

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(САО РАН)



Научная квалификационная работа

«Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик»

Аспирант

Малыгин Е.А.

Научный руководитель д.ф.-м.н.

Моисеев А.В.

Лаборатория спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.03.02 Астрофизика и звёздная астрономия

Нижний Архыз 2023

Актуальность темы

Что известно об АЯГ:

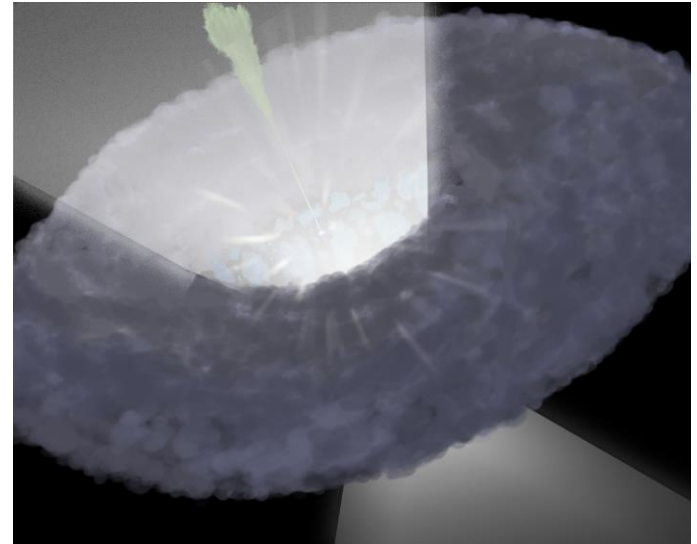
- аккреция вещества на СМЧД.

Что видно из наблюдений:

- центральный парсек в оптике неразрешим.

Почему важно:

- корреляция массы СМЧД с характеристиками галактики, эволюция массы СМЧД с z .
- оценка расстояний и физических параметров в центральных областях АЯГ.



Цели и задачи работы

Цель: Исследование физических характеристик, геометрии и кинематики вещества в центральном оптически неразрешимом парсеке АЯГ с помощью различных оптических наблюдательных методов.

Задачи:

1. Адаптация методики фотометрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах для определения размеров BLR-областей.
2. Определение скоростей газа в BLR, масс и спинов СМЧД, параметров аккреционного диска и геометрической ориентации систем.
3. Адаптация методики поляриметрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах для определения радиуса сублимации пыли.
4. Методическое исследование многорежимного фокального редуктора MAGIC для 1-м телескопа Цейсс-1000 САО РАН для проведения с его помощью высокоточных наблюдений внегалактических объектов.

Структура работы

Введение

Глава 1. Методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений

Глава 2. Исследование АЯГ методом фотометрического эхокартирования

Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

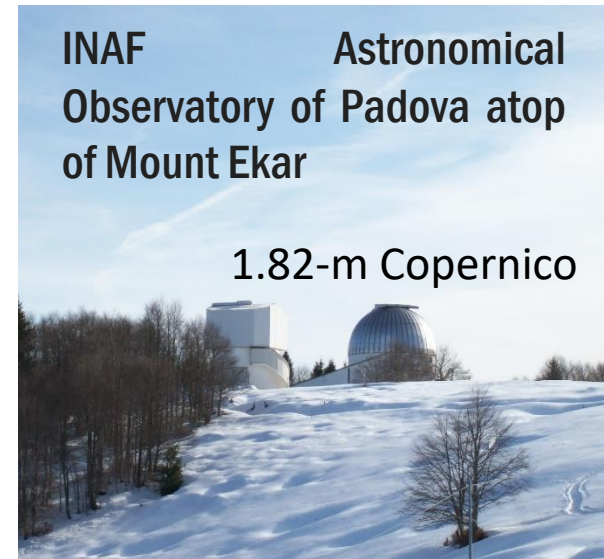
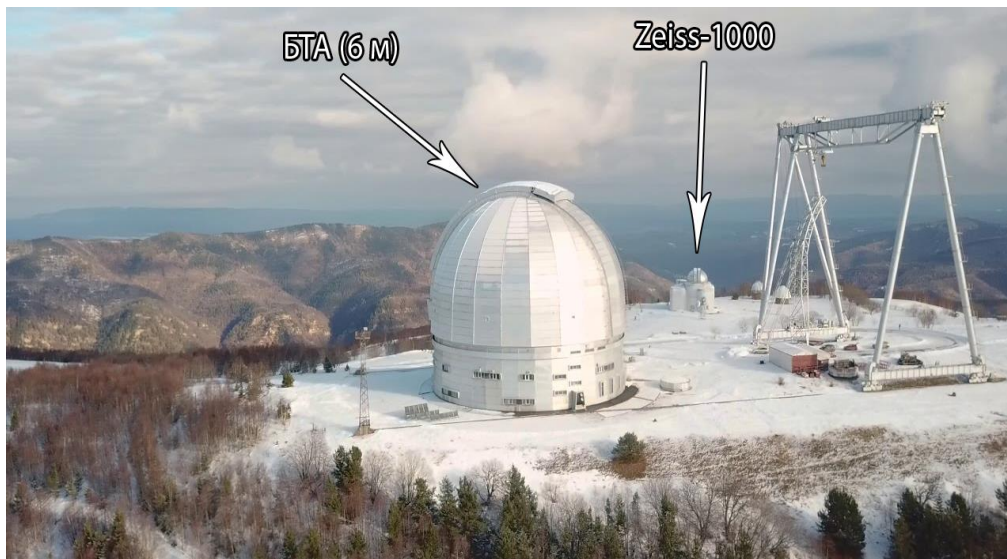
Глава 4. Поляриметрическое эхокартирование АЯГ

Заключение

Литература

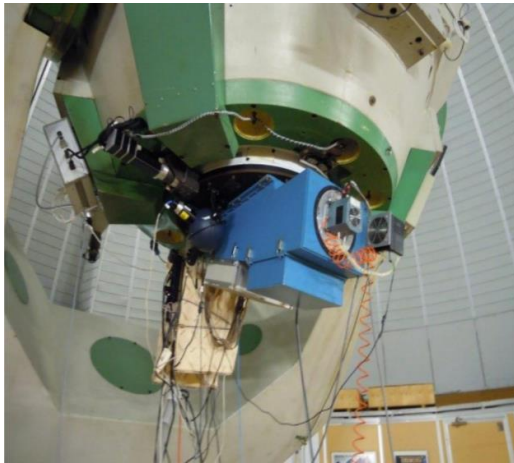
Глава 1. Методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений

Описывается редукция фотометрических, поляриметрических, спектрополяриметрических и спектральных данных, получаемых на БТА и Цейсс-1000 САО РАН и телескопа Коперника в Асьяго. Исследование прибора MAGIC.



Глава 1. Методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений

Описывается редукция фотометрических, поляриметрических, спектрополяриметрических и спектральных данных, получаемых на БТА и Цейсс-1000 CAO РАН и телескопа Коперника в Асьяго. Исследование прибора MAGIC.

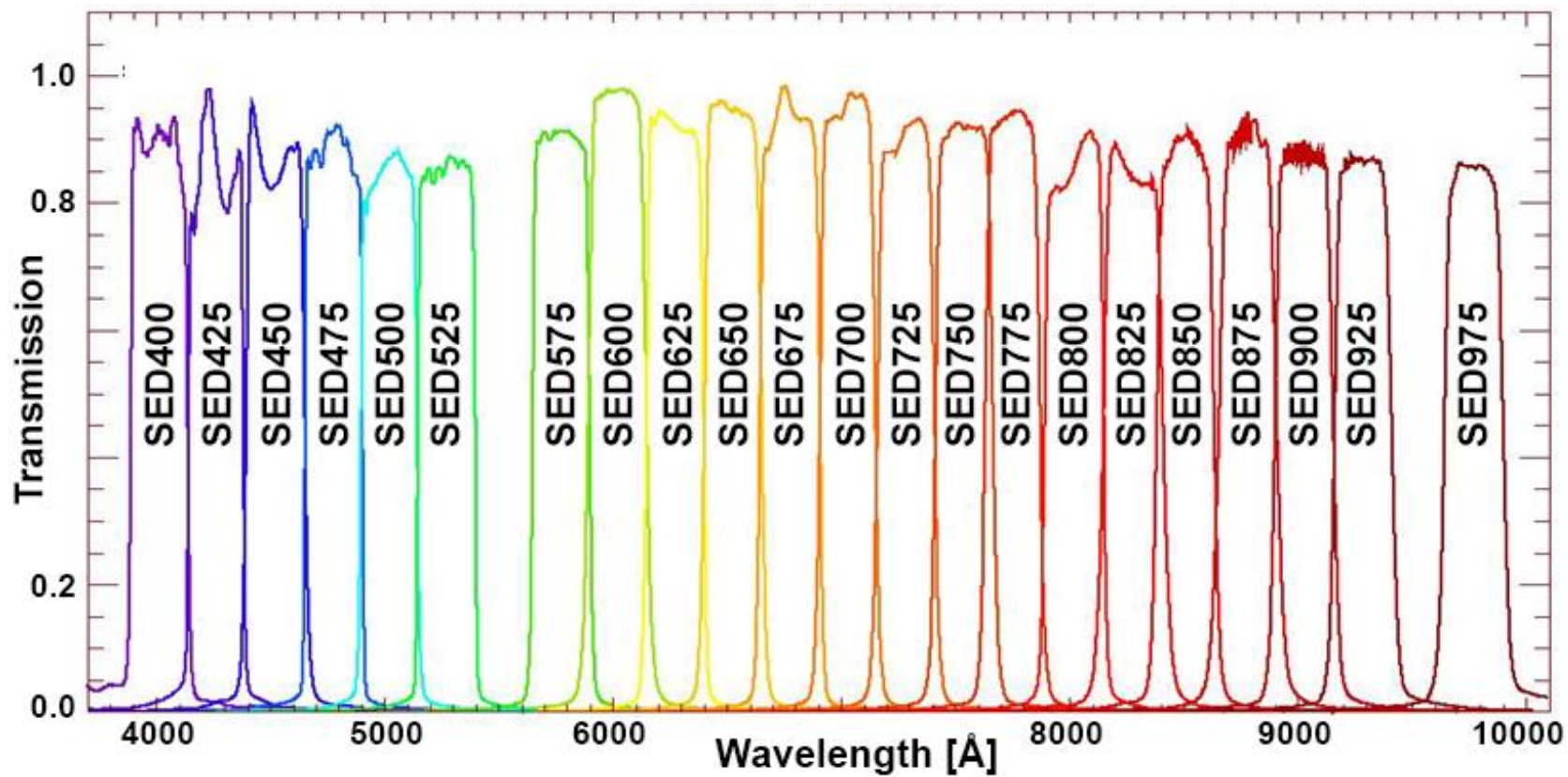
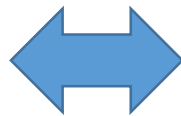
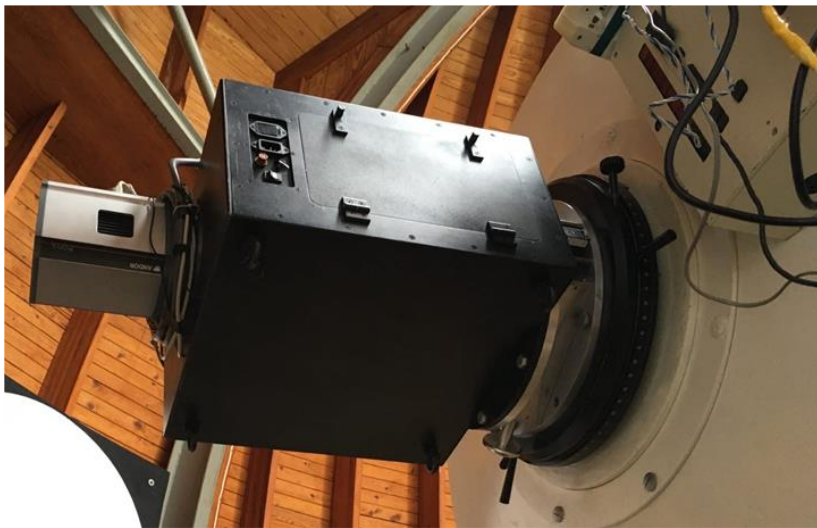


Copernico 1.82-m telescope
Italy, Asiago
AFOSC (double WP + 100Å
filters)

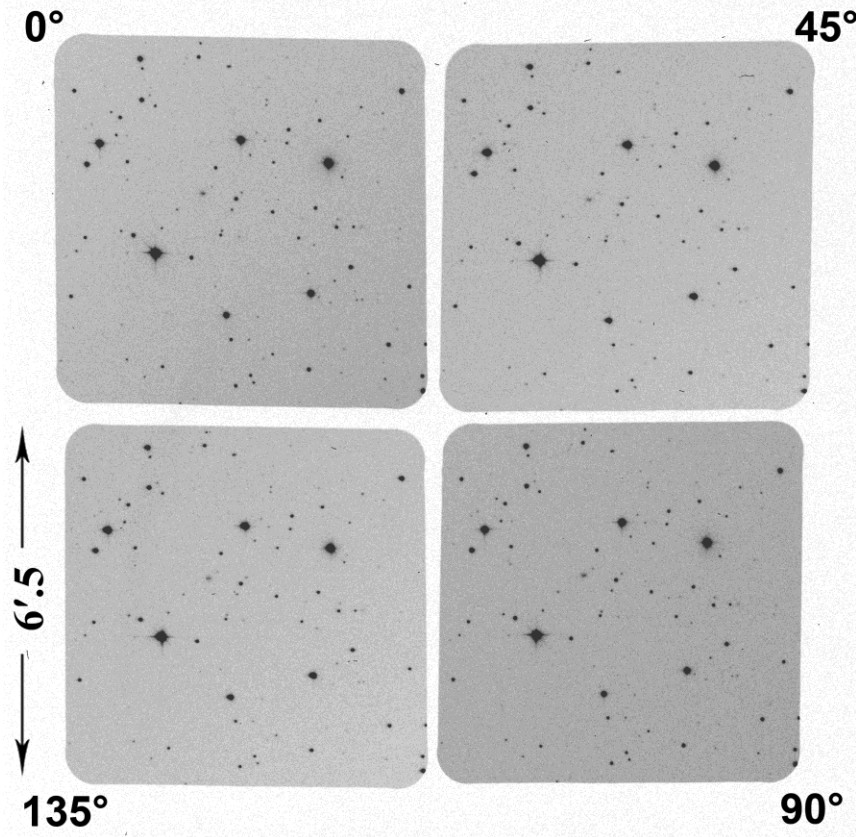


1-m Zeiss + StoP/MAGIC
CAO РАН
(double WP + 250Å SED)





