

**Волновые и кинетические процессы
в релятивистской плазме
Лекция 7**

Е.В. Деришев

Институт прикладной физики РАН



сверхновая
SN 1994D

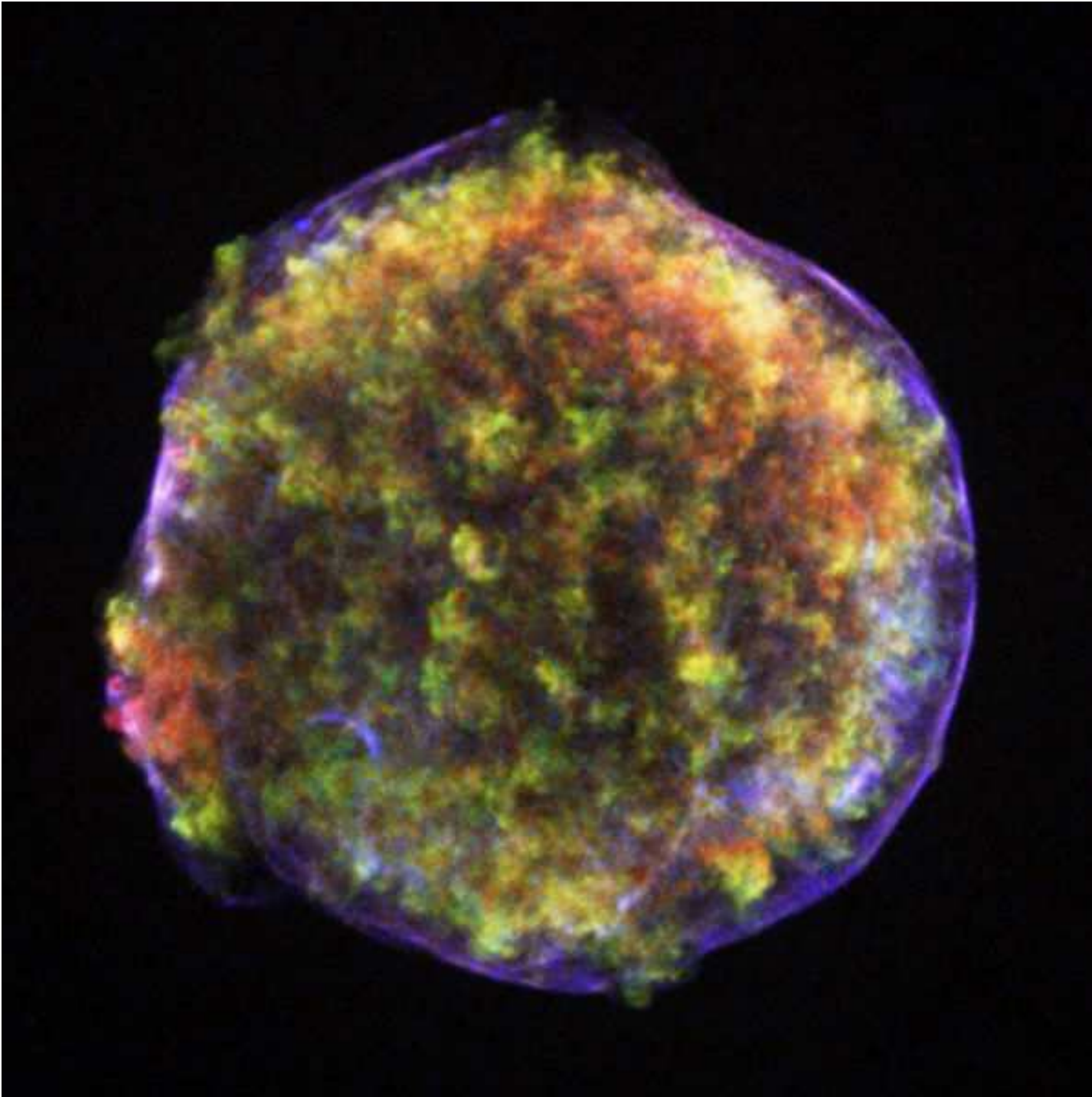
в галактике
NGC 4526



Два остатка
сверхновых
DEM L316.

