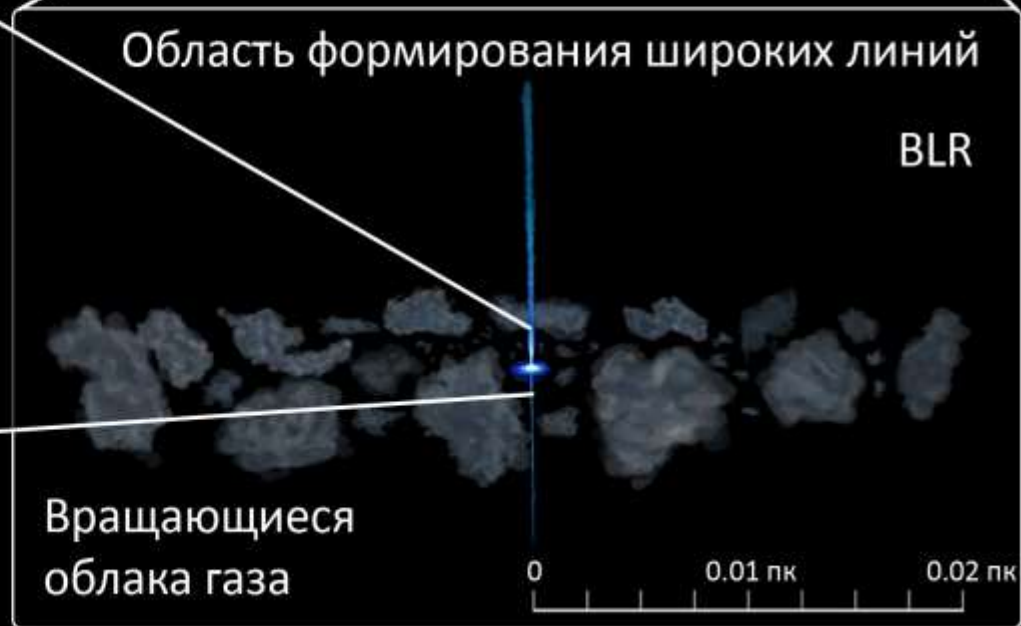
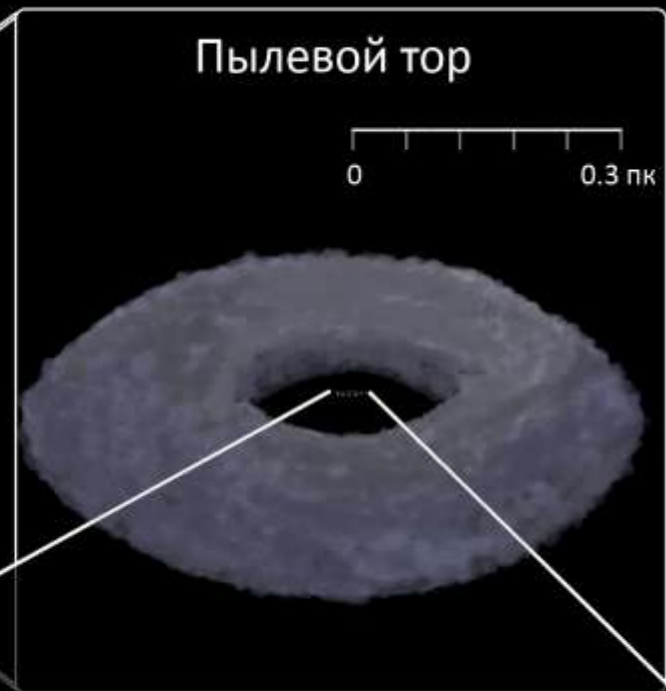
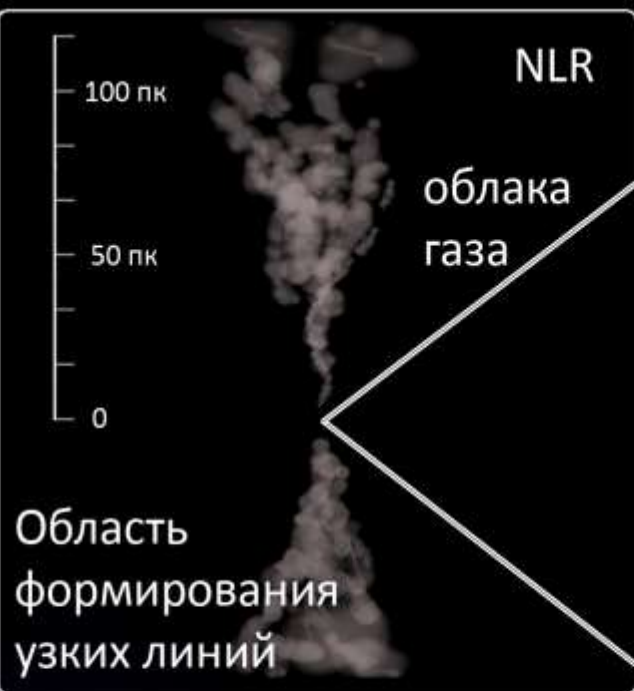
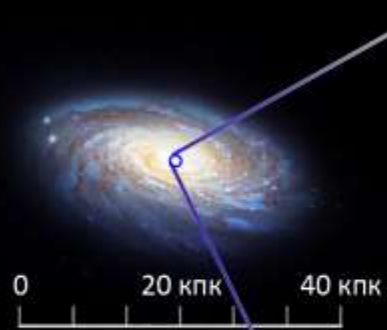
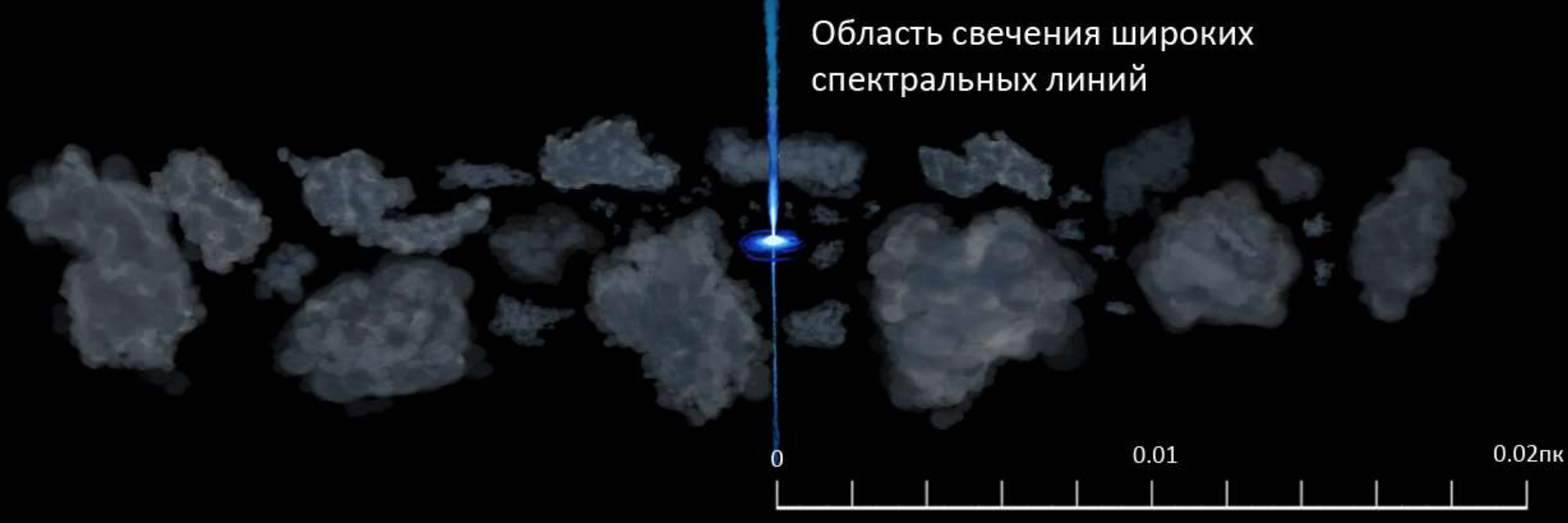


Институт физики КФУ:
Малыгин Е.А.

ЛСФВО САО РАН:
Уклеин Р.И., Шабловинская Е.С.
Перепелицын А.Е., Гроховская А.А.

Фотометрическое эхокартирование
VLR-областей в галактиках с
активными ядрами на $0.1 < z < 0.8$





- Вириальное отношение позволяет оценить массу СМЧД

$$M(SMBH) = f c \tau v^2 / G$$

где G – гравитационная постоянная

c – скорость света

τ – время запаздывания данной спектральной линии

v – характерная скорость газа, излучающего данную линию (ширина линии)

f – безразмерный множитель порядка единицы, зависящий от структуры и кинематики BLR-области.

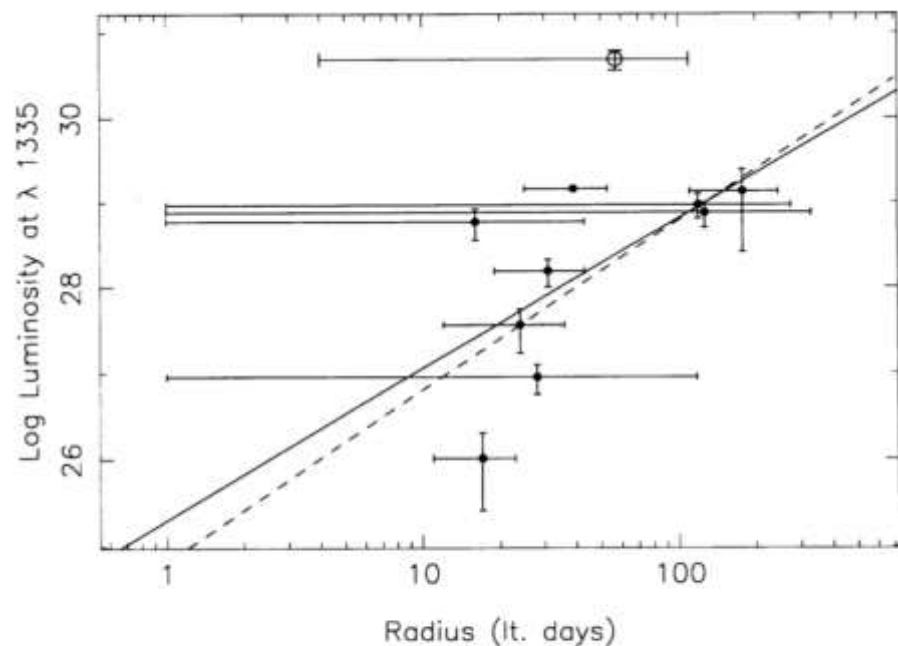


FIG. 1.—The radius of the BLR vs. the luminosity at $\lambda 1335$. 3C 273 is marked with an open circle. Error bars going down to $\log(R) = 1$ actually extend to zero radius. The dashed line indicates $R \propto L_{\text{Bol}}^{1/2}$; the solid line is the regression of L_{1335} on R .

Одна из первых работ, где найдены зависимости (Koratkar & Gaskell 1991):
 радиус_{BLR}-светимость ($r-L$)
 и масса_{SMBH}-светимость.

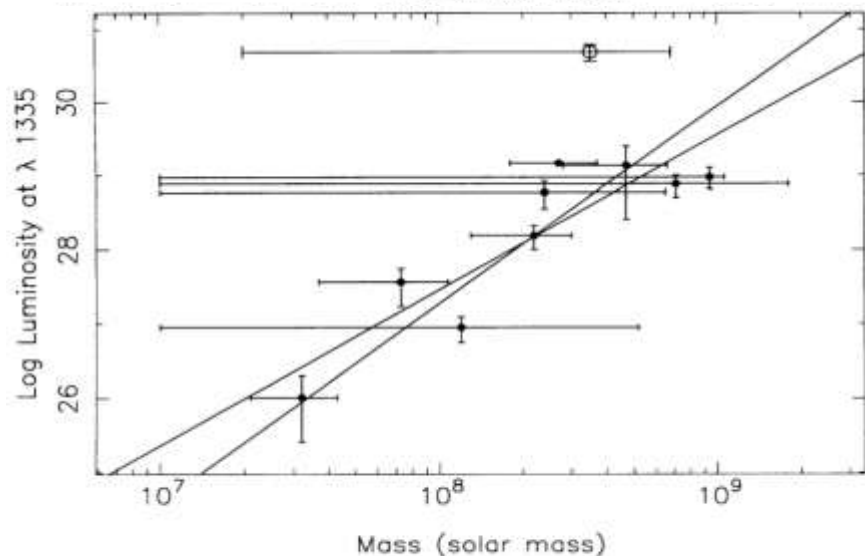


FIG. 2.—The mass of the black hole (M_{\odot}) vs. the luminosity at $\lambda 1335$ of the object. 3C 273 is marked with an open circle. Error bars going down to $10^7 M_{\odot}$ actually extend to zero mass. The two regression lines are shown.