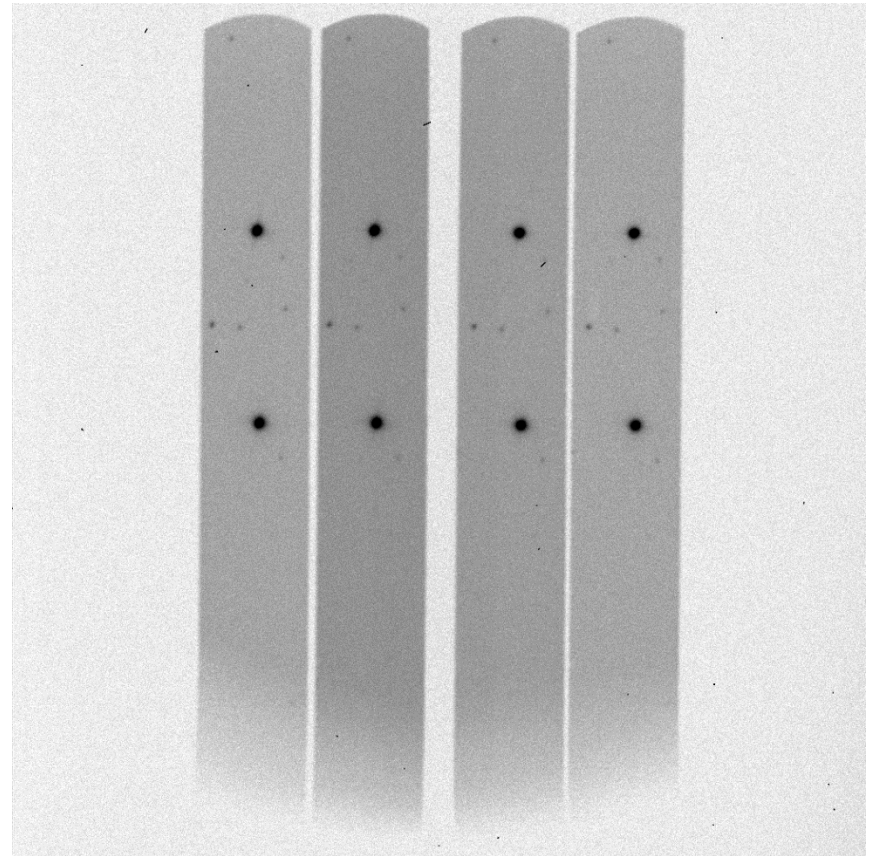
Пример наблюдений Mrk 509



1-m Zeiss-1000 + MAGIC + SED675

6'.5 × 6'.5

0".45/pix (Andor iKon-L 936 bin 1 × 1)

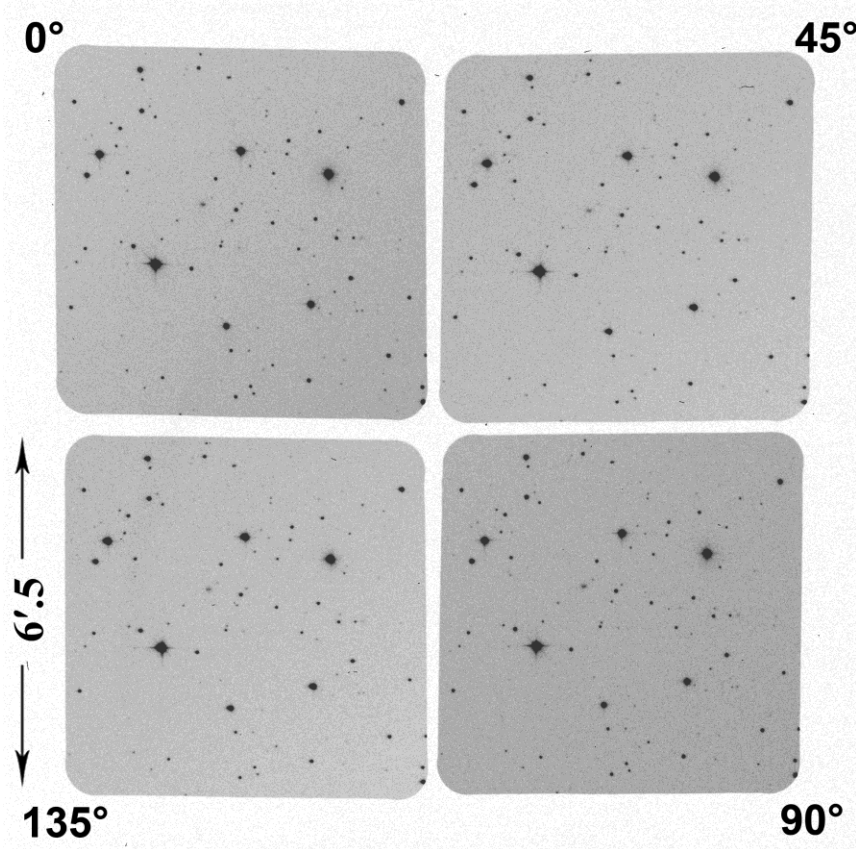


1-m Zeiss-1000 + STOP + SED675

0'.9 × 6'.1

0".35/pix (Andor iKon-L 936 bin 2 × 2)

Пример наблюдений Mrk 509



$$I = I_0 + I_{90}K_Q + I_{45} + I_{135}K_U$$

$$Q = \frac{I_0 - I_{90}K_Q}{I_0 + I_{90}K_Q}$$

$$U = \frac{I_{45} - I_{135}K_U}{I_{45} + I_{135}K_U}$$

$$P = \sqrt{Q^2 + U^2}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{U}{Q} \right)$$

1-m Zeiss-1000 + MAGIC + SED675

6'.5 × 6'.5

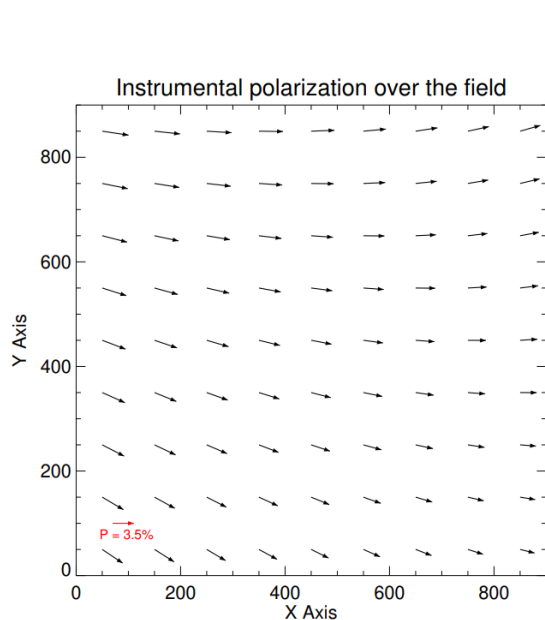
0".45/pix (Andor iKon-L 936 bin 1 × 1)

if $\sigma_P/P \gtrsim 0.7$ [*< 95% obtained data*]

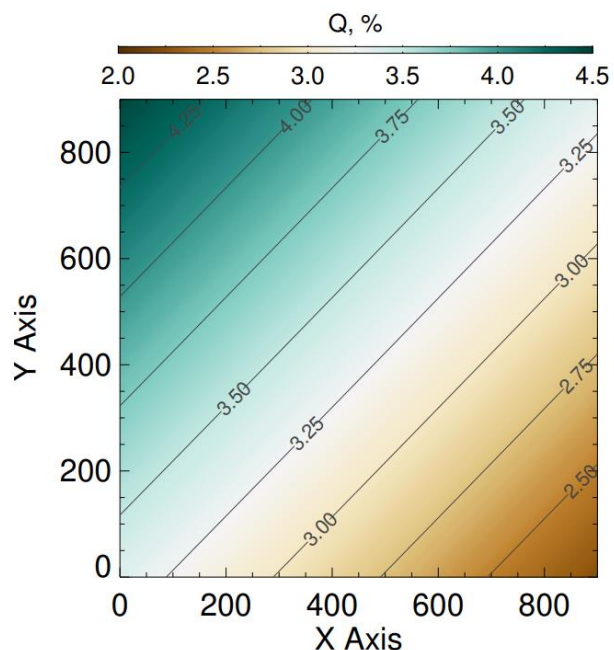
then $P_{\text{unbiased}} = P \cdot \sqrt{1 - (1.41 \cdot \sigma_P/P)^2}$

Глава 1. Методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений

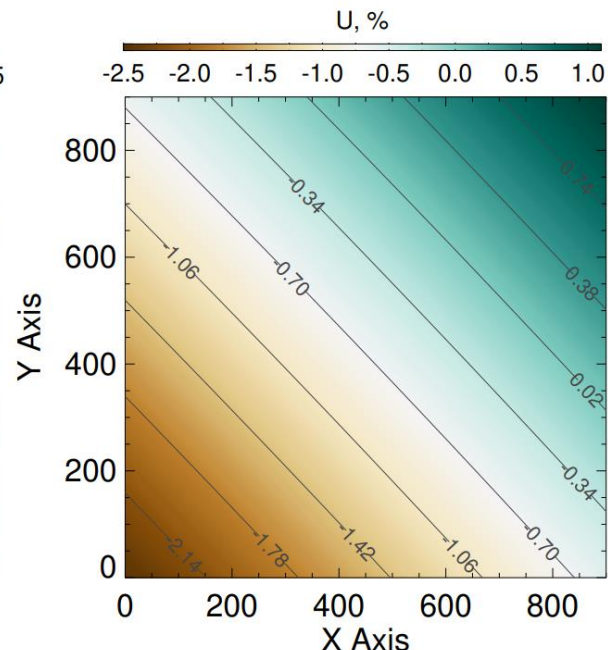
Описывается редукция фотометрических, поляриметрических, спектрополяриметрических и спектральных данных, получаемых на БТА и Цейсс-1000 САО РАН и телескопа Коперника в Асыяго. Исследование прибора MAGIC.



Инстр. поляризация MAGIC

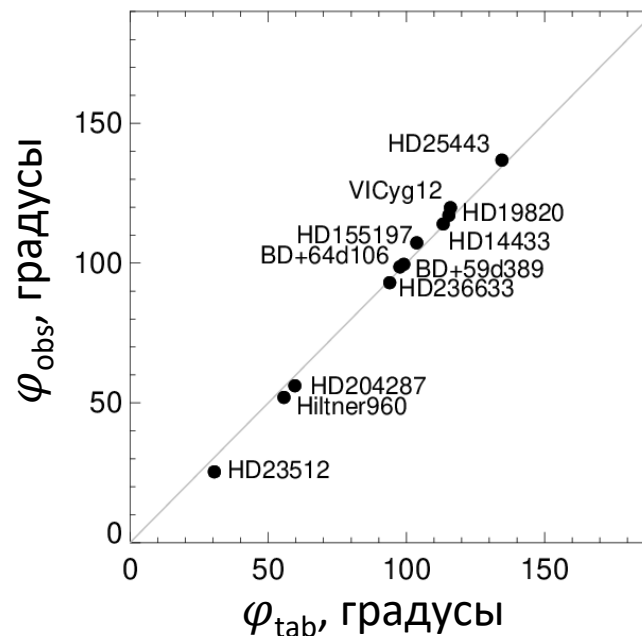
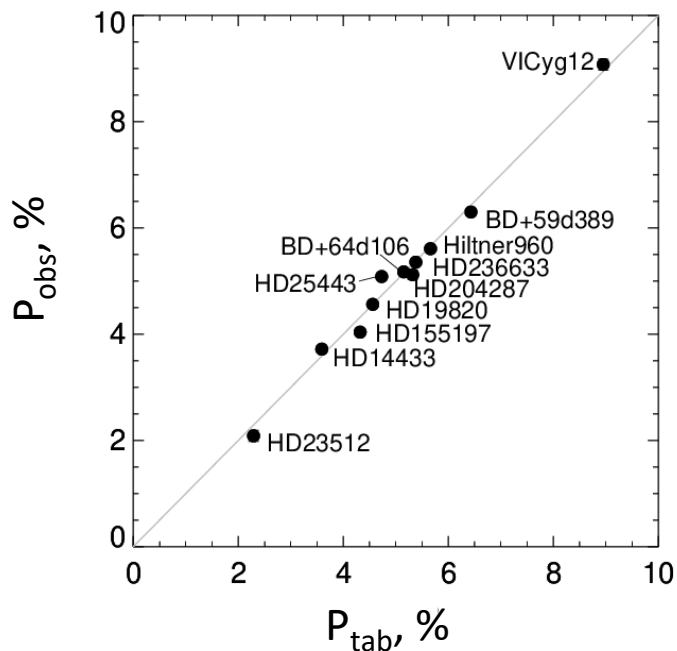


Модель инстр.поляризации для параметров Q и U.



Глава 1. Методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений

Описывается редукция фотометрических, поляриметрических, спектрополяриметрических и спектральных данных, получаемых на БТА и Цейсс-1000 САО РАН и телескопа Коперника в Асыяго. Исследование прибора MAGIC.

