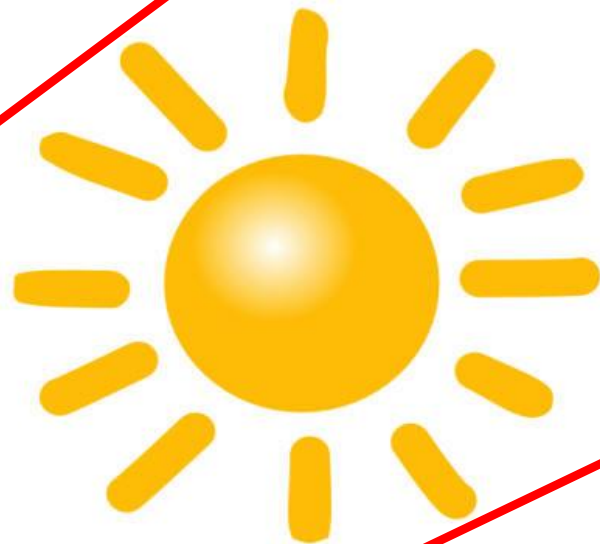


Активные ядра галактик



Сотникова Юлия Владимировна
кандидат физ.-мат. наук
САО РАН



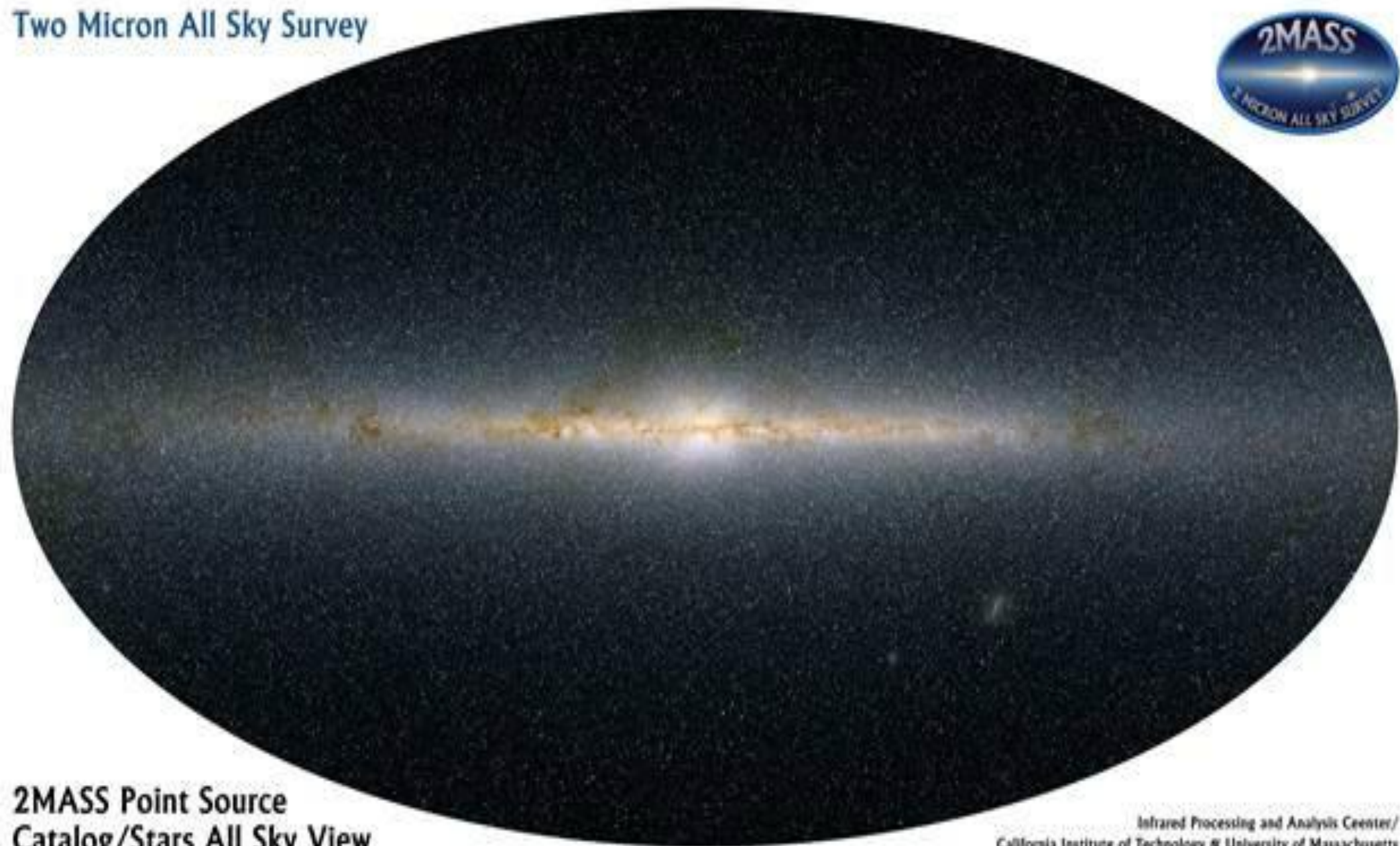
за 1 сек –
на 1 млн. лет

за 1 сек –
на тысячи лет

1 год - 10^{21} Дж

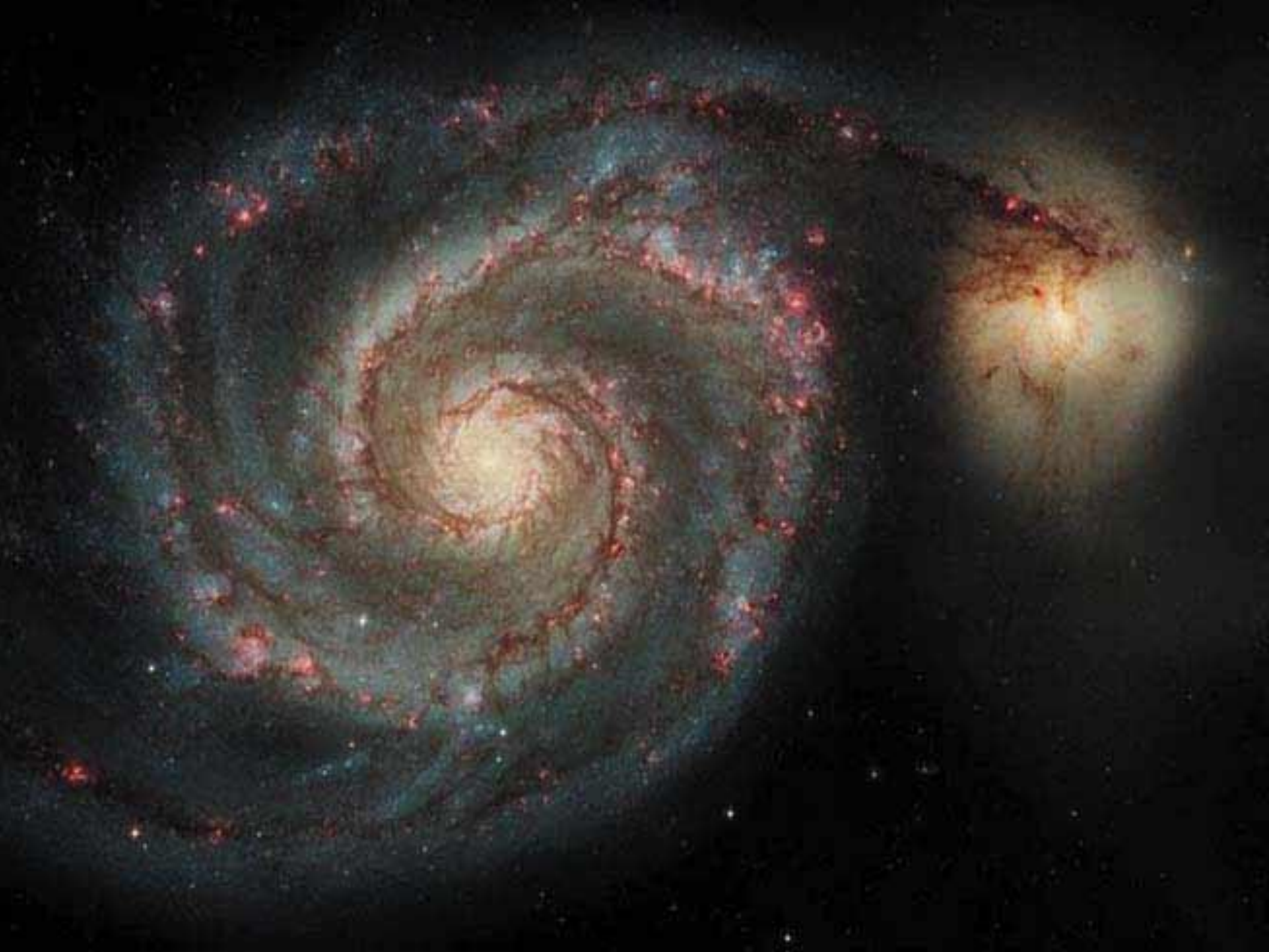


Two Micron All Sky Survey

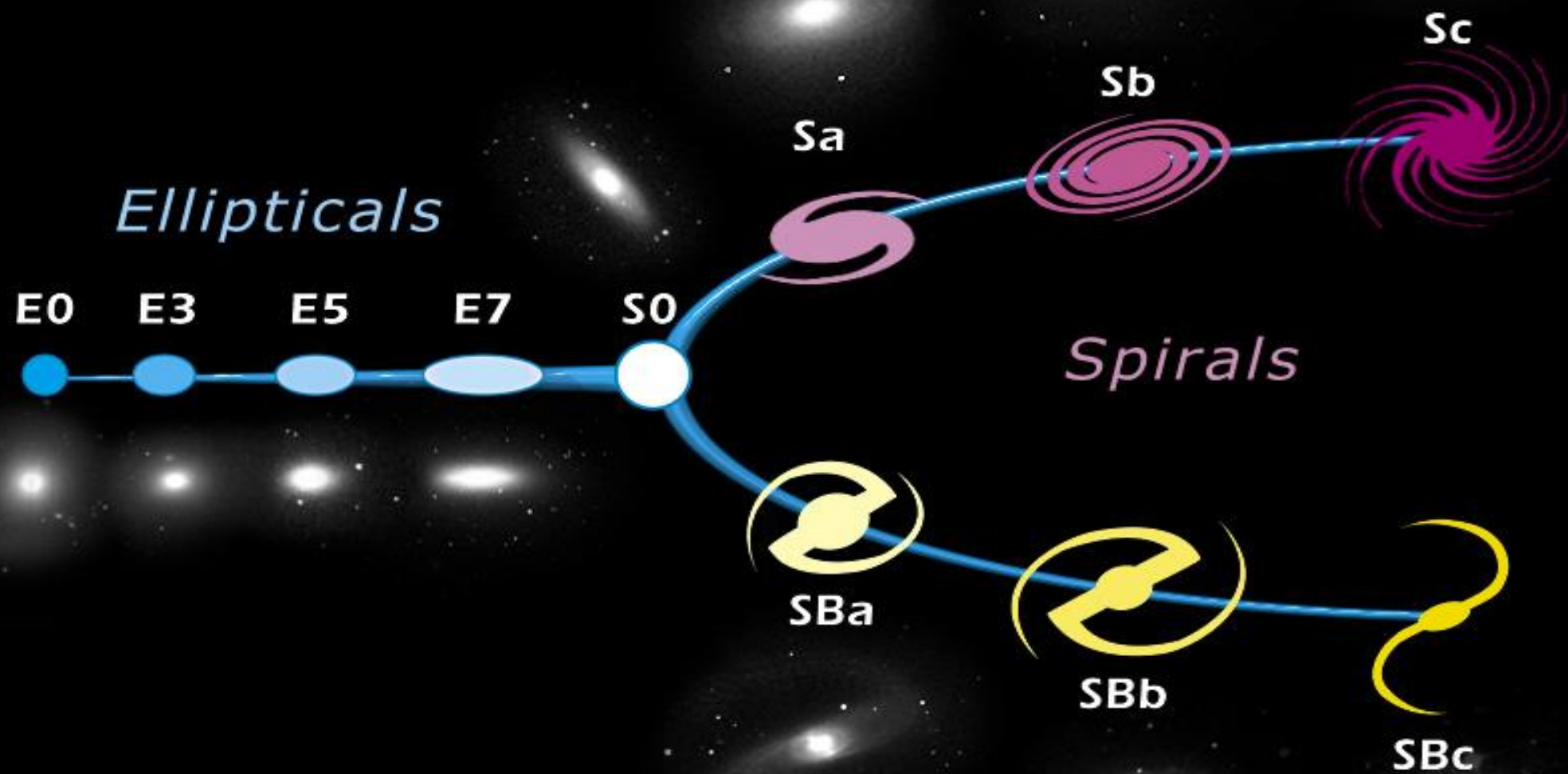


2MASS Point Source
Catalog/Stars All Sky View

Infrared Processing and Analysis Center/
California Institute of Technology & University of Massachusetts

