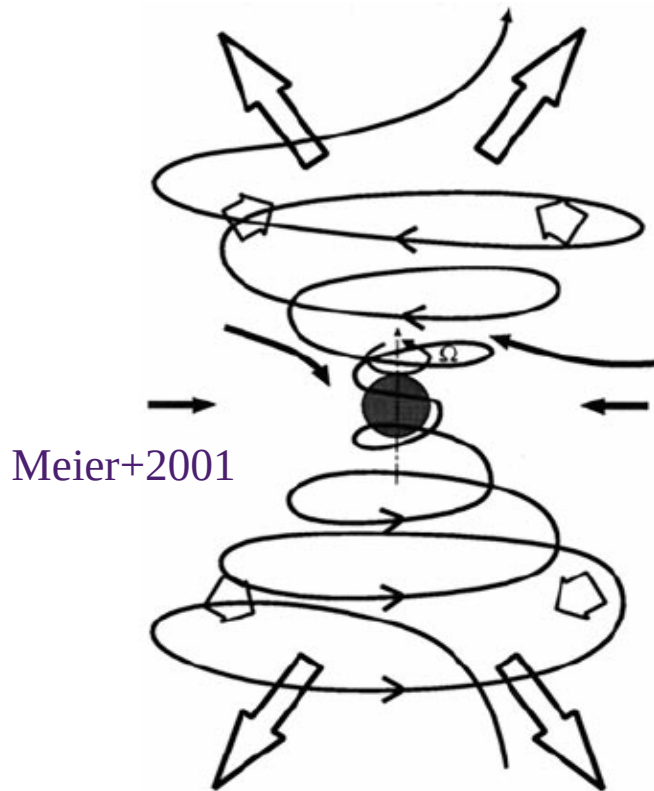
Карта меры вращения 1655+077



Карта меры вращения  
S4 1030+61

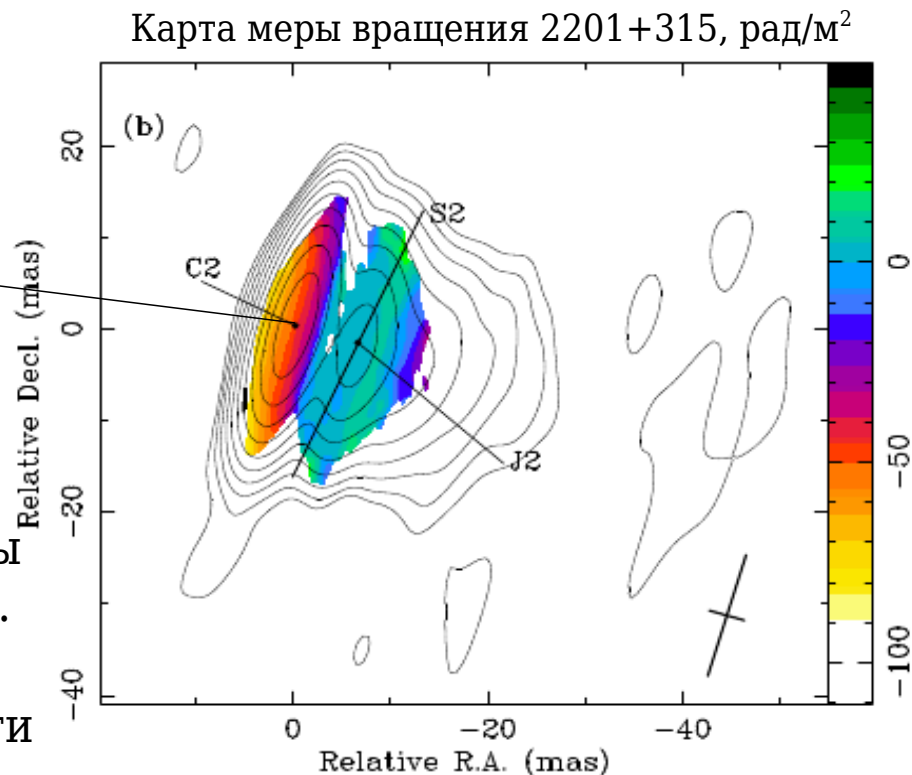
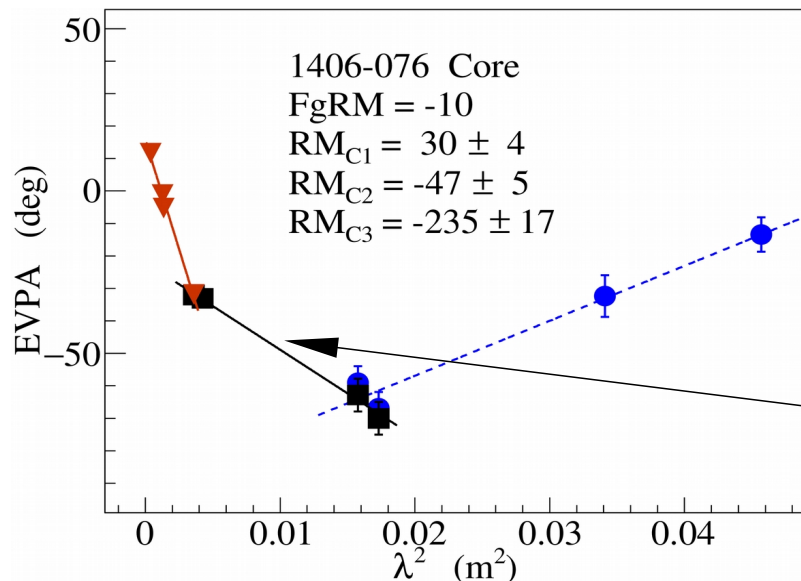


# Глава 2. Градиент меры вращения



В джетах 7 квазаров: 0148+274, 0952+179, 1004+141, 1219+285, 1458+718, 1642+690 и 2201+315 - значимые поперечные градиенты фарадеевского вращения

# Глава 2. Фарадеевское вращение в радио ядрах



Высокочастотные наблюдения более эффективны и разрешают структуру фарадеевского вещества.  $RM \sim \nu^{1-3}$ . Как следует из предположений о локализации фарадеевского экрана в окрестности единиц парсек от струи,  $n \sim r^{-2}$  и  $B \sim r^{-1}$  в области  $\tau \approx 1$ .

Sagittarius A*:	$-(4.3 \pm 0.1) \times 10^5$	Eatough+2013
3C 84:	$(8.7 \pm 2.3) \times 10^5$	Plambeck+2014
PKS 1830-21:	$(9.4 \pm 0.4) \times 10^6$	Marti-Vidal+2015
1637+574:	$(4.2 \pm 1.2) \times 10^5$	Trippe+2014
CTA 102:	$-(3.44 \pm 0.01) \times 10^4$	Jorstad+2007