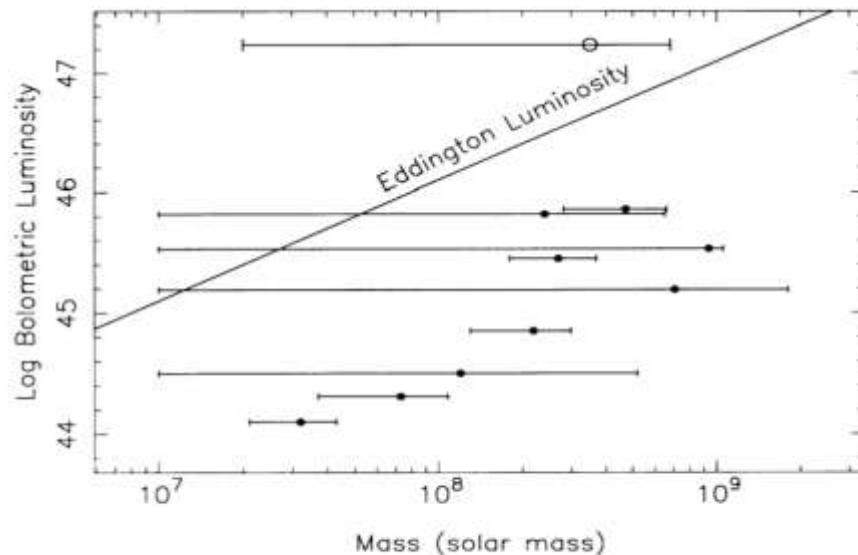
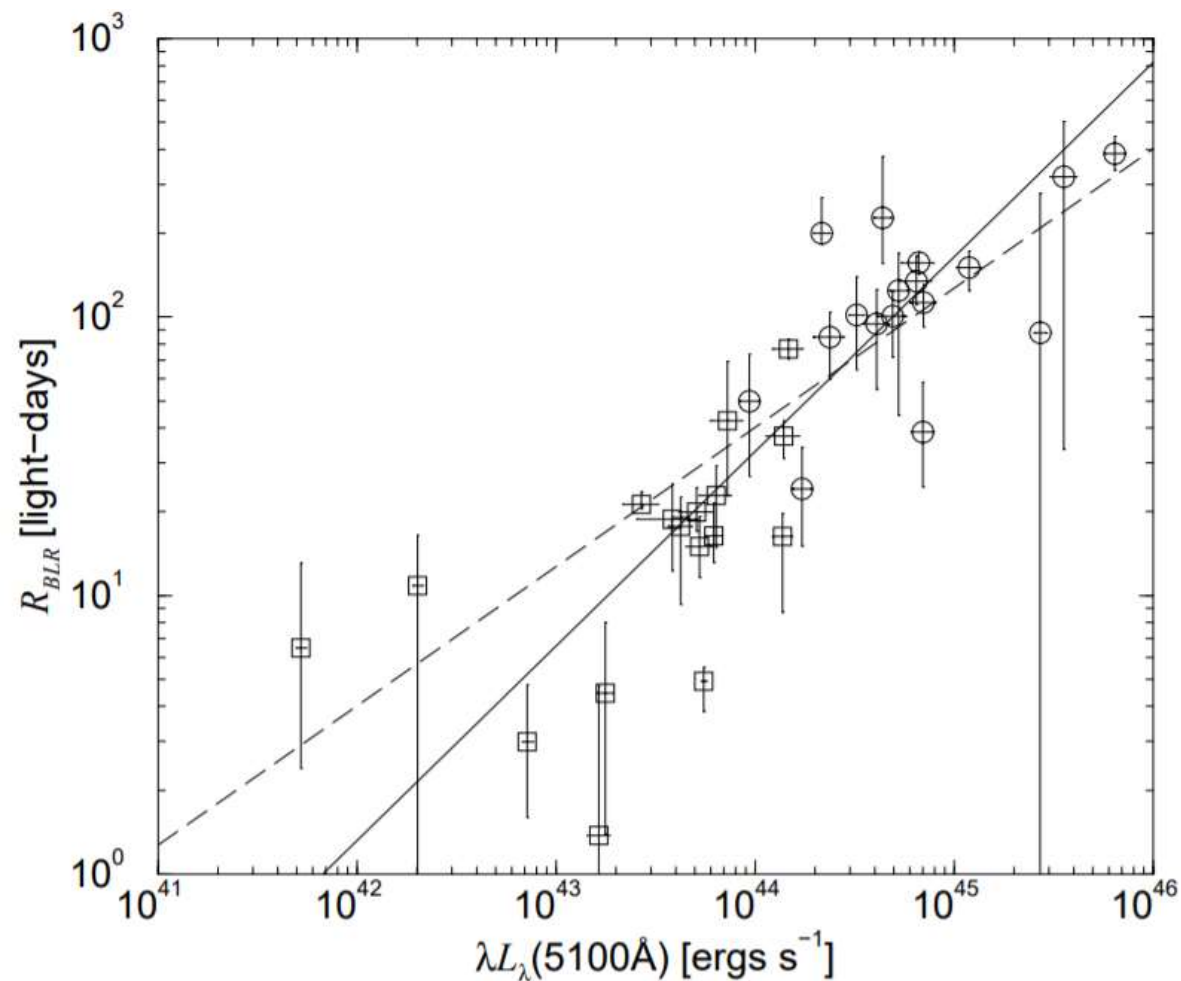


FIG. 3.—The mass of the black hole (M_{\odot}) vs. the bolometric luminosity of the object. The solid line represents the Eddington mass-luminosity relationship. Error bars going down to $10^7 M_{\odot}$ actually extend to zero mass.

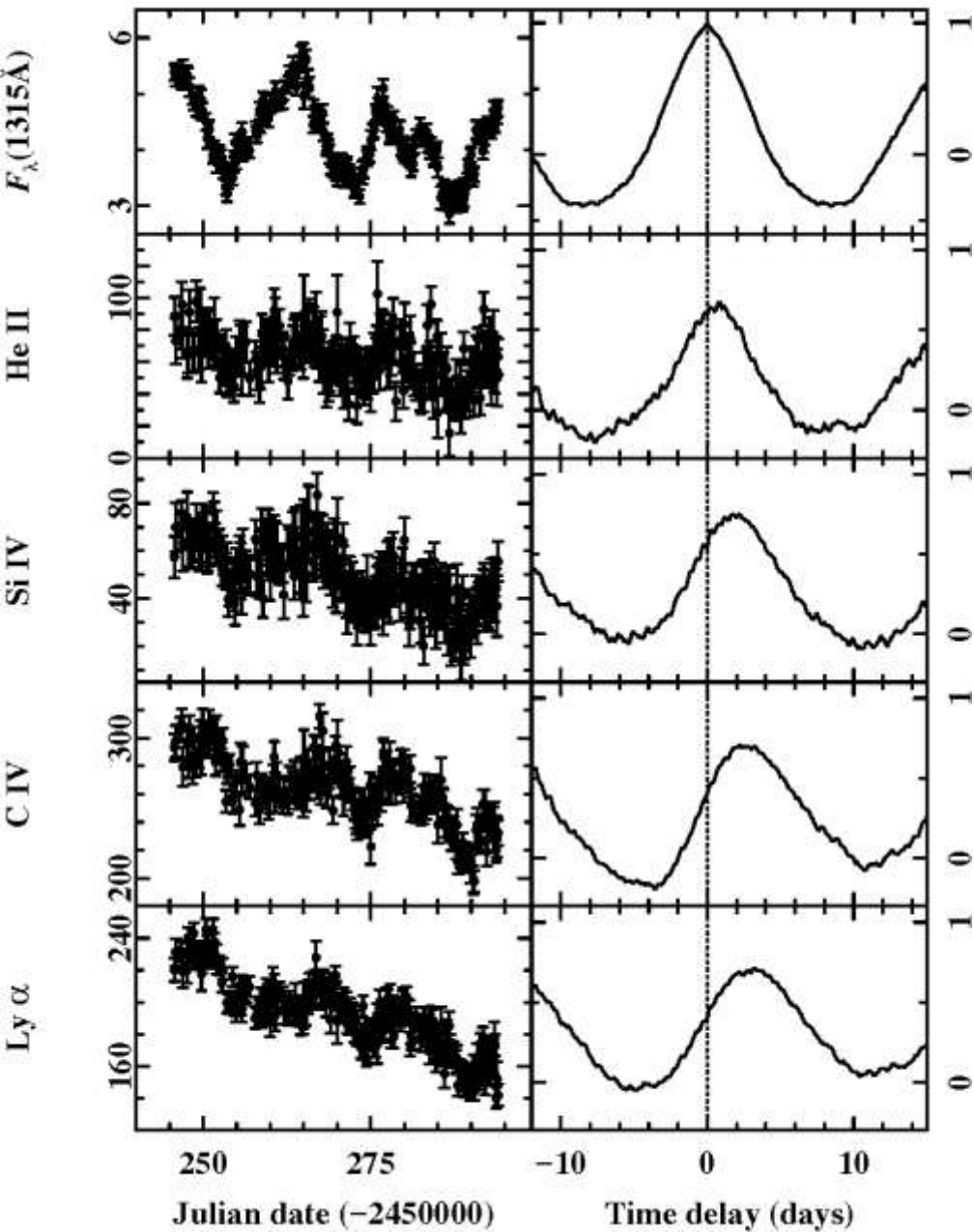


(Peterson 1993) добавил в зависимость **r–L** ещё 17 измерений по квазарам из обзора Palomar-Green (**PG**) (Schmidt & Green 1983)

Далее (**Kaspi et al. 2000**) добавили измерения ещё для 28 галактик

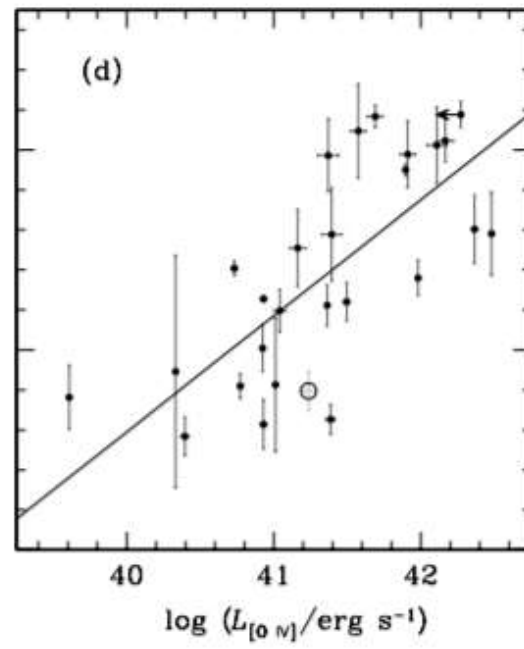
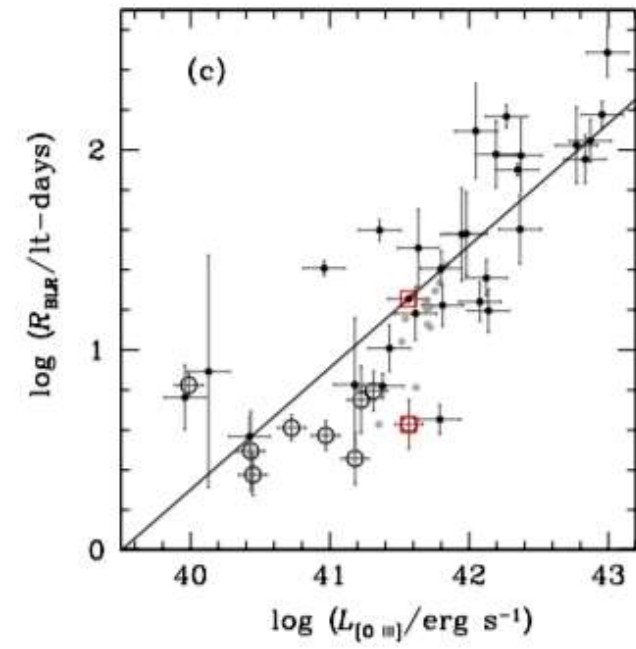
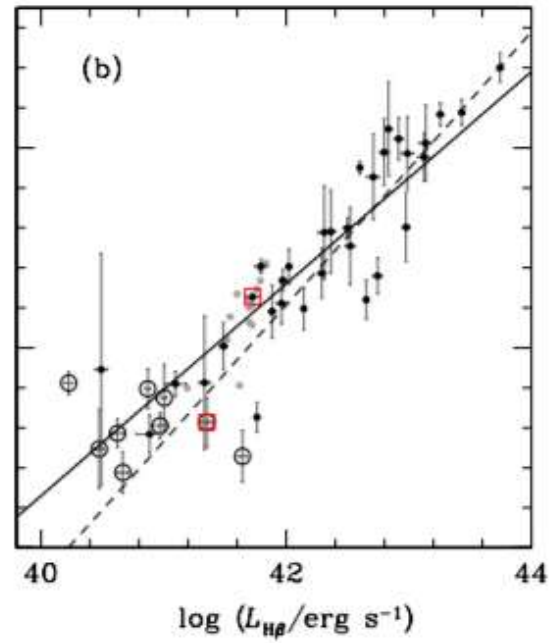
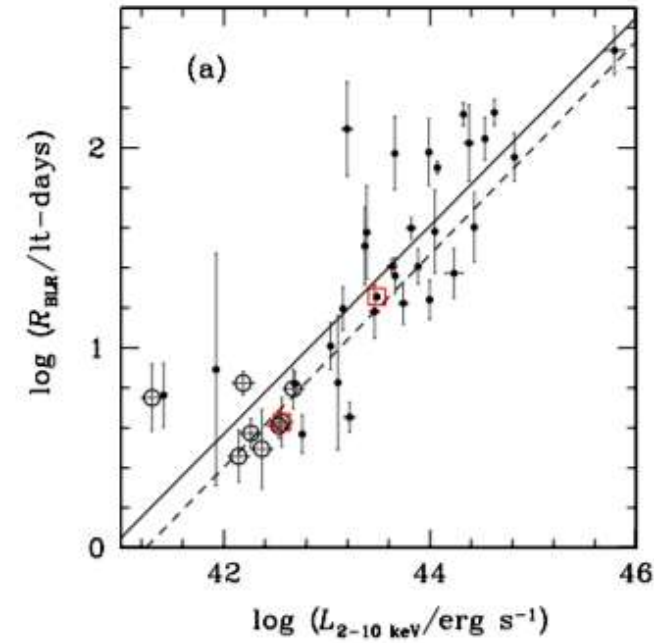
FIG. 6.—BLR size–luminosity relation. The solid line is the best fit to the data. The dashed line is a fit with a slope of 0.5.

NGC 7469 Light Curves Cross-Correlation Functions



Netzer et al. 1997
(data – Wanders et
al. 1997): BLR
stratification

Для данных
объектов разные
линии разных
ионов дают разные
времена задержек.