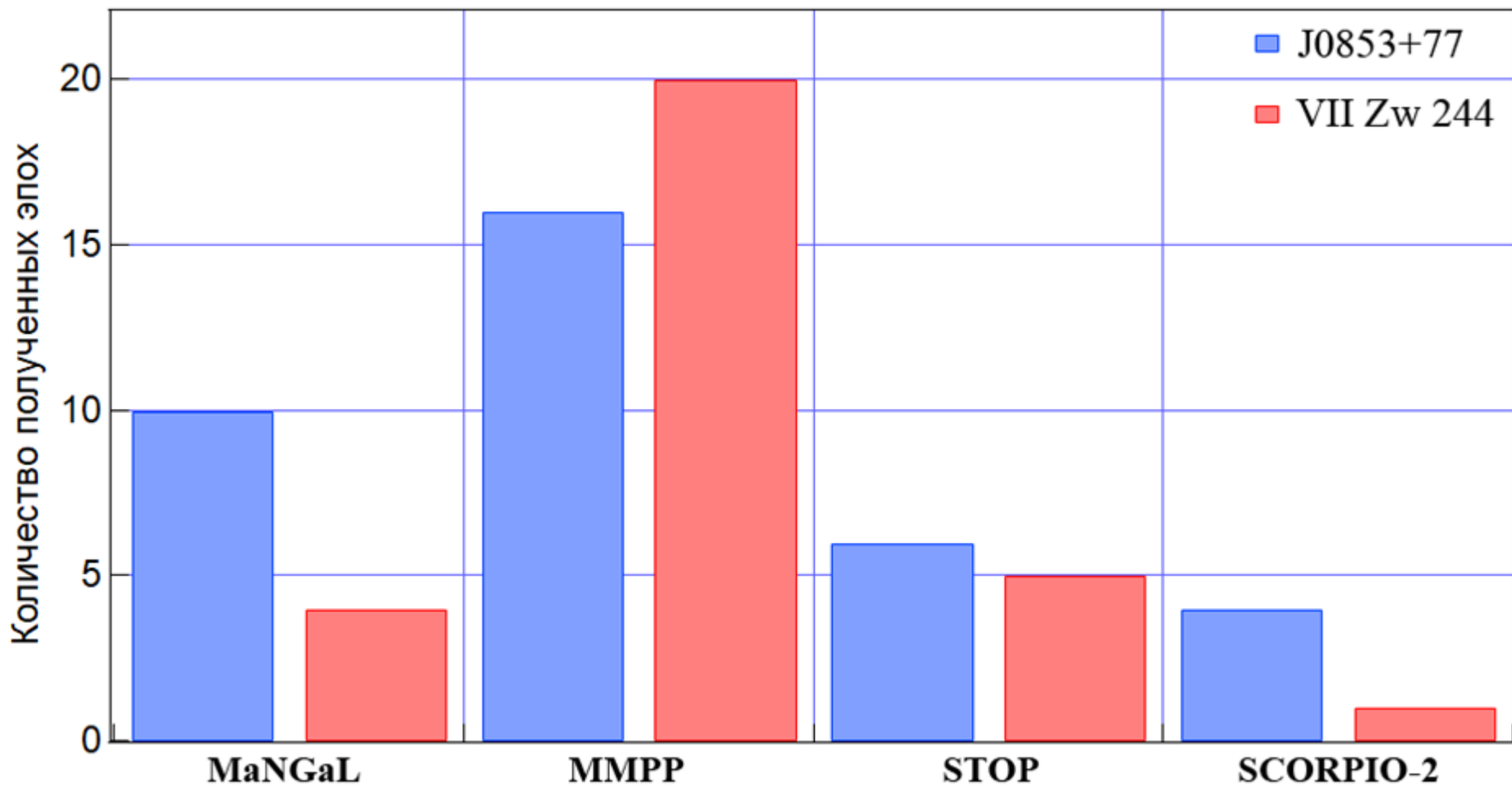


Результаты методических исследований MAGIC: отклонение наблюдаемых параметров поляризации от табличных для звезд-стандартов (Afanasiev et al, 2021).

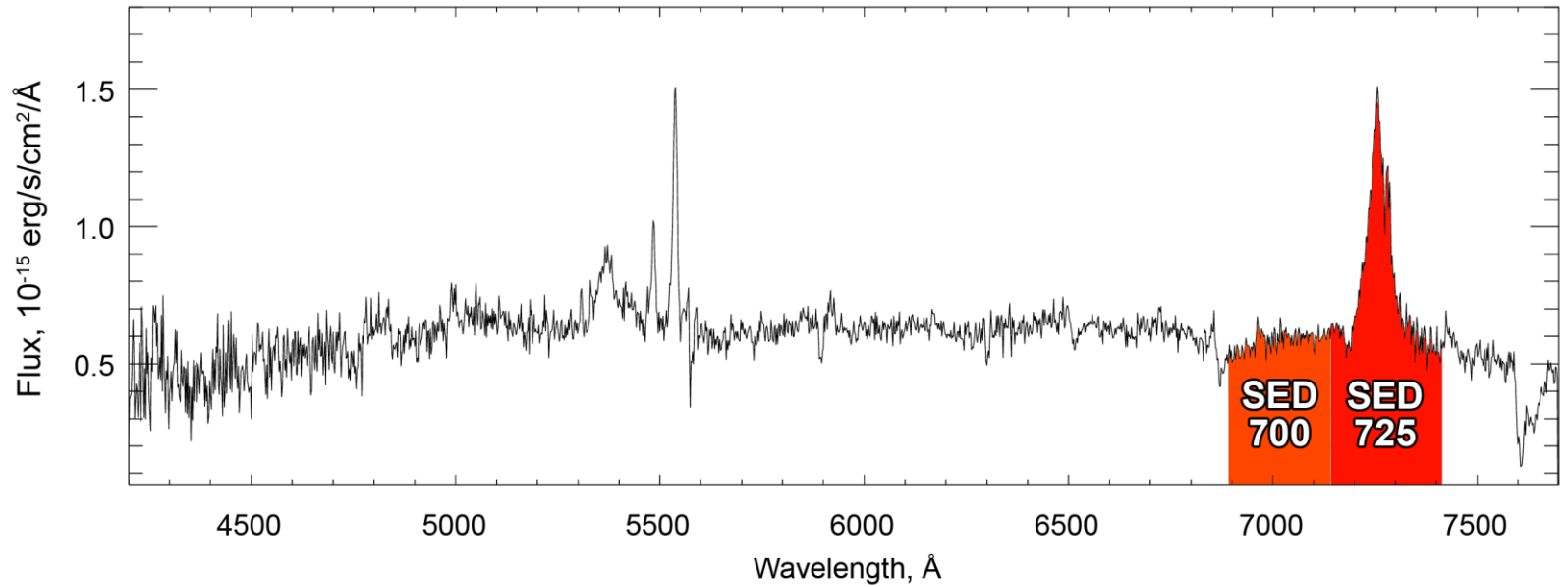
Глава 2. Исследование АЯГ методом фотометрического эхокартирования

Снято: 30 эпох
 Δt : 610 дней

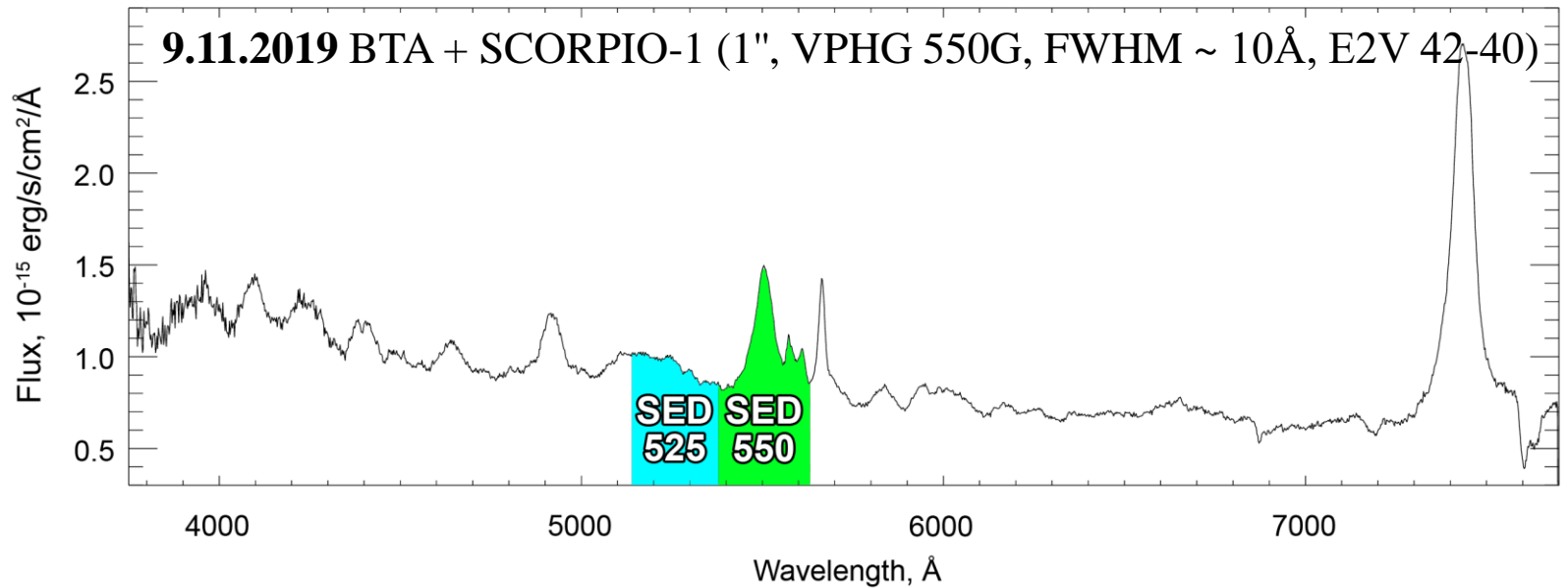
Снято: 36 эпох
 Δt : 814 дней



2MASX J08535955+7700543

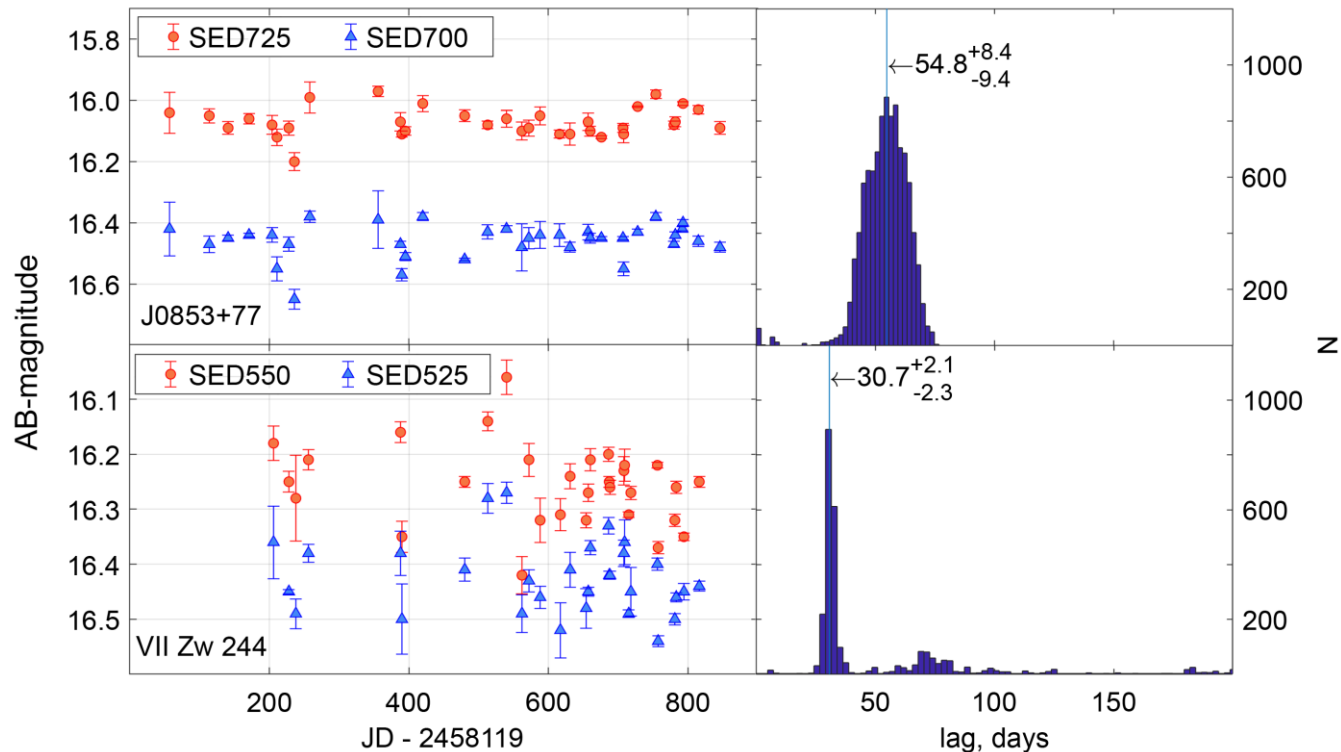


VII Zw 244



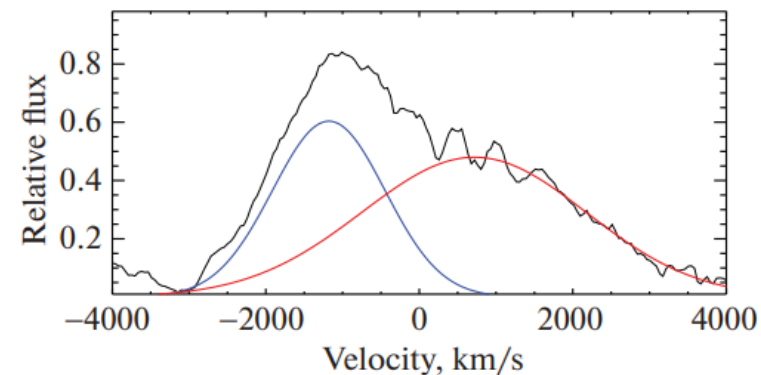
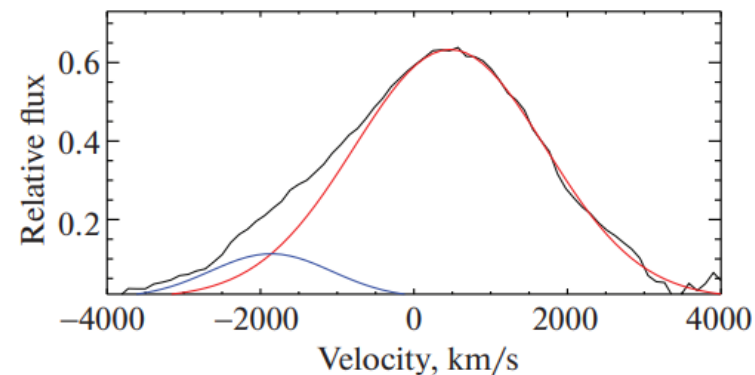
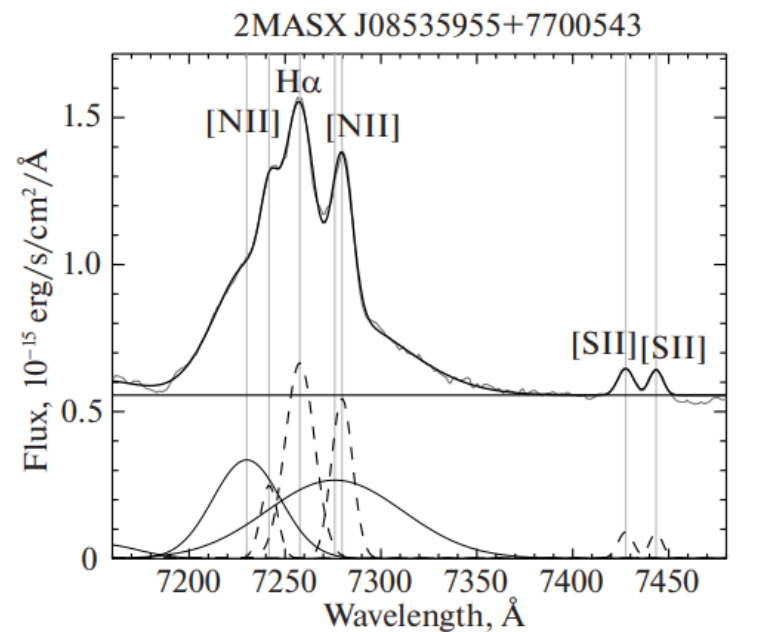
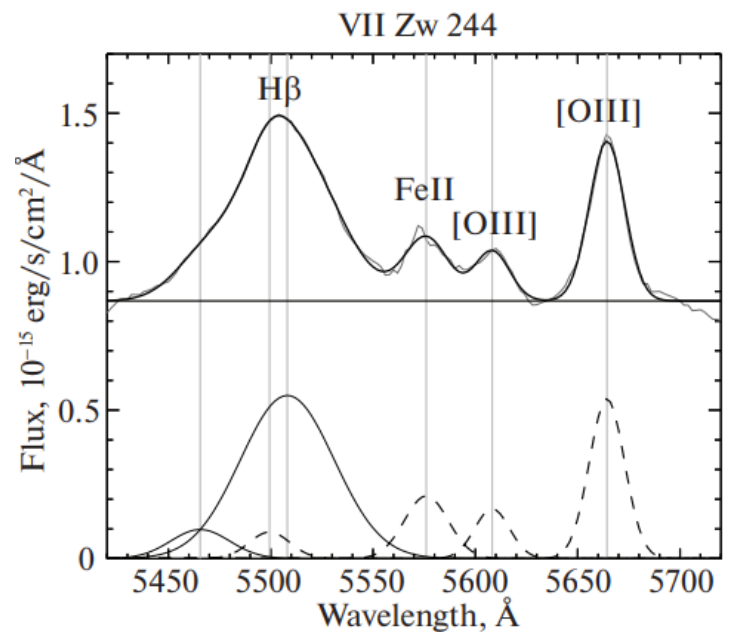
Глава 2. Исследование АЯГ методом фотометрического эхокартирования

Многолетний фотометрический мониторинг АЯГ 1 типа VII Zw 244 и LEDA 3095839 для измерения задержки излучения и последующей оценки размеров BLR-области.