рад/м<sup>2</sup>

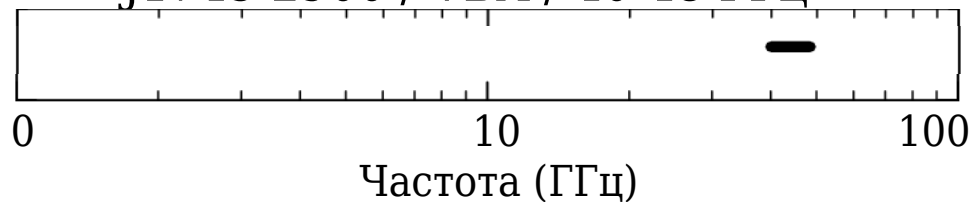


# Глава 2. Магнетар J1745-2900

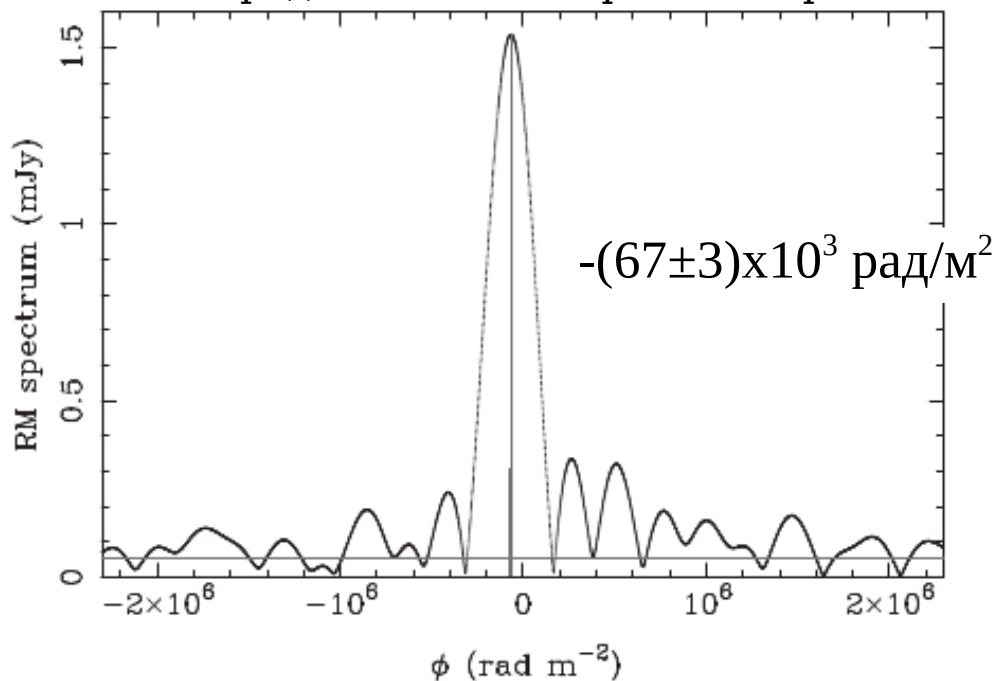
Синтез фарад. мер вращения (deBryun&Brentjens2005):

$$\bar{F}(\phi) = F(\phi) * R(\phi) = K \int_{-\infty}^{+\infty} p I e^{2i\chi} e^{-2i\phi\lambda^2} d\lambda^2$$