**Greene et al.
2010**

L (1)	α (2)	β (3)	ϵ_0 (4)	Fit (5)
$L_{2-10\text{keV}}/10^{43}$	0.09 ± 0.05	0.52 ± 0.05	0.26	C
$L_{2-10\text{keV}}/10^{43}$	0.09 ± 0.06	0.52 ± 0.05	0.25 ± 0.05	ML
$L_{\text{H}\beta}/10^{43}$	0.85 ± 0.05	0.53 ± 0.04	0.22	C
$L_{\text{H}\beta}/10^{43}$	0.85 ± 0.06	0.53 ± 0.04	0.22 ± 0.04	ML
$L_{\text{H}\beta_{\text{b}}}/10^{43}$	0.86 ± 0.06	0.53 ± 0.04	0.22	C
$L_{\text{H}\beta_{\text{b}}}/10^{43}$	0.86 ± 0.06	0.53 ± 0.04	0.22 ± 0.04	ML
$L_{[\text{O III}]} / 10^{42}$	0.53 ± 0.06	0.62 ± 0.07	0.29	C
$L_{[\text{O III}]} / 10^{42}$	0.52 ± 0.06	0.61 ± 0.07	0.30 ± 0.05	ML
$L_{[\text{O IV}]} / 10^{42}$	0.76 ± 0.10	0.58 ± 0.11	0.35	C
$L_{[\text{O IV}]} / 10^{42}$	0.75 ± 0.10	0.58 ± 0.11	0.35 ± 0.07	ML

Notes. Fits to $\log (R_{\text{BLR}}/10 \text{ pc}) = \alpha + \beta \log L$, for each luminosity. Column 1: luminosity measure (erg s^{-1}). $L_{\text{H}\beta_{\text{b}}}/10^{43}$ has the narrow $\text{H}\beta$ emission removed. Column 2: α . Column 3: β . Column 4: intrinsic scatter. Maximum-likelihood fits are those with error bars on the intrinsic scatter. Column 5: fit type, either C = χ^2 fit or ML = maximum-likelihood.

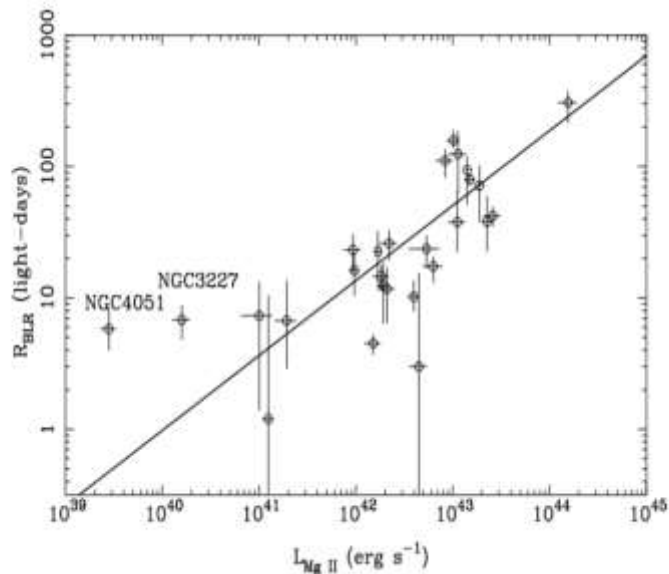


Fig.1 The BLR size, R_{BLR} , versus the luminosity of MgII emission line ($\lambda 2798 \text{ \AA}$), L_{MgII} , of 27 AGNs in the reverberation mapping sample for which the MgII emission line have been measured in Sect.2. The correlation coefficient between the two parameters is 0.72. The solid line shows an OLS bisector fit to data (Eq. 1), and has a slope of 0.57.

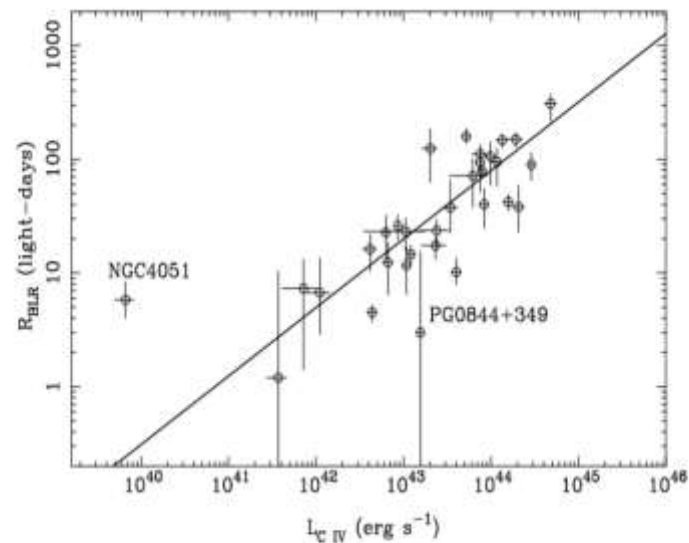
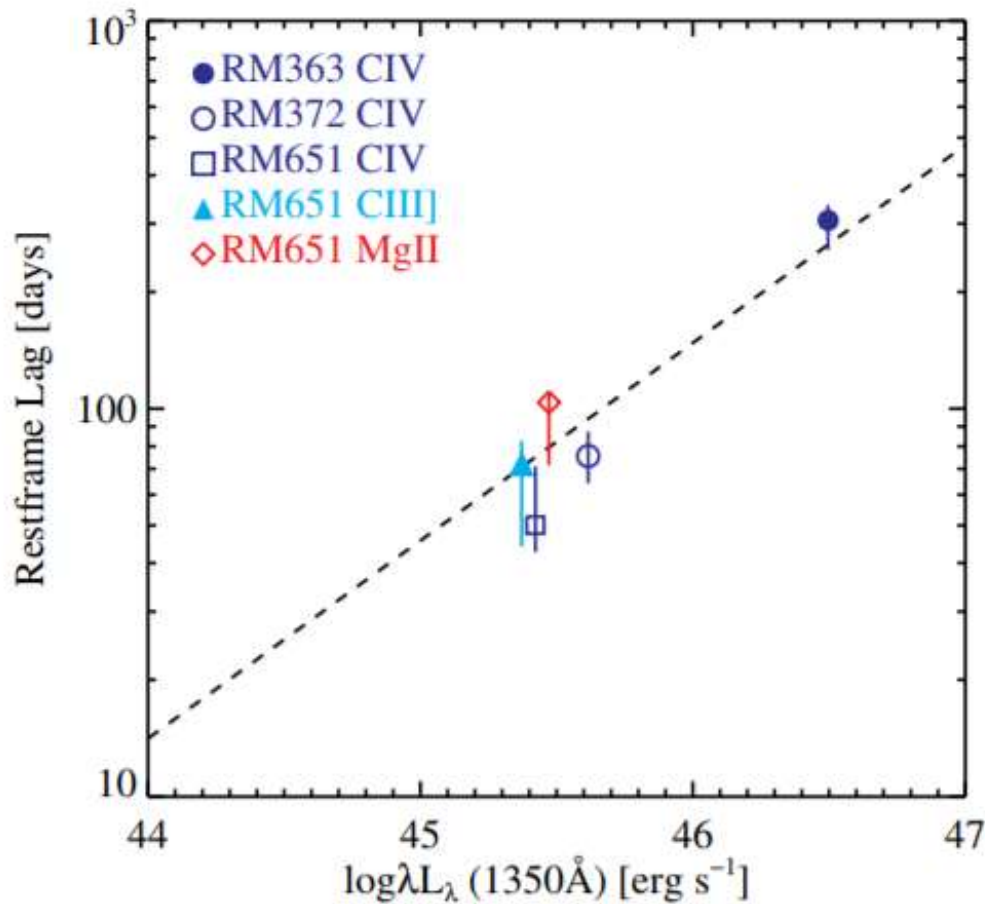


Fig.2 The same as Fig.1, but for the CIV emission line ($\lambda 1549 \text{ \AA}$) of 33 AGNs. The correlation coefficient is 0.76. The solid line (Eq. 2) has a slope of 0.60.

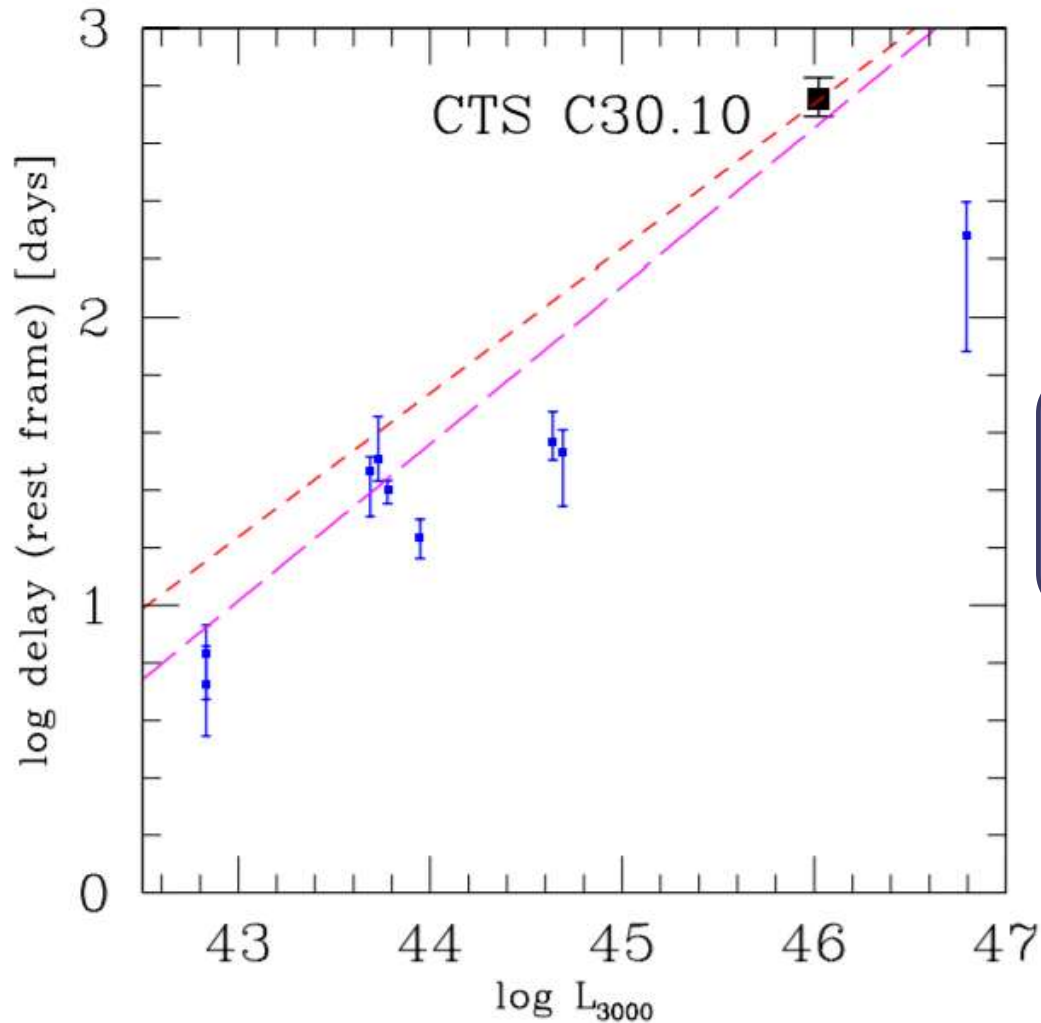
**Kong et al.
2005**



RM363 CIV $\rightarrow z = 2.64 \rightarrow \tau = 1113$ дней
 RM372 CIV $\rightarrow z = 1.75 \rightarrow \tau = 207$ дней
 RM651 CIV $\rightarrow z = 1.49 \rightarrow \tau = 125$ дней
 CIII] $\rightarrow \tau = 180$ дней
 MgII $\rightarrow \tau = 258$ дней

Shen et al. 2019
(SDSS-RM)

Figure 5. Locations of the measured rest-frame lags for our example cases in the $R - L$ plane. For RM 651, the luminosity positions have been slightly shifted for different lines for clarity. The dashed line is the best-fit result in Paper I for CIV lags. The measured lags are all consistent with this relation. There is a hint that the CIV (MgII) lag is the shortest (longest) among the three lines, but the uncertainties are too large to confirm this trend.

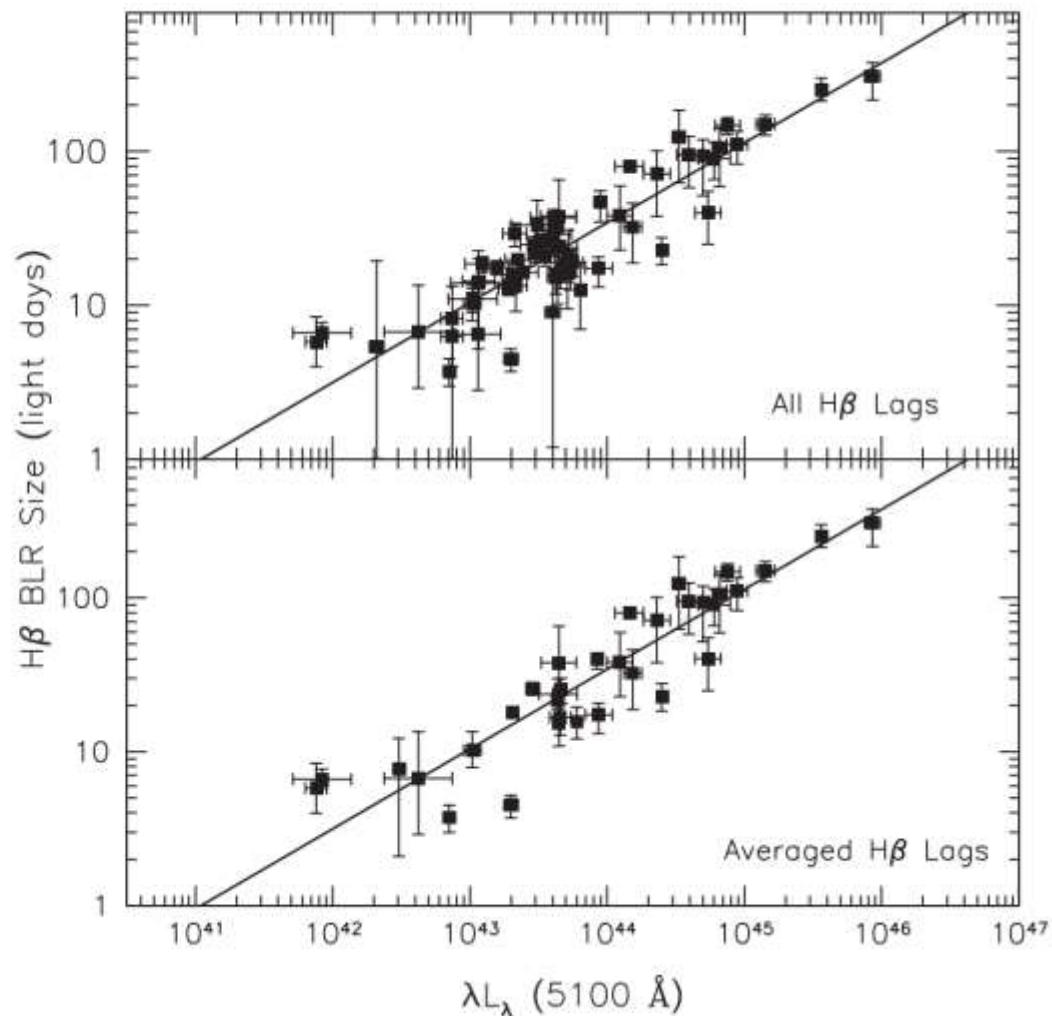


Зависимость R-L по линии MgII

Czerny et al. 2019

Figure 11. Radius-Luminosity relation for Mg II line (points and errors given in Table 3). Dashed line is a line with the slope 0.5 passing through the measurement for CTS C30.10. Long dashed magenta line comes from the Bentz et al. (2013) for H β line (model Clean2) under the assumption that $L_{3000} = 1.84 L_{5100}$.