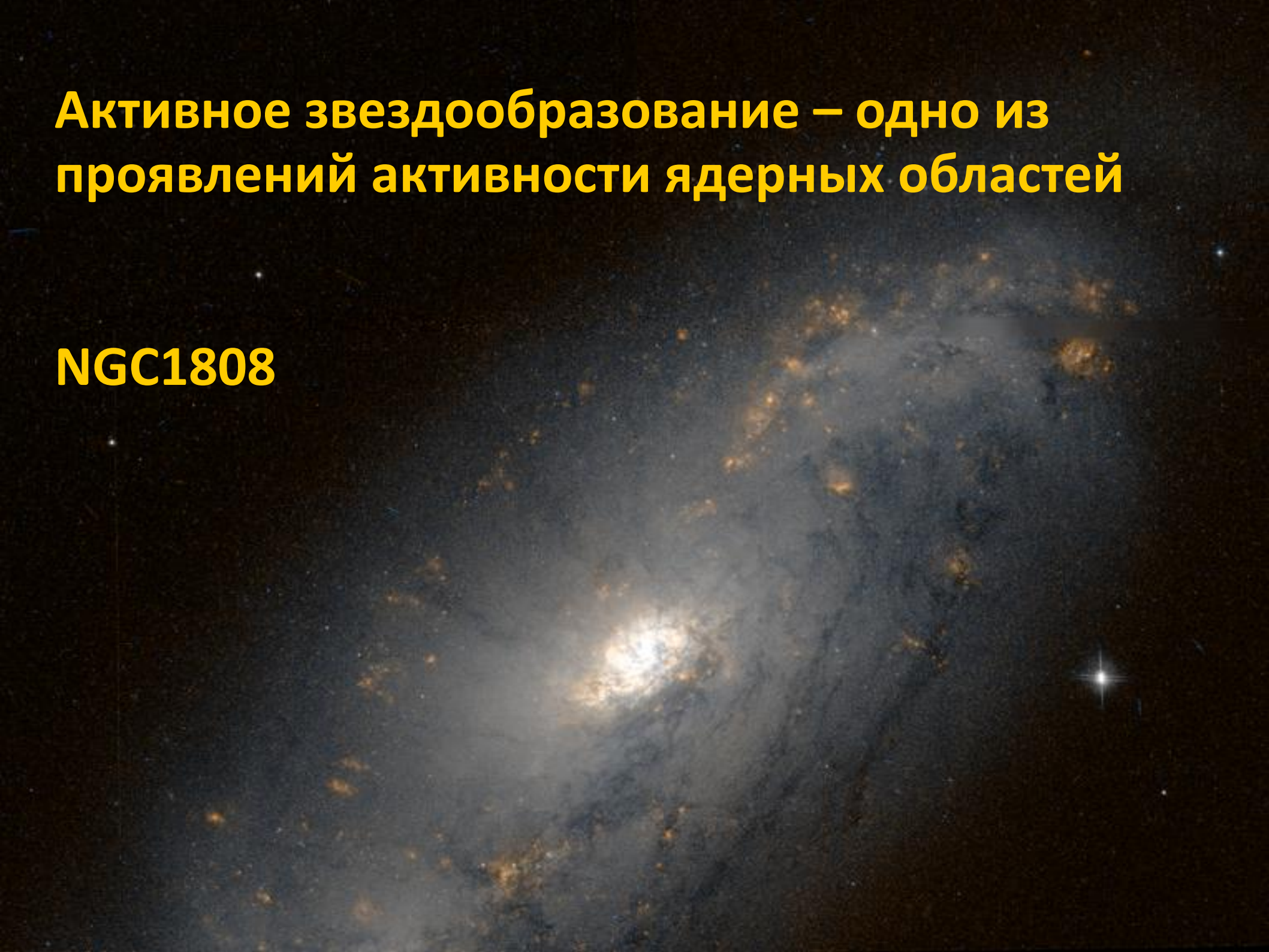


Классификация галактик Хаббла



Активное звездообразование – одно из проявлений активности ядерных областей

NGC1808



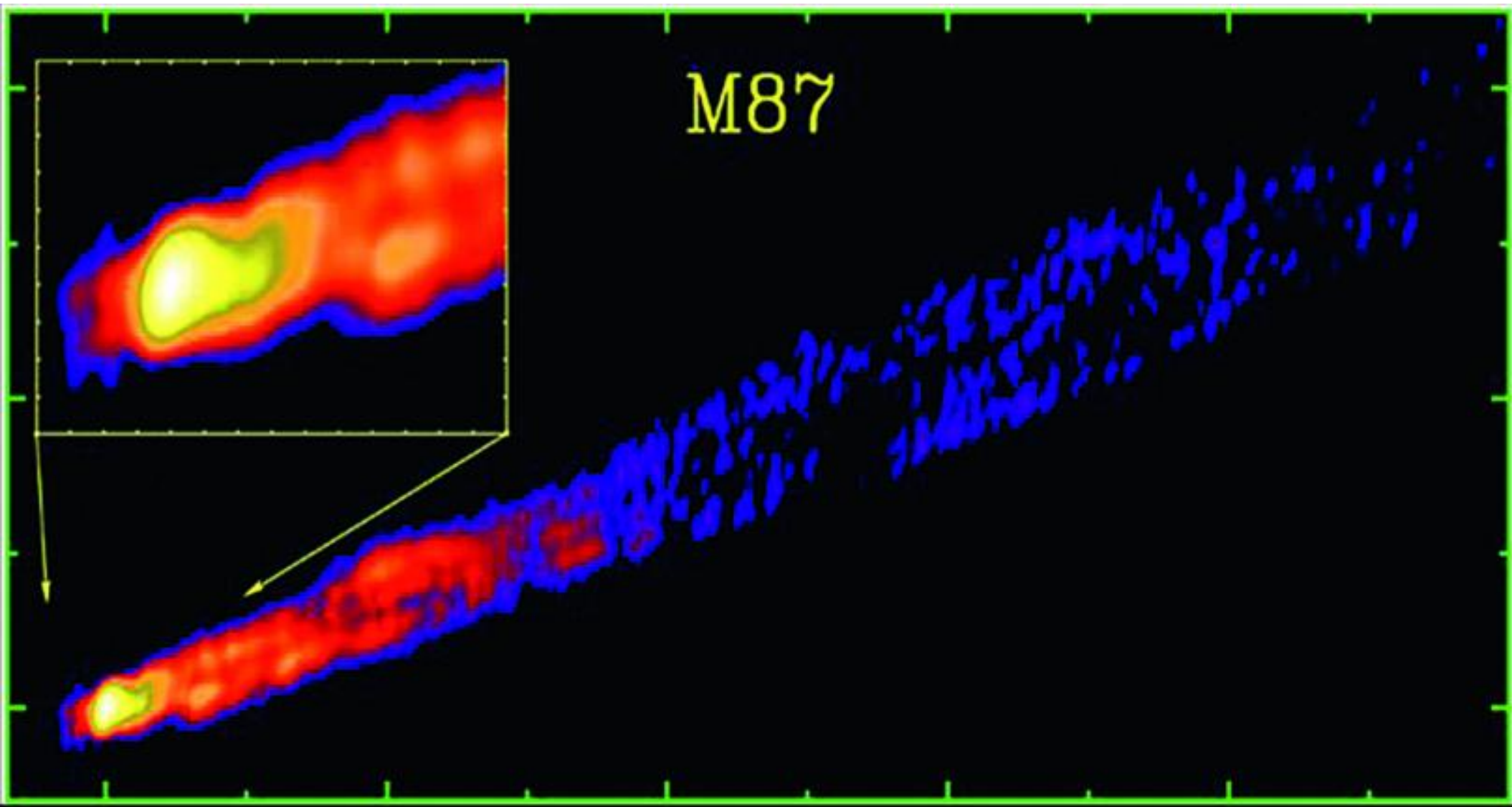
Галактика М87, открытие 1918 г.



Активные ядра галактик

- Из очень маленькой области в центре галактики «выплескивается» поток энергии, сравнимый с излучением ста млн. или ста млрд. таких звезд, как Солнце.
- Излучение переменное, без четкого периода, на различных временах – часы, месяцы, годы.
- Необычно высокая мощность излучения в самых различных интервалах длин волн — от радио до гамма-лучей.
- Часто наблюдается выброс мощных струй плазмы и релятивистских электронов.

Струя релятивистских частиц в эллиптической галактике М87 на расстоянии примерно 50 миллионов световых лет от земли. Изображение получено с помощью системы из 10 антенн. Четкость этой радиокарты в 50 раз выше, чем аналогичного изображения, получаемого в видимом диапазоне на косм. телескопе им. Хаббла. Такие объекты изучаются на РАТАН-600 с использованием континуальных радиометров.



АЯГ 1: Сейфертовские галактики

Открытие АЯГ было сделано преждевременно в 1943 г. Карл Сейферт открыл более 10 галактик с необычно широкими спектральными линиями излучения ядер, говорящими о движении газа в ядрах со скоростями в тысячи км/с.

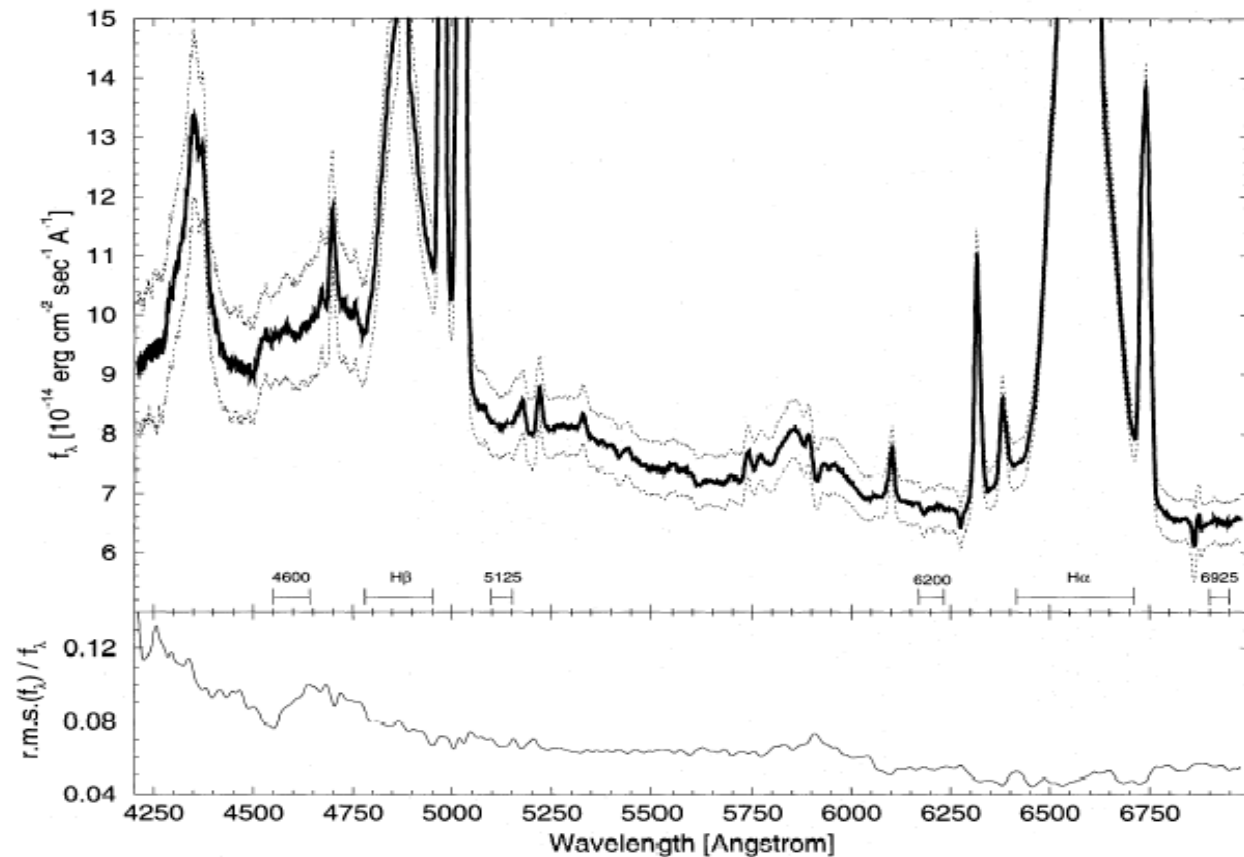
- спиральные галактики высокой светимости (10^{41} - 10^{44} эрг/с) .
- интенсивное звездообразование.



Тип 1. Как узкие так и широкие эмиссионные линии в спектре:
FWHM = 300-1000 км/с (для узких линий);
FWHM $\geq$ 1000 км/с (для широких линий).

X-axis: длина волны (Angstroms)

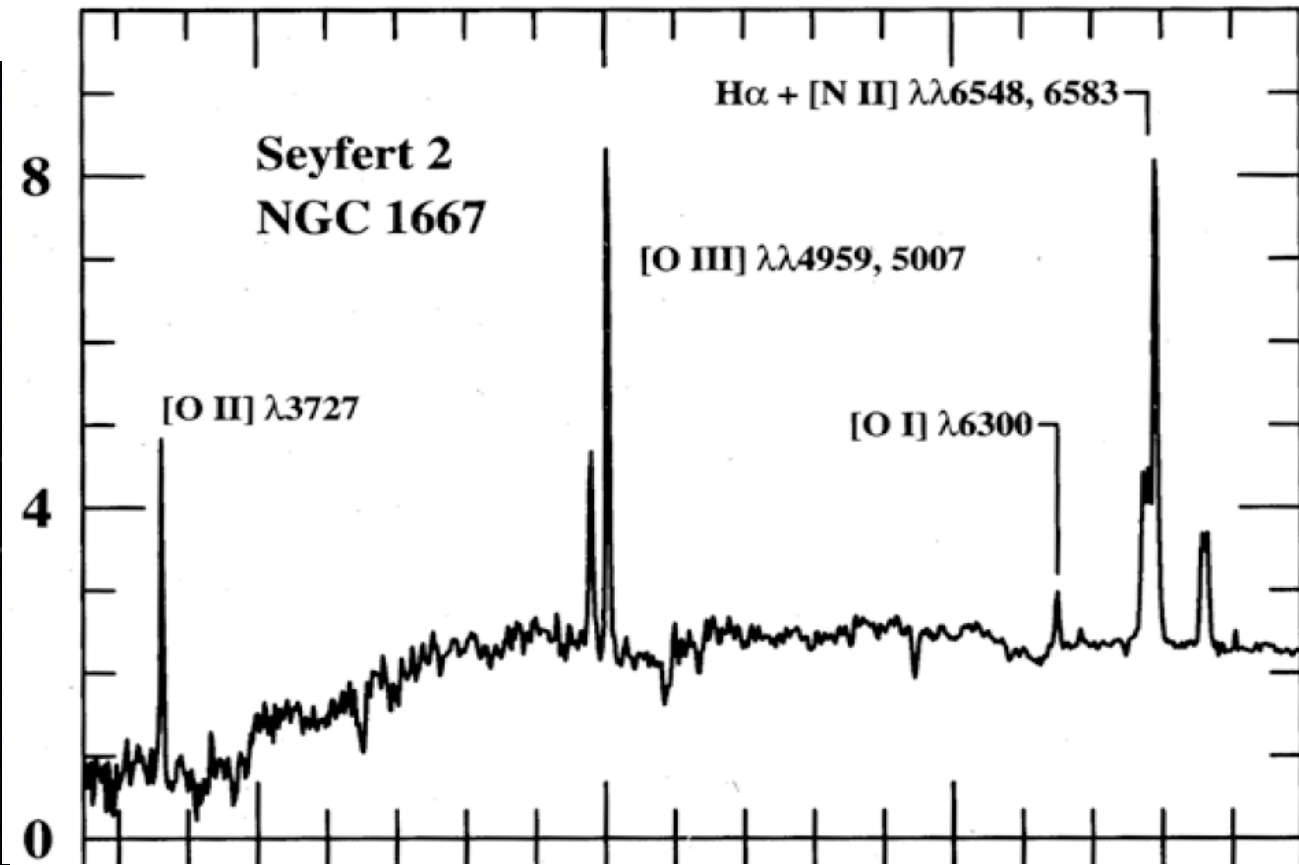
Y-axis: интенсивность



Тип 2. Только узкие эмиссионные линии в спектре:
FWHM = 300-1000 км/с.