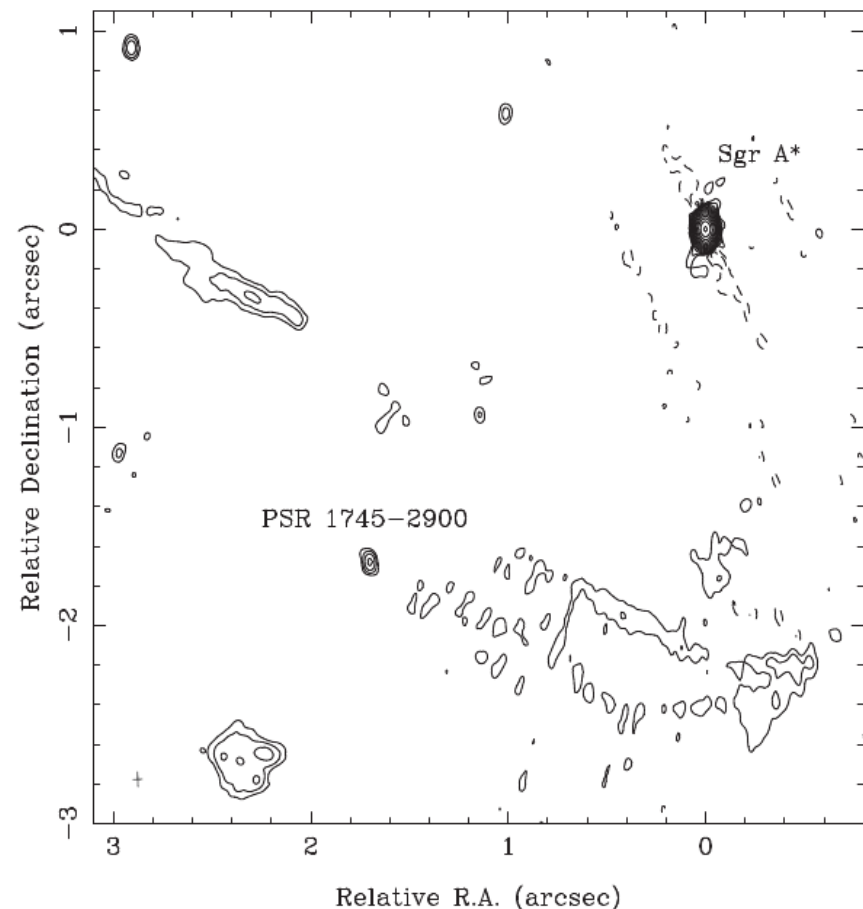
J1745-2900 / VBA / 40-48 ГГц



Фарадеевский спектр магнетара

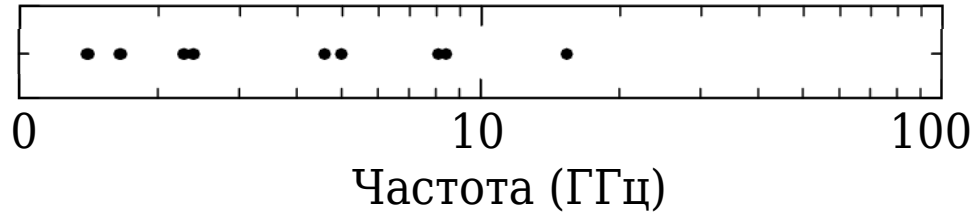


Контурсы Стокса I Галактического центра

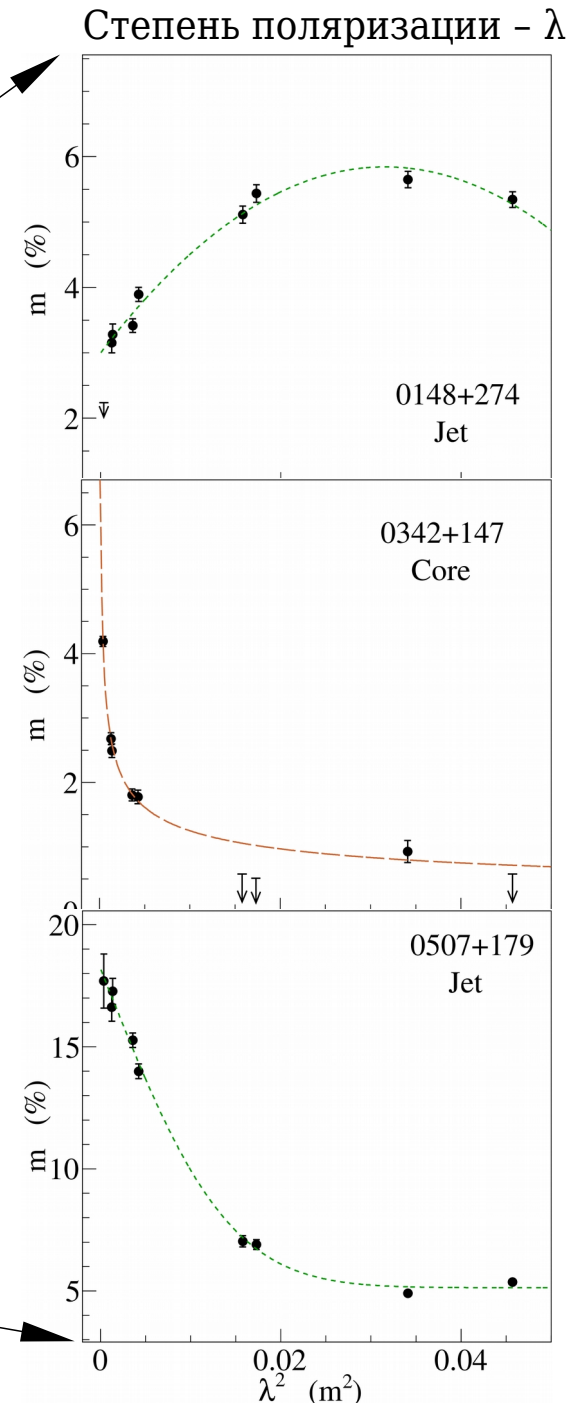
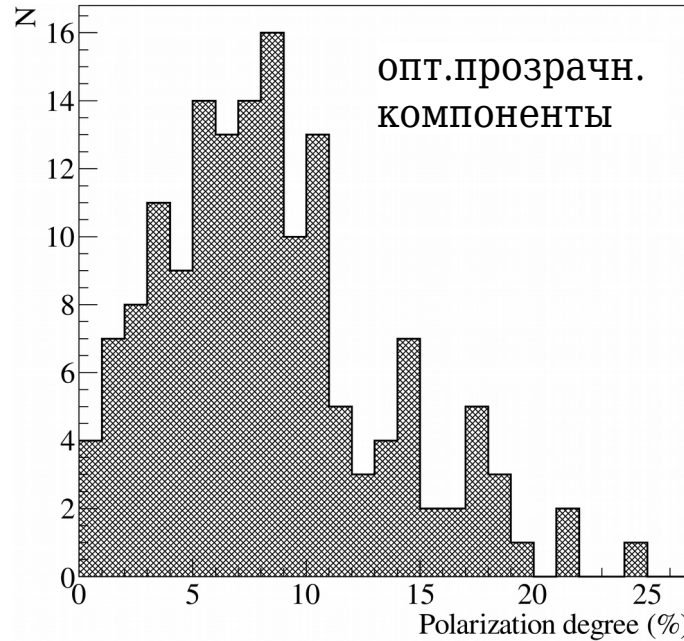
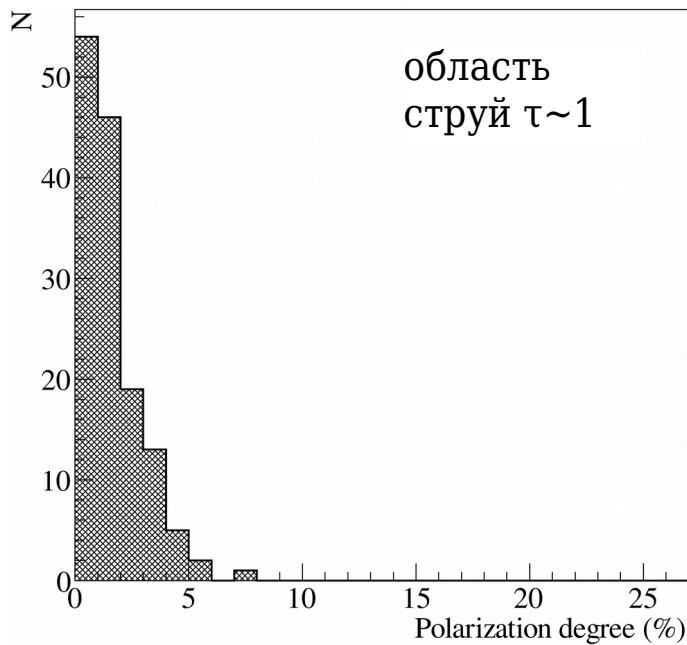


# Глава 3. Линейная поляризация

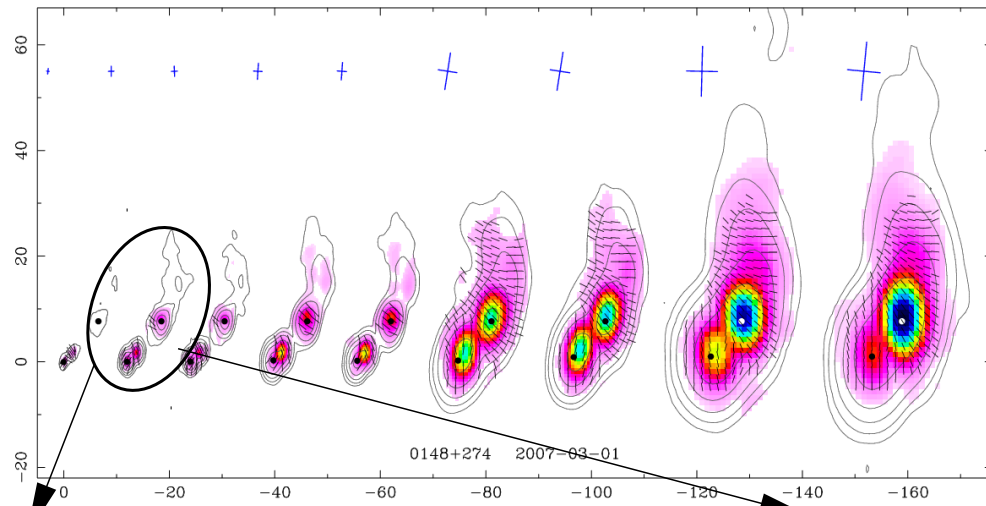
20 АЯГ / VLBA / 1.4-15 ГГц



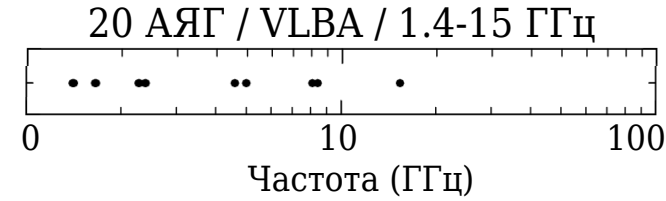
Распределение степени поляризации по 9 частотам (1-15 ГГц) в 20 АЯГ