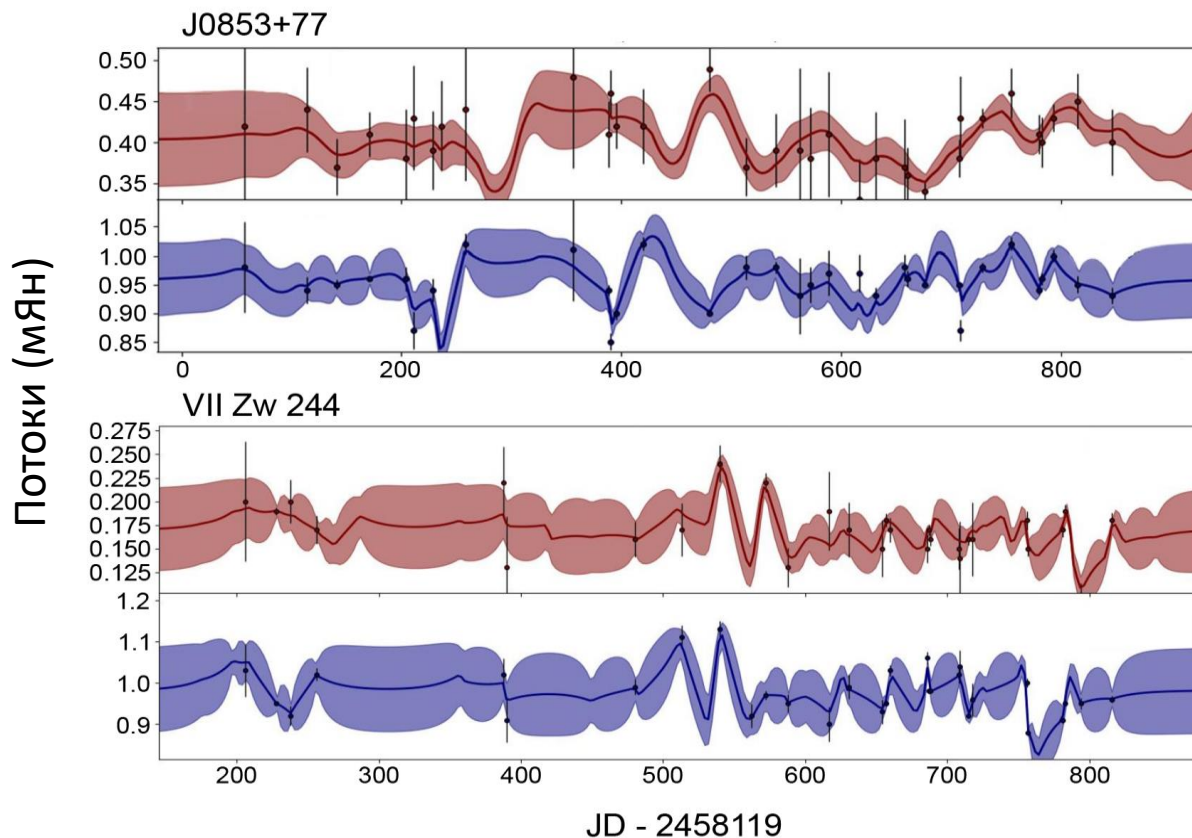
Кривые блеска в континууме (АД) и в линии (BLR) + JAVELIN-анализ (Malygin et al, 2020)

Глава 2. Исследование АЯГ методом фотометрического эхокартирования



Спектральный анализ балмеровских линий в АЯГ (Malygin et al, 2020)

Глава 2. Исследование АЯГ методом фотометрического эхокартирования



JAVELIN-
моделирование
кривых блеска в
линии и континууме
для исследуемых АЯГ

$$M_{\text{SMBH}} = f_{\text{ct}} v^2 / G$$

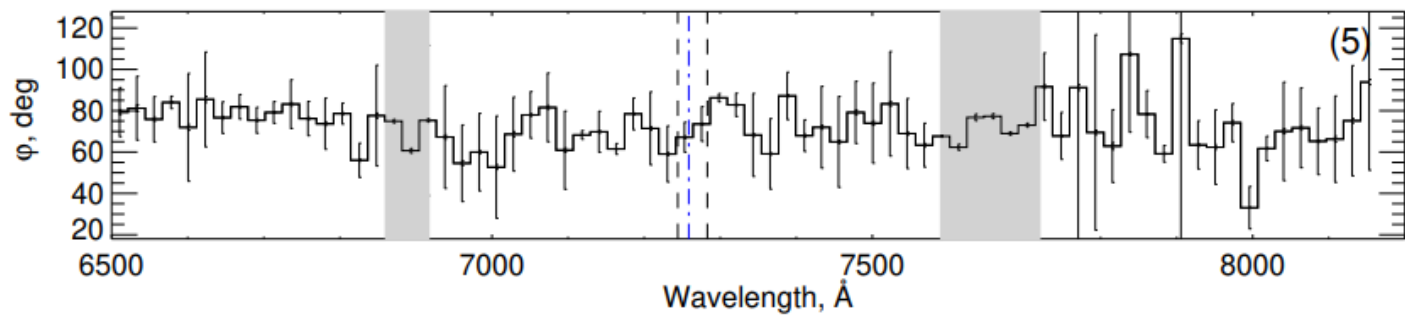
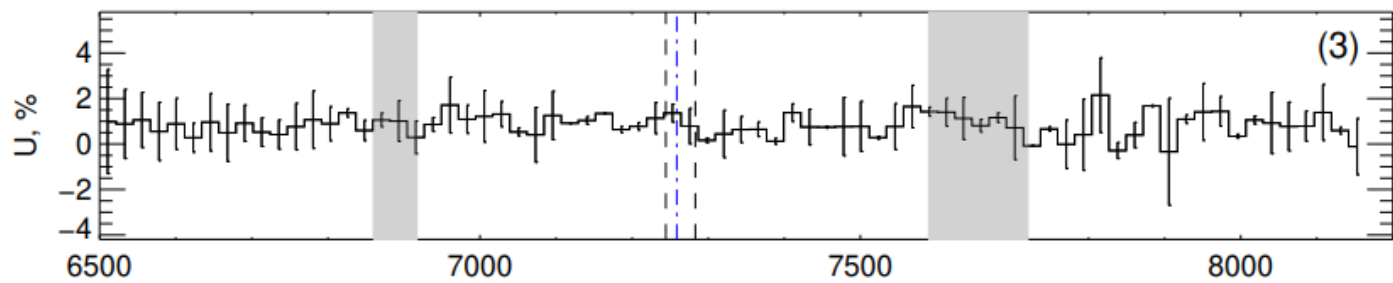
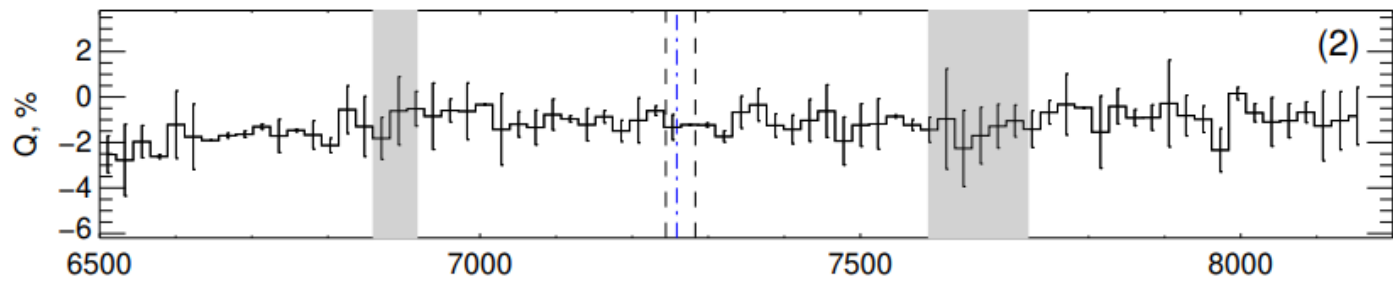
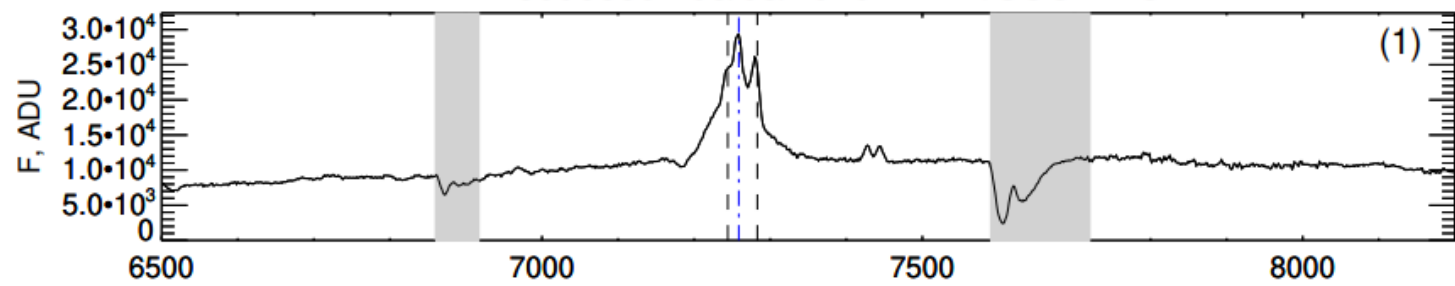
Object (line)	τ_{line} , days	$\vartheta_{\text{line}}^2$, km ² /s ²	λL_{5100} , erg/s	M_{\bullet} , log(M/M _⊙)
J0853+77 (H α)	54.8 ^{+8.4} _{-9.4}	2.3 × 10 ⁶	0.87 × 10 ⁴⁴	7.398 ^{+0.153} _{-0.171}
VII Zw 244 (H β)	30.7 ^{+2.1} _{-2.3}	1.9 × 10 ⁶	1.67 × 10 ⁴⁴	7.049 ^{+0.068} _{-0.075}

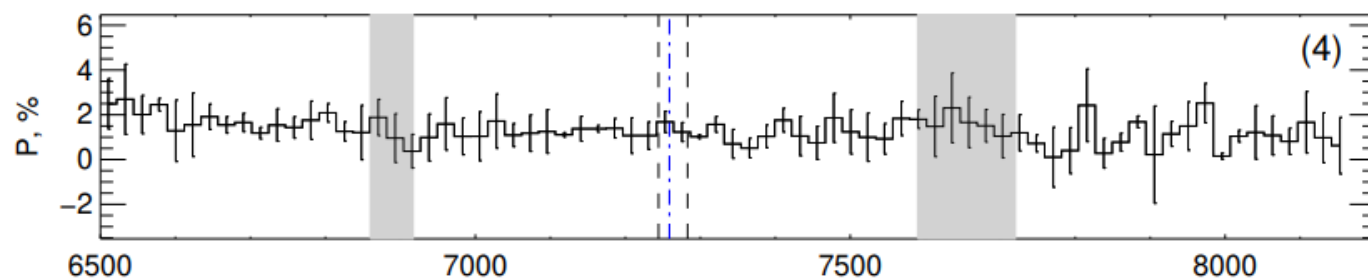
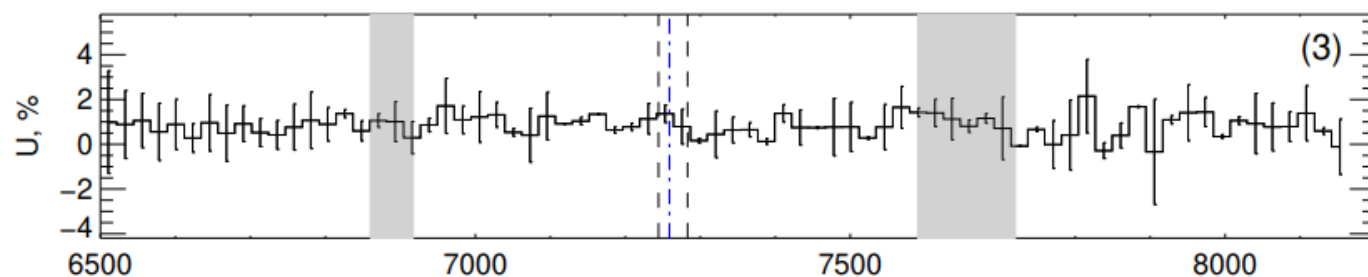
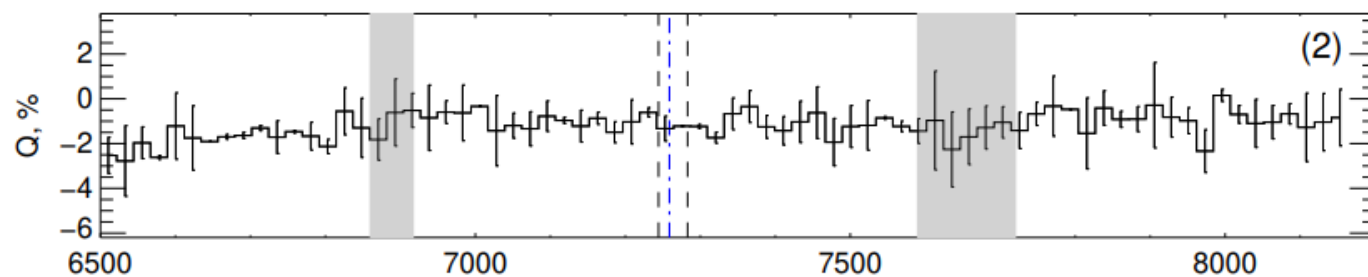
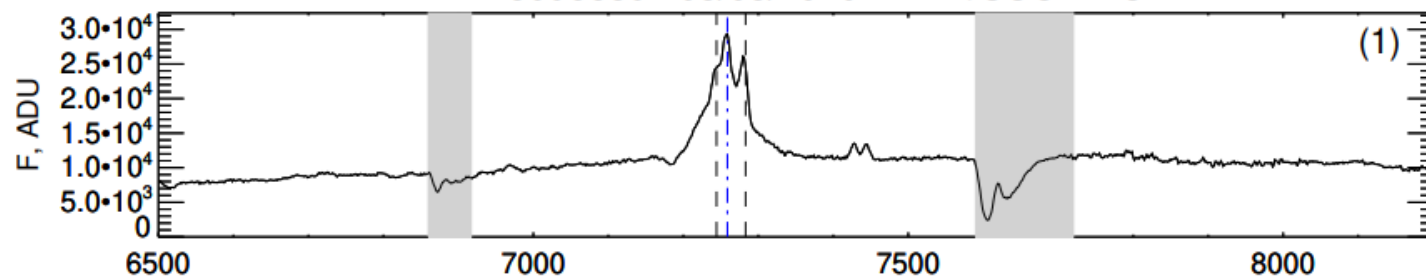
Uklein et al, 2019
Malygin et al, 2020

Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

Глава посвящена спектрополяриметрическим исследованиям АЯГ VII Zw 244 и LEDA 3095839. Измерены массы СМЧД, их спины, напряжённости магнитных полей на горизонте событий, а также в комбинации с реверберацией наклон систем к лучу зрения.

Объект	Режим	VPHG/ Фильтр	Дата	Эксп., с	Seeing	Air Mass
LEDA 3095839	спецpol	1026@735	03.03.20	300 + 9 × 600	1".7	1.4
	pol	SED700	18.11.19	60 + 4 × 80	1".3	1.2
		SED725		60 + 4 × 50		
VII Zw 244	спецpol	940@600	12.10.2020	6 × 900	1".7	1.3
	pol	SED700	7.11.2019	7 × 180	2".5	1.3
		SED725		7 × 180		
SED750		7 × 180				

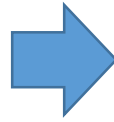




Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

LEDA 3095839

Спин СМЧД a численно определяется из



$$\varepsilon(a) = 1 - \frac{R_{\text{ISCO}}^{3/2} - 2R_{\text{ISCO}}^{1/2} + |a|}{R_{\text{ISCO}}^{3/4} \left(R_{\text{ISCO}}^{3/2} - 3R_{\text{ISCO}}^{1/2} + 2|a| \right)^{1/2}}$$



Коэффициент радиационной эффективности в случае геометрически тонкого, оптически толстого аккреционного диска Шакуры-Сюняева определяется из наблюдений:

$$R_{\text{ISCO}}(a) = 3 + Z_2 \pm [(3 - Z_1)(3 + Z_1 + 2Z_2)]^{1/2}$$

$$Z_1 = 1 + (1 - a^2)^{1/3} [(1 + a)^{1/3} + (1 - a)^{1/3}]$$

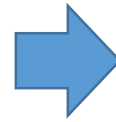
$$Z_2 = (3a^2 + Z_1^2)^{1/2}$$

$$\varepsilon(a) = 0.105 \left(\frac{L_{\text{bol}}}{10^{46} \text{erg/s}} \right) \left(\frac{L_{5100}}{10^{45} \text{erg/s}} \right)^{-1.5} \cdot M_8 \mu^{1.5} \quad \begin{cases} M_8 = M_{\text{SMBH}} / (10^8 M_{\odot}) \\ \mu = \cos(i) \end{cases}$$

Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

LEDA 3095839

Магнитное поле в АД имеет степенной вид



$$B(R) = B_H (R_H/R)^s$$

$P = (0.9 \pm 0.4)\%$ - механизм Соболева-Чандрасекара (т.е. АД)

B_H – напряжённость МП на горизонте событий

$$R_H = GM_{\text{SMBH}} (1 + \sqrt{1 - a^2}) / c^2$$



$$i = 35^\circ \text{ или } i = 45^\circ$$

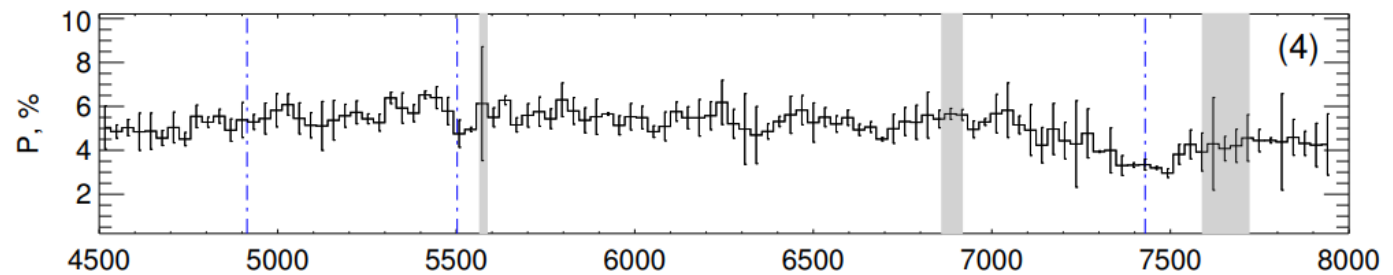
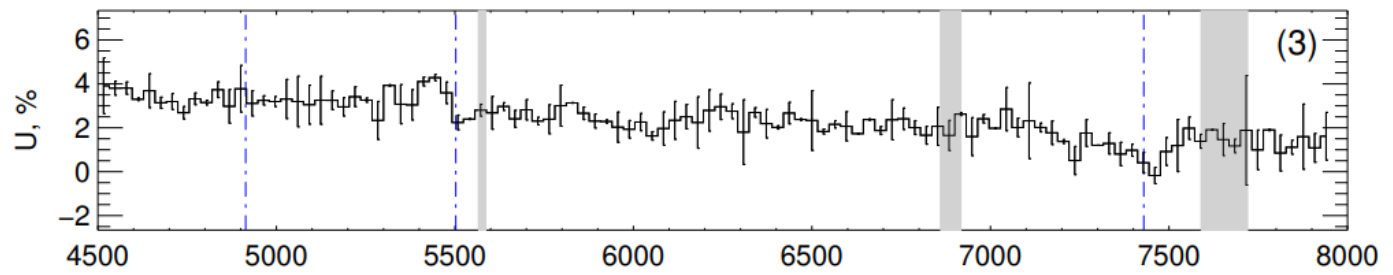
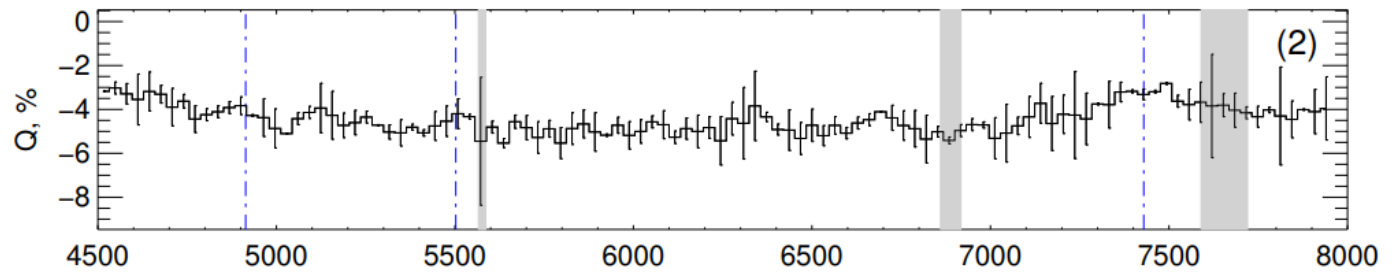
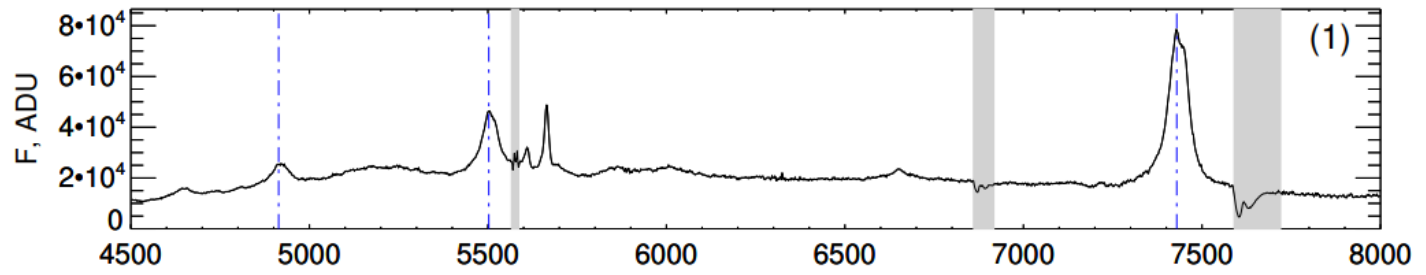
Спектральный подход:

$$B_H = \frac{10^{(5.78 \pm 0.07)} 1.05^{-0.5} \sqrt{\varepsilon}}{l_E^{(0.295 \pm 0.020)} |a| [\cos(i)]^{3/4}} \left(\frac{10^3 \text{ km/s}}{FWHM} \right)^3 G$$

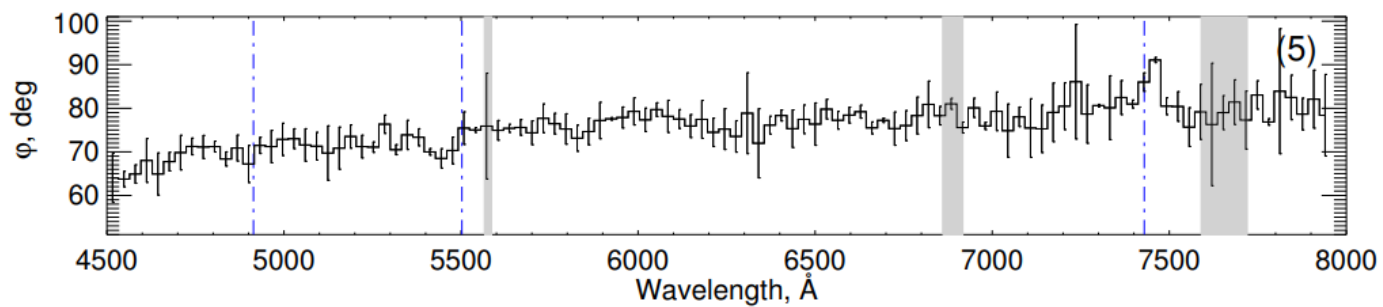
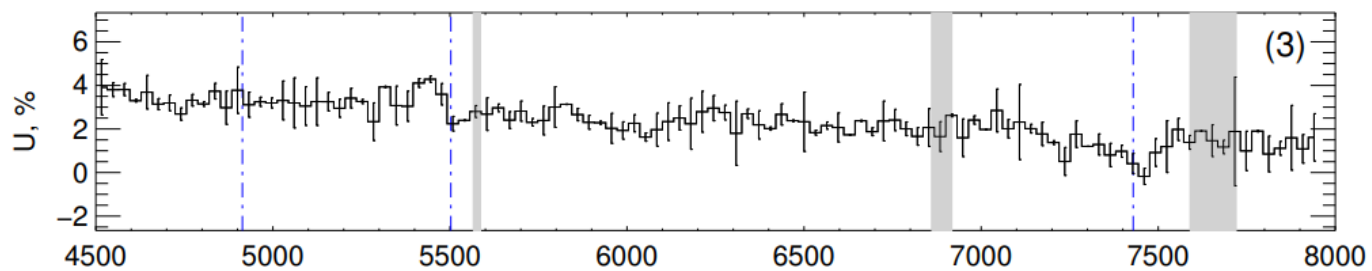
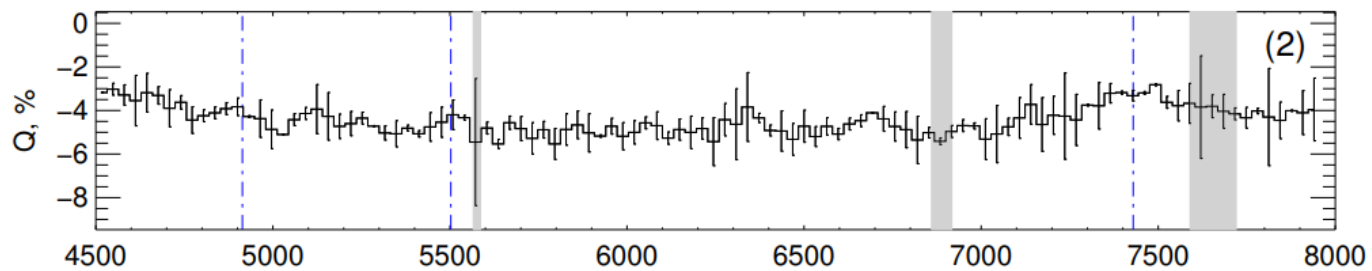
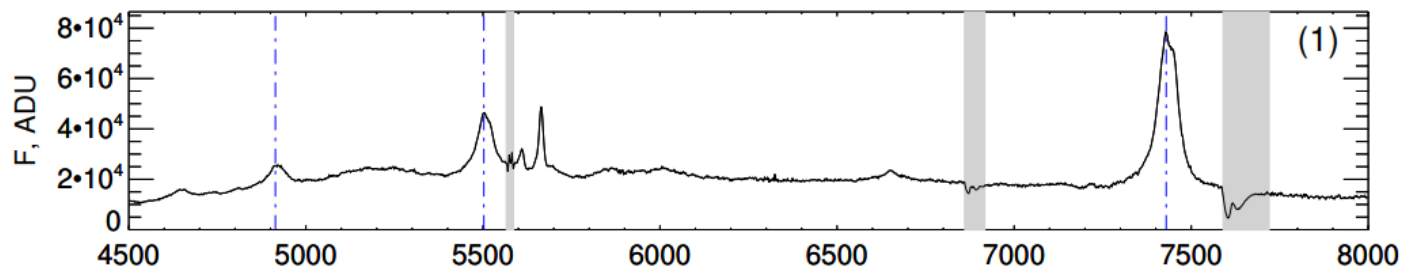
$$FWHM(H_\beta) = 2\sqrt{2\ln(2)} \cdot 0.88^{-0.5} V_{H\alpha}$$