X-axis: длина волны (Angstroms)

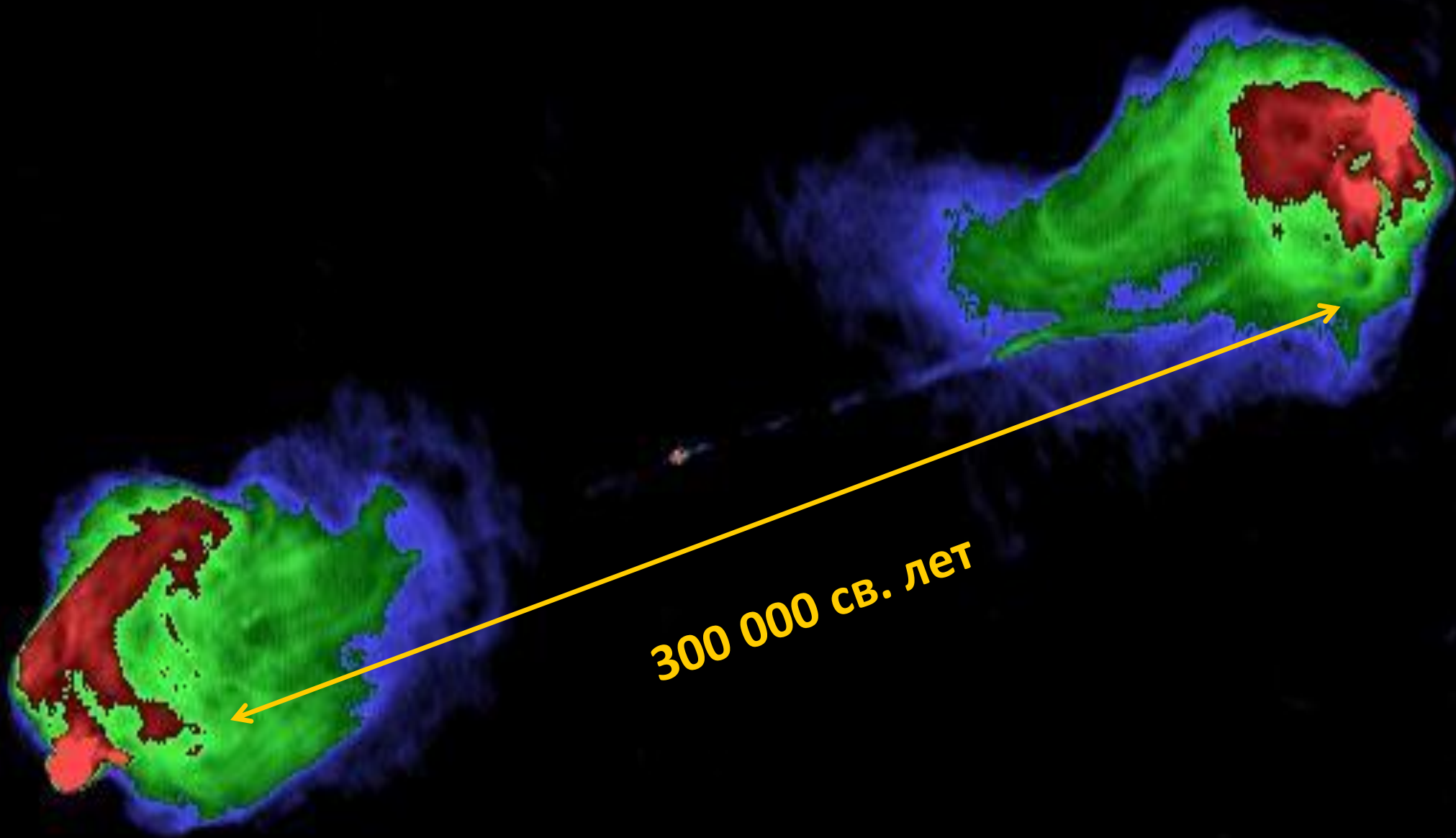
Y-axis: интенсивность (безразмерная величина)



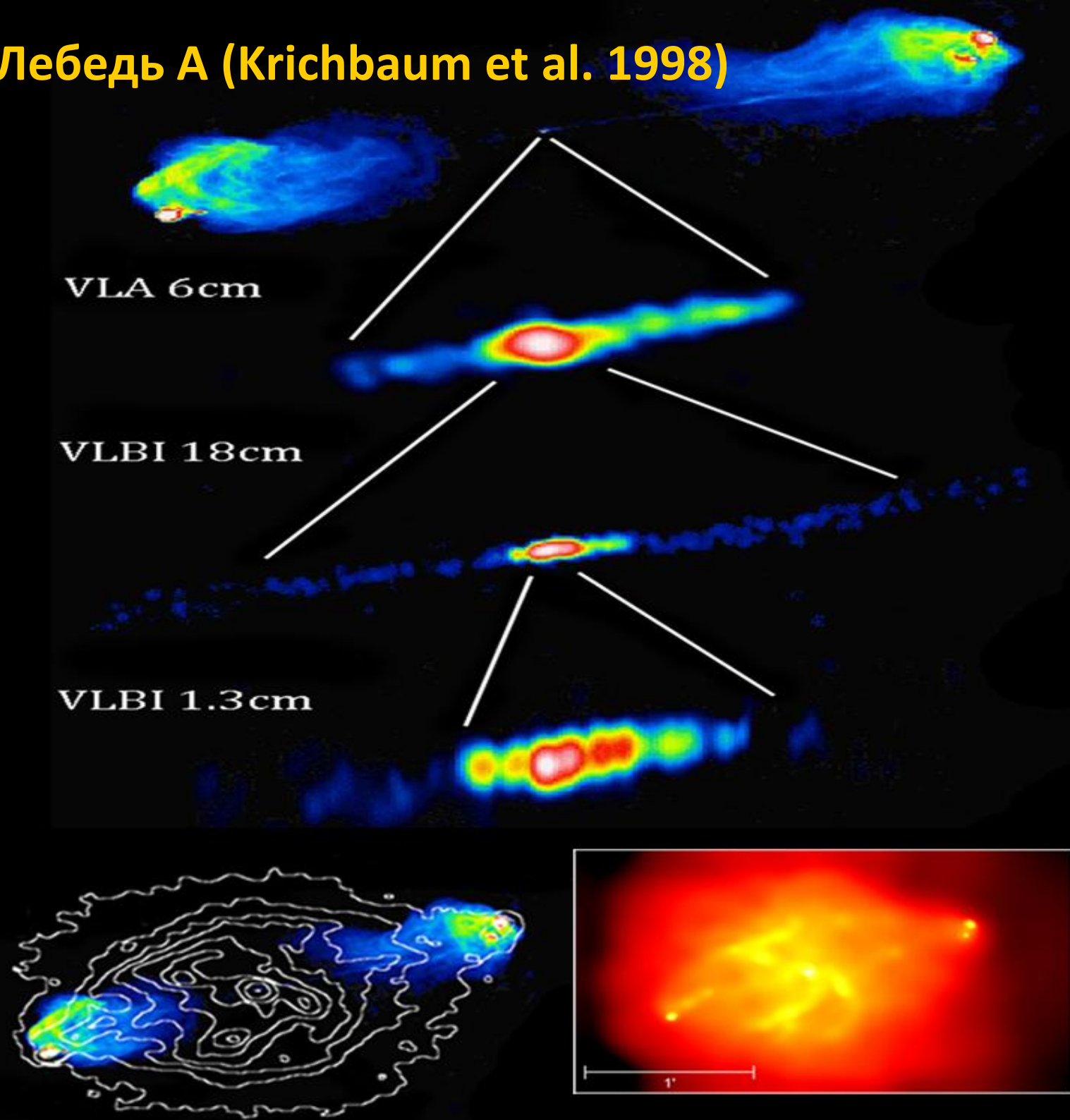
АЯГ 2: Радиогалактики

- Интенсивное радиоизлучение, в тысячи и более раз превосходящее по мощности радиоизлучение нормальных галактик, таких, как наша. Высокая светимости в радио диапазоне (10^{42} - 10^{44} эрг/с).
- Радиоизлучение связано с выбросом потоков релятивистских электронов из ядра.
- В основном это эллиптические галактики.
- **Broad Line Radio Galaxies (с широкими эмиссионными линиями):**
 - Ширины эмиссионных линий как у сейфертовских 1;
- **Narrow Line Radio Galaxies (с узкими эмиссионными линиями):**
 - Ширины эмиссионных линий как у сейфертовских 2.

Радиоизображение Лебедь А, диапазон частот 5 ГГц (VLA/NRAO)



Лебедь А (Krichbaum et al. 1998)



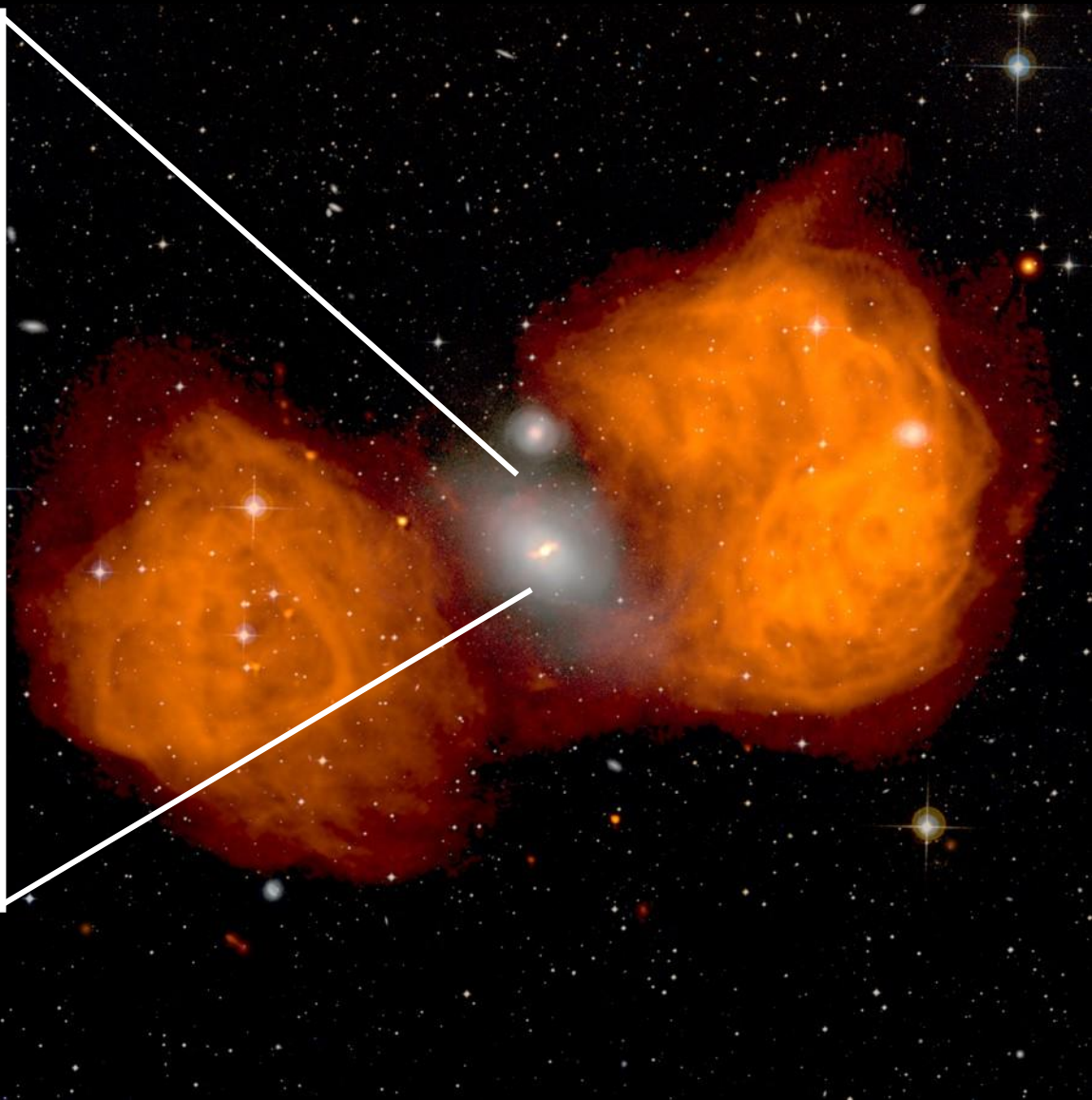
Радиогалактика 3C348
заимствовано: Perley&Cotton (NRAO)
х1000 Млечный Путь
2.5 млрд $m_{\odot}$



NGC 1316

слева – оптика

справа – радио+оптика (NRAO/AUI and J. M. Uson)