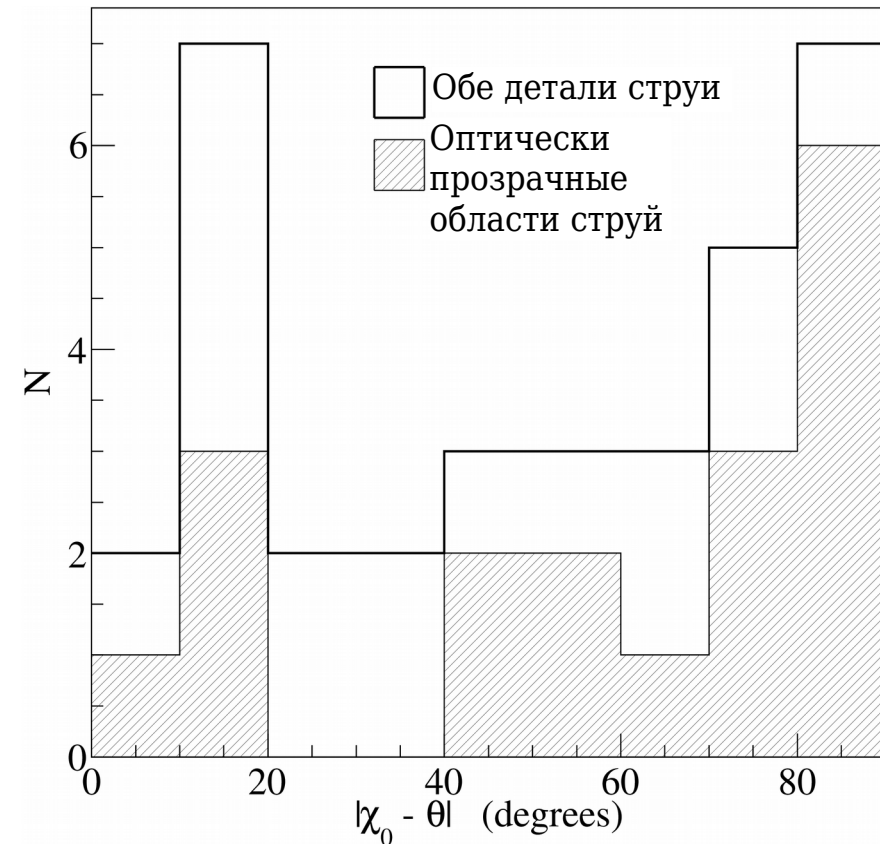
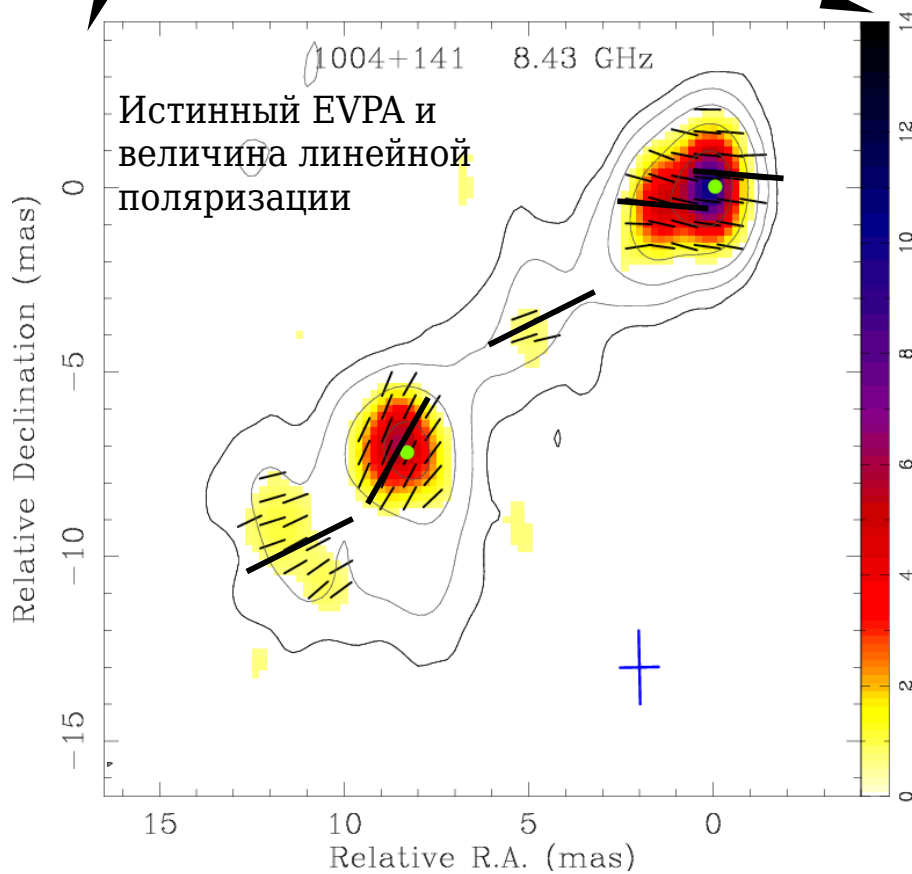
# Глава 3. Направление линейной поляризации



Восстановленное направление линейной поляризации в квазаре 0148+274 на 9 частотах

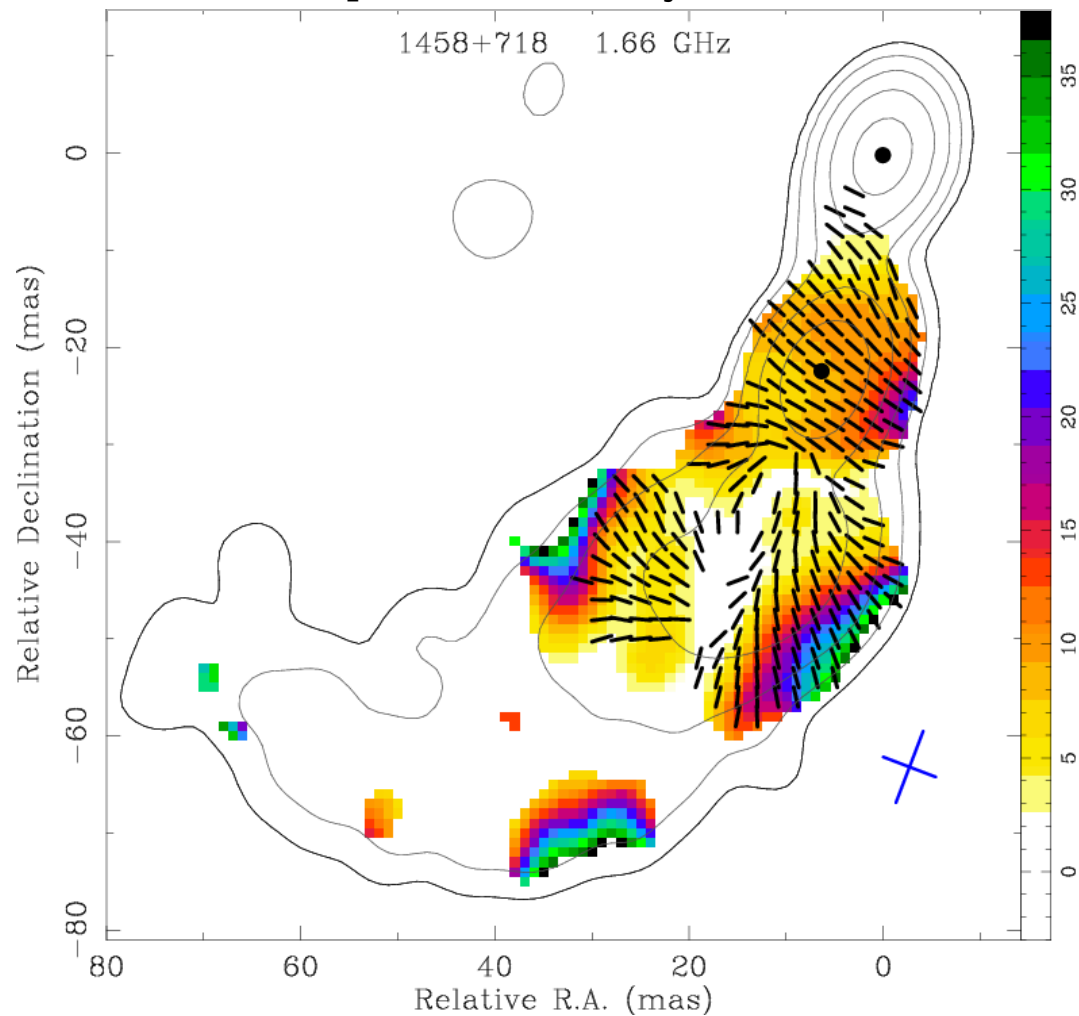


Распределение разницы ориентации истинного EVPA ( $\chi_0$ ) и направления распространения струи ( $\theta$ )