Наиболее популярная зависимость по линии $H\beta$ на $\lambda = 5100 \text{ \AA}$ (Bentz et al., 2009).



Конечная цель данного исследования – статистически укрепить зависимость $R(L)$, добавив измерения ещё неисследованных BLR-областей ядер активных галактик из исследуемой выборки.

№	Объект	RA Dec J2000	mag(V)	z	line	τ	Фильтры (line+cont)
1	2MASX J08535955+7700543	08 ^h 53 ^m 59 ^s .4 +77° 00' 54".56	17 ^m .0	0.106	H $_{\alpha}$	27	SED725 SED700
2	VII Zw 244	08 ^h 44 ^m 45 ^s .3 +76° 53' 09".5	15 ^m .7	0.131	H $_{\beta}$	34	SED550 SED525
3	SDSS J093702.85+682408.3	09 ^h 37 ^m 02 ^s .87 +68° 24' 08".3	18 ^m .0	0.294	H $_{\beta}$	47	SED625 SED600
4	SDSS J094053.77+681550.3	09 ^h 40 ^m 53 ^s .78 +68° 15' 50".46	19 ^m .4	0.371	H $_{\alpha}$	59	SED900 SED875
5	SDSS J100057.50+684231.0	10 ^h 00 ^m 57 ^s .5 +68° 42' 31"	19 ^m .1	0.499	H $_{\beta}$	80	SED725 SED700
6	2MASS J01373678+8524106	01 ^h 37 ^m 36 ^s .7 +85° 24' 10".6	16 ^m .6	0.499	H $_{\beta}$	79	SED725 SED700
7	SDSS J095814.46+684704.8	09 ^h 58 ^m 14 ^s .4 +68° 47' 04".78	19 ^m .7	0.662	H $_{\beta}$	92	SED800 SED775
8	GALEX 2486024515200490156	10 ^h 01 ^m 51 ^s .6 +69° 35' 26".7	19 ^m .6	0.847	H $_{\beta}$	124	SED900 SED875



Zeiss-1000

Zeiss-600

Специальная
Астрофизическая
Обсерватория РАН

Диаметр главного зеркала	1016 мм
--------------------------	---------

Система Ричи-Кретьена:

Экв. фокусное расстояние	13.3 м
--------------------------	--------

D невиньетир. поля	170 мм=45'
--------------------	------------

Спектральный диапазон	0.3-10 мкм
-----------------------	------------

Размер кружка рассеяния	0".8
-------------------------	------

Масса трубы	4.8 т
-------------	-------

Масса монтировки	12 т
------------------	------

Максимальная масса аппаратуры в фокусе Кассегрена	96 кг
---	-------

Предельная звёздная величина, полученная в фотометрическую ночь с изображениями 1".5 (2000 г, фильтр V, экспозиция 30 мин.)	23 ^m .5
---	--------------------

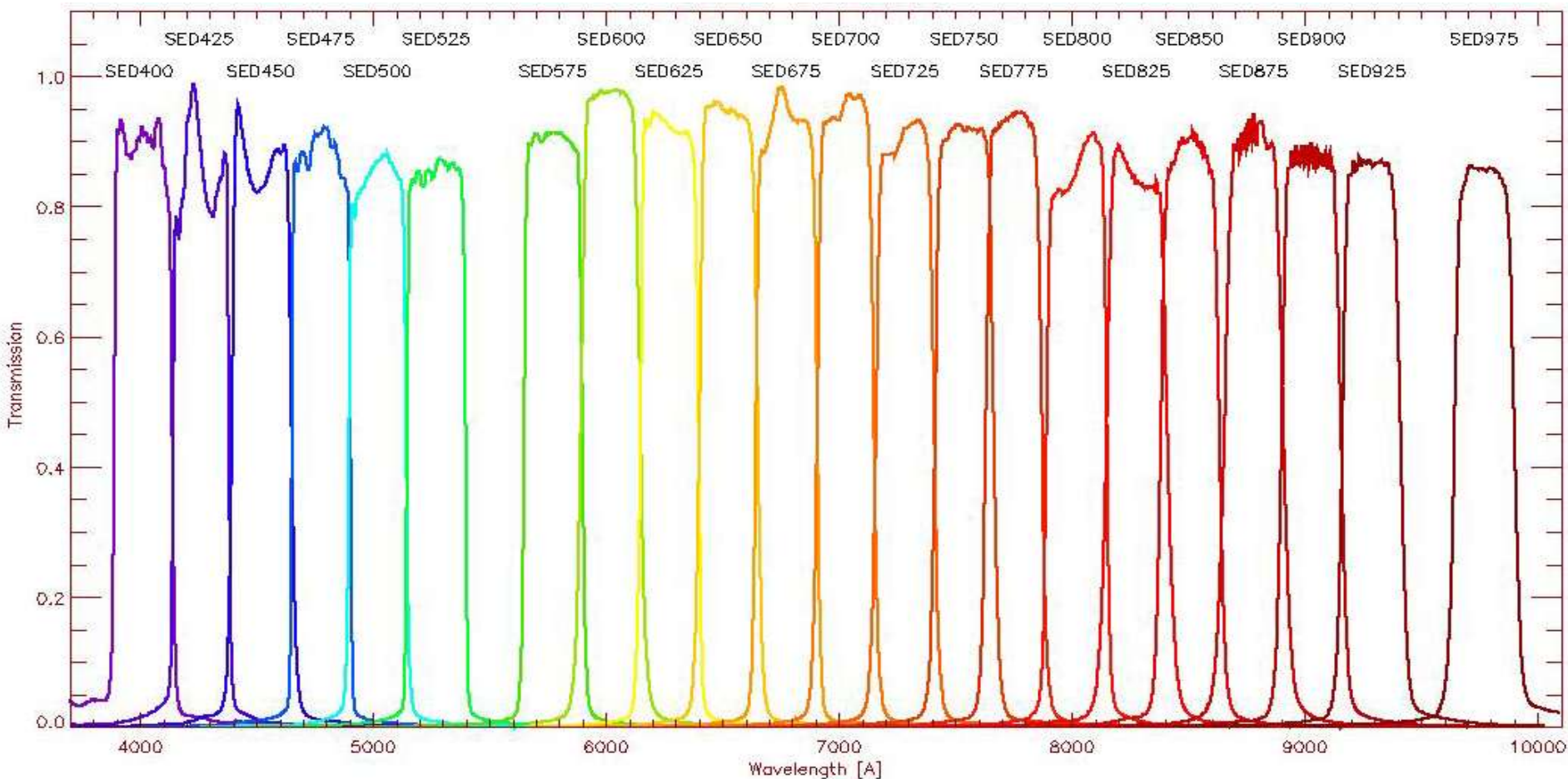


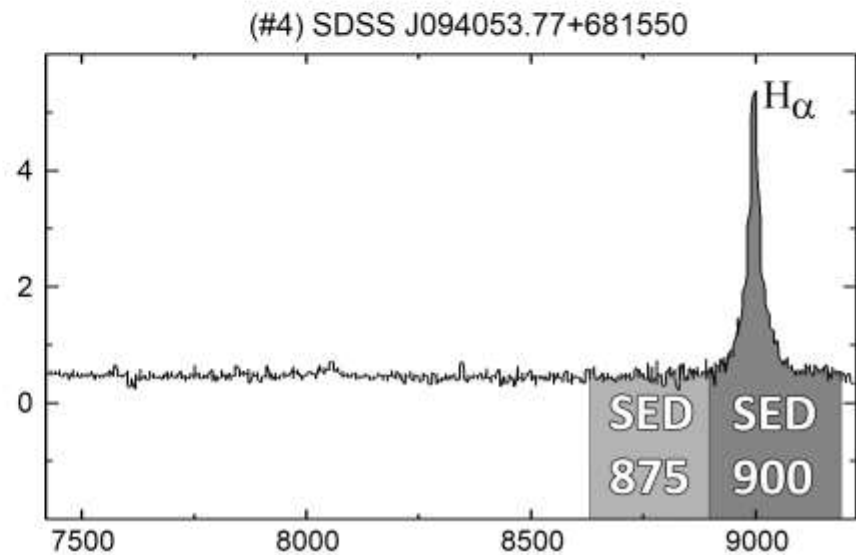
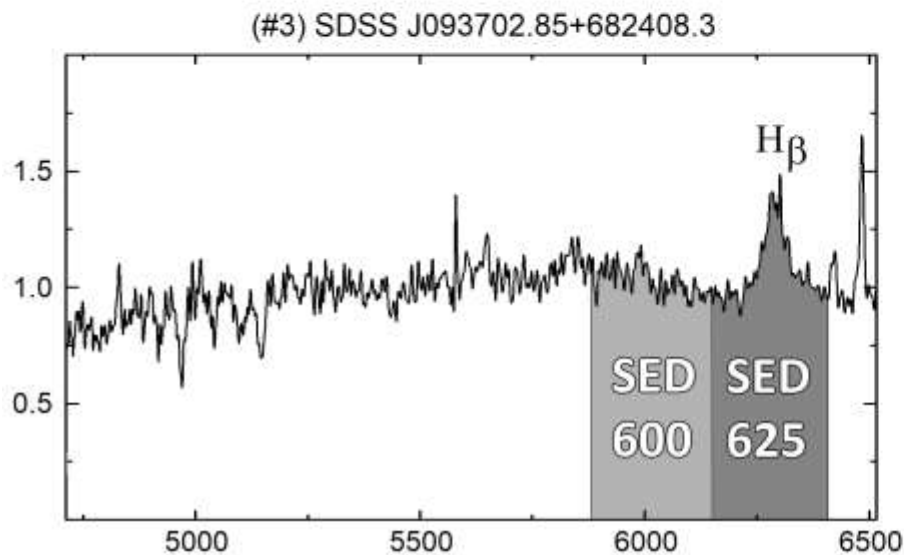
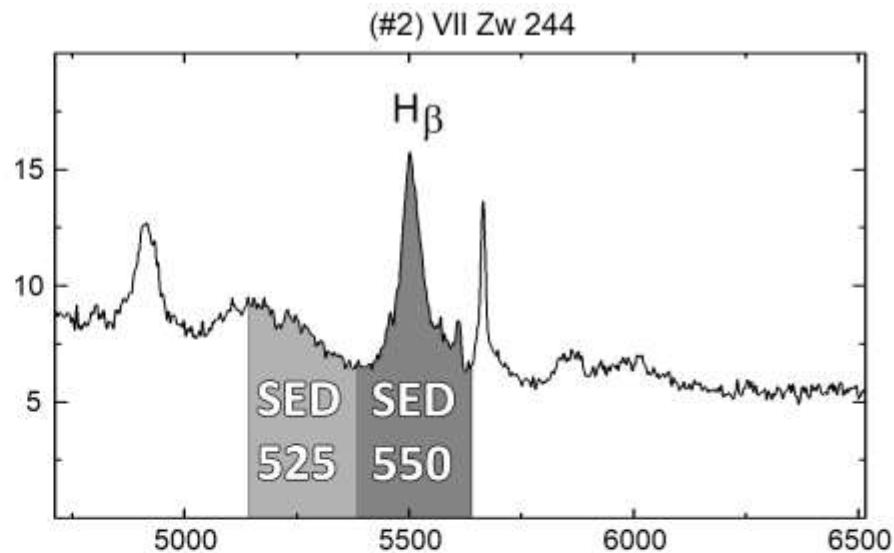
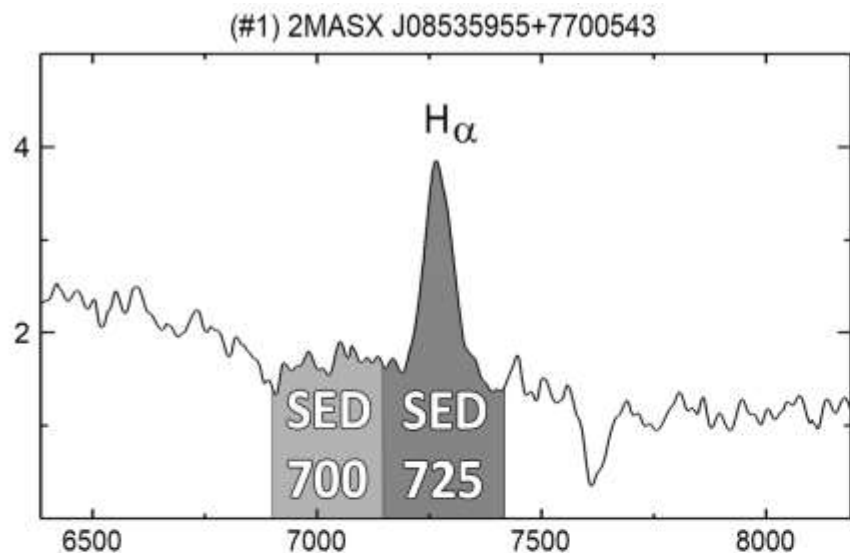
Zeiss-1000