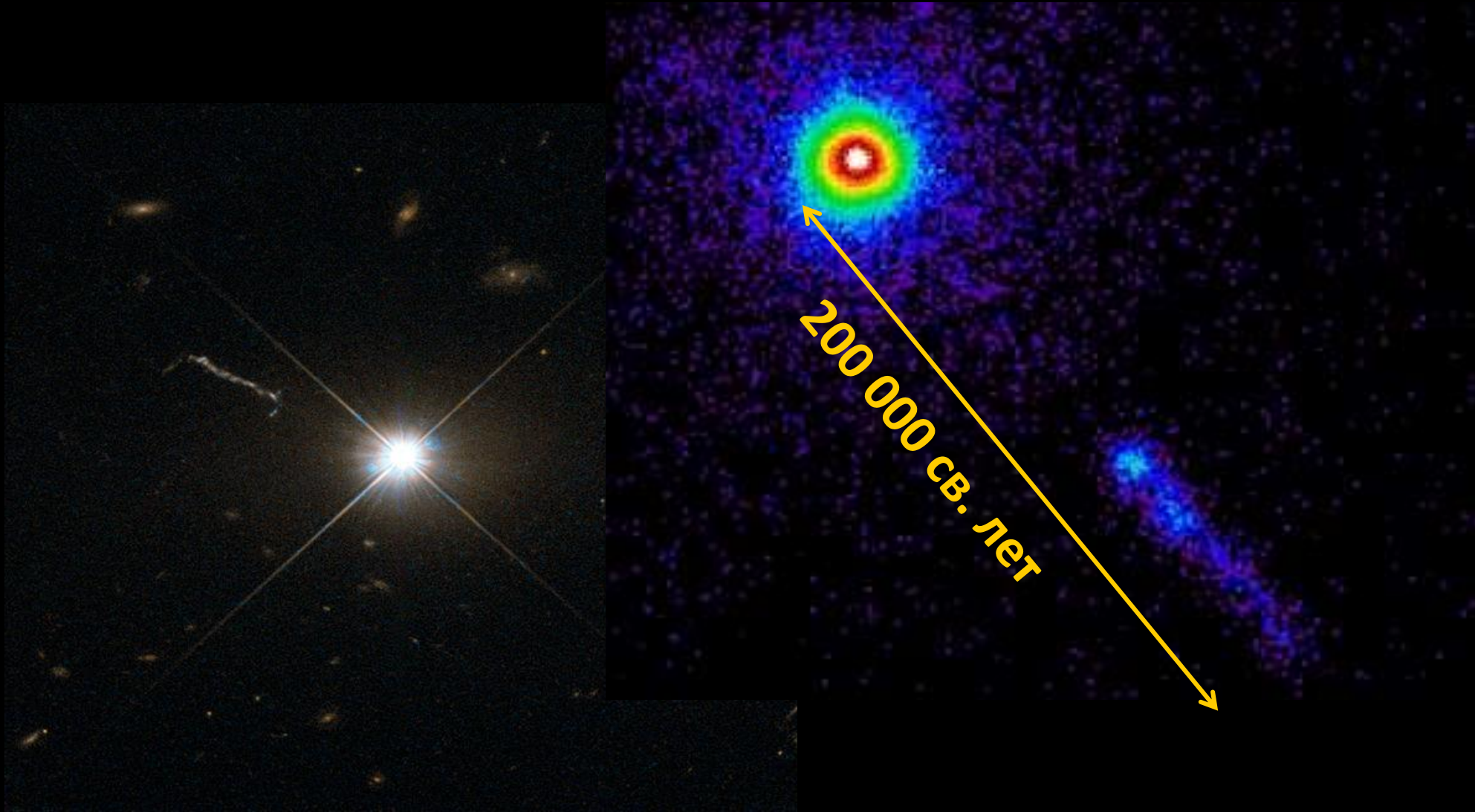
Квазары – QSO – квазизвездные объекты - quasar, сокр. от quasistellar radio source - квазизвёздный источник радиоизлучения - самые мощные долговременные источники излучения во Вселенной

- **Высокая светимость ($L \sim 10^{12} L_{\odot}$, 10^{41} - 10^{44} эрг/с), в основном в оптическом и рентгеновском диапазонах.**
- **Широкие и узкие эмиссионные линии в оптическом спектре.**
- **Родительская галактика чаще всего эллиптическая, реже встречается спиральная.**

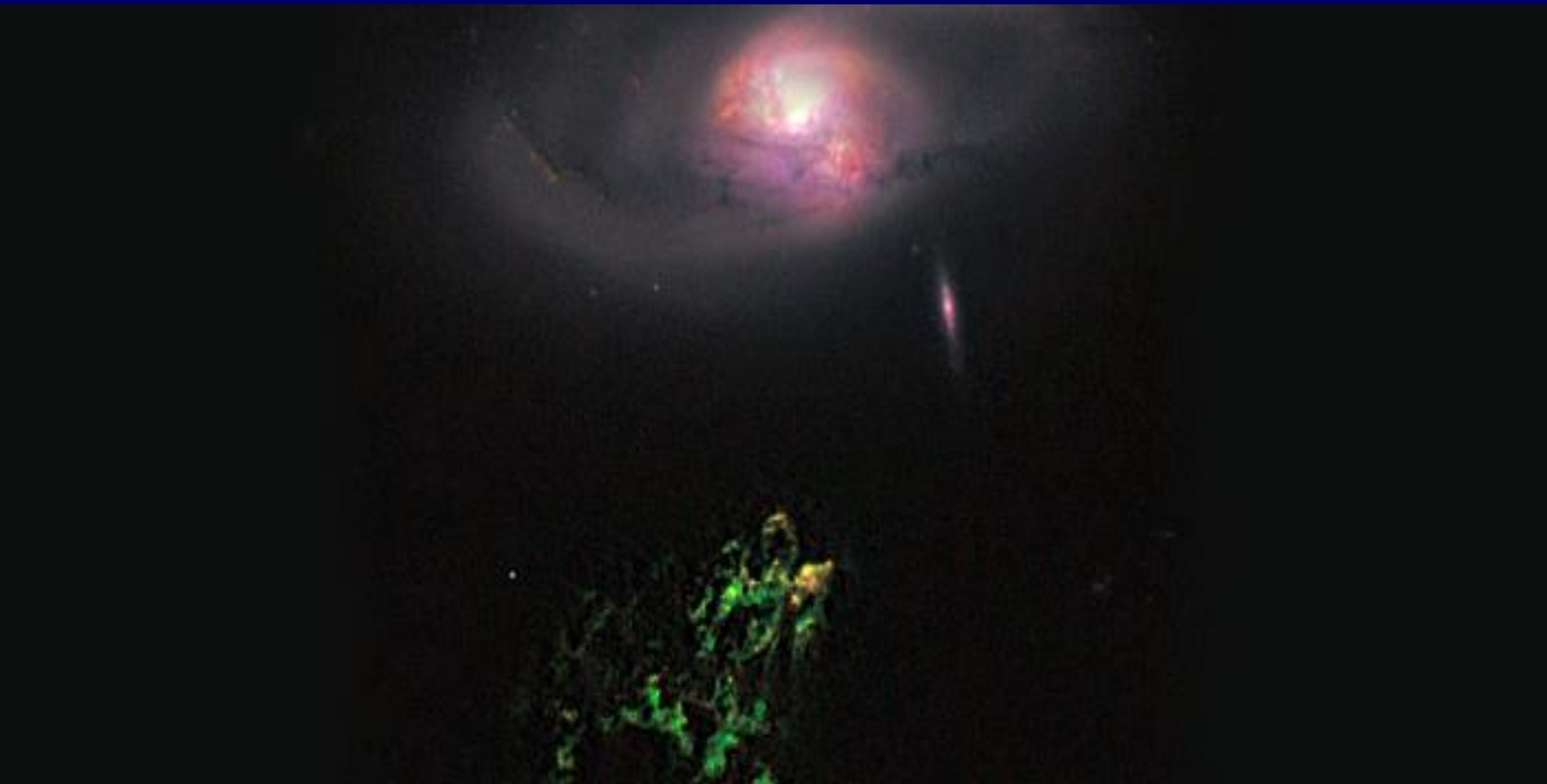
Активная фаза – порядка 100 млн. лет.

ЗС 273

удален на 2 млрд. световых лет



объект Ханни Вурверп



Блазары (более 3000) – экстремальные представители АЯГ

- Характеризуются непрерывным спектром во всех диапазонах, от радиодиапазона до гамма-лучей.
- Родительские галактики блазаров чаще всего гигантские эллиптические.
- На основе спектров блазары разделяют на два подкласса: BL Lacertae объекты и квазары с плоским спектром FSRQ (flat spectrum radio quasars).

Блазары (более 3000)

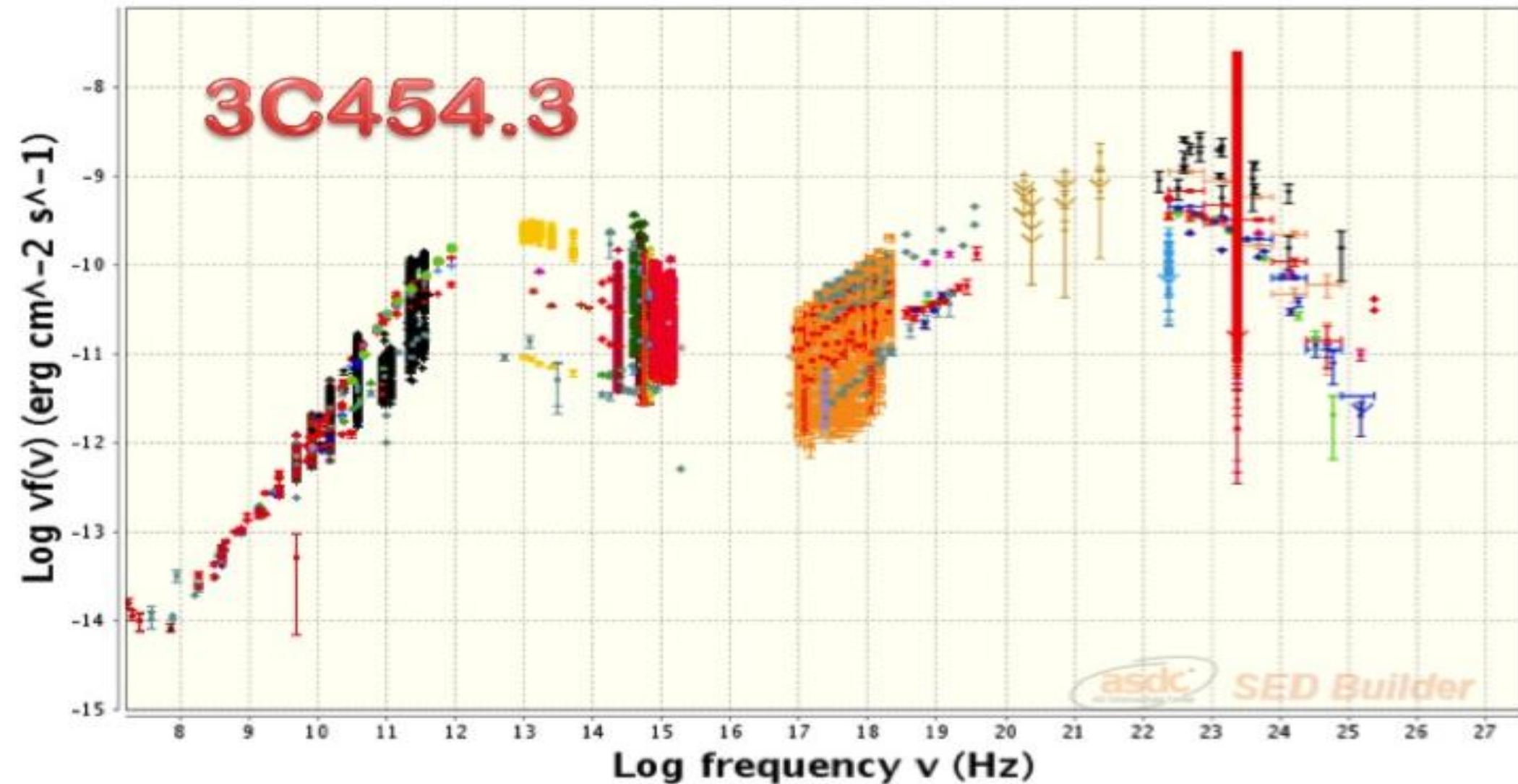
- **BL Lacs:**

- Оптический спектр BL Lacs без особенностей, относительно других AGN, например, квазаров.
- Сильная оптическая поляризация ($>3\%$ до 60-70% во время вспышек).
- Быстрая переменность по светимости во всех диапазонах спектра (порядка суток).

- **FSRQ:**

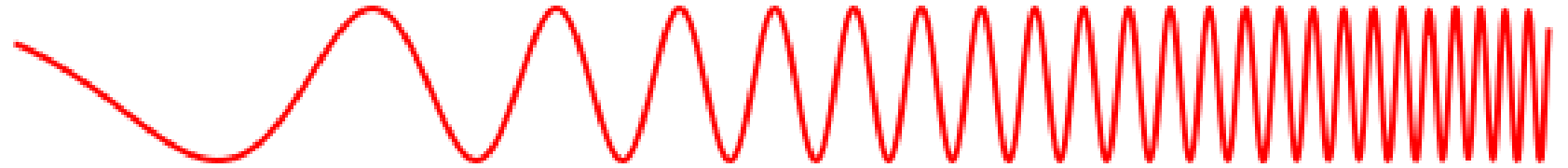
- Оптический спектр с эмиссионными линиями.
- Наблюдается не только быстрая (порядка суток), но и сильная переменность (около 10%, до 50%, от полной светимости).

Распределение энергии в спектре блазаров



Шкала электромагнитных волн

Penetrates Earth's Atmosphere?