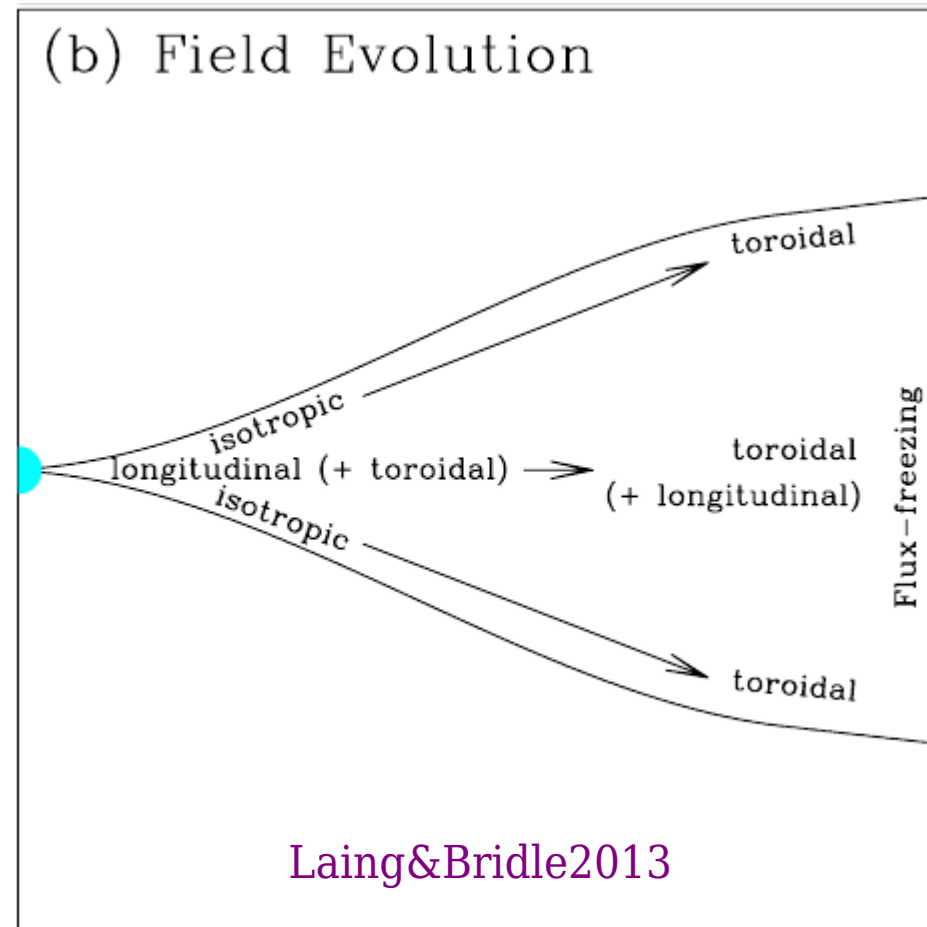


# Глава 3. Структура «сердцевина-оболочка»

Карта степени линейно поляризационного потока (цвет) и распределения поляризационного угла (линии)



(b) Field Evolution



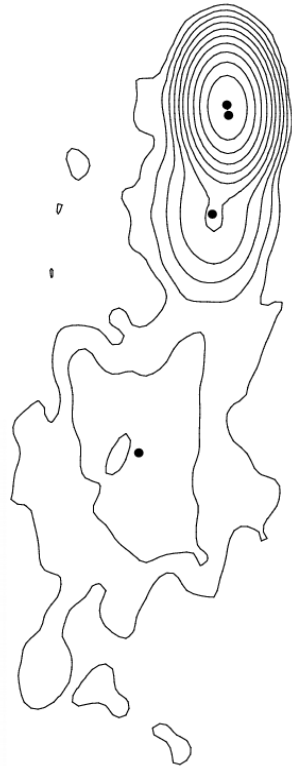
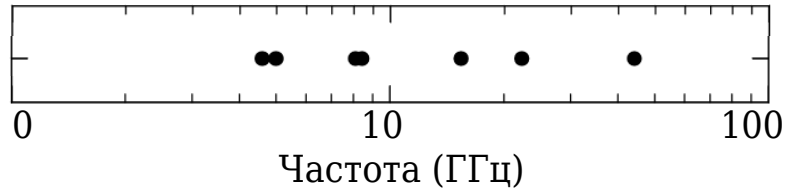


# Глава 4. Исследование квазара S4 1030+61

$z=1.4009$



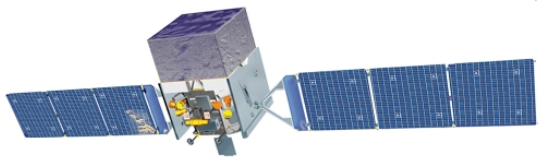
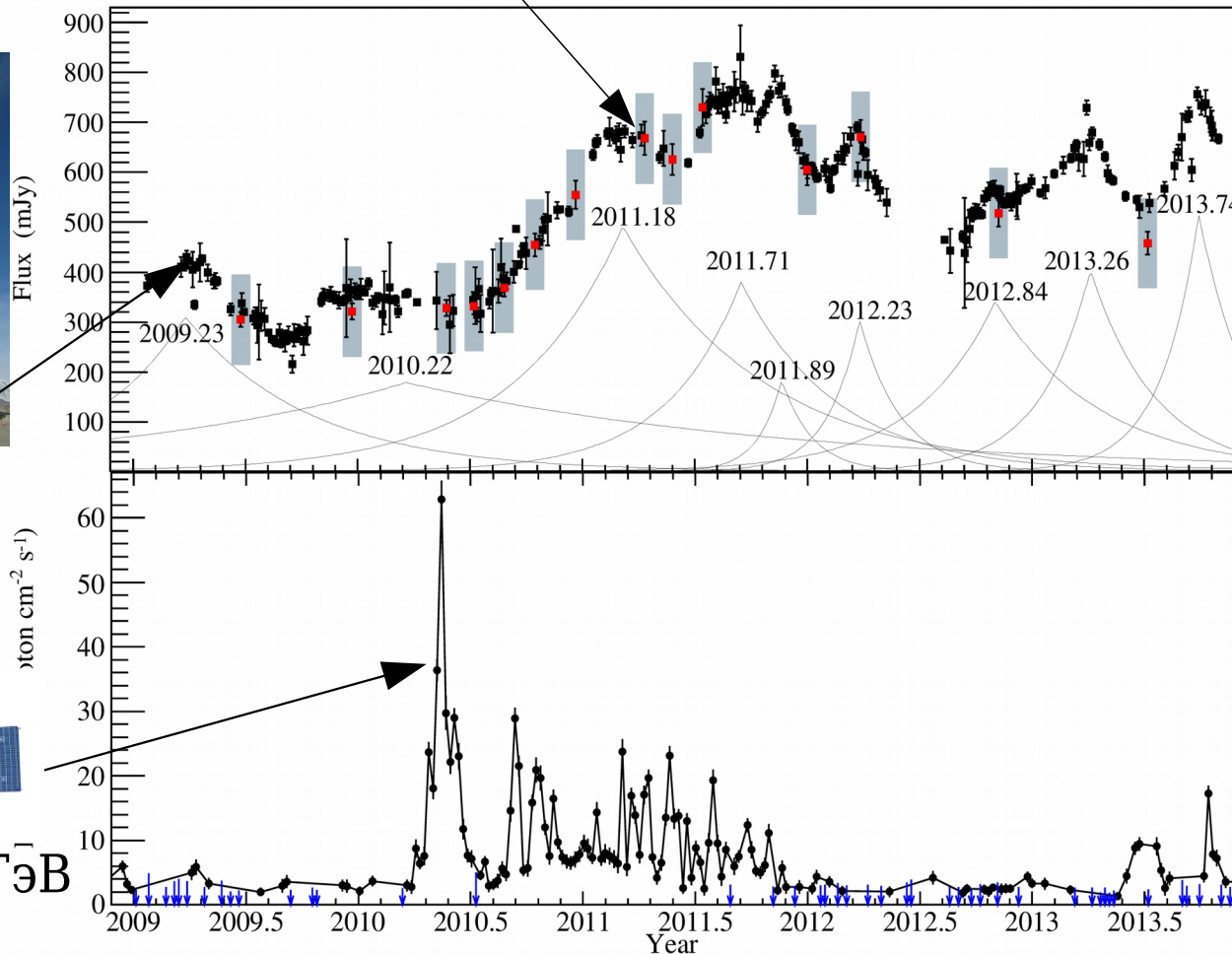
VLBA, VLBA MOJAVE