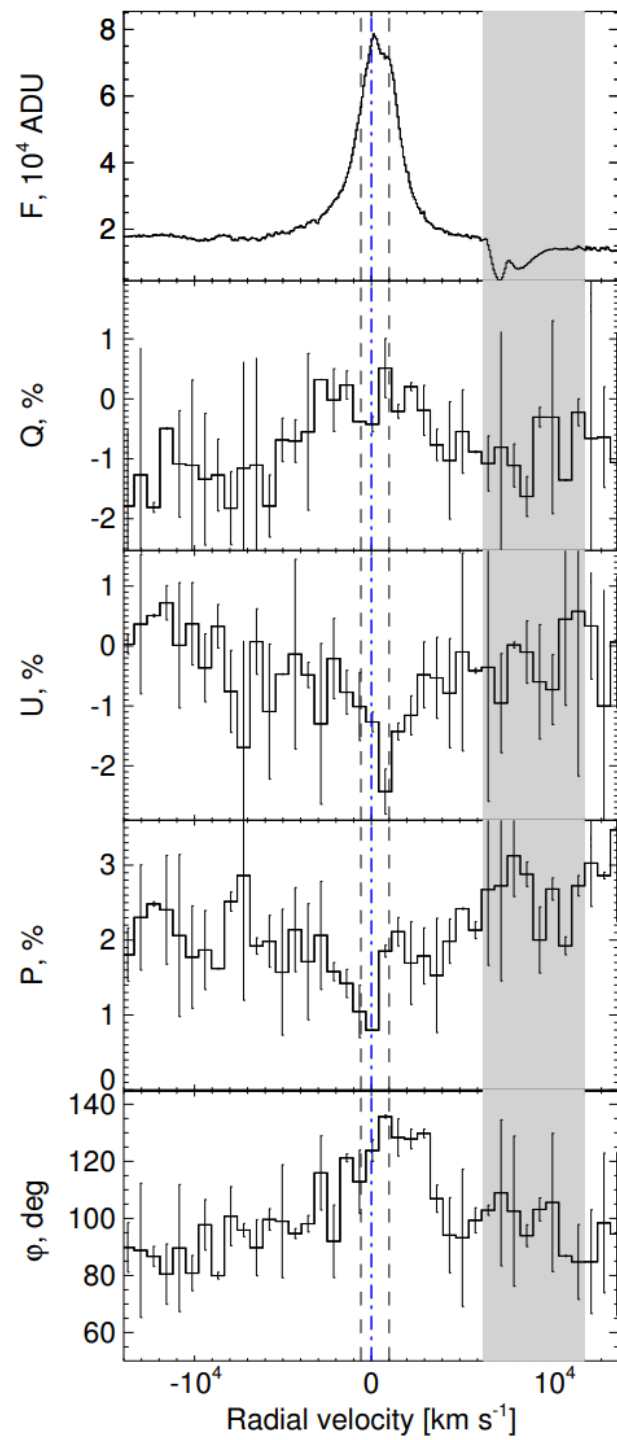
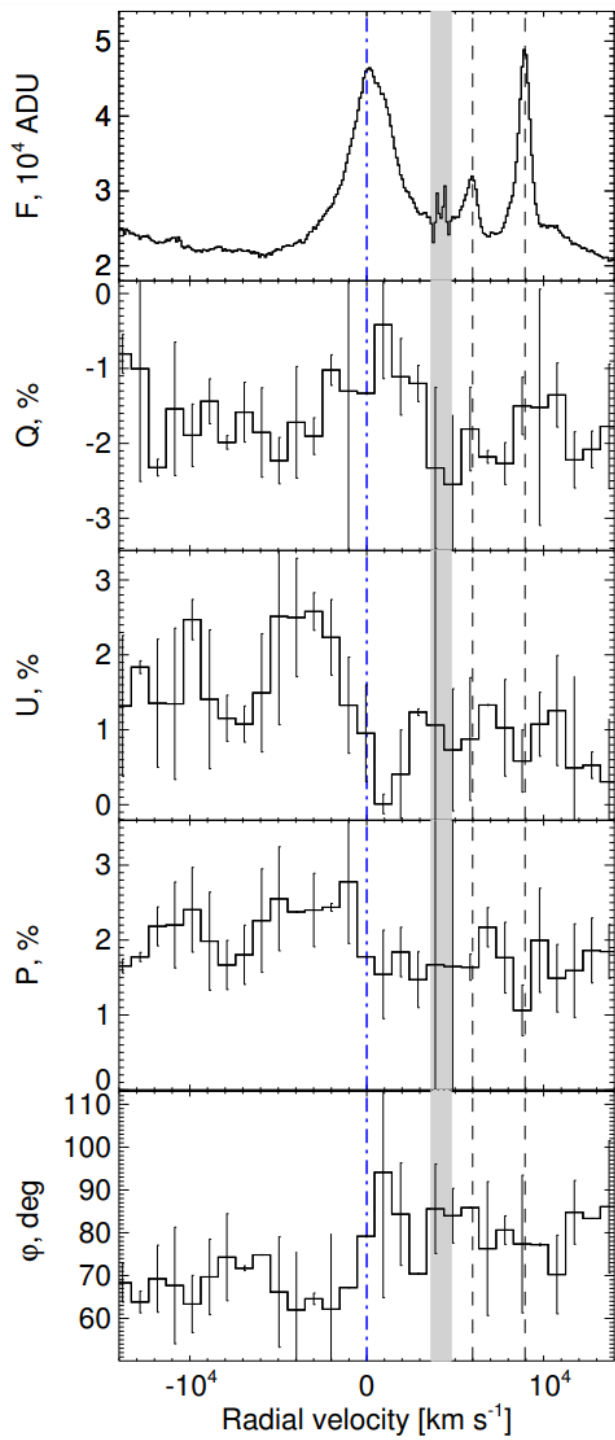
$$l_E = L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}} \quad L_{\text{Edd}} = 1.5 \cdot 10^{38} M_{\text{SMBH}}/M_\odot$$

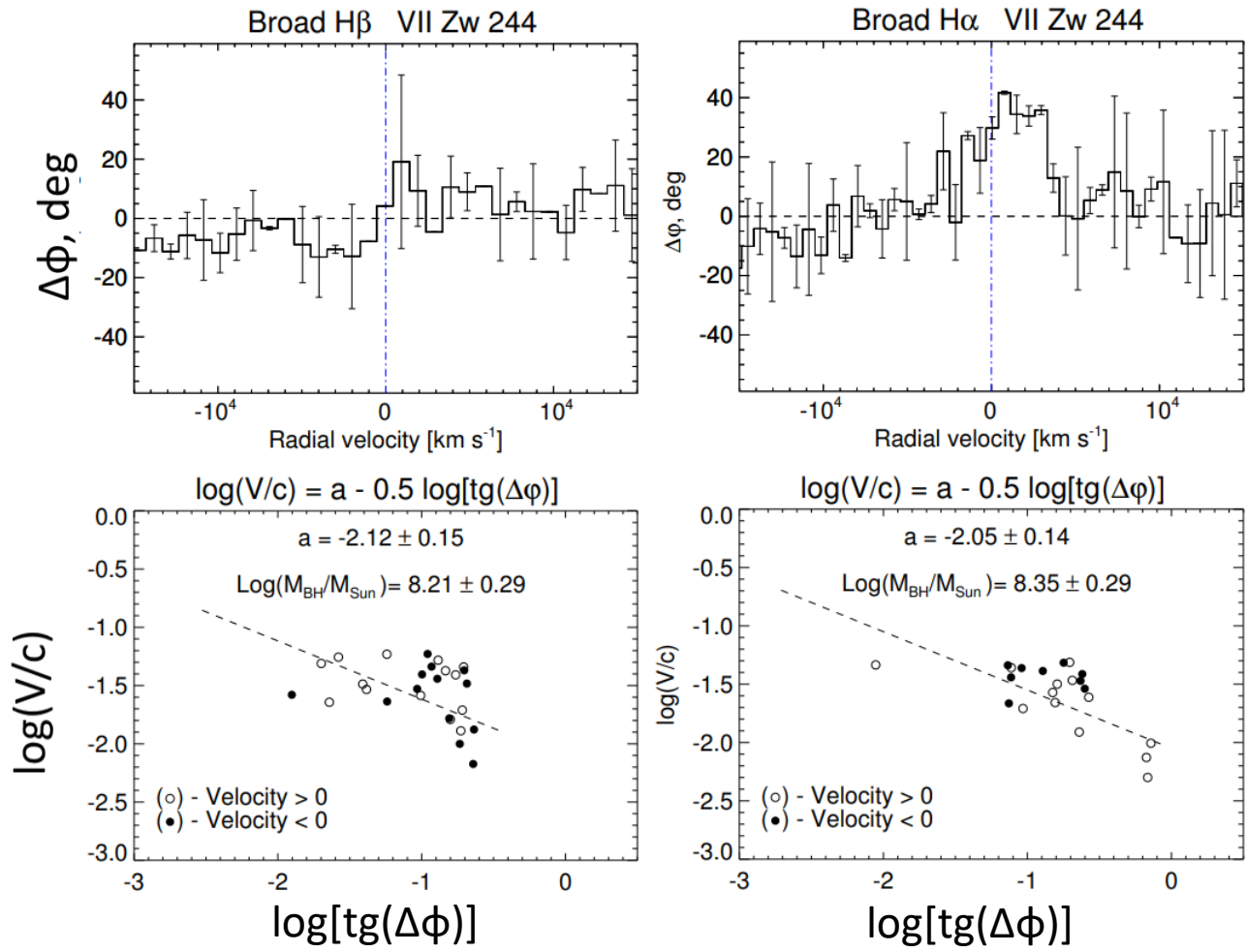
VII Zw 244 12/10/2020 BTA+SCORPIO-2



VII Zw 244 12/10/2020 BTA+SCORPIO-2







$$\log\left(\frac{V}{c}\right) = a - 0.5 \cdot \log[\text{tg}(\Delta\phi)]$$

$$a = 0.5 \cdot \log\left[\frac{GM_{\text{SMBH}} \cos^2(\theta)}{c^2 R_{\text{SC}}}\right] \Rightarrow \log\left(\frac{M_{\text{SMBH}}}{M_{\odot}}\right) \approx 10.25 + 2a + \log(R_{\text{SC}})$$

Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

Фотометрия	Спектроскопия		Реверберация	Спектрополяриметрия
Лаг в H β , дн.	$V_{H\beta}^2$, км ² /с ²	λL_{5100} , эрг/с	M_{\bullet}^{rev} , log(M/M $_{\odot}$)	M_{\bullet}^{sp} , log(M/M $_{\odot}$)
$30.7^{+2.1}_{-2.3}$	1.9×10^6	1.67×10^{44}	$7.049^{+0.068}_{-0.075}$	8.3 ± 0.3

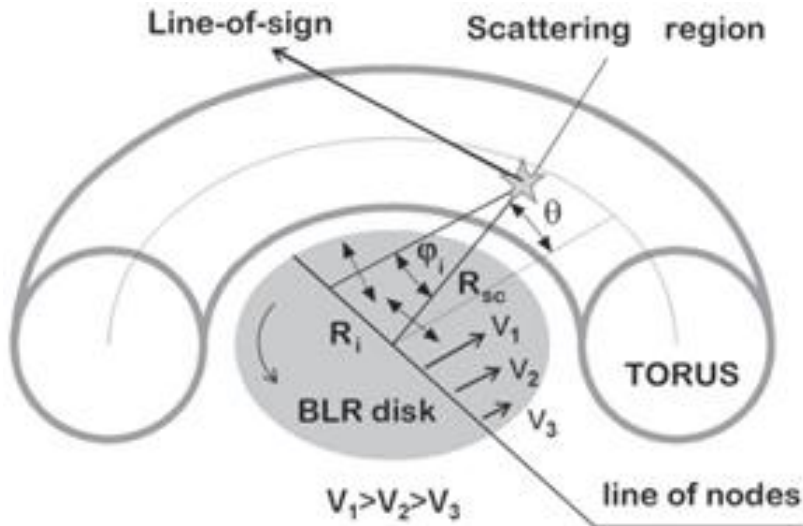


$$M_{\bullet} = f \cdot R_{BLR} \cdot V^2 / G$$

$$f \sim \frac{1}{\sin^2(i)} = 21.1 \pm 10.1$$



$$i = (14.3 \pm 3.6)^{\circ}$$



Глава 3. Спектрополяриметрия АЯГ

Глава посвящена спектрополяриметрическим исследованиям АЯГ VII Zw 244 и LEDA 3095839. Измерены массы СМЧД, их спины, напряжённости магнитных полей на горизонте событий, а также в комбинации с реверберацией наклон систем к лучу зрения.