Интерференционные светофильтры

Spectral Energy Distribution

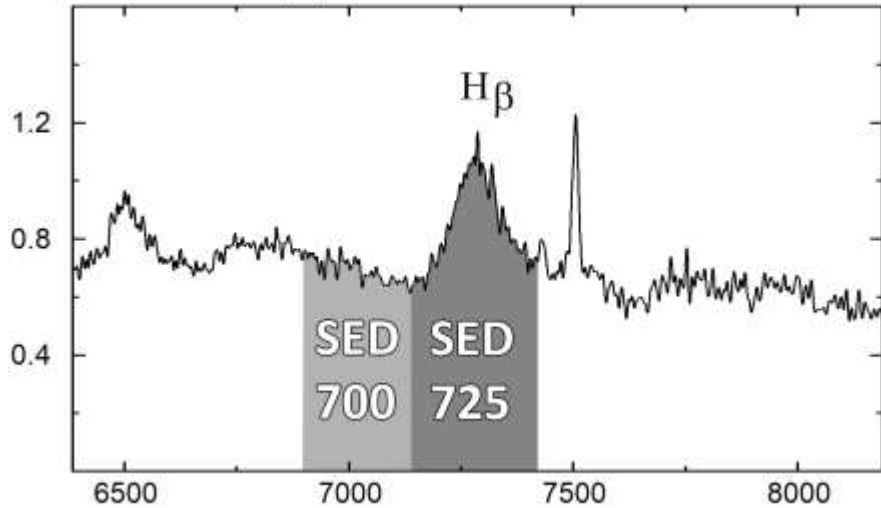
Ширина полос пропускания $\sim 250 \text{ \AA}$



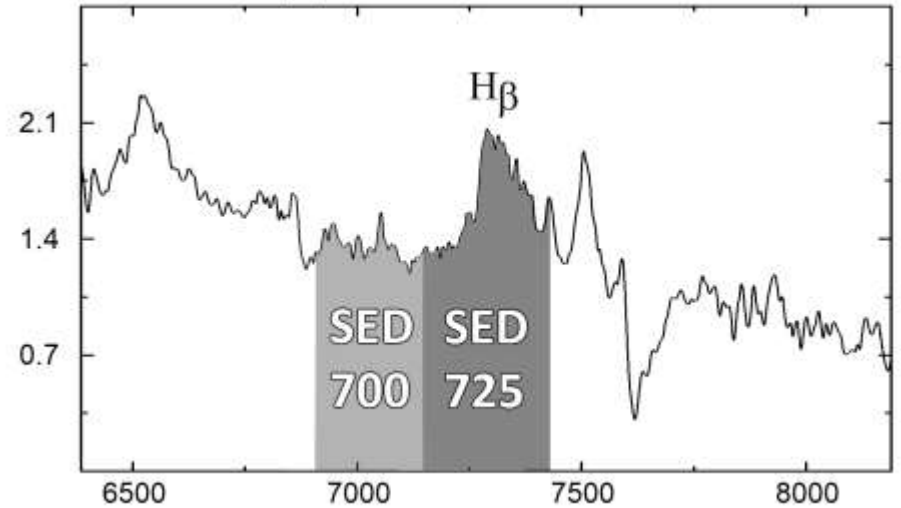


Полосы пропускания подобранных фильтров SED на спектрах исследуемых AGN. Поток f_λ указан в единицах 10^{-16} эрг/см²/с/Å в зависимости от длины волны в Å.

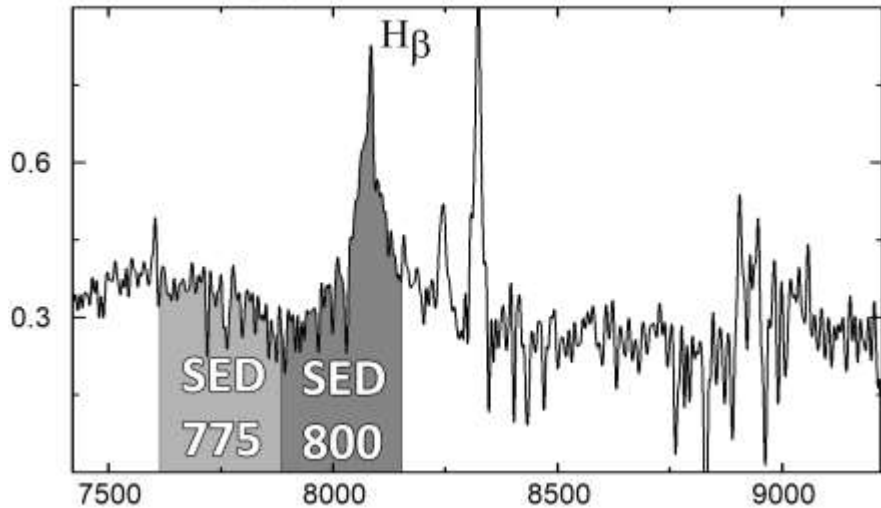
(#5) SDSS J100057.50+684231



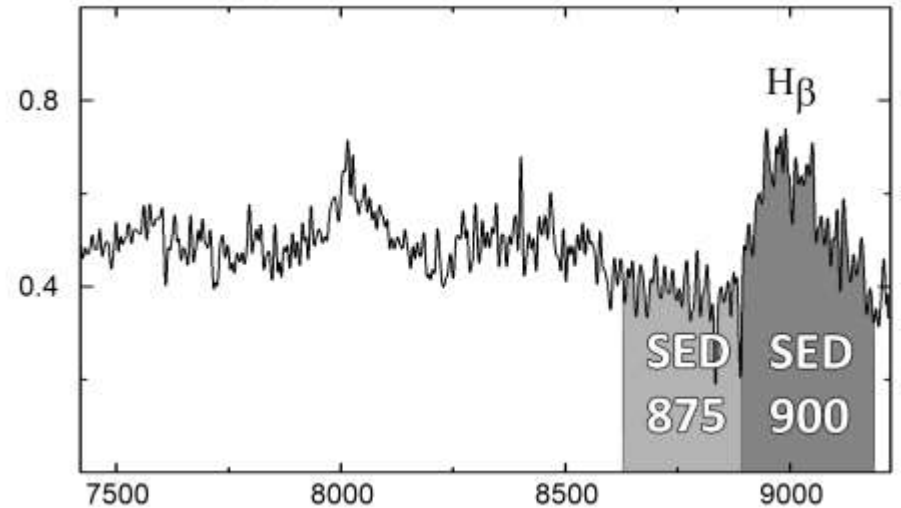
(#6) 2MASS J01373678+852410



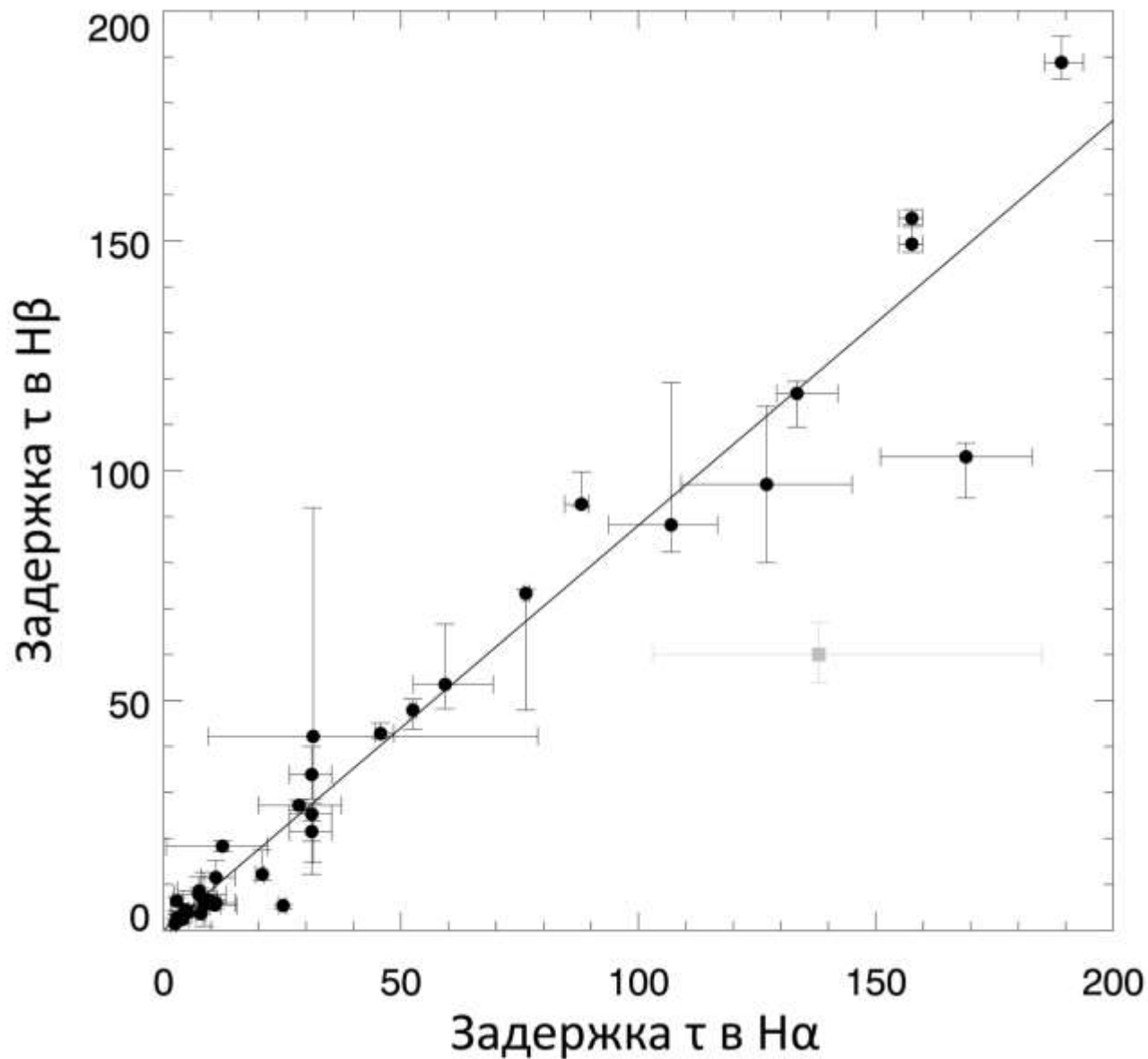
(#7) SDSS J095814.46+684704.8



(#8) GALEX 2486024515200490156



№	Объект	RA Dec J2000	mag(V)	z	line	τ	Фильтры (line+cont)
1	2MASX J08535955+7700543	08 ^h 53 ^m 59 ^s .4 +77° 00′ 54″.56	17 ^m .0	0.106	H $_{\alpha}$	27	SED725 SED700
2	VII Zw 244	08 ^h 44 ^m 45 ^s .3 +76° 53′ 09″.5	15 ^m .7	0.131	H $_{\beta}$	34	SED550 SED525
3	SDSS J093702.85+682408.3	09 ^h 37 ^m 02 ^s .87 +68° 24′ 08″.3	18 ^m .0	0.294	H $_{\beta}$	47	SED625 SED600
4	SDSS J094053.77+681550.3	09 ^h 40 ^m 53 ^s .78 +68° 15′ 50″.46	19 ^m .4	0.371	H $_{\alpha}$	59	SED900 SED875
5	SDSS J100057.50+684231.0	10 ^h 00 ^m 57 ^s .5 +68° 42′ 31″	19 ^m .1	0.499	H $_{\beta}$	80	SED725 SED700
6	2MASS J01373678+8524106	01 ^h 37 ^m 36 ^s .7 +85° 24′ 10″.6	16 ^m .6	0.499	H $_{\beta}$	79	SED725 SED700
7	SDSS J095814.46+684704.8	09 ^h 58 ^m 14 ^s .4 +68° 47′ 04″.78	19 ^m .7	0.662	H $_{\beta}$	92	SED800 SED775
8	GALEX 2486024515200490156	10 ^h 01 ^m 51 ^s .6 +69° 35′ 26″.7	19 ^m .6	0.847	H $_{\beta}$	124	SED900 SED875