Контуры  
Стокса I  
квазара



OVRO: 15 ГГц



Fermi /LAT: 0.1-200 ГэВ

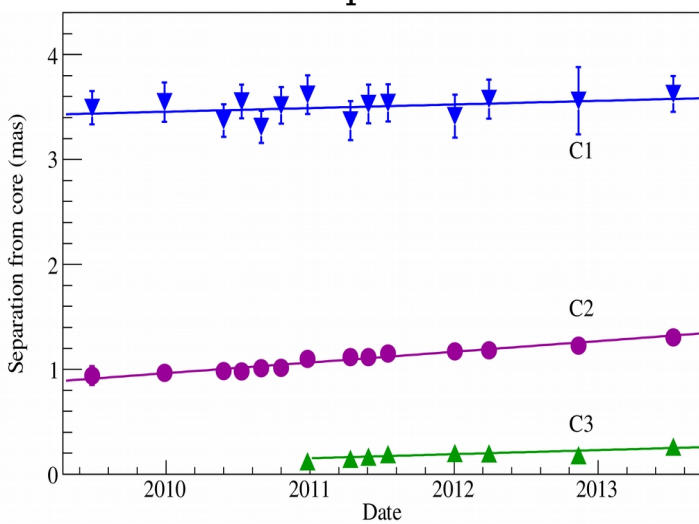
АКЦ ФИАН 23 мая 2017 г.



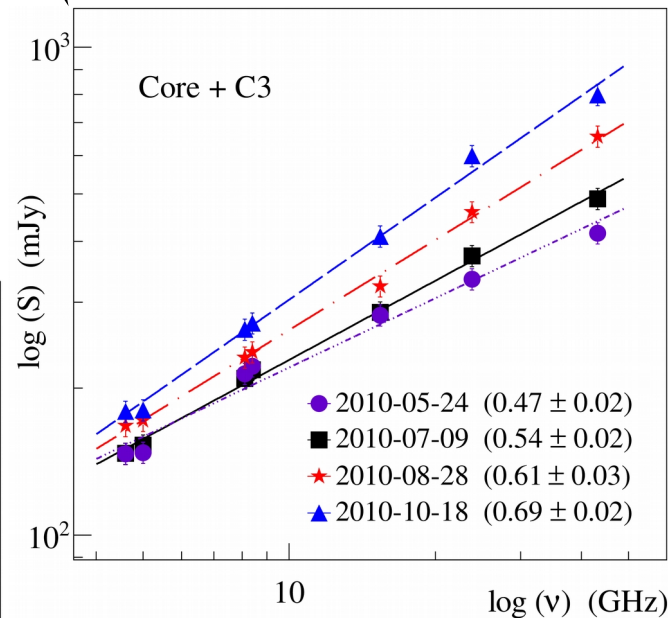
# Глава 4. Физические условия в струе S4 1030+61

- ▶ Моделирование и анализ структуры источника: наличие двух сверхсветовых компонентов со скоростями  $6.4 \pm 0.4c$  и  $2.7 \pm 0.7c$ .
- ▶ Изменение спектрального индекса в начале струи из-за увеличения концентрации синхротронных частиц.
- ▶ Анализ сдвига положения видимого начала струи от частоты дает оценки напряженности магнитного поля  $r(\text{ядро}, 15\text{ГГц}) = 14 \pm 3\text{пк}$ ,  $B(1\text{пк}) \sim 2.2\text{Гс}$ ,  $B(15\text{ГГц}) \sim 0.16\text{Гс}$ .