Object	P	i	$\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot})$	a	$\log(B_{\text{H}})$	$\log(B_{\text{H}}^*)$	s
LEDA 3095839	0.9 ± 0.4	35	$7.881^{+0.153}_{-0.171}$	$0.966^{+0.030}_{-0.106}$	$4.06^{+0.24}_{-0.24}$	$3.53^{+0.26}_{-0.53}$	1.77 ± 0.18
		45	$7.699^{+0.153}_{-0.171}$	$0.736^{+0.226}_{-0.368}$	$4.00^{+0.56}_{-0.34}$	$4.08^{+0.30}_{-1.08}$	1.63 ± 0.23
VII Zw 244	1.4 ± 0.6	18	$8.069^{+0.068}_{-0.075}$	$0.996^{+0.002}_{-0.012}$	$4.29^{+0.10}_{-0.13}$	–	–
		$14.3 \pm 3.6^{\dagger}$	$8.29 \pm 0.30^{\dagger}$	–	–	–	–

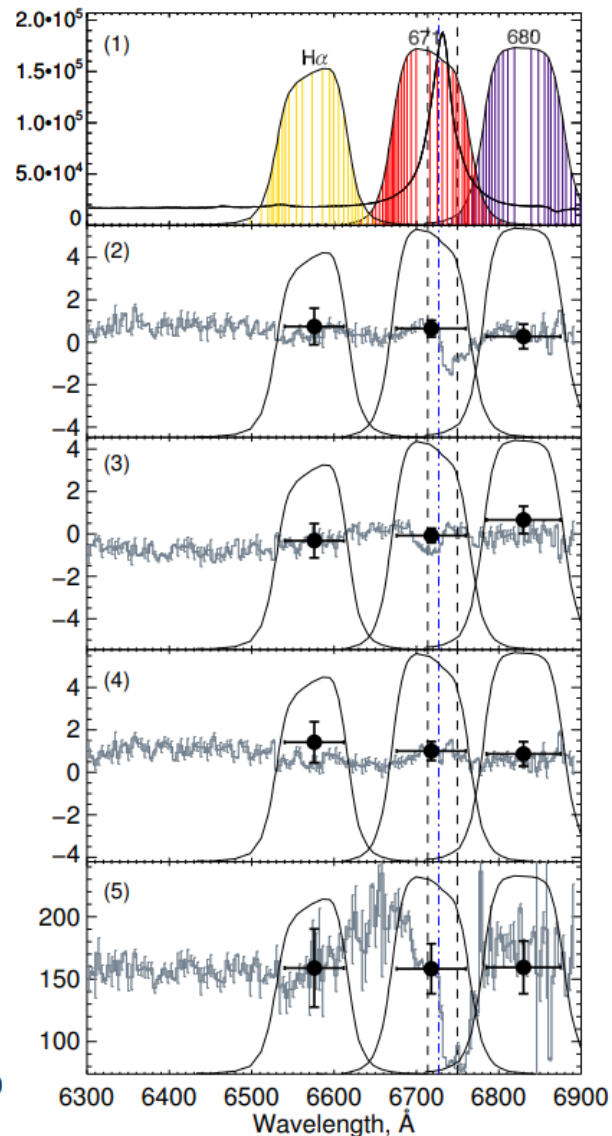
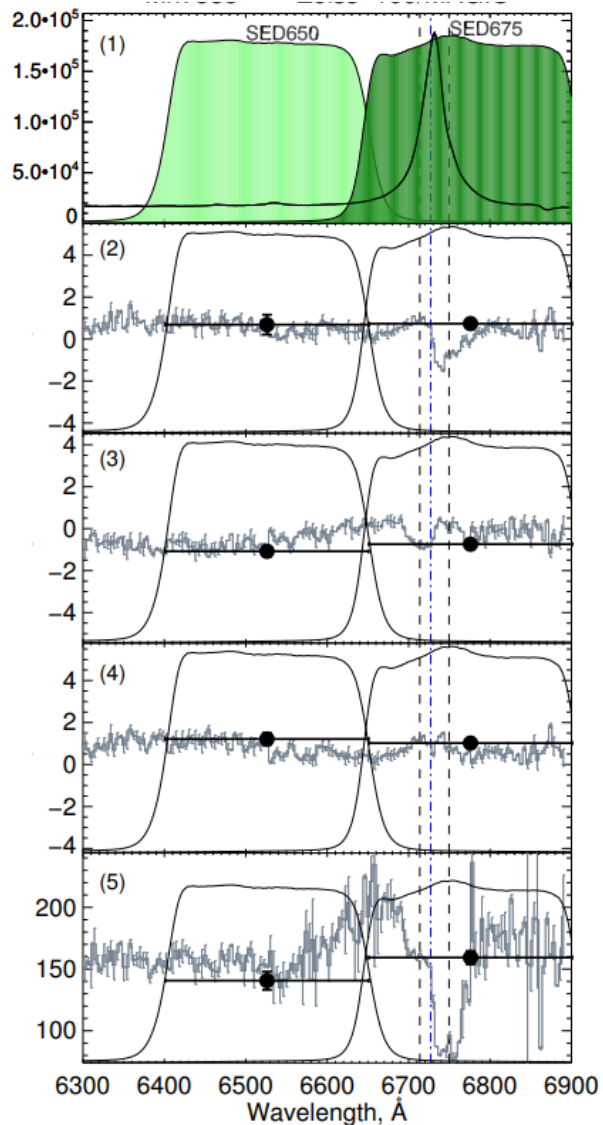
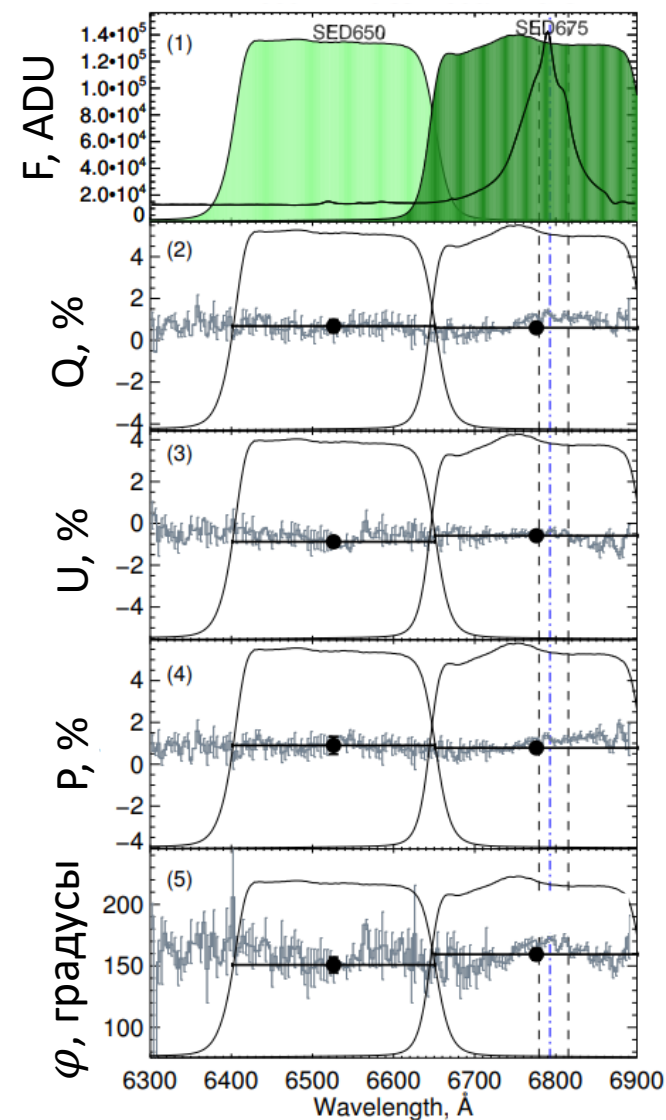
Результаты расчётов масс M_{BH} и спинов a для АЯГ. P — степень поляризации в [%], i — угол наклона в градусах, B_{H} и B_{H}^* — напряжённость магнитного поля на горизонте событий в гауссах, полученная из спектральных характеристик и из поляризационных данных соответственно, s — показатель степени степенной зависимости магнитного поля от радиуса (Shablovinskaya et al, 2022).

Глава 4. Поляриметрическое эхокартирование АЯГ

Mrk 509 – Zeiss-1000/MAGIC

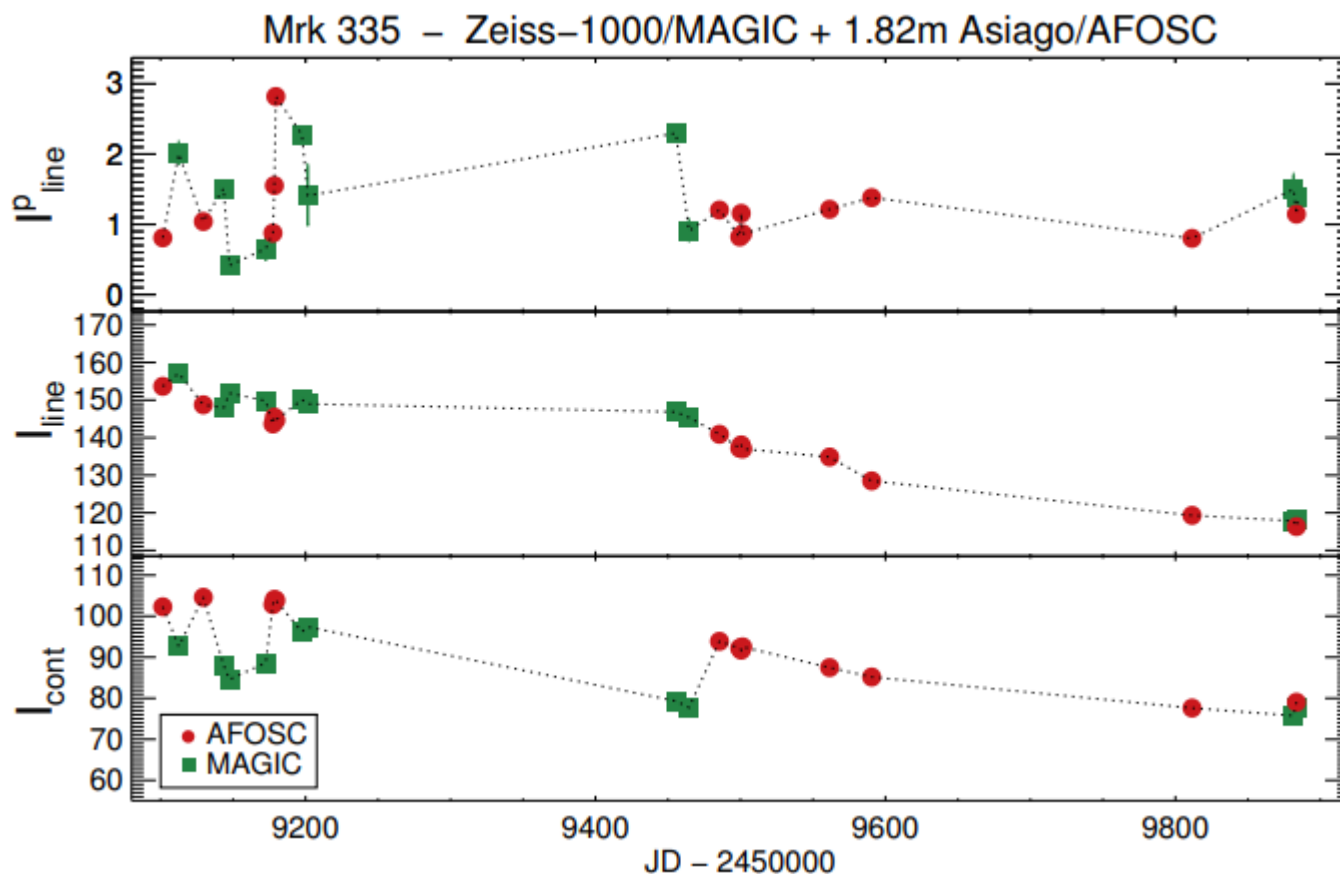
Mrk 335 – Zeiss-1000/MAGIC

Mrk 335 – 1.82m Asiago/AFOSC



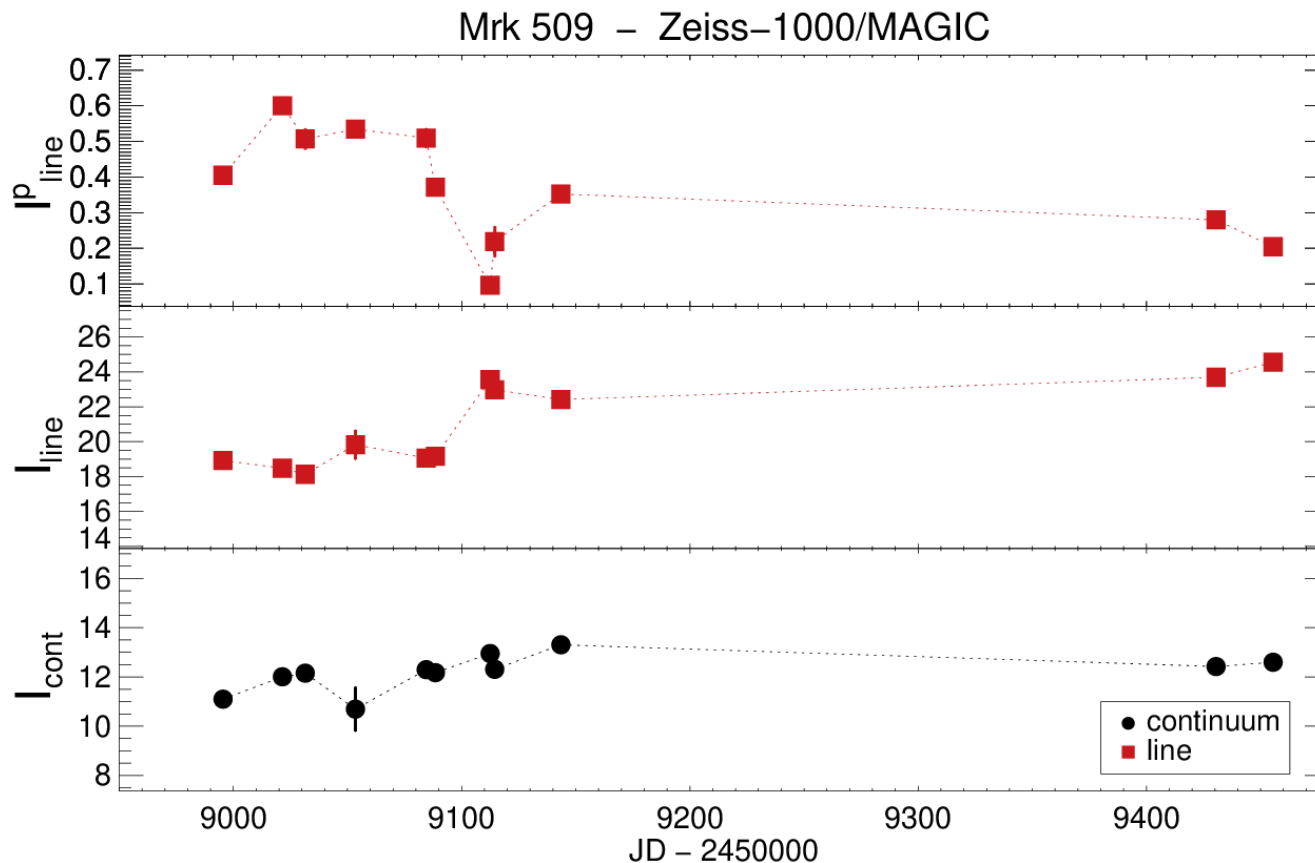
Глава 4. Поляриметрическое эхокартирование АЯГ

Проведён поляриметрический мониторинг в фильтрах, ориентированных на излучение в линии и в континууме. По задержке поляризованного излучения в линии относительно континуального измерены расстояния до области экваториального рассеяния.