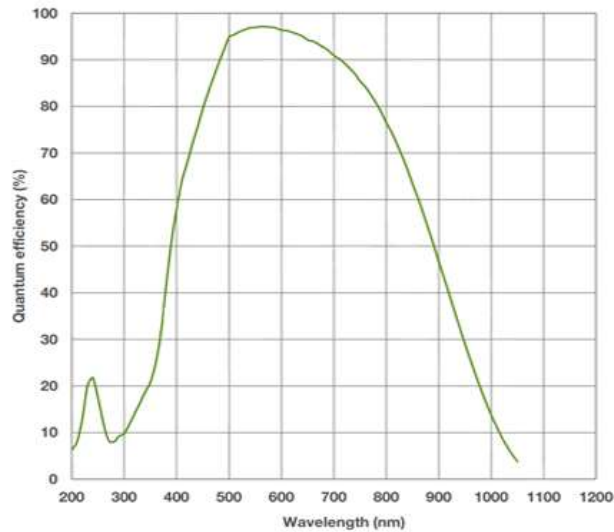
Данные из
базы данных
Bentz & Katz
2015

+

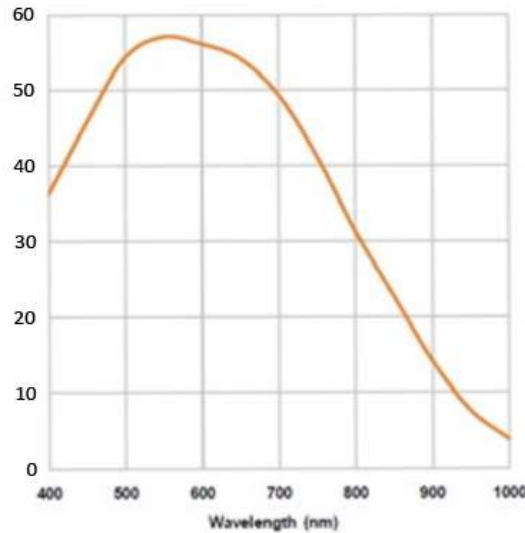
Afanasiev et
al. 2015

$$k = 0.88 \pm 0.03$$

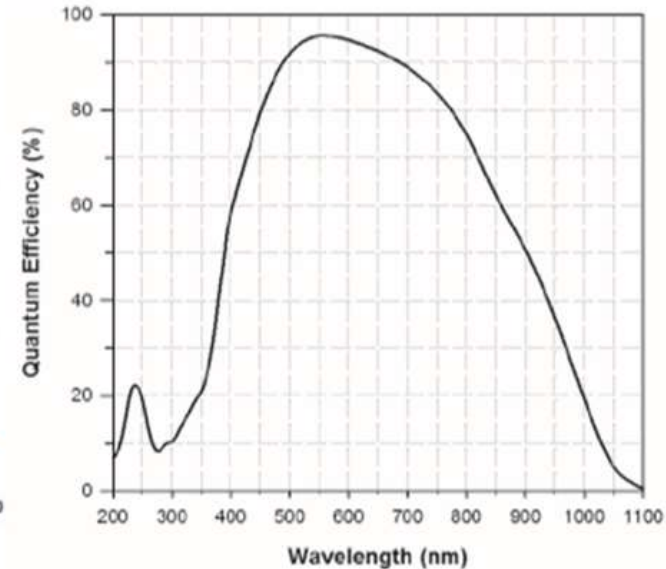
Квантовая эффективность приёмников



Andor iKon-M 934



Andor sCMOS Neo



Eagle V

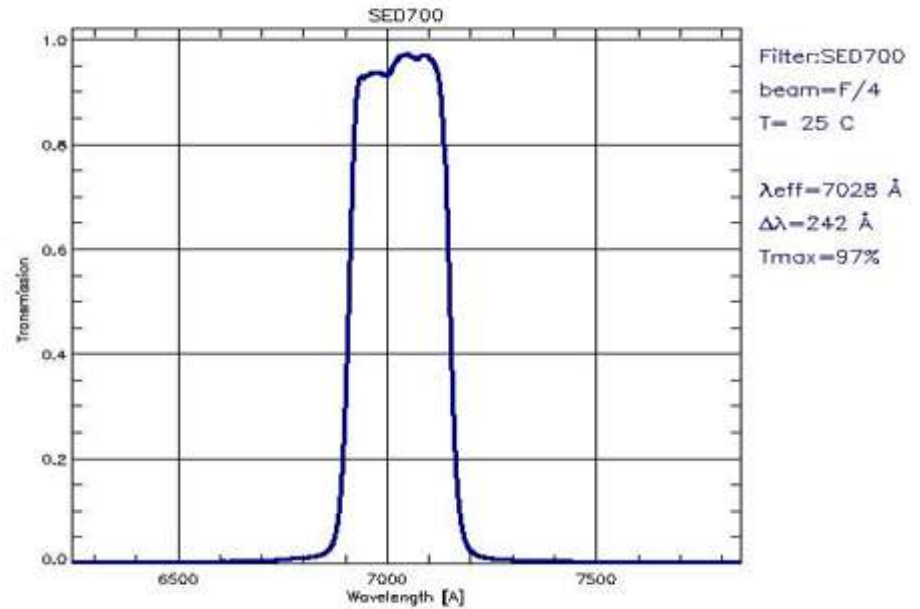
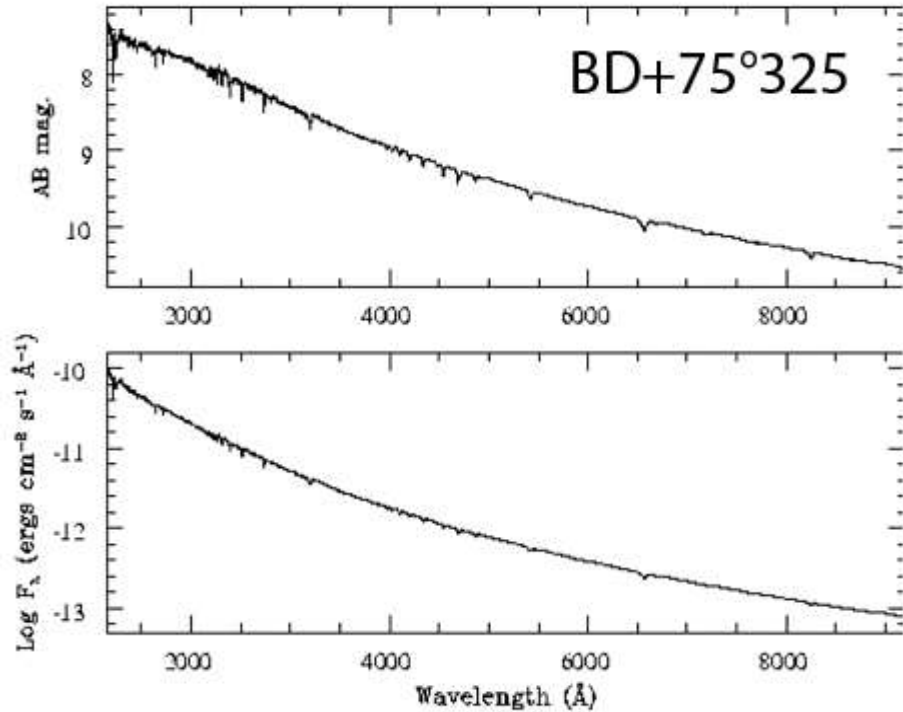
2018
MaNGaL

2019
MMPP

Приёмник	5500 Å	6000 Å	7000 Å	8000 Å	9000 Å
Andor iKon-M 934	95 %	96 %	91 %	77 %	47 %
Andor Neo sCMOS	54 %	56 %	49 %	31 %	14 %
Eagle V CCD	92 %	95 %	89 %	75 %	50 %

MaNGaL – Mapper of
Narrow **G**alaxy **L**ines

MMPP – Multi-Mode
Photometer-Polarimeter

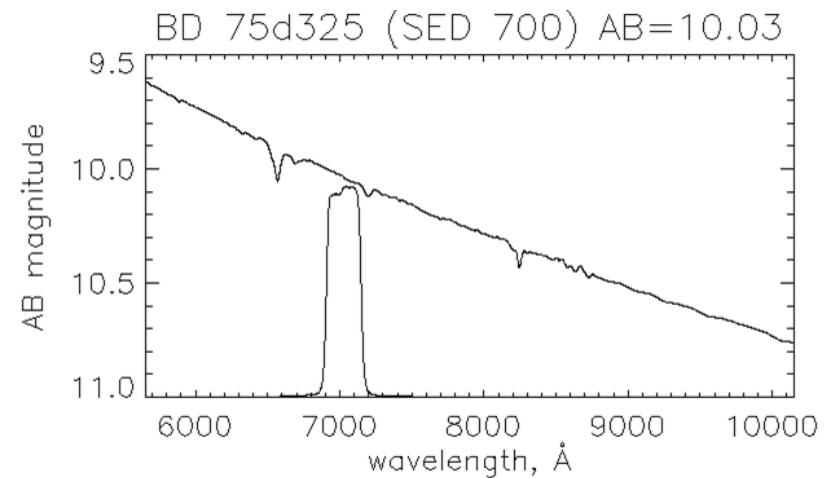


$$m_{AB} = -2.5 \cdot \lg(f_{\nu}) - 48.6$$



$$m_{AB} = -2.5 \cdot \lg \left[\frac{\int f_{\nu} \cdot \text{filter}(\nu) \cdot d\nu}{\int \text{filter}(\nu) \cdot d\nu} \right] - 48.60$$

где поток стандарта f_{ν} указан в единицах эрг/с/см²/Гц.



Стандарт	SED525	SED550	SED600	SED625	SED700	SED725	SED775	SED800	SED875	SED900
G193-74	15.63	15.61	15.58	15.58	15.58	15.59	15.61	15.62	15.68	15.73
BD+75°325	9.47	9.56	9.73	9.81	10.03	10.10	10.22	10.28	10.46	10.51
Feige34	11.09	11.17	11.35	11.43	11.63	11.69	11.79	11.84	11.90	12.05
BD+33°2642	10.71	10.78	10.91	10.97	11.13	11.18	11.28	11.33	11.43	11.45
BD+28°4211	10.43	10.52	10.70	10.78	10.99	11.05	11.18	11.24	11.42	11.50
BD+25°4655	9.60	9.69	9.87	9.95	10.16	10.22	10.35	10.41	10.59	10.68
Feige110	11.76	11.85	12.03	12.10	12.32	12.39	12.50	12.57	12.74	12.79

Оке, 1990

Потоки спектрофотометрических звёзд-стандартов в единицах АВ-величин в полосах пропускания фильтров SED

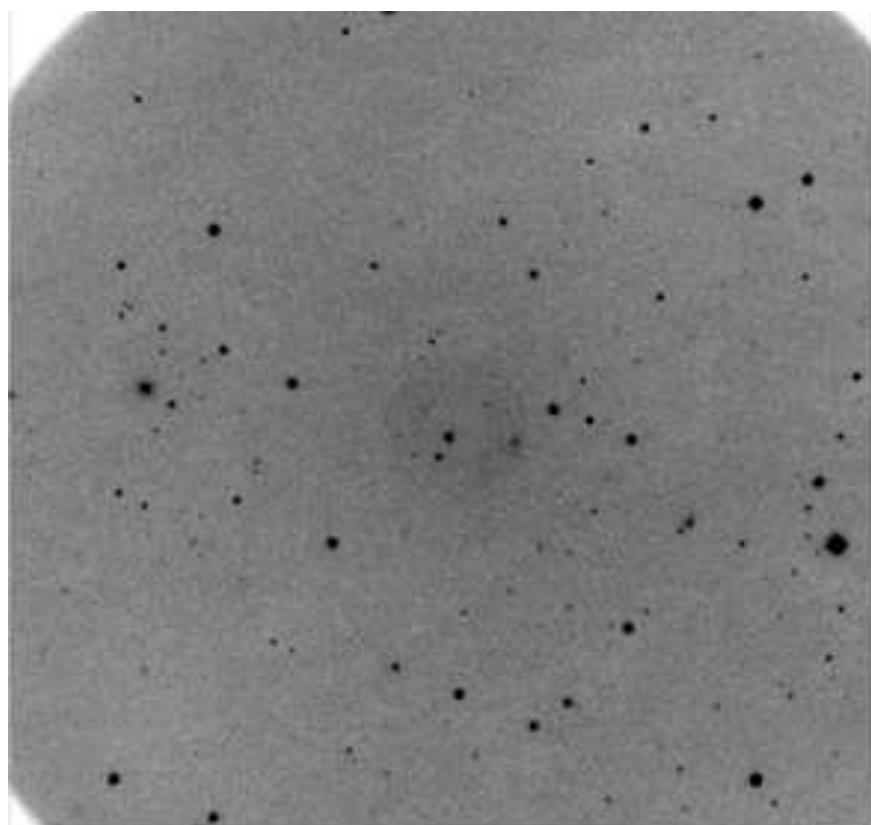
$$m_{AB} = -2.5 \cdot \lg \left[\frac{\int f_\nu \cdot filter(\nu) \cdot d\nu}{\int filter(\nu) \cdot d\nu} \right] - 48.60$$

где поток стандарта f_ν указан в единицах эрг/с/см²/Гц.

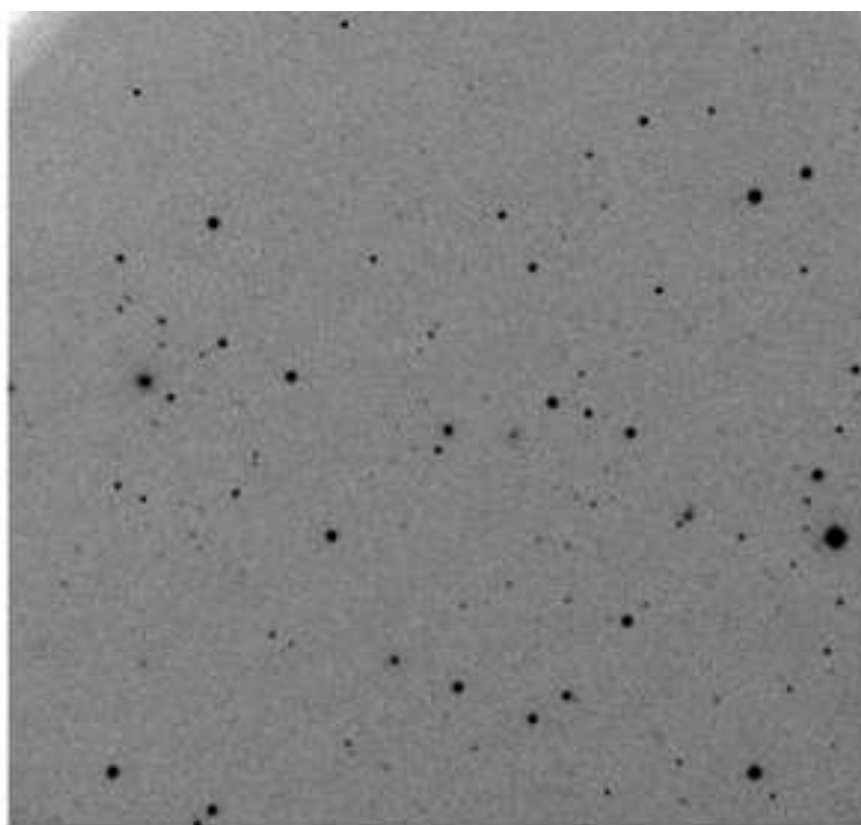
Первичная редукция кадров (image processing)

Interactive **D**ata **L**anguage (**IDL**)

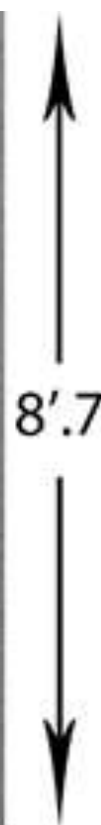
Пример редукции полученного кадра поля с галактикой #1