Слева - тип Ia
Справа - тип II

Изображение в
оптическом
диапазоне

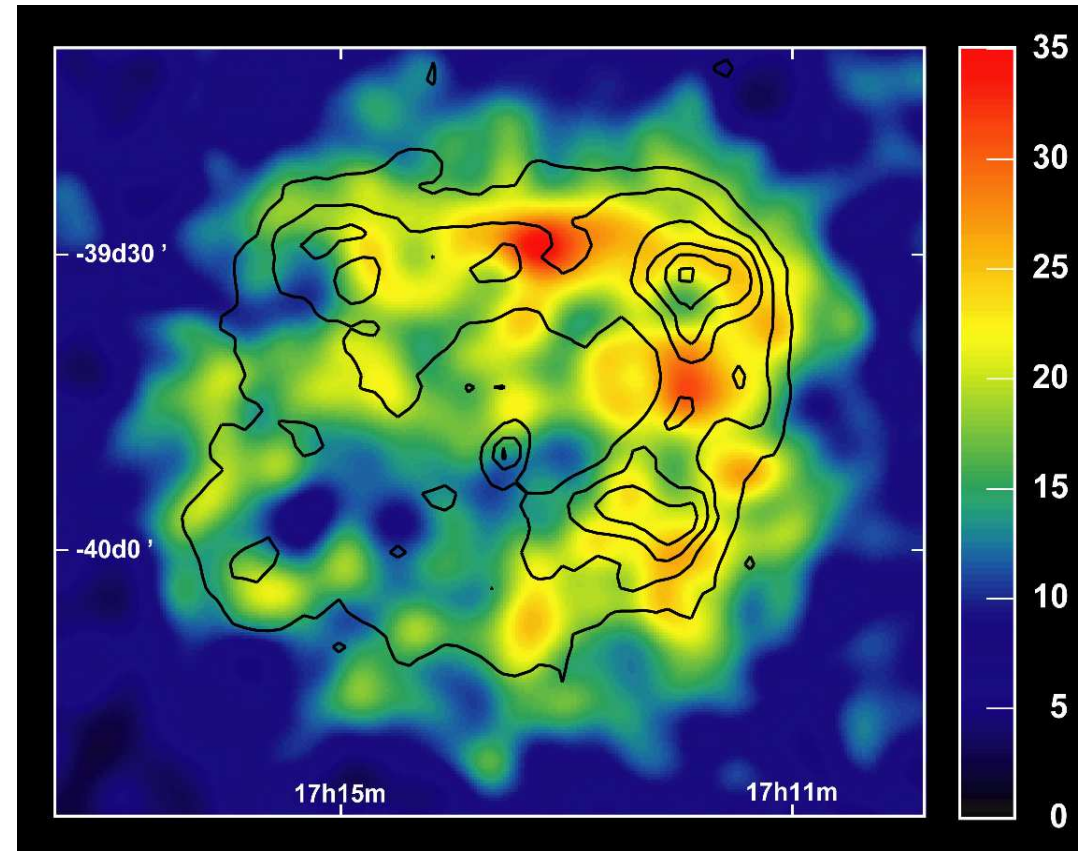


Остаток сверхновой
SN 1572
(сверхновая
Тихо Браге).