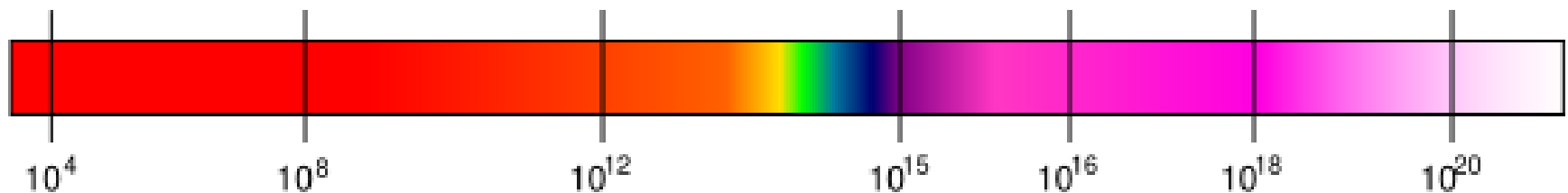
Radiation Type
Wavelength (m)



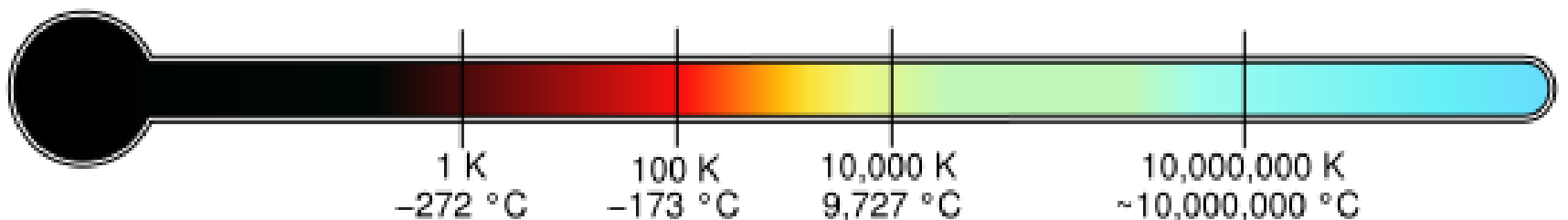
Approximate Scale
of Wavelength



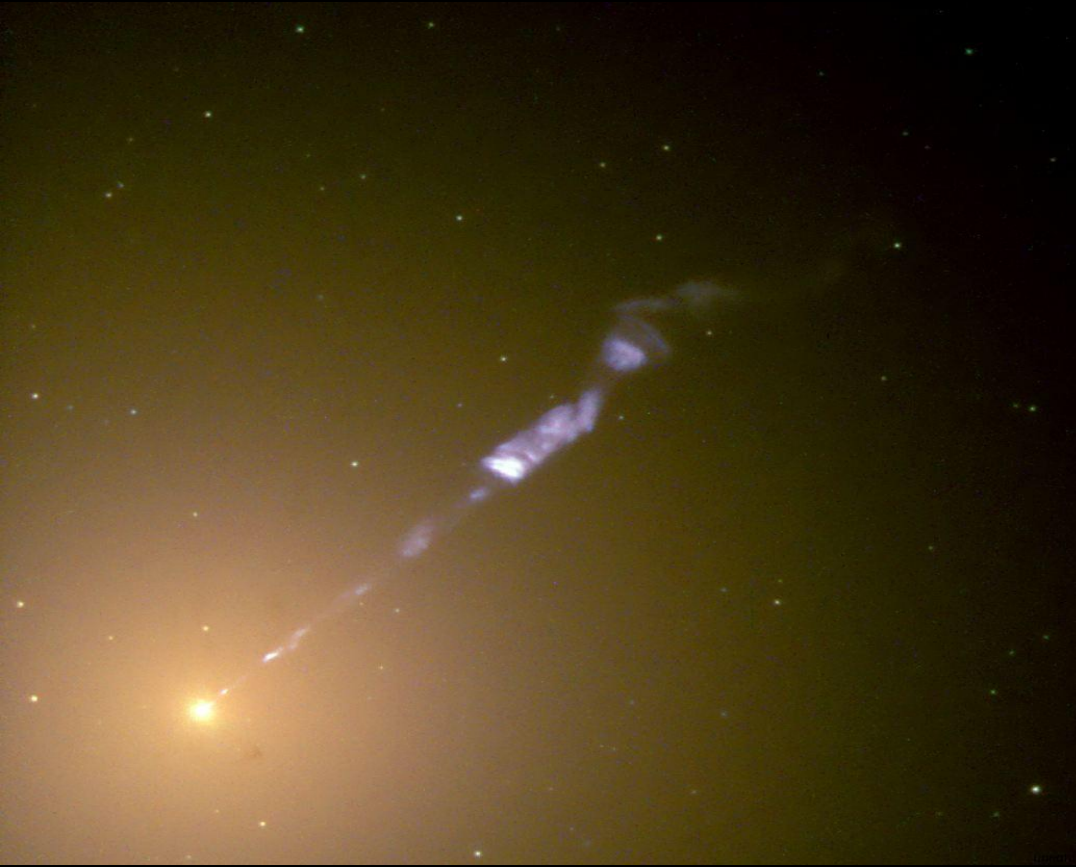
Frequency (Hz)



Temperature of
objects at which
this radiation is the
most intense
wavelength emitted

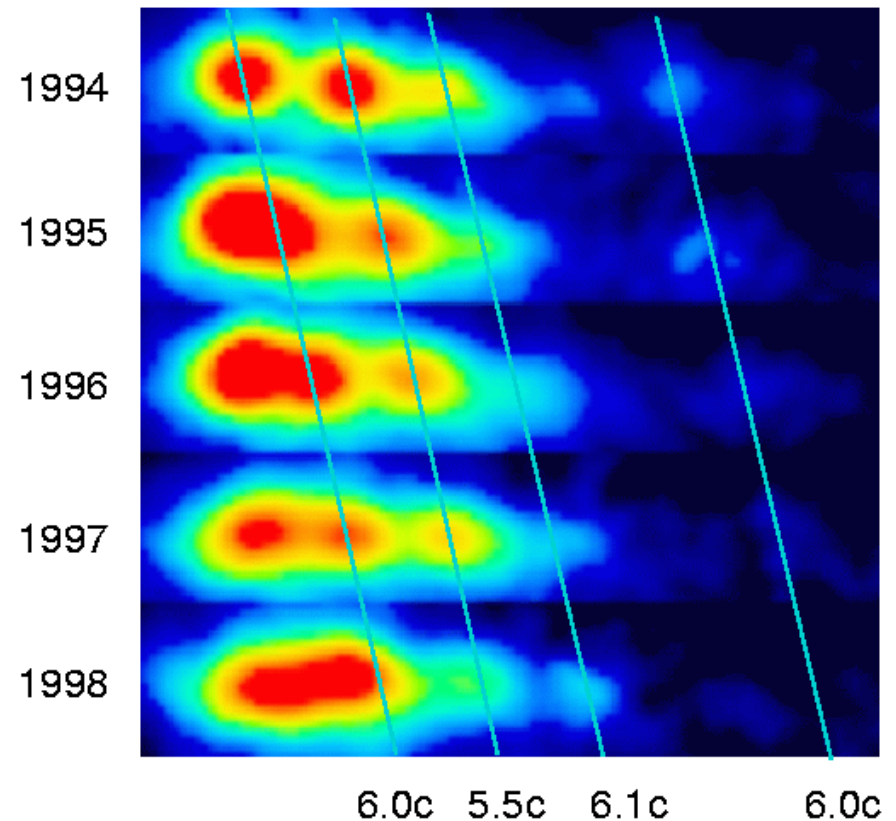
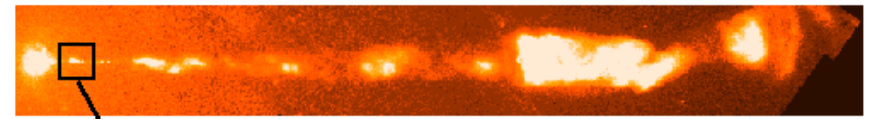


Джеты и наблюдаемые сверхсветовые скорости выбросов из ядра



John Biretta, Space Telescope Science Institute, 1999.

Superluminal Motion in the M87 Jet



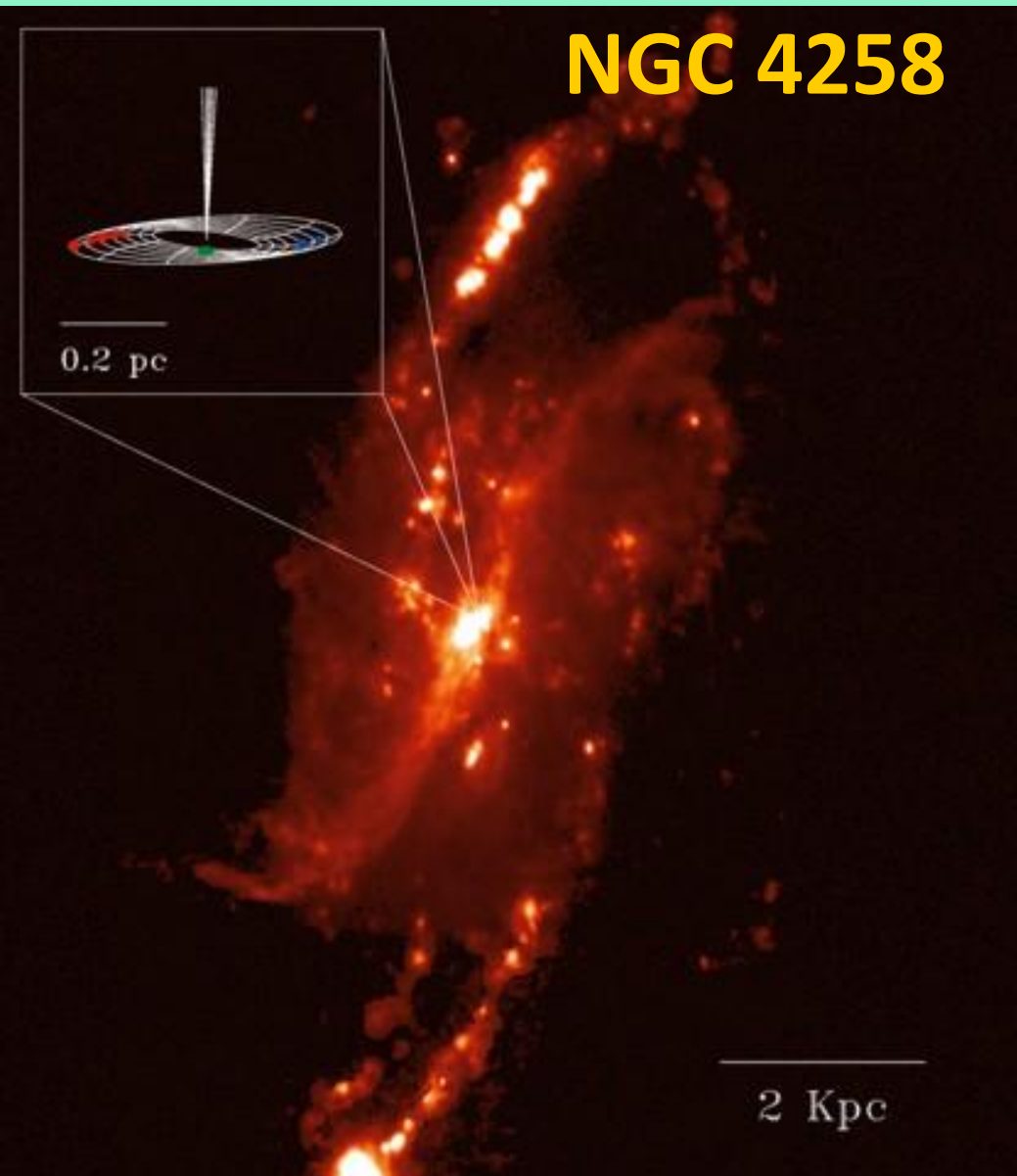
Вопрос массы – основной...

Если вещество системы скреплено гравитацией, то массу можно узнать по скоростям вращения ее отдельных частей.



Во внутренних областях галактик скорости вращения растут с удалением от центра.

NGC 4258



По кривым вращения источников мазерного излучения в галактике NGC4258 выяснено, что примерно на расстоянии 1 св. года от центра содержится масса, равная 100 млн масс Солнца.

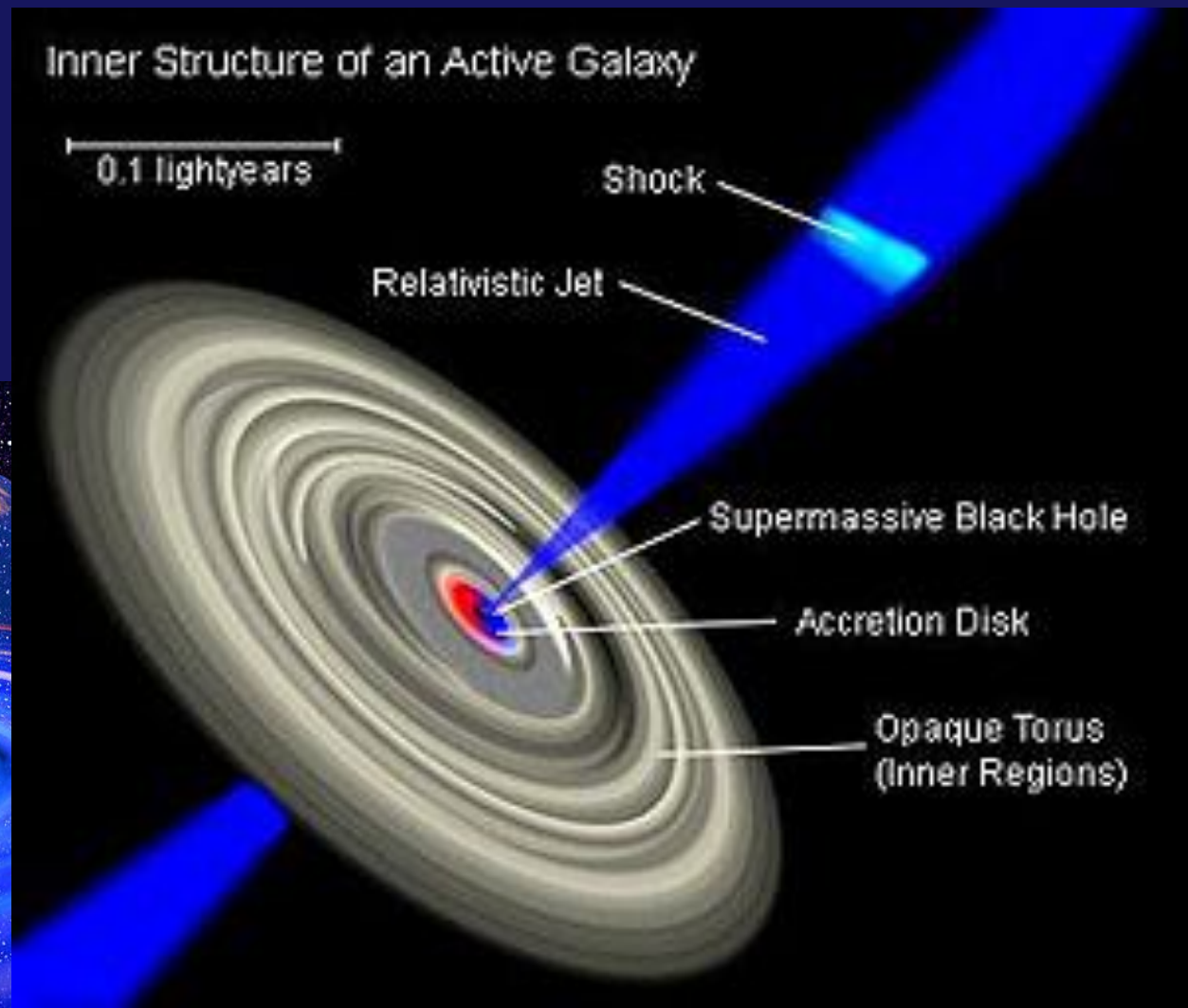
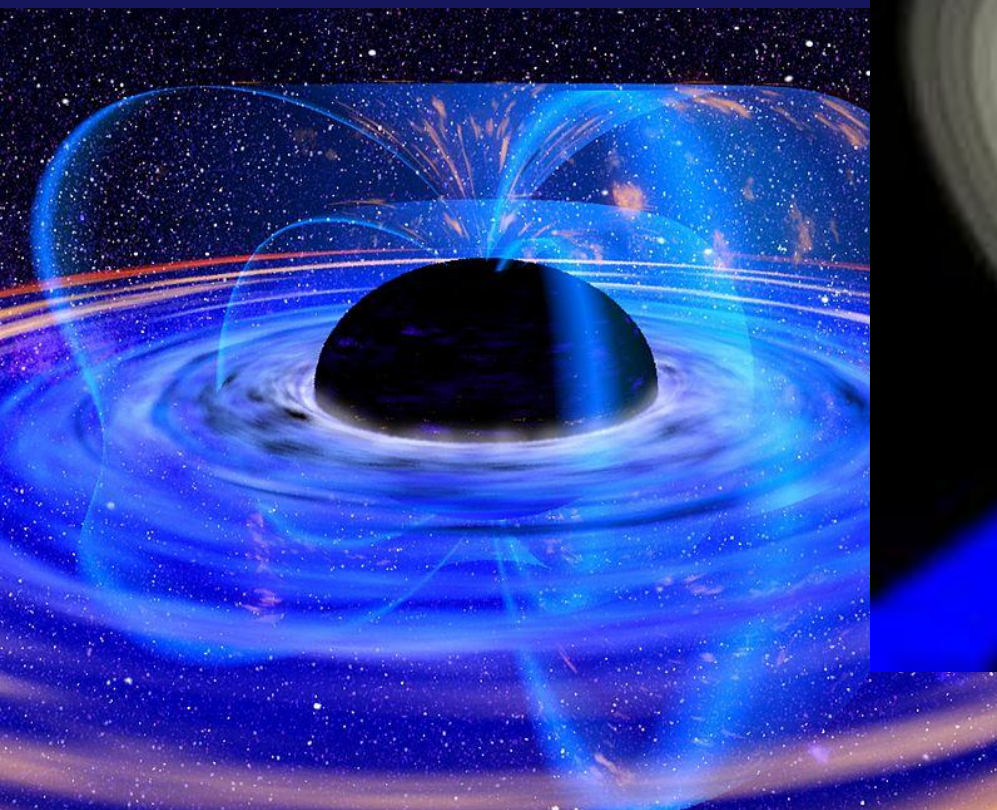
Какова же природа активности ядер?