Необработанный кадр

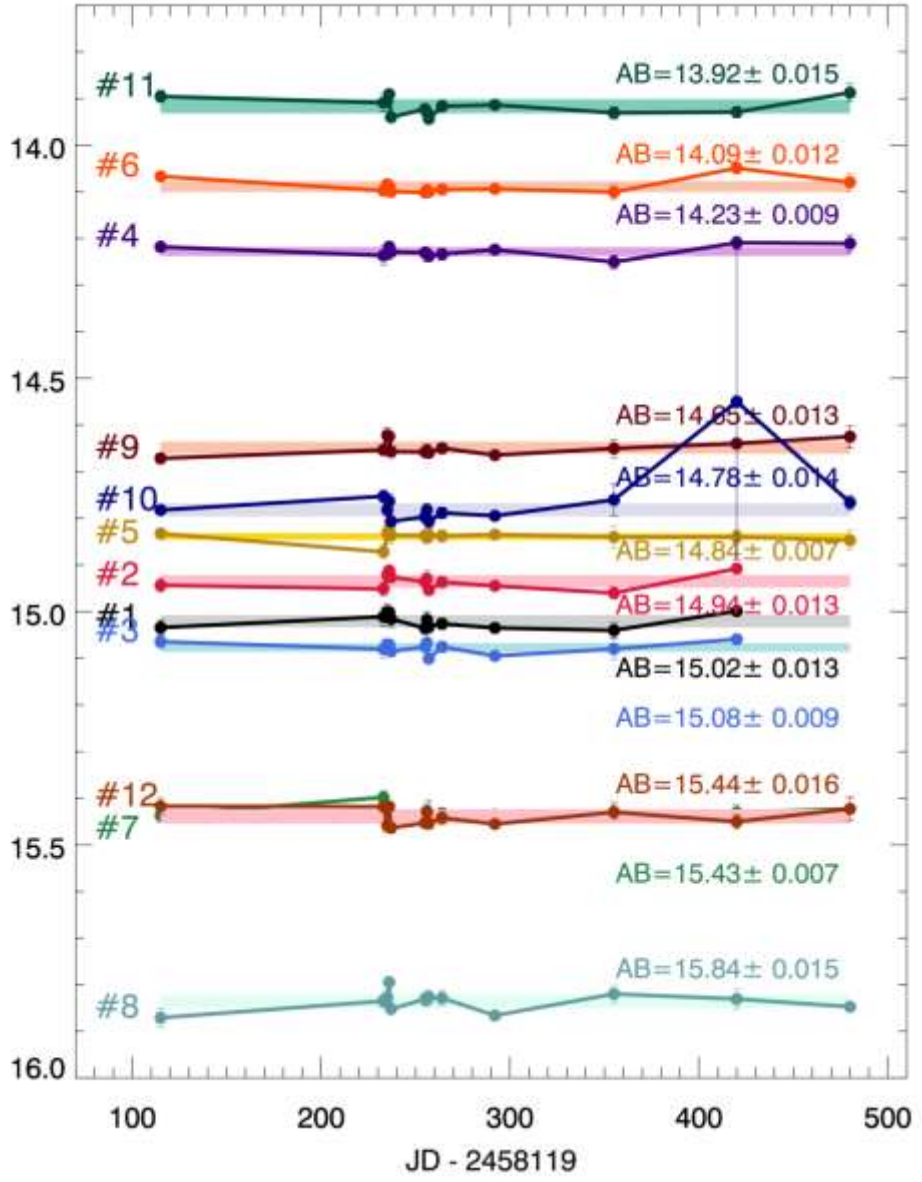
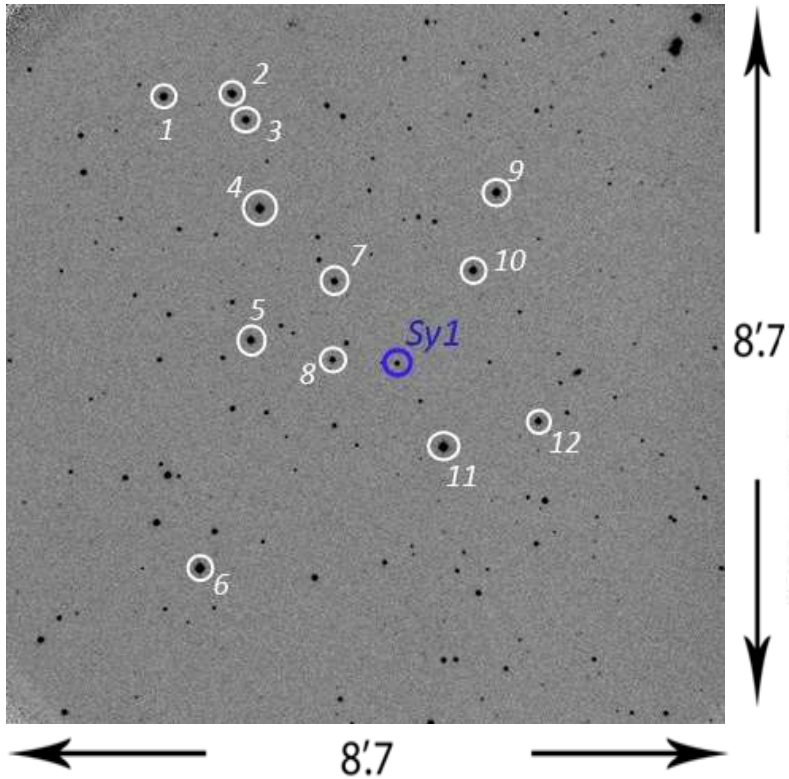


Редуцированный кадр



#6 поле -> 2MASS J01373678+8524106 в SED725

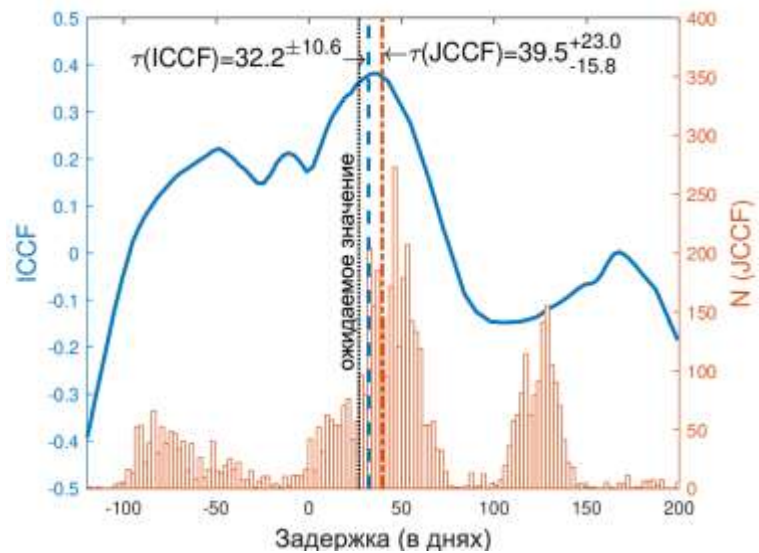
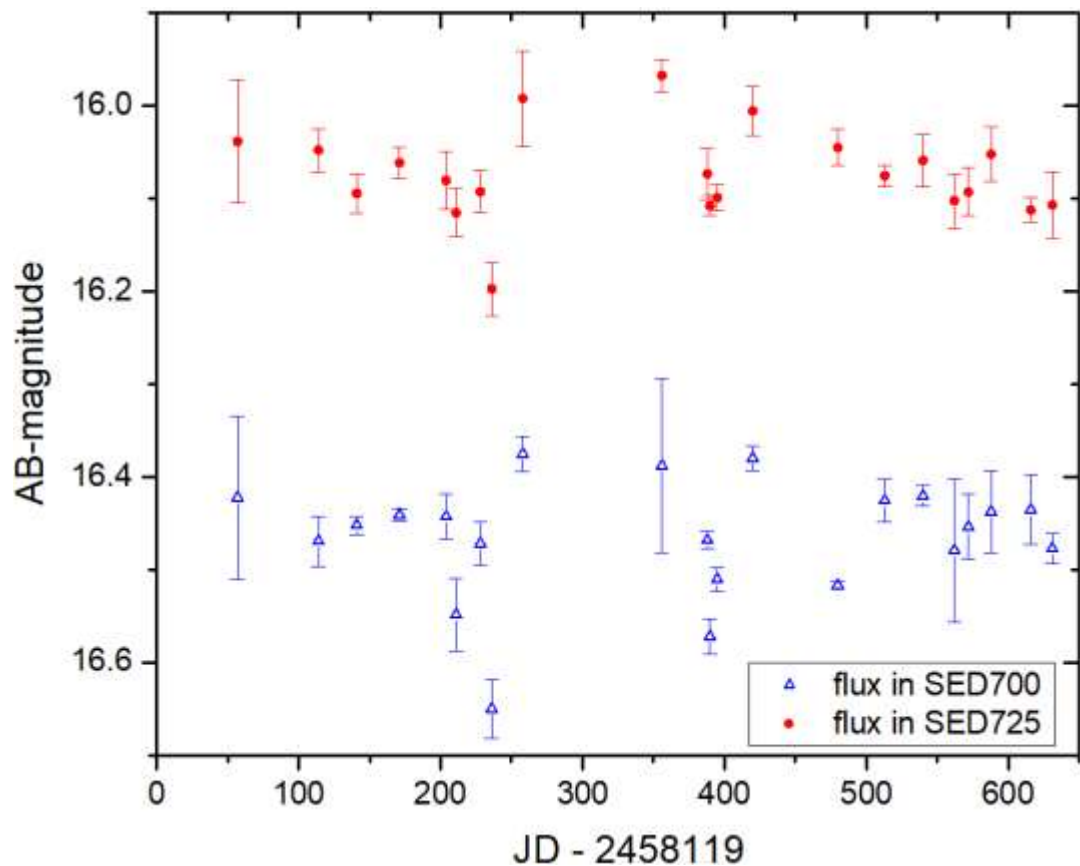
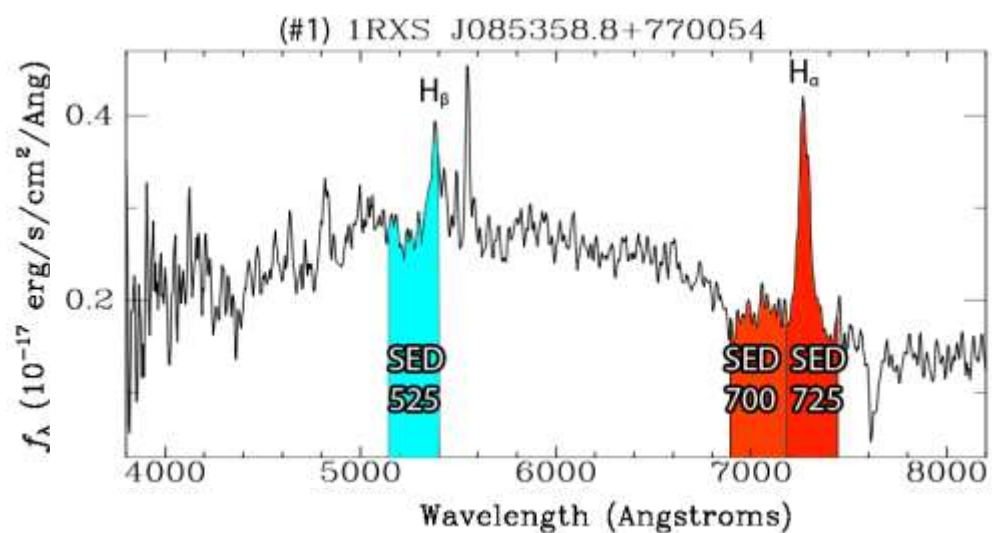
2MASS J01373678+8524106 local standards (725)