Изображение в
рентгеновском
диапазоне

Наземный черенковский телескоп HESS

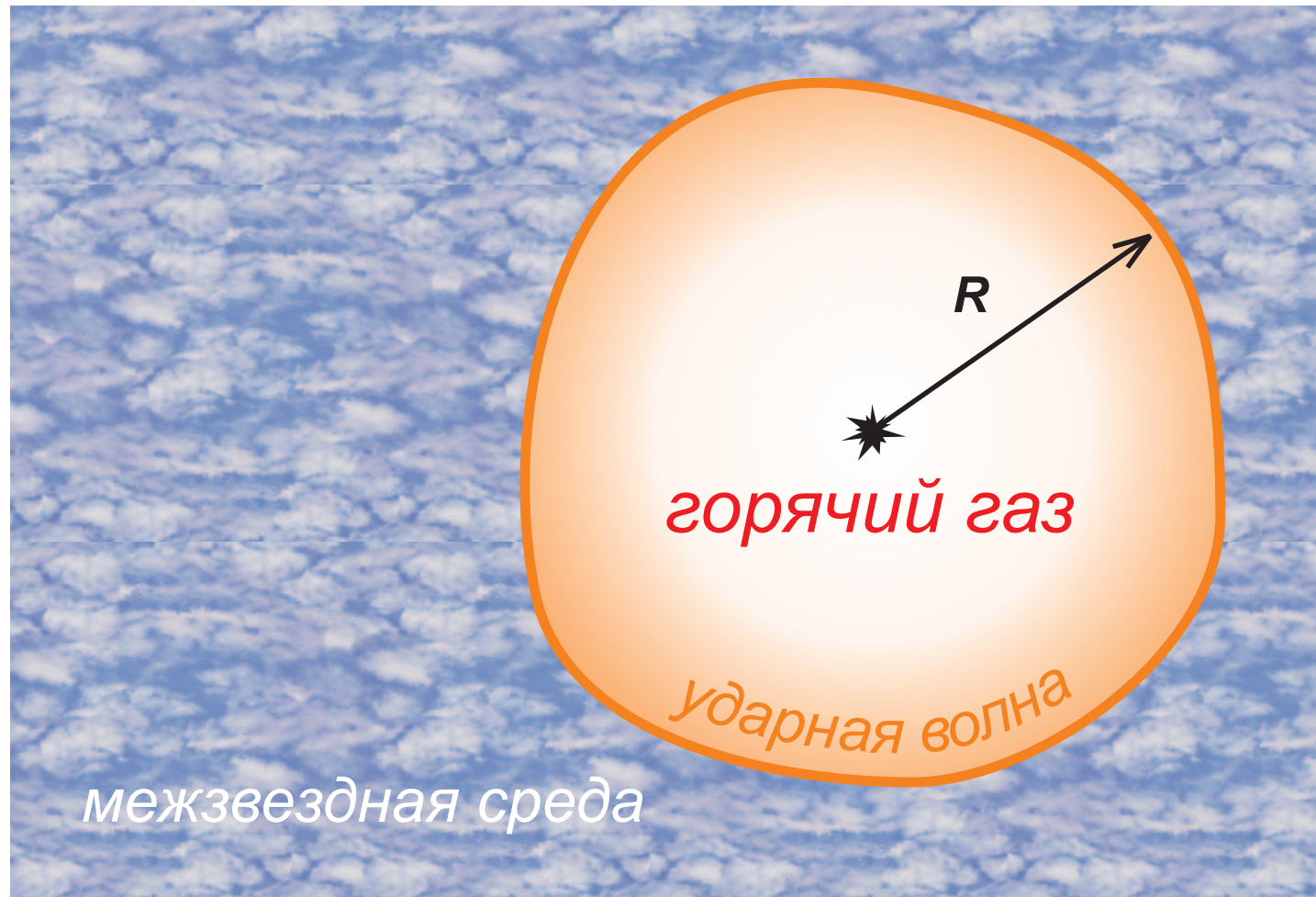
диапазон энергий : > 300 ГэВ



Остаток сверхновой RX J1713.7-3946

*наложение изображений
ASCA и HESS*

Схематическое изображение остатка сверхновой



Скорость расширения остатка $V \approx \frac{E_{SN}^{1/2}}{\rho_0^{1/2} R^{3/2}} \Rightarrow R \propto t^{2/5}$

E_{SN} — энергия взрыва сверхновой,

R — радиус остатка, ρ_0 — плотность межзвездной среды

Параметры плазмы в остатках сверхновых

- Концентрация плазмы $N \sim 0.1 \div 10 \text{ см}^{-3}$
- Магнитное поле $B \sim 3 \times 10^{-5} \div 3 \times 10^{-4} \text{ Гс}$
- Температура $T \sim 1 \text{ кэВ}$
- Максимальная энергия $\varepsilon_e^{max} \sim 10^{13} \text{ эВ}$ (электроны)
 $\varepsilon_i^{max} \sim 10^{17} \div 10^{18} \text{ эВ}$ (ионы)