Существовало несколько гипотез, но в настоящее время доминирует одна:

Ядра – диски ультра горячей намагниченной плазмы вокруг сверхмассивных черных дыр.

Активное ядро = сверхмассивная черная дыра + потоки падающего на нее газа.

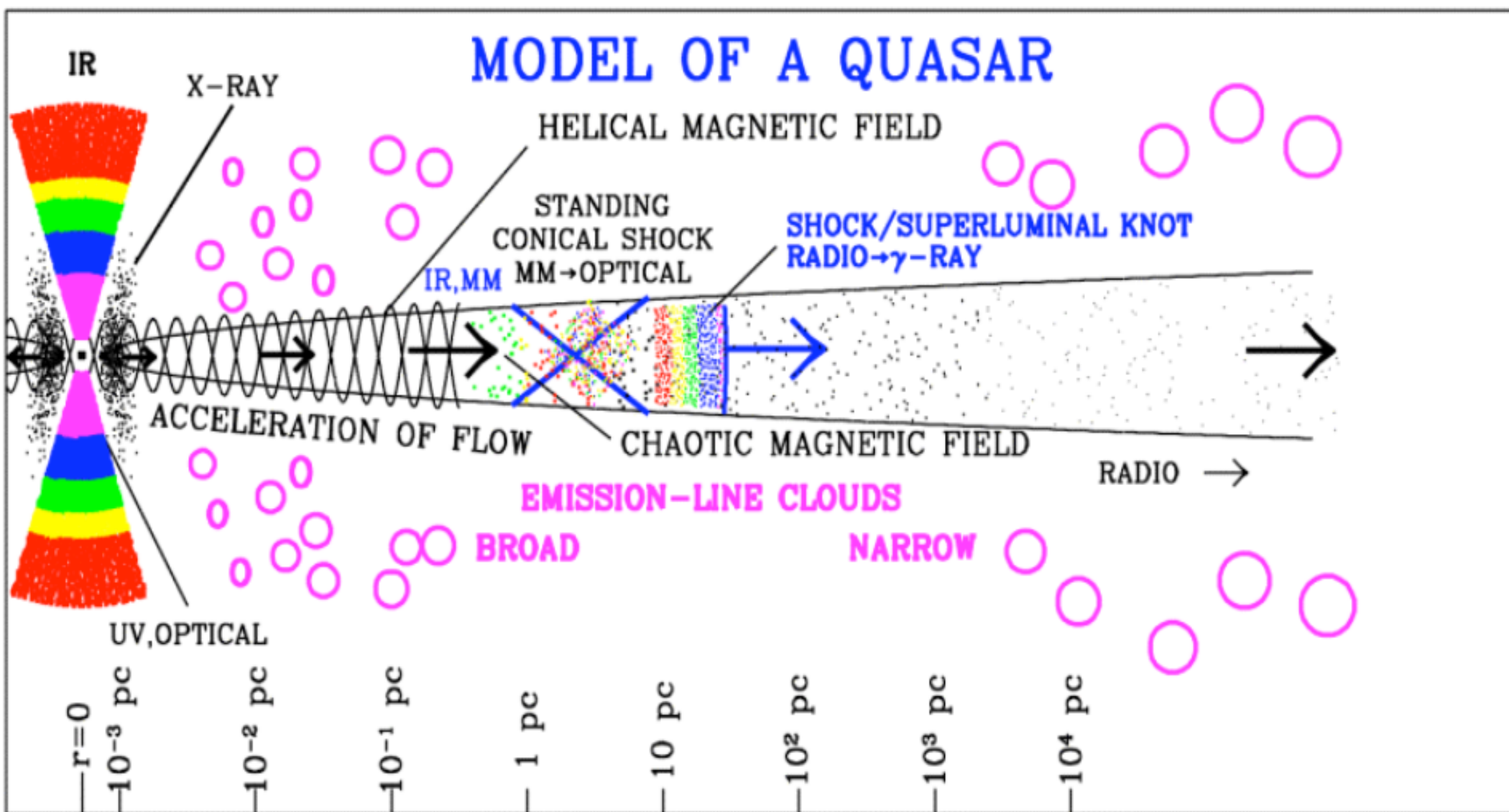
Рисунок художника



Гипотеза черных дыр

Источник энергии – гравитационное поле, преобразующее потенциальную энергию падающего газа в кинетическую и тепловую.

Создана теория аккреции газа на черные дыры. Возникают быстро вращающиеся горячие аккреционные диски. Нужен внешний источник энергии.



Схематическое представление ультрарелятивистского джета в АЯГ (Marsher 2009), иллюстрирующее приблизительное расположение мест ускорения джета и образования γ -излучения. Шкала расстояний дана в логарифмическом масштабе.

разнообразие АЯГ (10^{41} - 10^{48} эрг/с)

блазары (~3000)

сейфертовские галактики 1,
Seyfert 1 (более 1000)

квазары (~200 000)

сейфертовские галактики 2,
Seyfert 2 (более 1000)

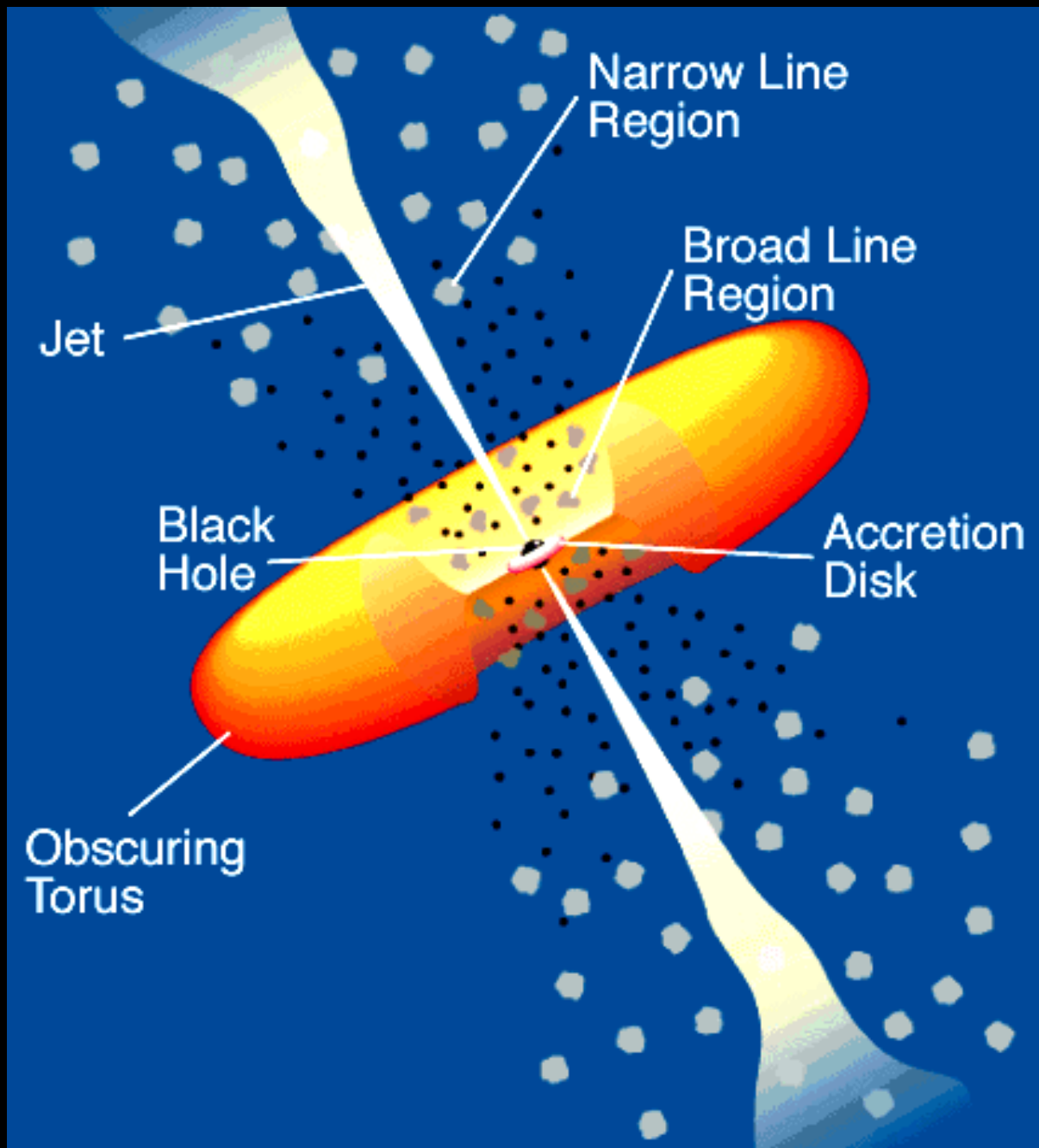
лацертиды (~1500),
BL Lacertae type

квазары с плоским спектром
(FSRQ, ~2000)

радио галактики,
radio galaxies (2 000 000)

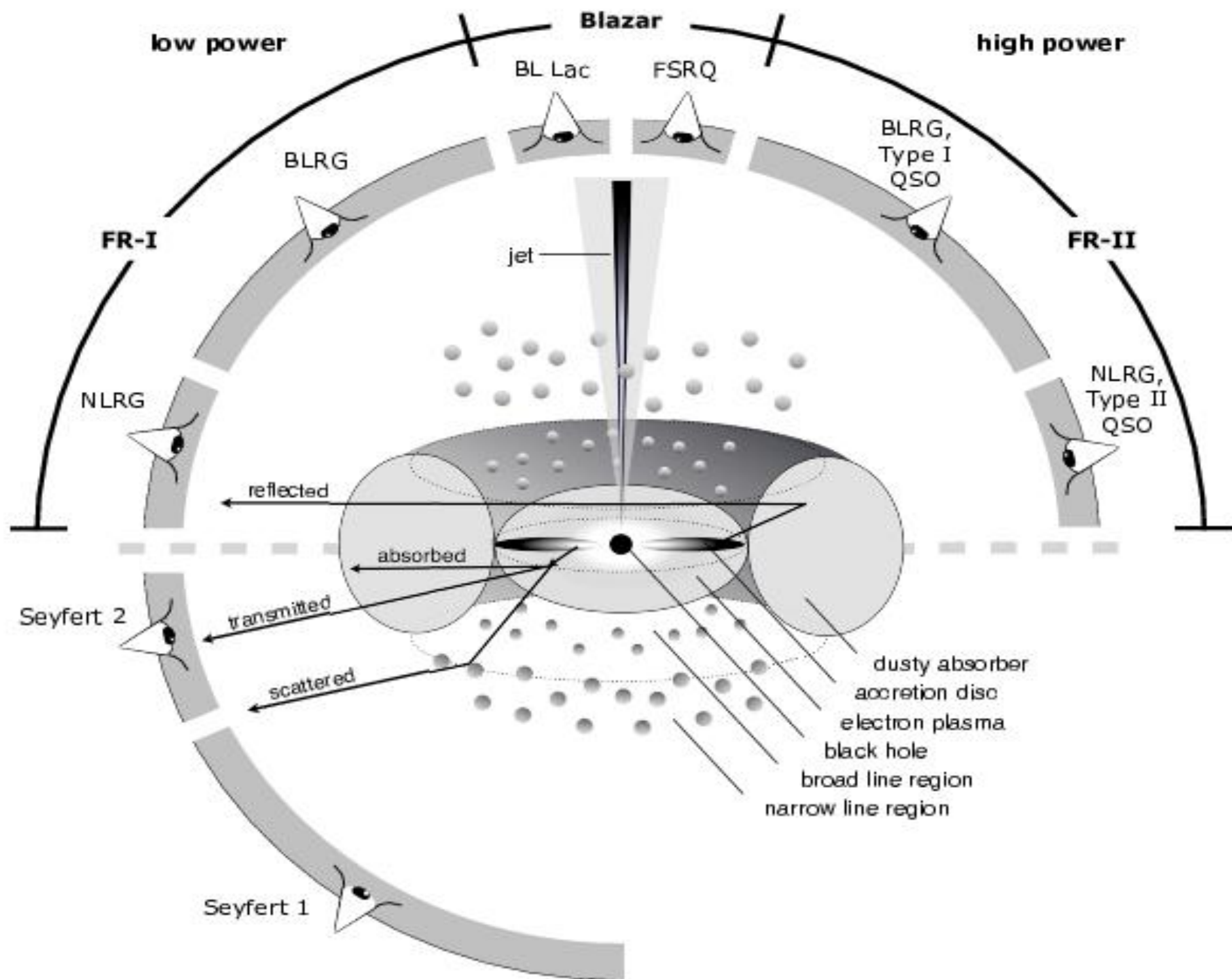
Как объяснить разнообразие наблюдательных свойств АЯГ?