при монохроматическом потоке f_ν ,
измеряемом в эргах/сек/см²/Гц

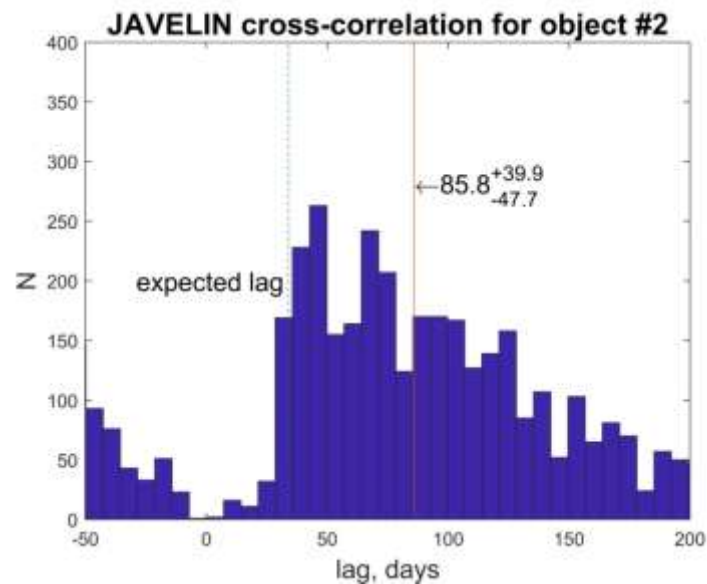
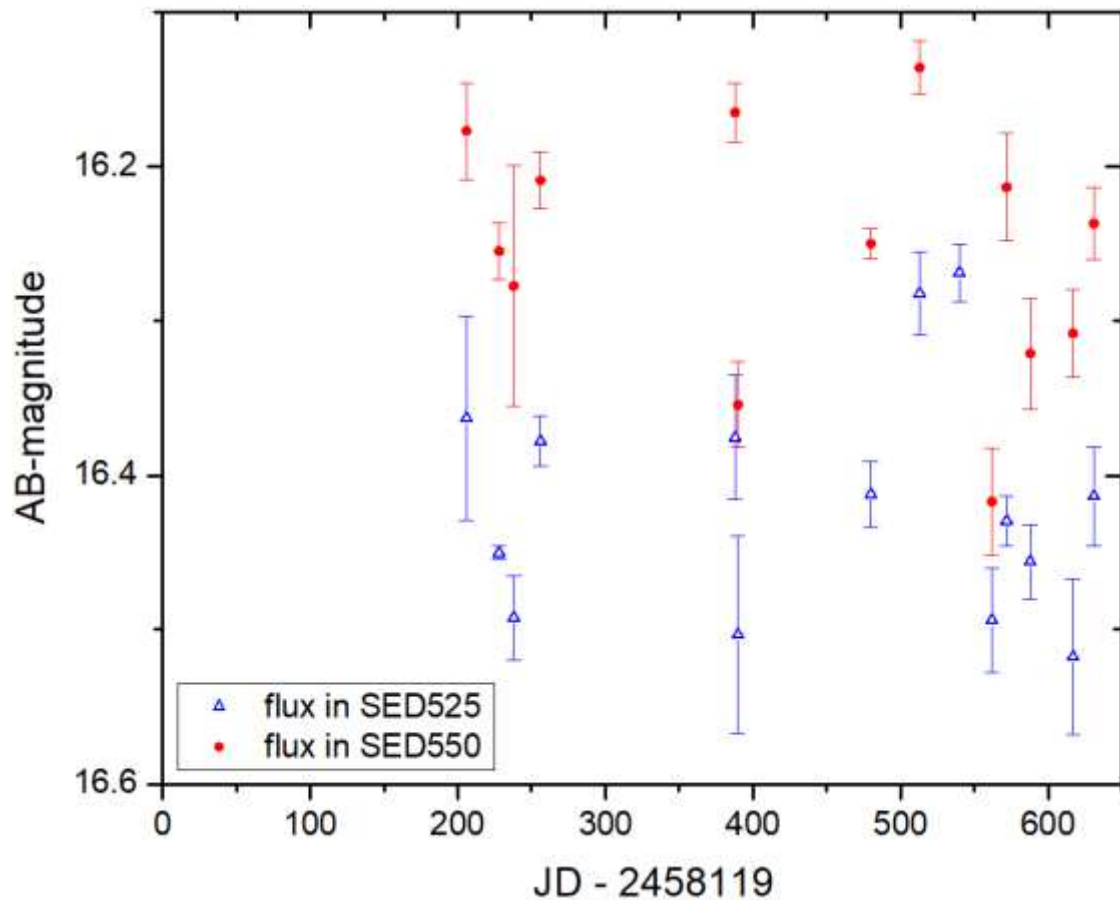
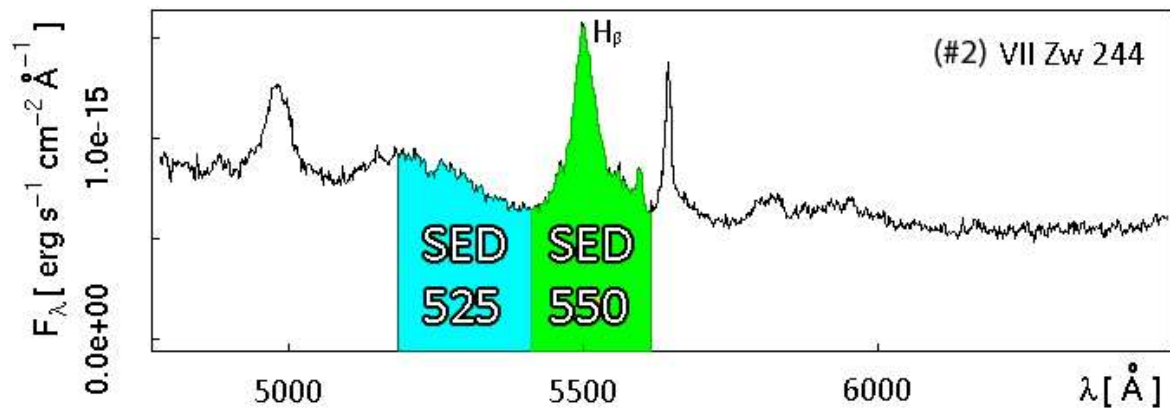
$$m(AB) = -2.5 \cdot \lg(f_\nu) - 48.6$$

AGN #1



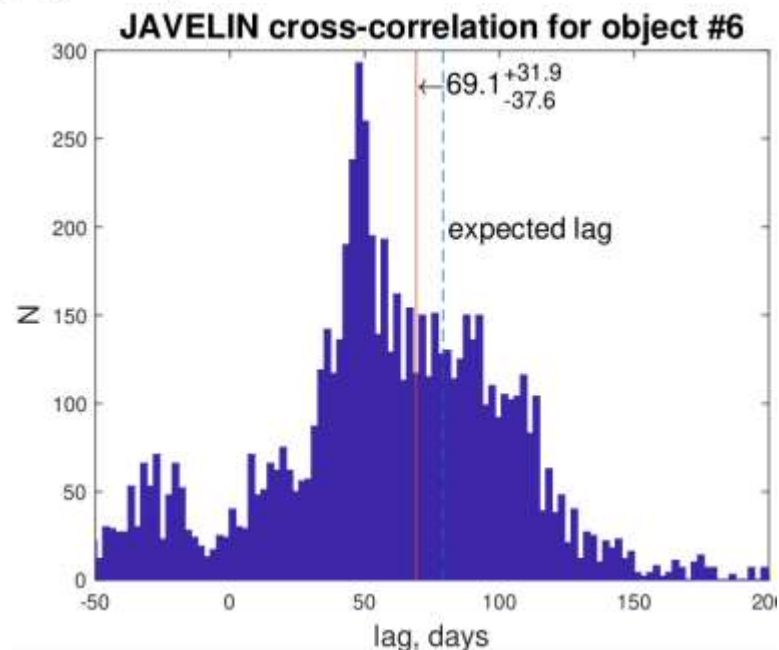
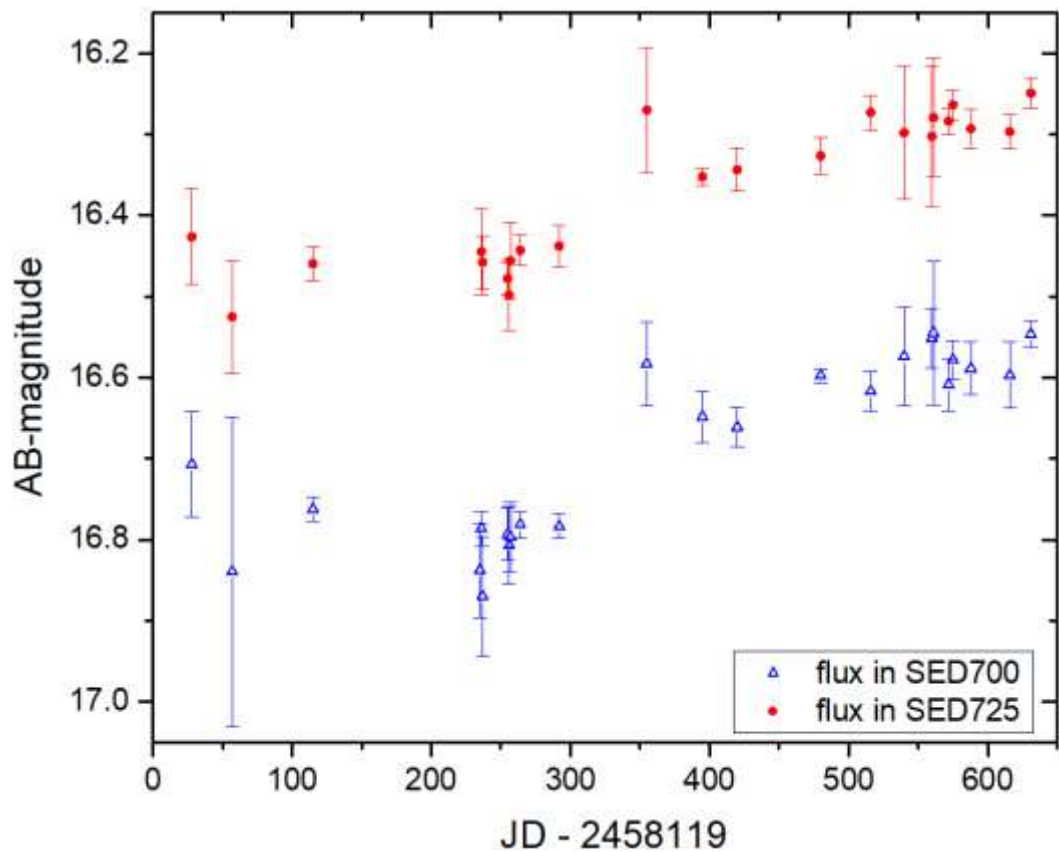
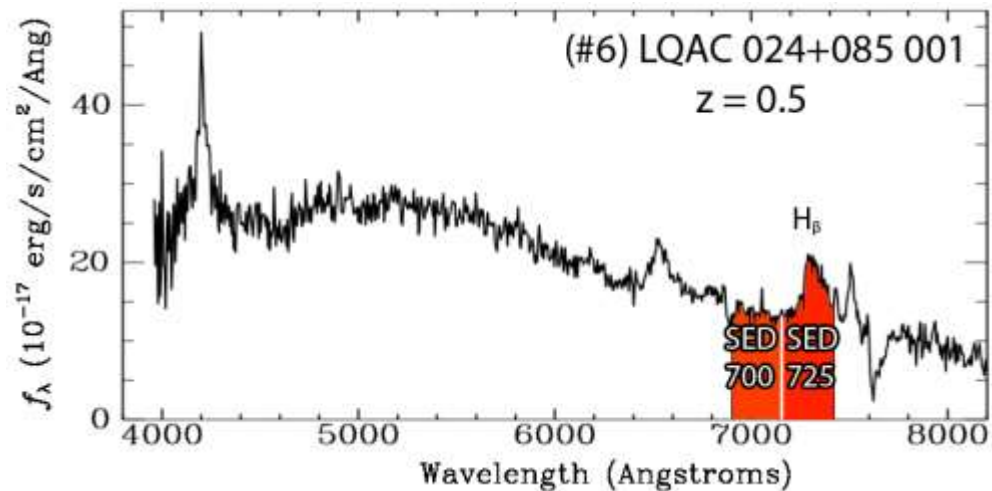
$\tau \approx 39.5$ дней

AGN #2



$\tau \approx 86$ дней

AGN #6

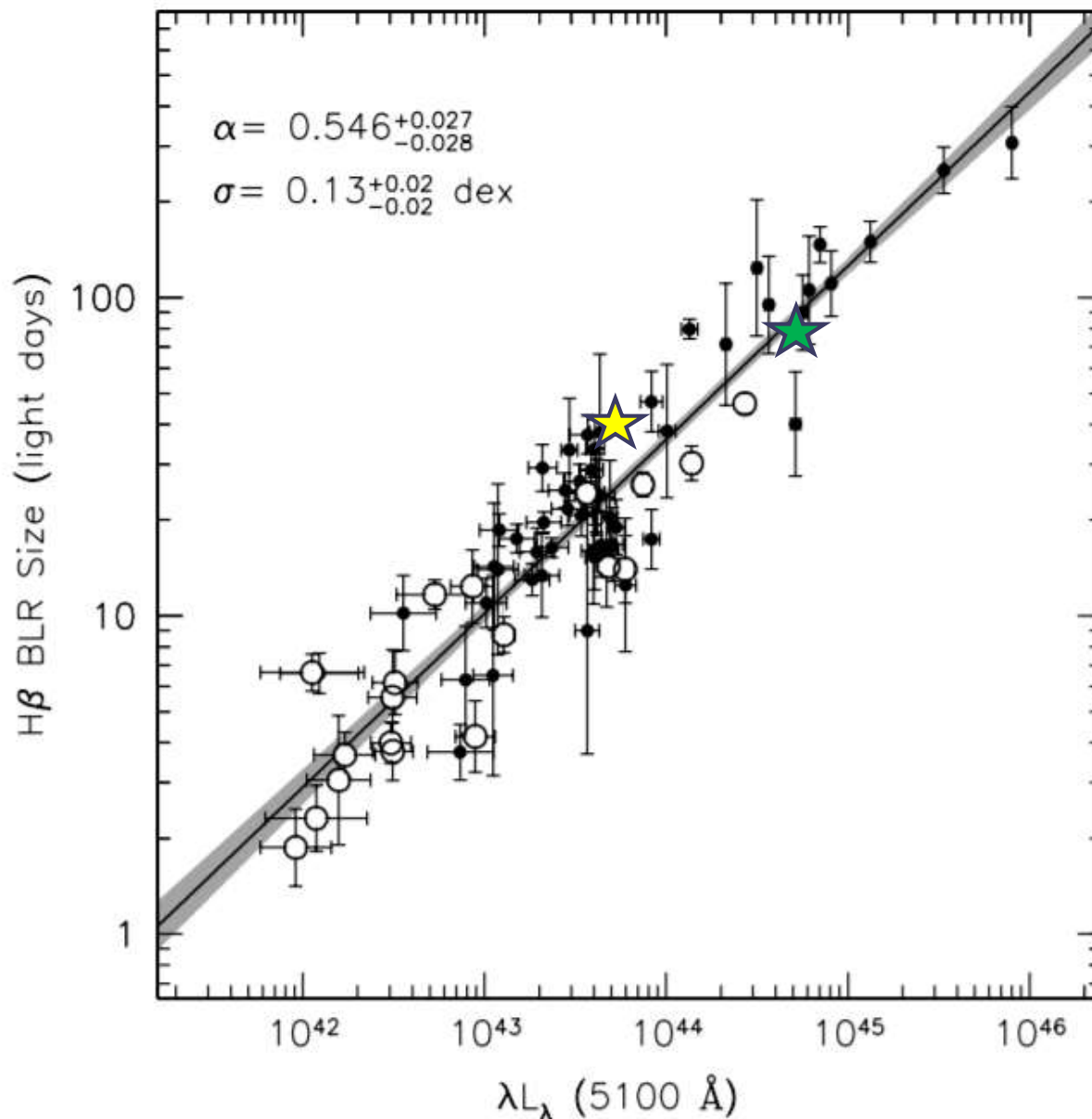


$\tau \approx 69$ дней

Заключение

- создана независимая методика наблюдений методом фотометрического эхокартирования для телескопов метрового класса
- создана сеть вторичных стандартов в полях возле исследуемых объектов
- получены кривые блеска для наиболее ярких АЯГ исследуемой выборки
- Наблюдается короткопериодическая переменность на уровне $0^m.1$
- получены оценки наблюдаемых задержек для AGN #1 и #6

Заключение



★ AGN #1:
 $\sigma t = 39$ св. дней
 $\lambda L = 5 \cdot 10^{43}$ эрг/сек

★ AGN #6:
 $\sigma t = 69$ св. дней
 $\lambda L = 5 \cdot 10^{44}$ эрг/сек

Уклеин, Малыгин,
Шабловинская и др. 2019,
Астр.Бюл. (в печати)

Malygin, Uklein,
Shablovinskaya et al. 2019,
Contrib. Astron. Obs. Skalnat' e
Pleso (in print)