приближенно справедливо предположение $NT \sim B^2/8\pi$

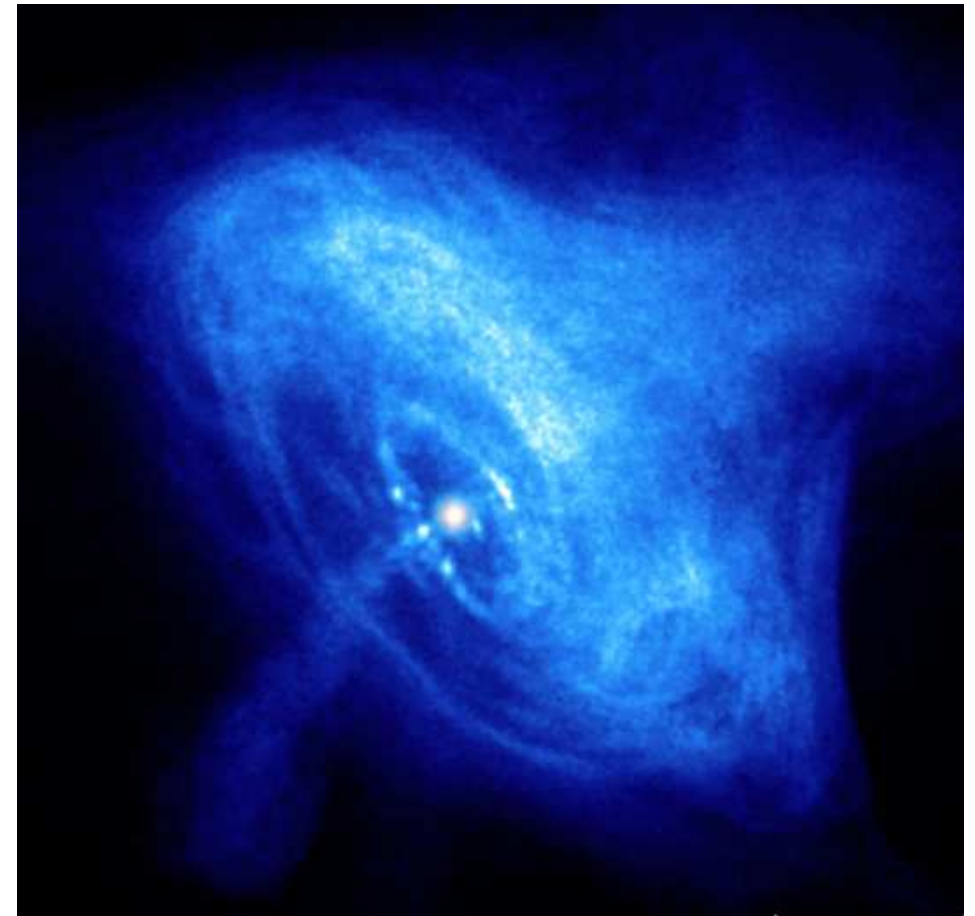
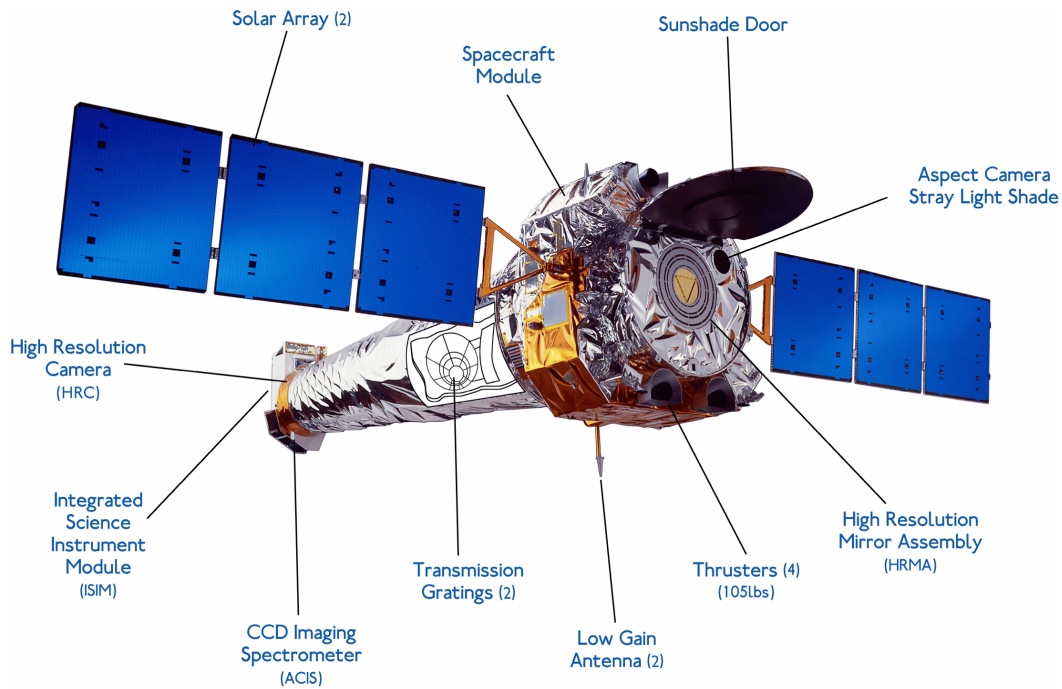
Основные механизмы излучения

- Тормозное излучение нерелятивистской (тепловой) плазмы
- Синхротронное излучение релятивистских электронов
- Столкновения релятивистских ионов