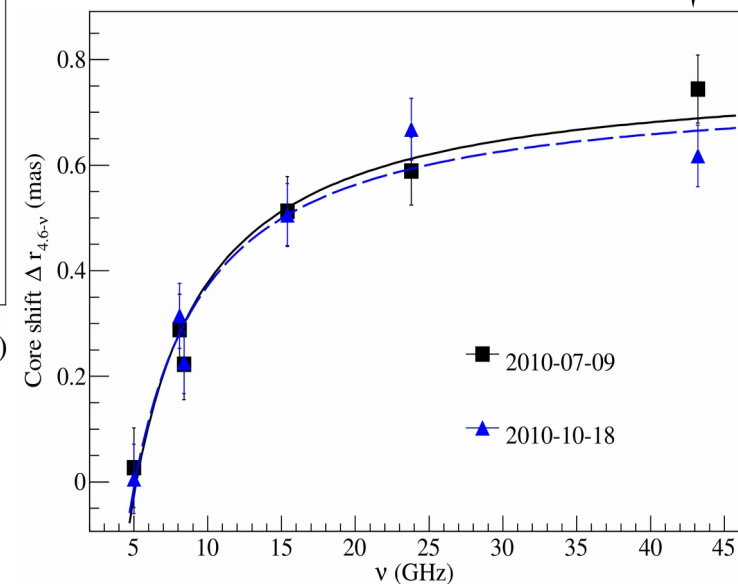
Удаление компонент от ядра со временем



Спектр.индекс

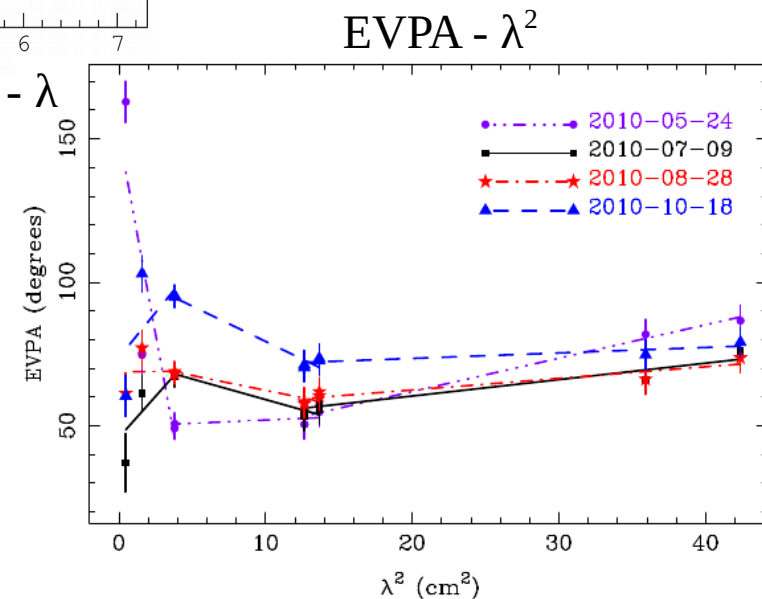
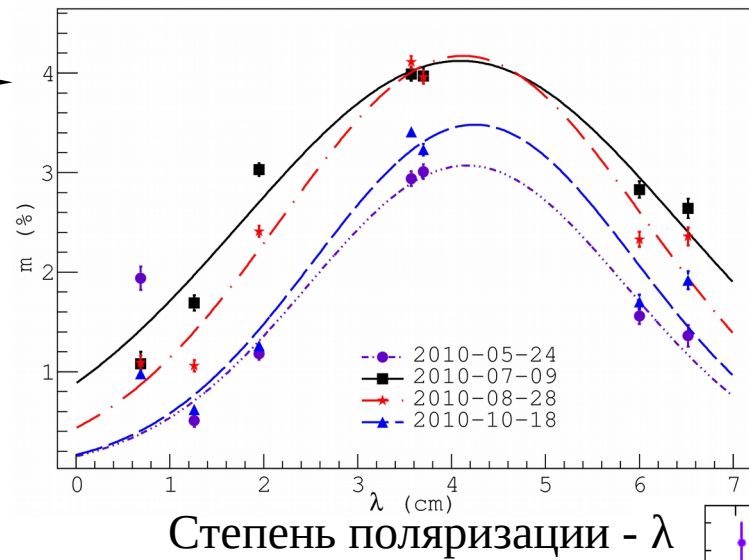
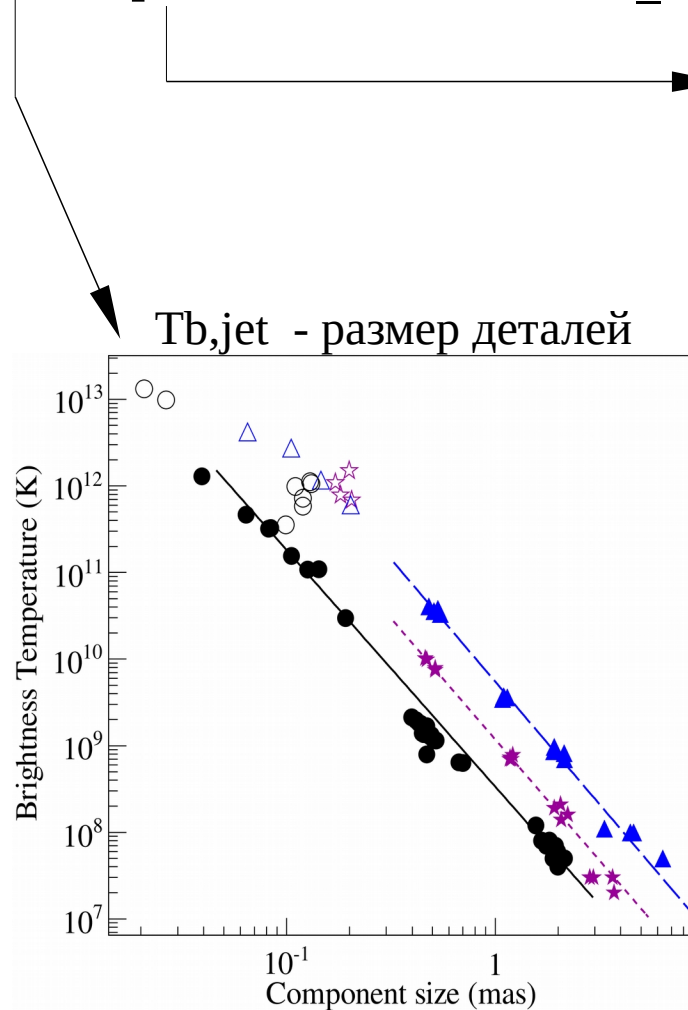


Сдвиг ядра



# Глава 4. Физические условия в струе S4 1030+61

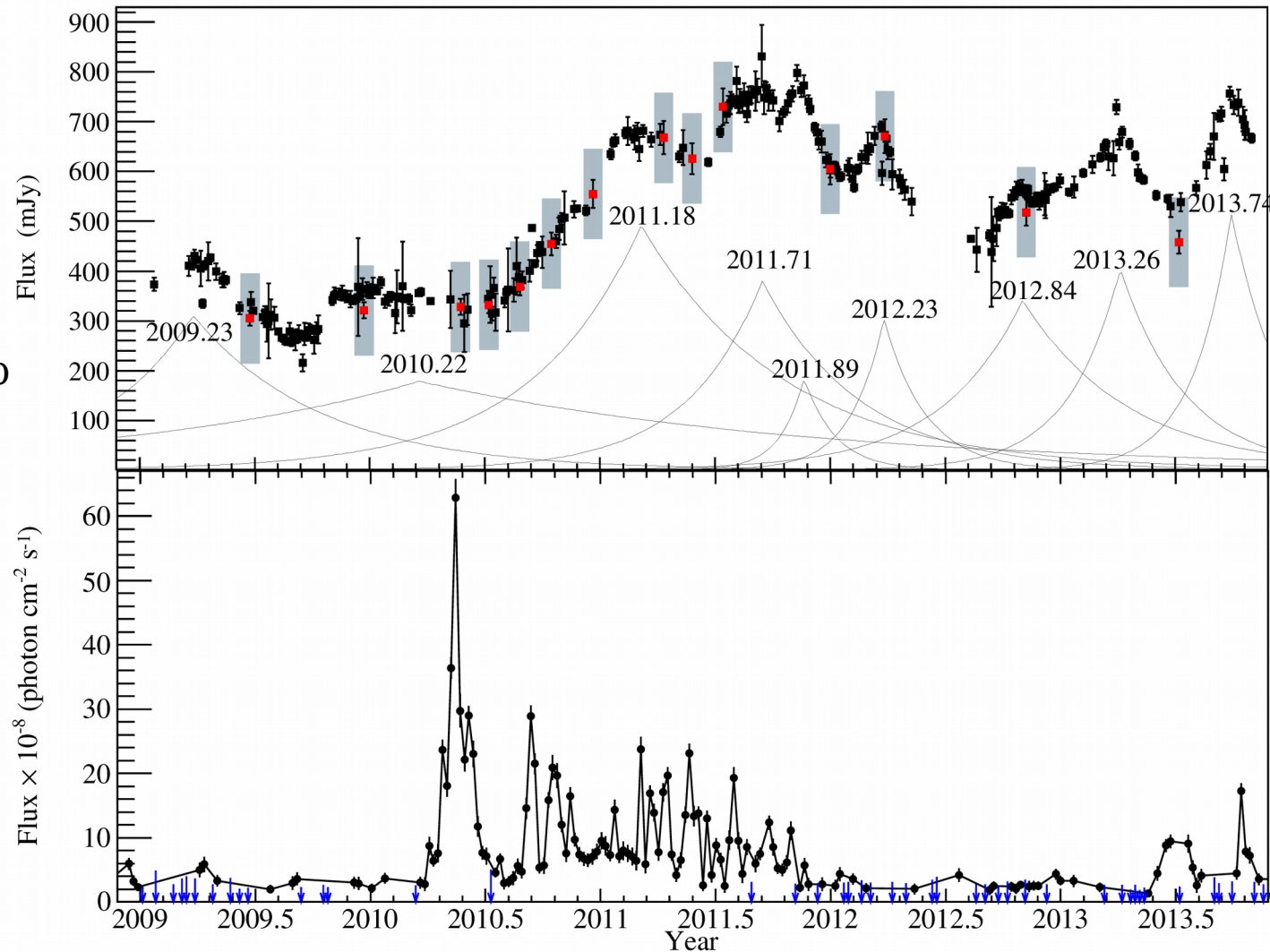
- ▶ По зависимости яркостной температуры компонентов струи от их размера и удаления от начала струи, получены следующие свойства: струя квазара имеет коническую форму,  $n_e \sim r^{-1.7}$ , преобладает тороидальное МП.
- ▶ Поляризационные свойства меняются во время вспышки: увеличивается напряженность МП и  $n_e$ .



# Глава 4. Физические условия в струе S4 1030+61

- ▶ По моделированию кривой блеска на 15 ГГц набором вспышек в виде  $S \sim e^{t/\tau}$  определены Доплер-фактор  $\sim 15$ , Гамма-фактор  $9.0 \pm 1.1$ , наклон струи к лучу зрения  $2.7^\circ \pm 0.6^\circ$ .
- ▶ Выполнен совместный анализ  $\gamma$ - и радионаблюдений (временная задержка между  $\gamma$  и радиовспышкой  $0.8 \pm 0.11$  лет или  $12 \pm 2$  пк).
- ▶ Локализована область образования  $\gamma$ -излучения (в окрестности 2 пк от ЧД в струе).