Urry & Padovani 1995

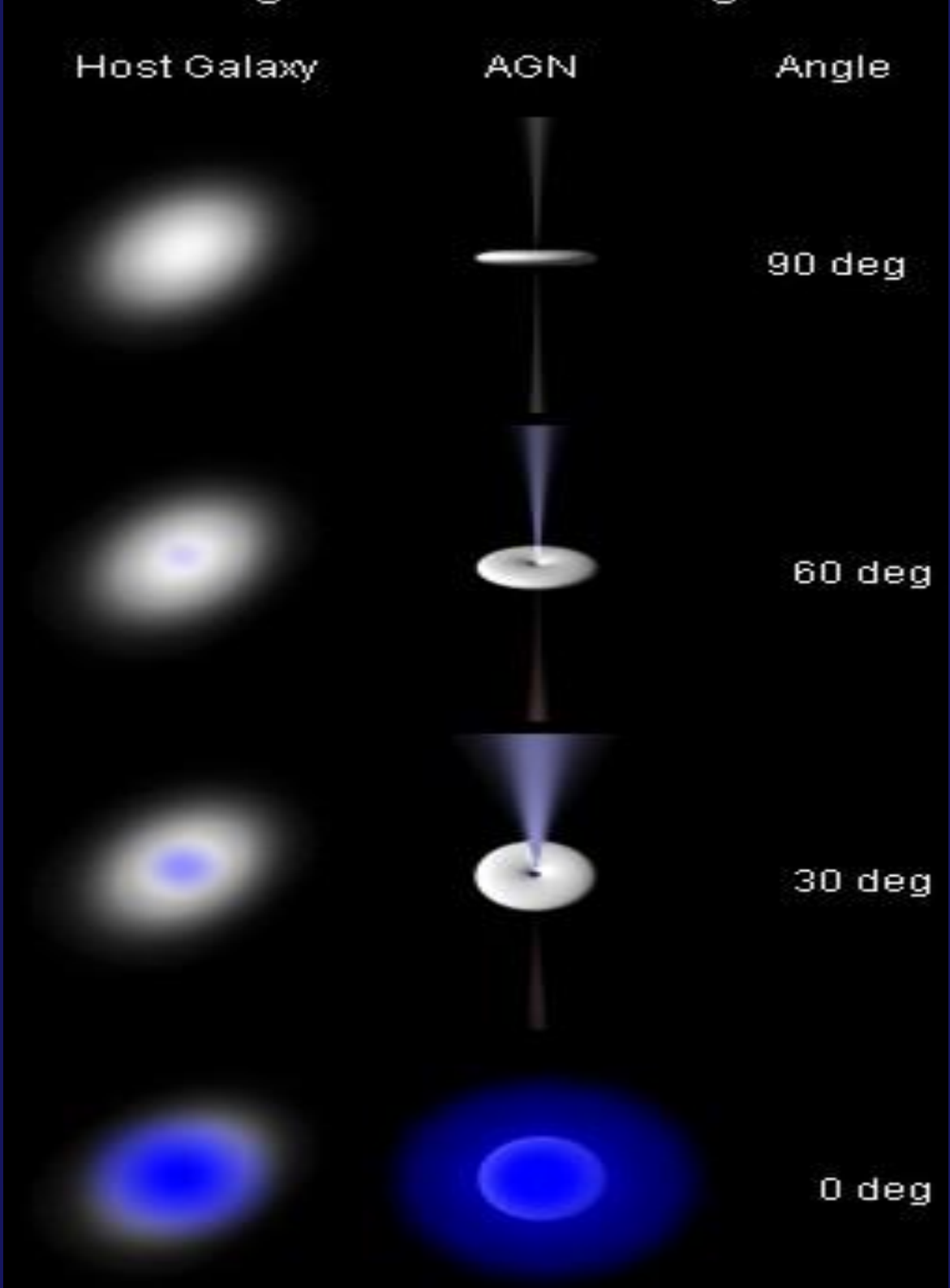


radio-loud (RL) AGN

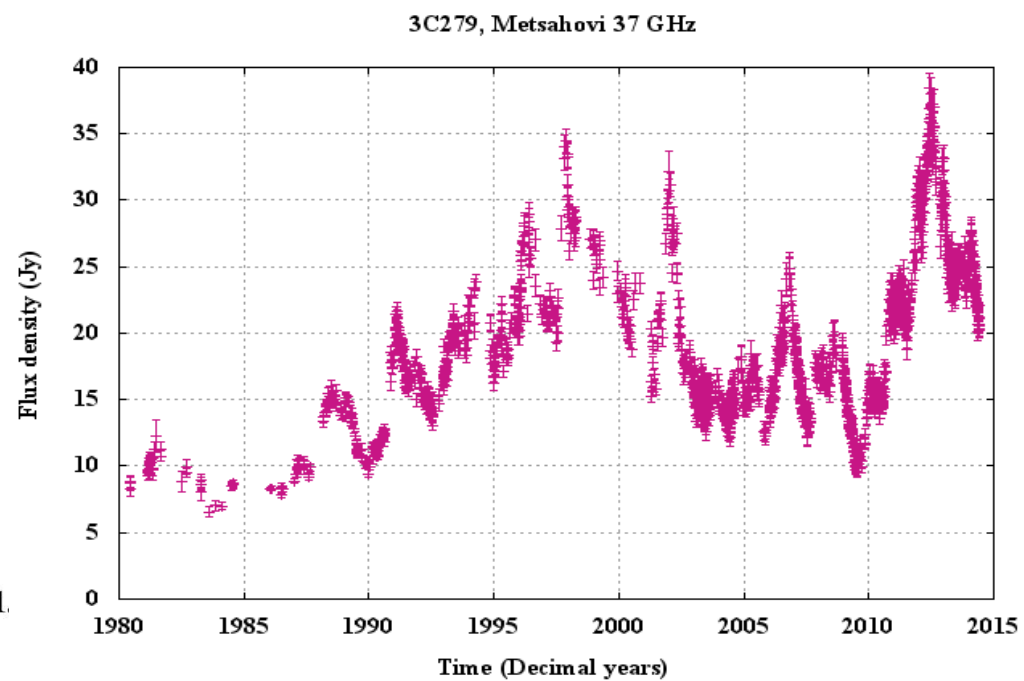
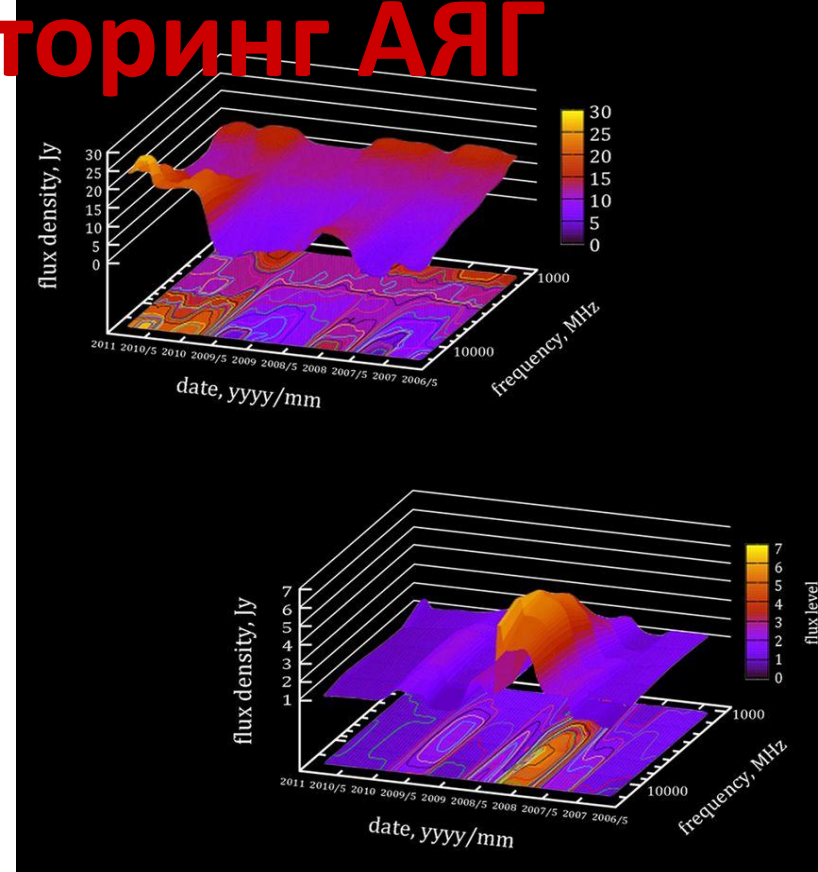
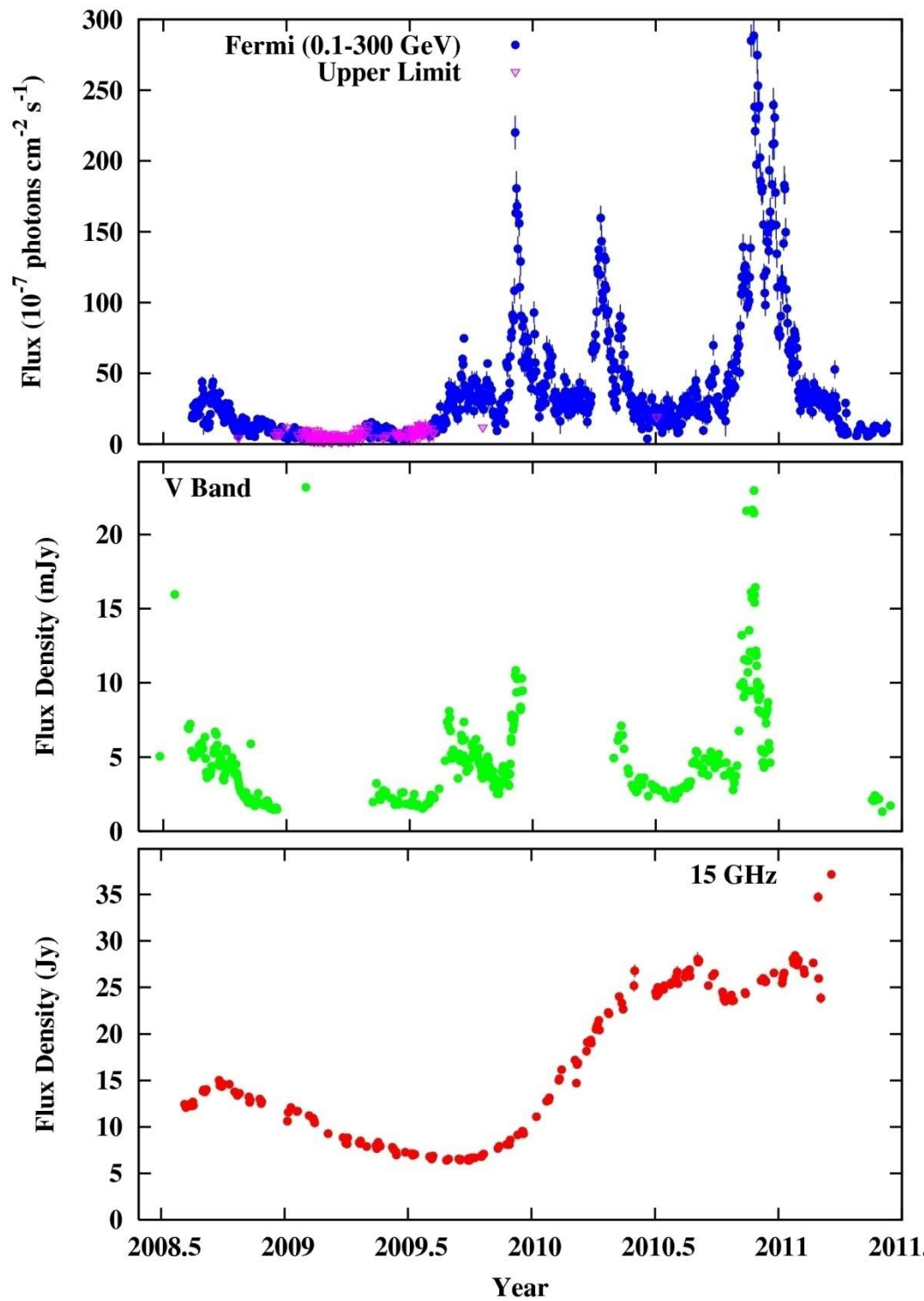
radio-quiet (RQ) AGN



Наблюдаемые свойства джета



Многочастотный мониторинг АЯГ





BLcat Edition 1.1, February 2015

M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, R.Yu. Udovitskiy, T.V. Mufakharov, E.Nieppola, and A.K. Erkenov