Космический рентгеновский

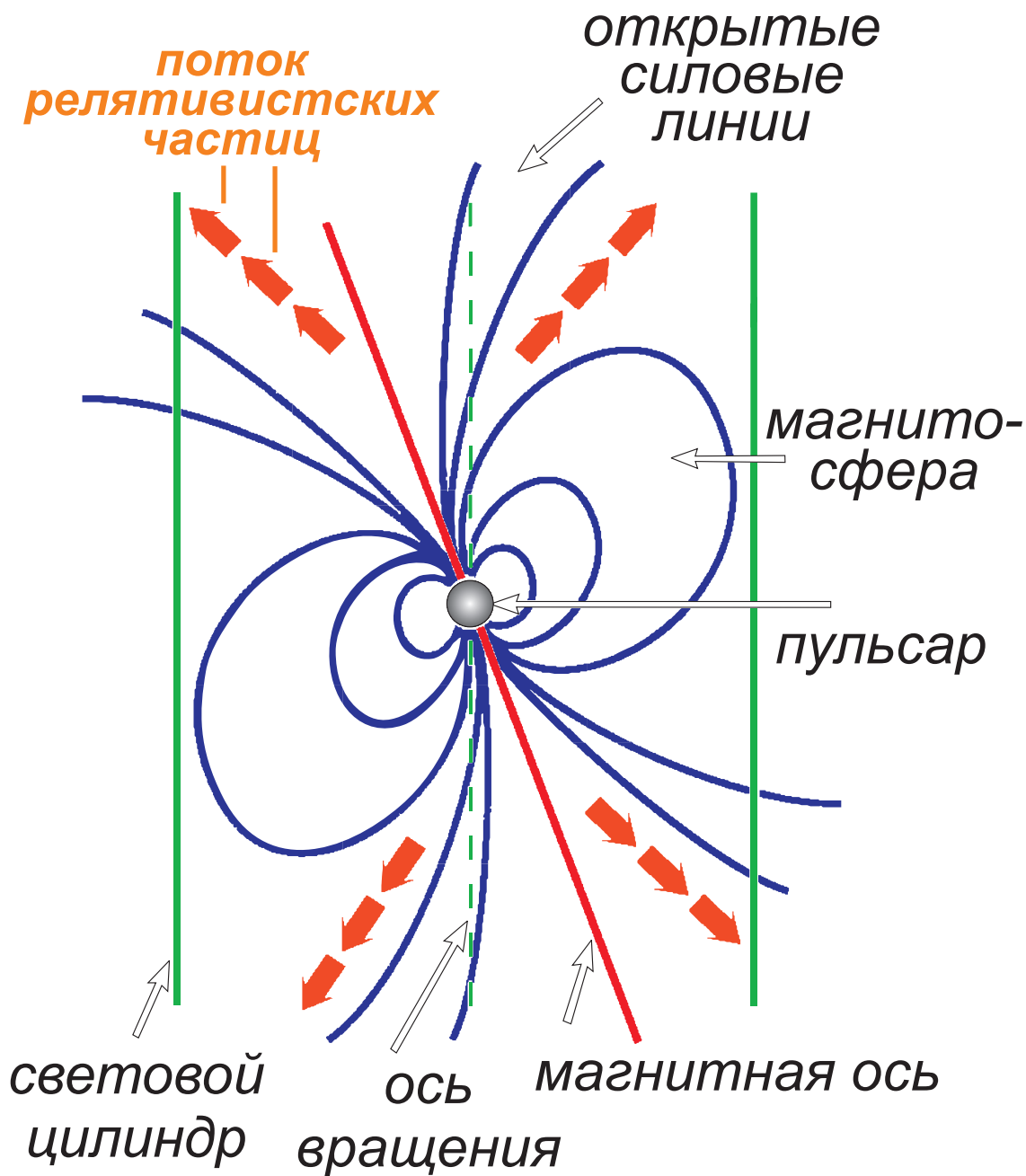
телескоп Chandra

диапазон энергий: 0,1 - 10 кэВ



Рентгеновское изображение
центральной части
Крабовидной туманности

Схематическое изображение пульсара



Мощность пульсарного ветра

$$L_{wind} \sim 10^3 \frac{B_0^2 r^6}{c^3 t^4}$$

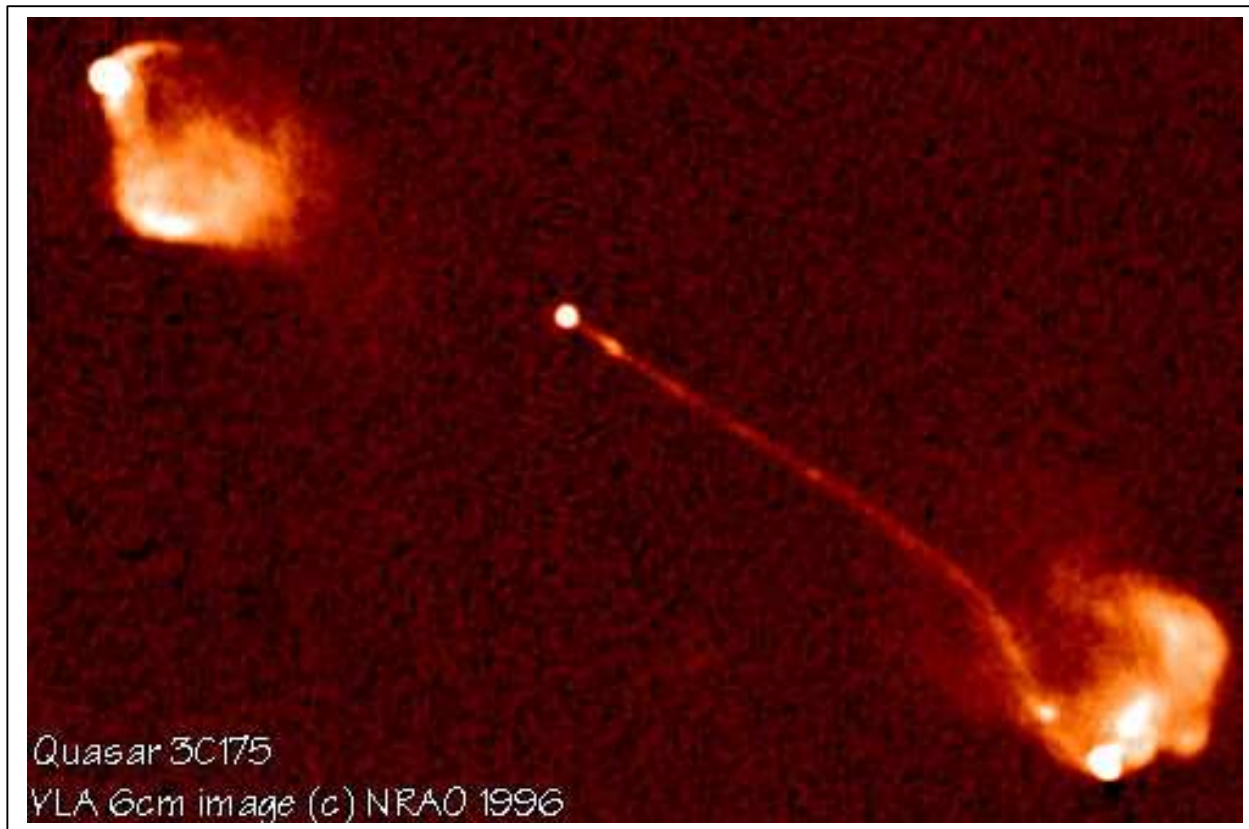
B_0 – магнитное поле на экваторе

r – радиус

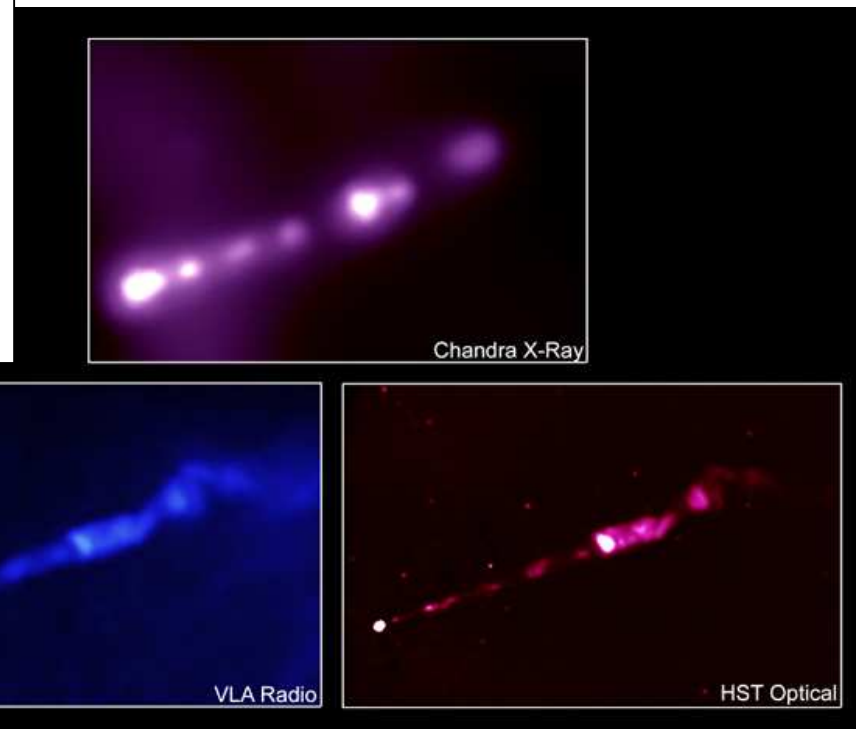
t – период вращения

Параметры плазмы в плерионах

- Гидродинамический лоренц-фактор $\Gamma \sim 10^2 \div 10^5$
- Концентрация плазмы $N \sim 10^{11} \text{ см}^{-3} \rightarrow N \sim 10^{-15} \text{ см}^{-3}$
плазма образована релятивистскими
электрон-позитронными парами
- Магнитное поле $B \sim 10^{12} \text{ Гс} \rightarrow B \sim 10^{-5} \text{ Гс}$
- Максимальная энергия электронов $\varepsilon_e^{max} \sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ эВ}$
- Механизм излучения – синхротронный