Глава 4. Поляриметрическое эхокартирование АЯГ

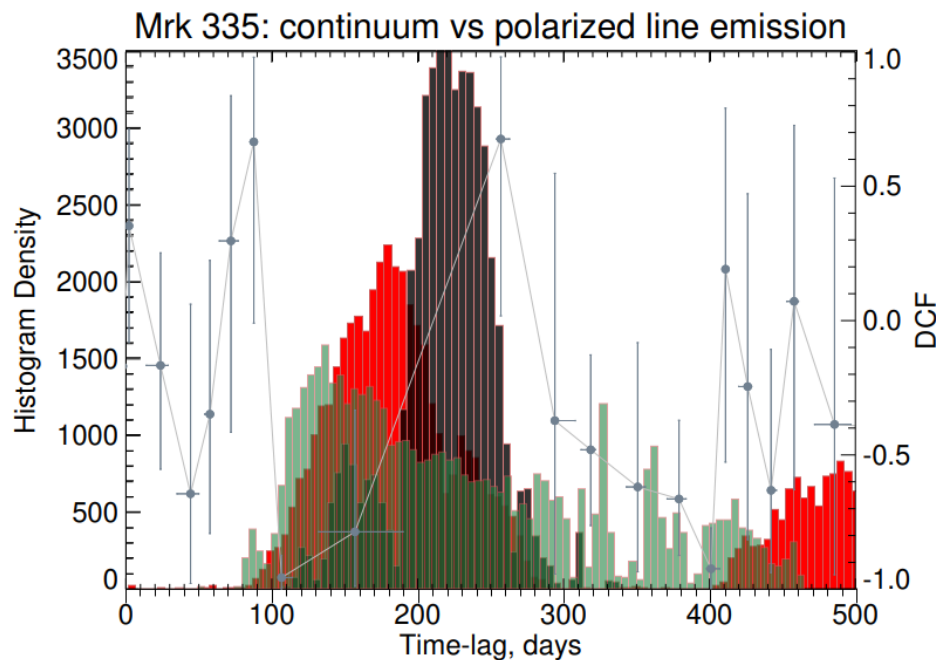
Проведён поляриметрический мониторинг в фильтрах, ориентированных на излучение в линии и в континууме. По задержке поляризованного излучения в линии относительно континуального измерены расстояния до области экваториального рассеяния.



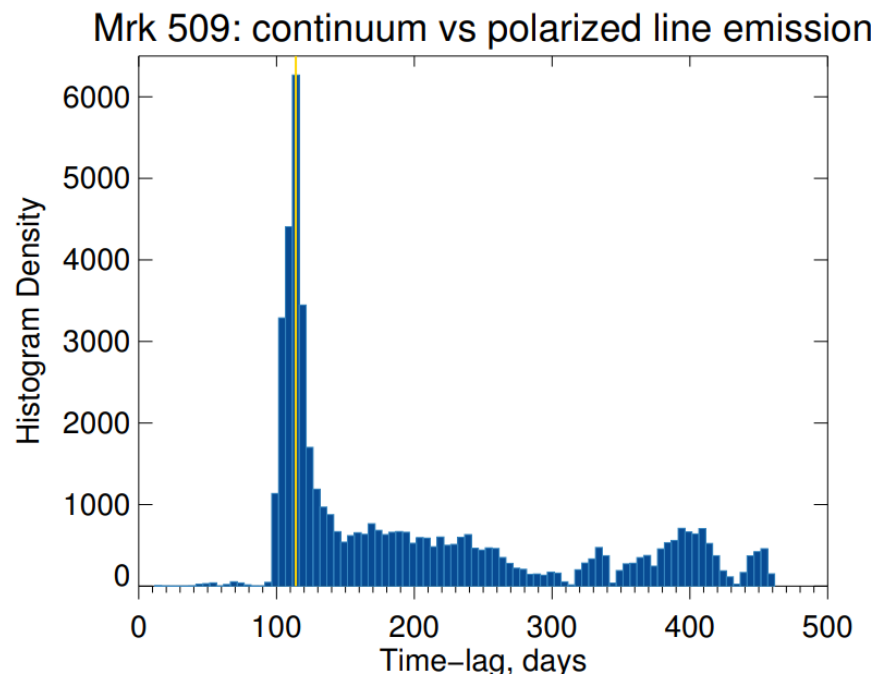
Глава 4. Поляриметрическое эхокартирование АЯГ

Проведён поляриметрический мониторинг в фильтрах, ориентированных на излучение в линии и в континууме. По задержке поляризованного излучения в линии относительно континуального измерены расстояния до области экваториального рассеяния.

$$R_{SC} \sim 150-180 \text{ св. дней}$$



$$R_{SC} \sim 114_{-8.8}^{+12.7} \text{ св. дней}$$



JAVELIN-анализ и ZDCF-корреляция кривых блеска (Shablovinskaya et al, 2023)

Заключение

1. Адаптирована методика фотометрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах. С её помощью для активных галактик VII Zw 244 и LEDA 3095839 определены размеры BLR $R_{\text{BLR}} = 30.7_{-2.3}^{+2.1}$ св. дня и $R_{\text{BLR}} = 54.8_{-9.4}^{+8.4}$ св. дня соответственно.
2. Для активной галактики LEDA 3095839 по спектральным данным оценены скорость газа в BLR $v_{\text{H}\alpha} = 1.5 \cdot 10^3$ км/с, светимость $\lambda L_{5100} = 0.87 \cdot 10^{44}$ эрг/с, напряжённость магнитного поля на горизонте событий $\log(B_{\text{H}}) = 4.06_{-0.24}^{+0.24}$ Гс и $\log(B_{\text{H}}) = 4.00_{-0.34}^{+0.56}$ Гс при углах наклона системы $i = 35^\circ$ и $i = 45^\circ$. На основе данных поляриметрии и эхокартирования даны оценки массы СМЧД $\log(M_{\text{ВН}}/M_{\odot}) = 7.9 \pm 0.2$, спина СМЧД $a = 0.966_{-0.106}^{+0.030}$, напряжённости магнитного поля на горизонте событий $\log(B_{\text{H}}^*) = 3.53_{-0.53}^{+0.26}$ Гс, а также показателя степени зависимости магнитного поля от радиуса $s = 1.77 \pm 0.18$ для угла наклона $i = 35^\circ$. Для наклона системы $i = 45^\circ$ $\log(M_{\text{ВН}}/M_{\odot}) = 7.699_{-0.171}^{+0.153}$, спин $a = 0.736_{-0.368}^{+0.226}$, $\log(B_{\text{H}}^*) = 4.08_{-1.08}^{+0.30}$ Гс, $s = 1.63 \pm 0.23$.

Заключение

3. Для активной галактики VII Zw 244 по спектральным данным оценены скорость газа в BLR $v_{\text{H}\beta} = 1.4 \cdot 10^3$ км/с и светимость $\lambda L_{5100} = 1.67 \cdot 10^{44}$ эрг/с. В поляризованных спектрах обнаружены признаки экваториального рассеяния и измерена масса СМЧД $\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot}) = 8.3 \pm 0.3$ и спин СМЧД $a = 0.966_{-0.012}^{+0.002}$, напряжённость магнитного поля на горизонте событий $\log(B_{\text{H}}) = 4.29_{-0.13}^{+0.10}$ Гс. В комбинации с методом эхокартирования измерен угол наклона системы $i = (14.3 \pm 3.6)^{\circ}$.
4. Адаптирован метод поляриметрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах на 1-м телескопе Цейсс-1000 с прибором MAGIC. Для активных галактик Mrk 335 и Mrk 509 определены расстояния до области экваториального рассеяния $R_{\text{SC}} \sim 150\text{-}180$ св. дней и $R_{\text{SC}} \approx 114_{-8.8}^{+12.7}$ св. дней соответственно.
5. Проведено методическое исследование прибора MAGIC, введённого в эксплуатацию на 1-м телескопе в 2020. Показано, что в режиме фотометрии для звездообразного объекта до 14 mag в среднеполосных фильтрах при *seeing* $\sim 1''$ за 20 минут экспонирования достигается точность лучше 0.01 mag, в режиме поляриметрии – лучше 0.6%.

Научная новизна

- В ходе многолетнего мониторинга впервые измерены размеры BLR-областей в объектах LEDA 3095839 и VII Zw 244 методом фотометрического эхокартирования, что позволило оценить массы их центральных СМЧД.
- Впервые в спектре галактики VII Zw 244 в поляризованном свете были обнаружены признаки экваториального рассеяния в линиях H α и H β , что позволило применить спектрополяриметрический метод измерения массы СМЧД и в комбинации с методом фотометрического эхокартирования независимо определить угол наклона системы. Также на основе спектральных данных впервые дана оценка спина центральной СМЧД и величины напряжённости магнитного поля на горизонте событий.
- Впервые для галактики LEDA 3095839 из спектрополяриметрических наблюдений были получены оценки величины спина СМЧД, напряжённости магнитного поля на горизонте событий и угла наклона системы.
- Впервые для объектов Mrk 335 и Mrk 509 получены оценки расстояний до области экваториального рассеяния методом поляриметрического эхокартирования.

Научная и практическая значимость

- На примере наблюдений методом фотометрического картирования в среднеполосных фильтрах показано, что результаты не уступают спектральному методу эхокартирования, но при этом экономят телескопное время и позволяют применять методику на телескопах малого класса для картирования АЯГ.
- Представленные в работе спектрополяриметрические данные показывают возможность применения разных численных моделей генерации поляризации в континууме и линии, а значит – оценки широкого набора параметров СМЧД и газа вокруг неё.
- Адаптация метода поляриметрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах позволяет эффективно использовать малые телескопы для оценки размеров области экваториального рассеяния в АЯГ 1-го типа. Это позволит повысить точность спектрополяриметрического метода измерения масс СМЧД для бóльшего количества ярких АЯГ, поскольку прежде R_{SC} оценивалось из допущений.

Апробация работы

Результаты лично представлялись аспирантом в виде докладов на семинарах САО, КрАО и КФУ, на конкурсе-конференции САО, а также следующих всероссийских и международных конференциях:

- The first results of the photometric reverberation project at the 1-m telescope of SAO RAS, "XII Serbian-Bulgarian Astronomical Conference", Sokobanja, Serbia, 25-29.09.2020 (устный, online)
- Измерение масс сверхмассивных чёрных дыр в ядрах активных галактик методом фотометрического эхокартирования, "ВАК-2021", 23-28.08.2021 (устный, online)
- The photometric reverberation mapping of active galaxies in SAO RAS, "13th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics", Сербия, Белград, 23-27.08.2021 (устный)
- Measurement of the SMBH masses in AGN by the photometric reverberation mapping, Crimean-2021 Conference "Galaxies with Active Nuclei on Scales from Black Hole to Host Galaxy", 13-17.09.2021 (устный, online)
- MAGIC for 1-m telescope of SAO RAS, "V Conference on Active Galactic Nuclei and Gravitational Lensing", Serbia, 13-17.06.2022 (устный, online)
- Polarimetric reverberation mapping of AGNs in medium-band filters, "14th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics", Serbia, 19-23.06.2023 (устный, онлайн)

Список публикаций

1. Photometric Reverberation Mapping of AGNs at $0.1 < z < 0.8$. I. Observational Technique; Uklein R. I., **Malygin E. A.**, Shablovinskaya E. S., Perepelitsyn A. E., Grokhovskaya A. A. (2019), Astrophysical Bulletin, 74, 388-395
2. Medium-band photometric reverberation mapping of AGNs at $0.1 < z < 0.8$. Techniques and sample; **Malygin E.**, Uklein R., Shablovinskaya E., Grokhovskaya A., Perepelitsyn A. (2020), Contribution of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 50, 328-340
3. Measurement of the supermassive black hole masses in two active galactic nuclei by the photometric reverberation mapping method; **E.A. Malygin**, E.S. Shablovinskaya, R.I. Uklein, A.A. Grokhovskaya (2020), Astronomy Letters, 46, 726-733
4. Universal focal reducer for small telescopes; Afanasiev V. L., Amirkhanyan V. R., Uklein R. I., Perepelitsyn A. E., **Malygin E. A.**, Shablovinskaya E. S., Afanasieva I. V (2021), Astron. Nachr., 1, 1
5. Determination of the Physical Parameters of AGNs in Seyfert 1 Galaxies LEDA 3095839 and VII Zw 244 Based on Spectropolarimetric Observations; Shablovinskaya Elena, Piotrovich Mikhail, **Malygin Eugene**, Buliga Stanislava, Natsvlshvili Tinatin (2022), Universe, 8, 7, 383
6. Polarimetric reverberation mapping in medium-band filters; Shablovinskaya Elena, Popović Luka Č., Uklein Roman, **Malygin Eugene**, Ilić Dragana, Ciroi Stefano, Oparin Dmitry, Crepaldi Luca, Slavcheva-Mihova Lyuba, Mihov Boyko, Nikolov Yanko (2023), Universe, vol. 9, issue 1, p.52

Личный вклад автора

- Получение наблюдательного материала на телескопах 6-м БТА САО РАН и 1-м Цейсс-1000 САО РАН.
- Обработка и анализ наблюдательных данных.
- Адаптация фотометрического и поляриметрического методов эхокартирования АЯГ в среднеполосных фильтрах на телескопах САО РАН.
- Методическая работа по введению в эксплуатацию нового многорежимного фокального редуктора.
- Интерпретация полученных результатов, публикации.

Положения выносимые на защиту

1. Адаптирована методика фотометрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах на телескопах САО РАН. С её помощью для активных галактик VII Zw 244 и LEDA 3095839 определены размеры BLR-областей.
2. Для активной галактики LEDA 3095839 по спектральным данным оценены скорость газа в BLR-области, светимость галактики, напряжённость магнитного поля на горизонте событий. На основе данных поляриметрии и эхокартирования даны оценки массы и спина СМЧД, наклона системы, напряжённости магнитного поля на горизонте событий, а также показателя степени зависимости магнитного поля от радиуса.
3. Для активной галактики VII Zw 244 по спектральным данным оценены скорость газа в BLR-области и светимость галактики. В поляризованных спектрах обнаружены признаки экваториального рассеяния и измерены масса и спин СМЧД, напряжённость магнитного поля на горизонте событий. В комбинации с методом эхокартирования измерен угол наклона системы.

Положения выносимые на защиту

4. Адаптирован метод поляриметрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах на 1-м телескопе Цейсс-1000 с прибором MAGIC. Для активных галактик Mrk 335 и Mrk 509 определены расстояния до области экваториального рассеяния.
5. Проведено методическое исследование прибора MAGIC, введённого в эксплуатацию на 1-м телескопе Цейсс-1000 в 2020. Продемонстрирована возможность реализации с этим прибором точности измерения линейной поляризации лучше 0.6% для объектов до 14 зв.в. в среднеполосных фильтрах за 20 минут экспозиции.