ADS abstract

Data Usage Policy

Column description

Help

Show/Hide columns

Export main Table and
RATAN-600 data

00h--04h

04h--08h

08h--12h

12h--16h

16h--20h

20h--24h

Search by name

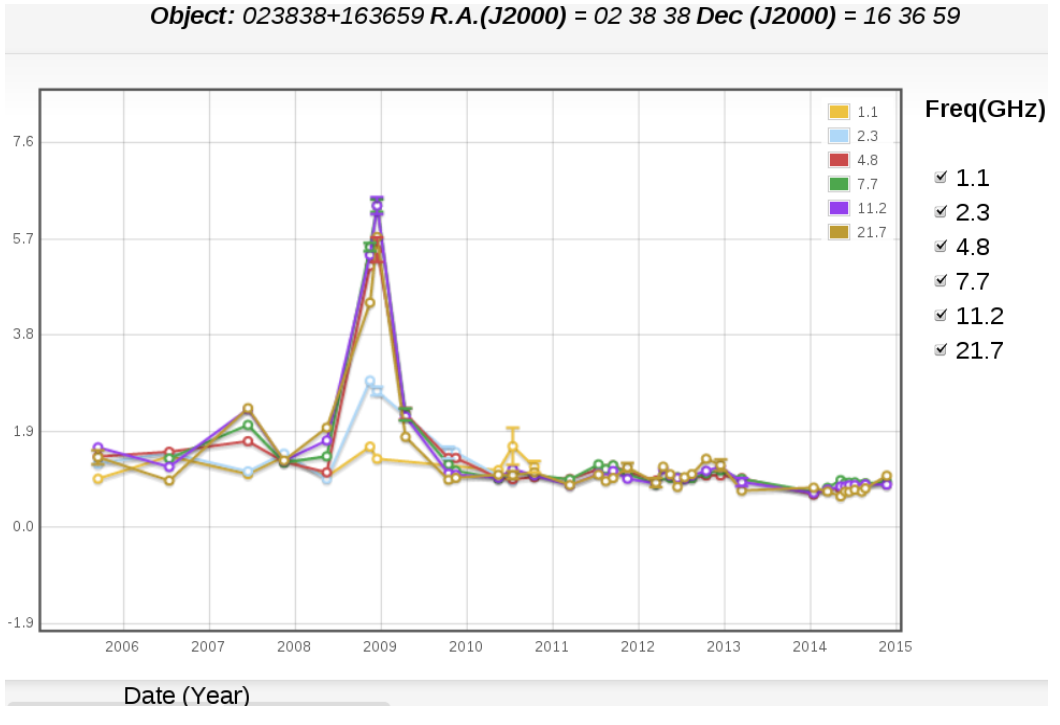
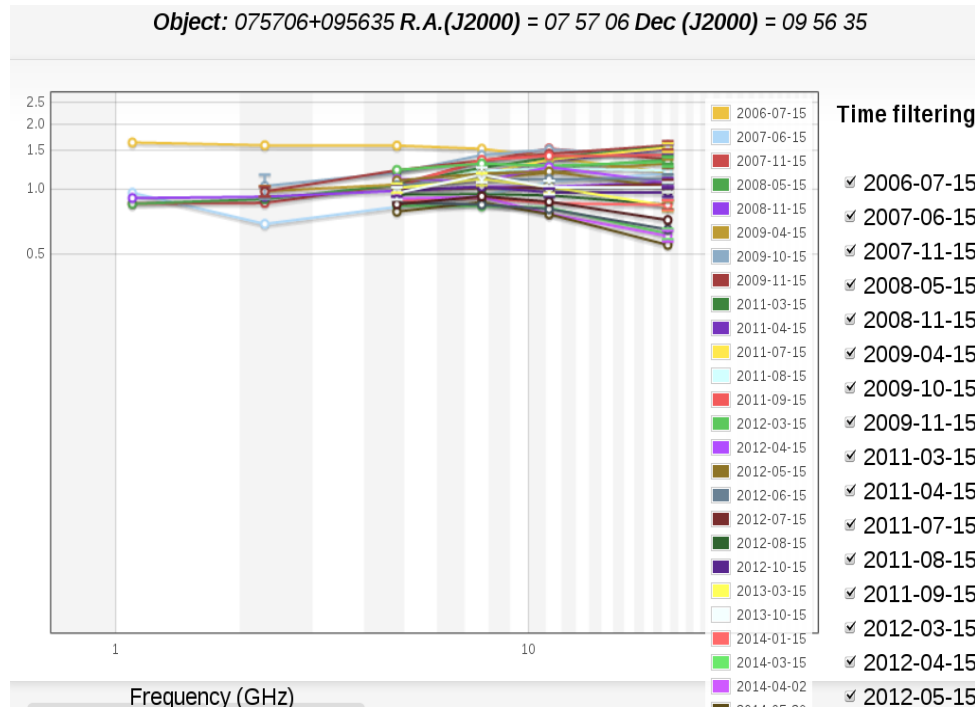
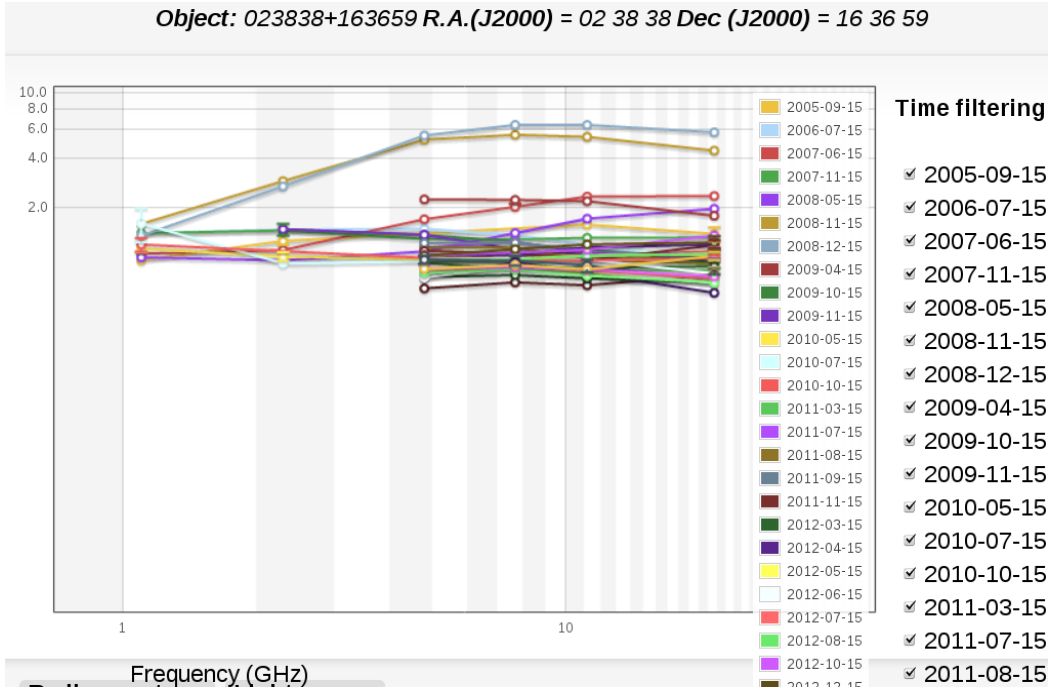
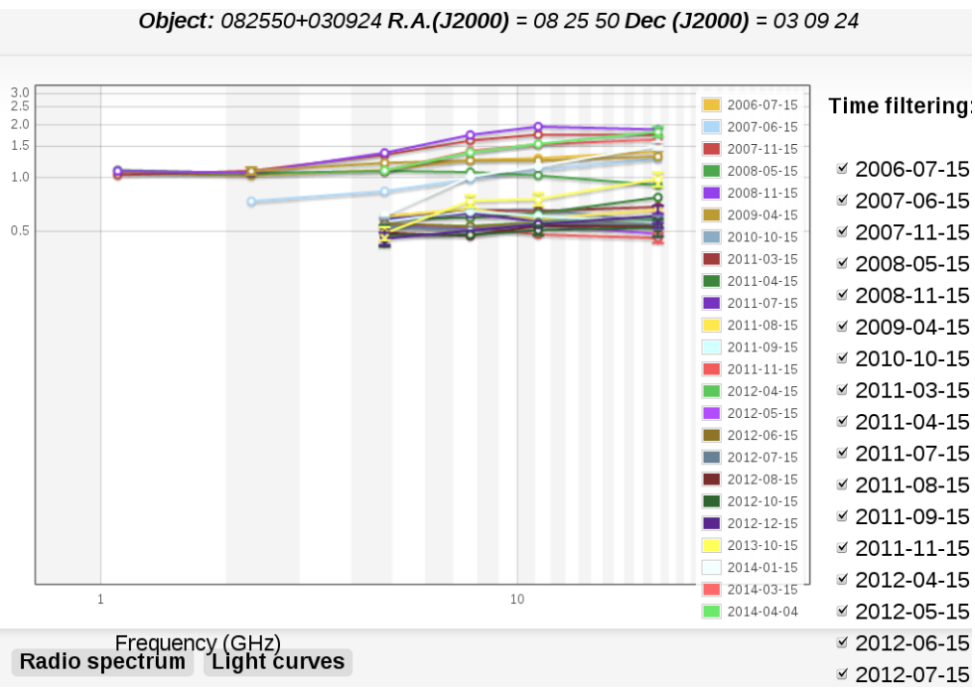
Page number: 1

Page Size (# of lines) all

Refresh page(def option)

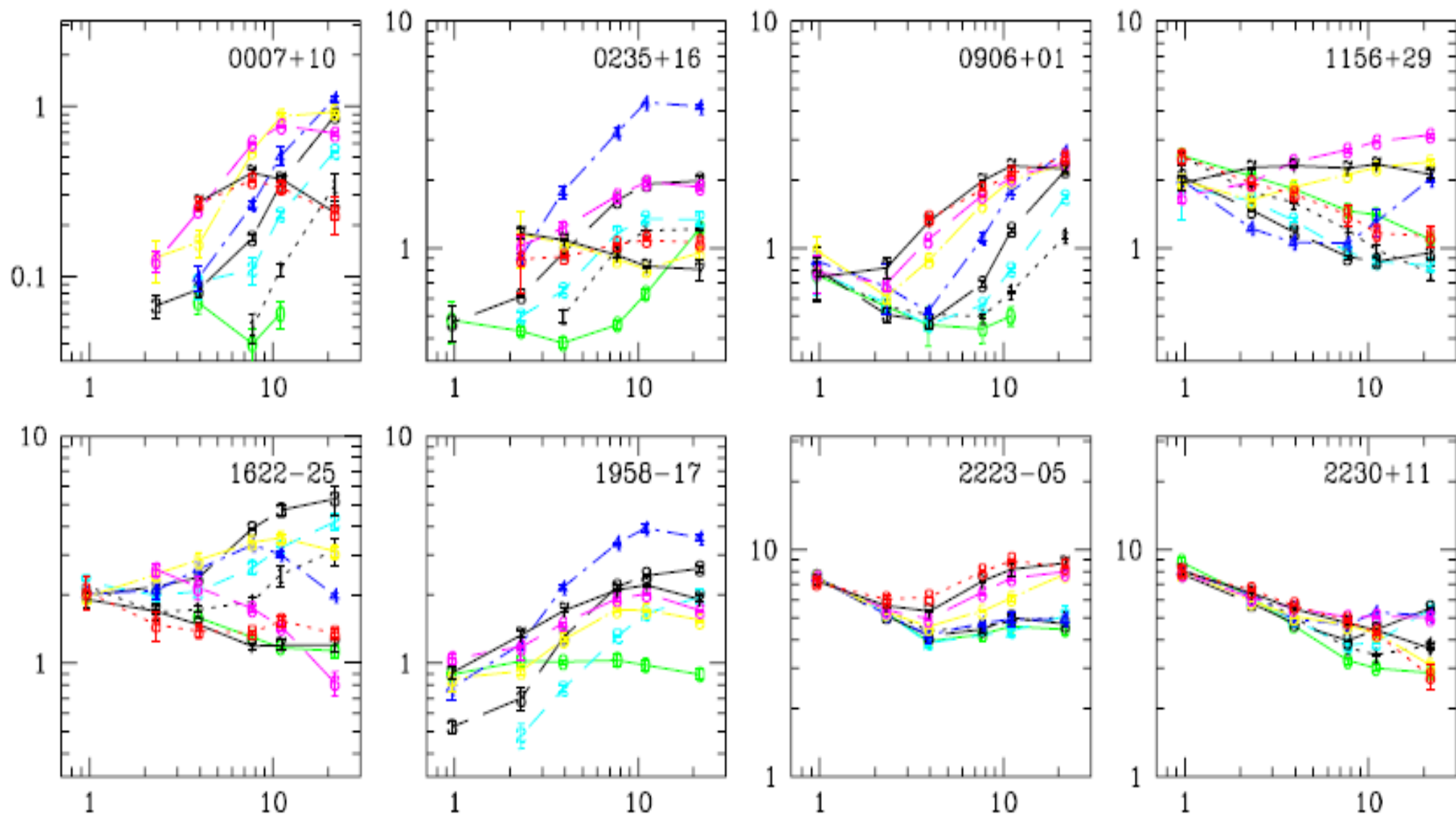
Entry number select all	RATAN data	Set ↑ ↓ stat	Source name RA Dec name ↑ ↓	Ra (J2000.0) ↑ ↓	Dec (J2000.0) ↑ ↓	Redshift ↑ ↓ stat	Rmag ↑ ↓ stat	Log v_{peak} ↑ ↓ stat	Flux density ↑ ↓ stat	SED class ↑ ↓ stat	Blazar type ↑ ↓ stat	Selected type ↑ ↓ stat	Reference
343	Data Explorer	2	160207+332653	16:02:07	33:26:53	1.1	23	11.97	1.857	LSP	Blazar~un.type	RBL	29
344	Data Explorer	11	160341+110548	16:03:41	11:05:48	0.143	18.1	13.44	0.344	LSP	BL~Lac	RBL	43
345	Data Explorer	9	160706+155134	16:07:06	15:51:34	0.357	17.5	14.73	0.435	ISP	BL~Lac	RBL	10
346	Data Explorer	1	161002+671029	16:10:02	67:10:29	-	19.3	17.45	0.059	HSP	BL~Lac	RBL	61
347	Data Explorer	-	161706+410647	16:17:06	41:06:47	0.267	17.7	13.94	-	LSP	BL~Lac	RBL	60
348	Data Explorer	3	161823+363201	16:18:23	36:32:01	0.73	18.7	14.63	0.263	ISP	BL~Lac	RBL	30

Радиоспектры и кривые блеска блазаров (www.sao.ru/blcat/)



Многочастотный мониторинг АЯГ на РАТАН-600

Flux Density, Jy



Frequency, GHz

важно

Многочастотность (радио – γ -лучи)

долговременность (десятилетия)

**систематические измерения –
важнее больших выборок.**

Резюме

Активные ядра галактик – самые мощные источники электромагнитного излучения во Вселенной (радиогалактики, сейфертовские галактики, квазары, блазары, лацертиды).

В АЯГ часто наблюдается **выброс мощных струй** плазмы и ускоренных электронов (джетов).

Переменное излучение необычно высокой мощности — от радио до гамма-лучей.

Активное ядро = сверхмассивная черная дыра + потоки падающего на нее газа.

В работе использованы материалы:

- 1. Малая энциклопедия Физика космоса, 1986.**
- 2. А.В. Засов, лекция “Активные ядра галактик”, Трибуна ученого в Московском планетарии, 2015.**
- 3. А.В. Засов, Общая астрофизика, 2006.**
- 4. П.И. Бакулин и др., Курс общей астрономии, 1974.**