Масштаб переменности  $\gamma$ -кривой блеска соответствует размеру области  $< 0.18$  пк. Измерения размера видимого начала струи на 7 мм дают  $\sim 0.12$  пк, а его расстояние от ЧД  $\sim 1.3$  пк. Т.о. видимое начало струи на 7 мм может представлять собой область генерации  $\gamma$ -излучения.



# Заключение. Выносимые результаты

► Построены новые РИ карты фарадеевской МВ для 21 АЯГ на см волнах. Обнаружено наличие значимой переменности МВ на масштабах месяцев и лет в трех квазарах. Указано на связь этой переменности с изменениями внутренних свойств струй АЯГ. Показано, что тепловая замагниченная плазма, образующая это вращение, представляет собой один или несколько внешних экранов, располагающихся в непосредственной близости от джета АЯГ. В частности, это может быть внешняя оболочка струйного выброса. В джетах семи квазаров обнаружены значимые поперечные градиенты МВ, что существенно дополняет существующий ранее список таких источников.

► По исследованиям 18 АЯГ посредством РСДБ в диапазоне 1.4-15 ГГц изучены свойства среды, образующей фарадеевское вращение и вызывающей деполяризацию излучения. Она может иметь неоднородную структуру и содержать упорядоченные МП с доминированием хаотично ориентированной компоненты. Восстановлена истинная ориентация ЭП в этих объектах. Ее анализ показывает простую поляризационную структуру в половине источников, в то время как оставшиеся объекты проявляют более сложную структуру. Такое поведение согласуется с наличием в струях АЯГ регулярных тороидальных и полоидальных МП, сохраняющих свое направление на расстояниях единиц и сотен парсек, с преобладанием турбулентной составляющей. Предложено рассматривать структуру всех струйных выбросов АЯГ в виде «сердцевины» и окружающей ее оболочки, при этом свойства этих сред могут различаться.

► Успешно апробирован метод синтеза фарадеевских МВ на наблюдениях галактического магнетара J1745–2900. Подтвержден потенциал метода для поиска и исследований больших и экстремально больших МВ в АЯГ.

► Проведено детальное исследование свойств струи квазара S4 1030+61 после яркой  $\gamma$ -вспышки. В рамках модельных предположений определены физические параметры объекта. Выявлены изменения физических условий в начале струи и показано, что мощная  $\gamma$ -вспышка сопровождается вбросом вещества в начало струи, компрессией магнитного поля и возможным изменением направления распространения струйного выброса. Область генерации  $\gamma$ -излучения локализована в джете в окрестности парсека от центральной машины АЯГ.

# Апробация результатов

<b>Событие</b>	<b>Место</b>	<b>Год</b>
▶ Актуальные проблемы внегалактической астрономии	Пушино, Россия	2013
▶ The innermost regions of relativistic jets and their magnetic fields	Гранада, Испания	2013
▶ XIII Одесская Гамовская Астрономическая Конференция - школа «Астрономия на стыке наук: астрофизика, космомикрoфизика, космология и гравитация, радиоастрономия и астробиология»	Одесса, Украина	2013
▶ Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная»	Санкт-Петербург, Россия	2013
▶ 5-ая Всероссийская молодежная конференция «Фундаментальные вопросы и инновационные аспекты современной физики»	Москва, Россия	2013
▶ IAU Symposium 313 «Extragalactic jets from every angle»	Галапагосские острова, Эквадор	2014
▶ 12 European VLBI Network Symposium	Кальяри, Италия	2014
▶ Relativistic Jets: Creation, Dynamics, and Internal Physics	Краков, Польша	2015
▶ 5th Workshop on Compact Steep Spectrum and GHz-Peaked Spectrum Radio Sources	Римини, Италия	2015
▶ Мини-симпозиум «Задачи обсерватории Миллиметрон»	Пушино, Россия	2015
▶ 6-ая Всероссийская молодежная конференция «Фундаментальные и инновационные вопросы современной физики»	Москва, Россия	2015
▶ Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра»	Москва, Россия	2015
▶ Blazars through Sharp Multi-Wavelength Eyes	Малага, Испания	2016
▶ 13th European VLBI Network Symposium	Санкт-Петербург, Россия	2016



# Публикации с основными результатами

Astron. Nachr. / AN 337, No. 1/2, 87–90 (2016)/DOI 10.1002/asna.201512270

Cotton W.D., **Kravchenko E.V.**, Kovalev Y.Y.,  
Fomalont E. // «*Search for Extreme Rotation Measures  
in CSS Sources*»

Astron. Nachr. - 2016. - Vol. 337. - P. 87-90.

**Search for extreme rotation measures in CSS sources**

W. D. Cotton<sup>1,\*</sup>, E. Kravchenko<sup>2</sup>, Y. Y. Kovalev<sup>2</sup>, and E. Fomalont<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Radio Astronomy Observatory, 520 Edgemont Rd, Charlottesville, VA 22903, USA

<sup>2</sup> Lebedev Physical Institute, Profsoyuznaya 84/32, Moscow 117997, Russia

Monthly Notices

of the  
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS 458, 4456–4461 (2016)

Advance Access publication 2016 February 9

doi:10.1

**Rotation measure synthesis study and polarized properties  
of PSR J1745–2900 at 7 mm**

E. V. Kravchenko,<sup>1\*†</sup> W. D. Cotton,<sup>2\*</sup> F. Yusef-Zadeh<sup>3\*</sup> and Y. Y. Kovalev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Astro Space Center, Profsoyuznaya 84/32, Moscow 117997, Russia

Monthly Notices

of the  
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS 462, 2747–2761 (2016)

Advance Access publication 2016 July 25

doi:10.1093/mnras/

**Multiwavelength observations of the  $\gamma$ -ray flaring quasar S4 1030+61  
in 2009–2014**

E. V. Kravchenko,<sup>1\*</sup> Y. Y. Kovalev,<sup>1,2\*</sup> T. Hovatta<sup>3,4</sup> and V. Ramakrishnan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Astro Space Center, Profsoyuznaya 84/32, Moscow 117997, Russia

<sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, D-53121 Bonn, Germany

Monthly Notices

of the  
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS 467, 83–101 (2017)

Advance Access publication 2017 January 7

**Kravchenko E.V.**, Kovalev Y.Y., Sokolovsky K. V. //  
«*Parsec-scale Faraday rotation and polarization of 20  
AGN jets*»

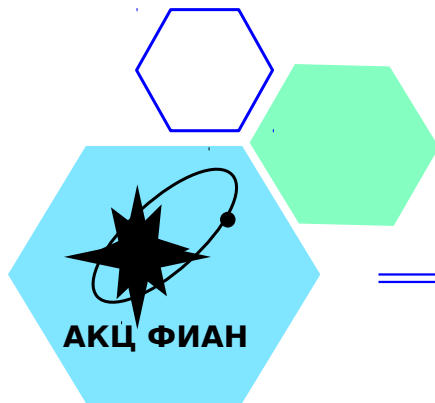
MNRAS - 2017. - Vol. 467. - P. 83-101.

**Parsec-scale Faraday rotation and polarization of 20 active  
galactic nuclei jets**

E. V. Kravchenko,<sup>1,2\*</sup> Y. Y. Kovalev<sup>1,3\*</sup> and K. V. Sokolovsky<sup>1,4,5</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Astro Space Center, Profsoyuznaya 84/32, Moscow 117997, Russia

<sup>2</sup>Pushchino Radio Astronomy Observatory ASC Lebedev, Pushchino 142290, Moscow Region, Russia



Спасибо за внимание!

---

---