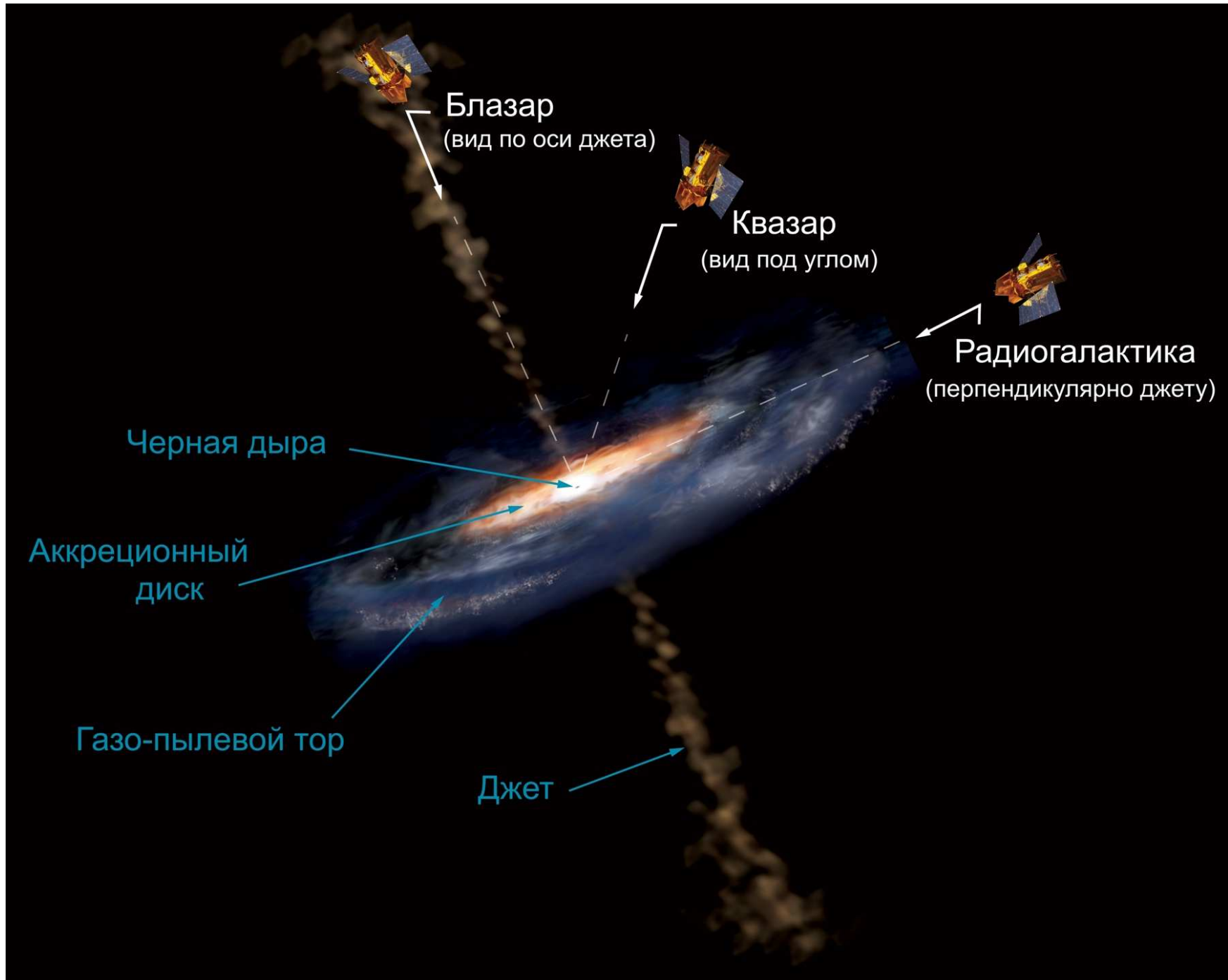


Радиоизображение квазара 3C175



Джет в активной галактике M87

Схематическое изображение активного ядра галактики



Параметры плазмы в джетах активных ядер

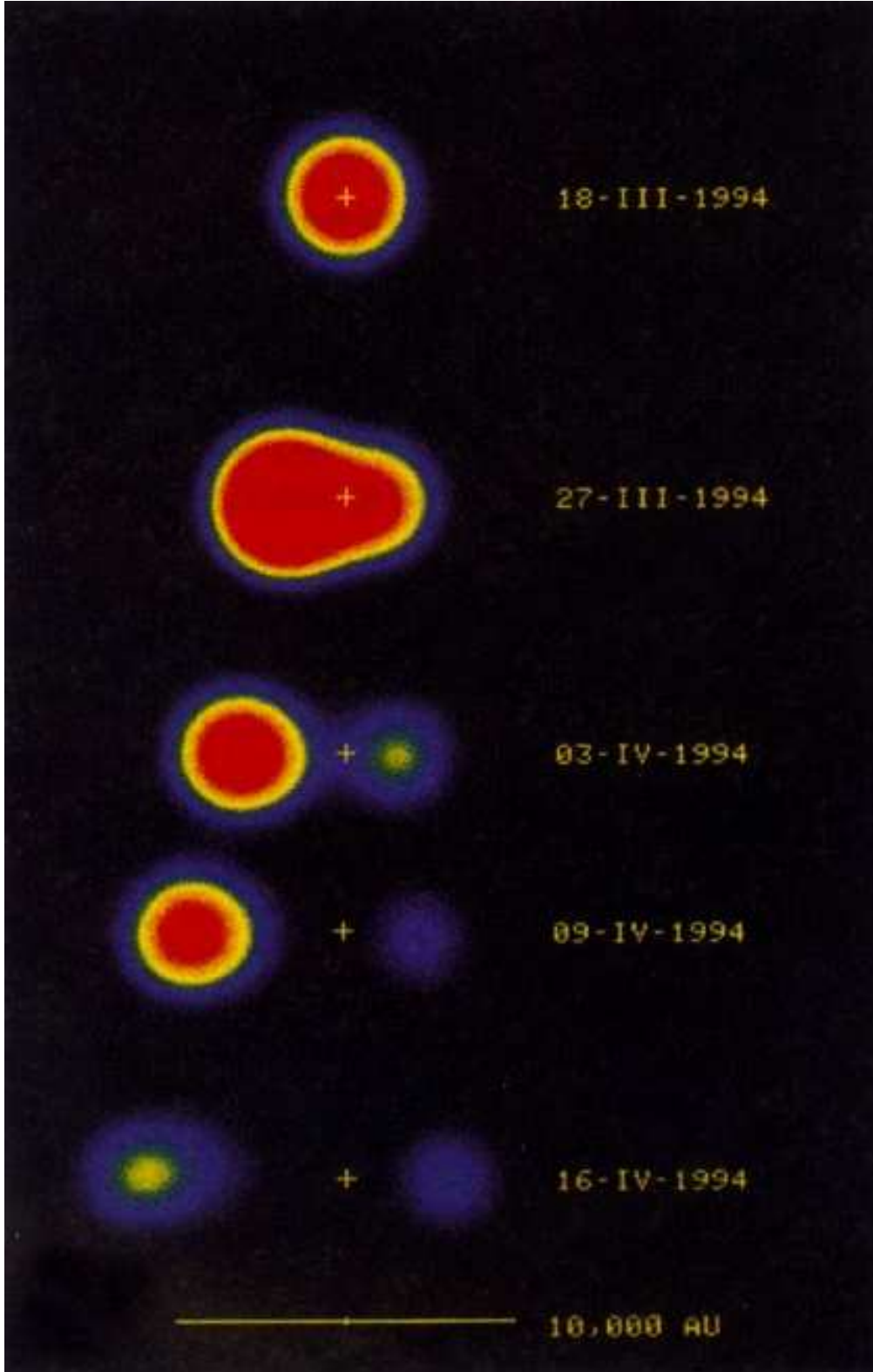
- Гидродинамический лоренц-фактор $\Gamma \approx 5 \div 20$
- Концентрация плазмы $N \sim 10^7 \text{ см}^{-3} \rightarrow N \sim 0.1 \text{ см}^{-3}$
- Магнитное поле $B \sim 10^{-4} \div 10^{-2} \text{ Гс}$
- Максимальная энергия $\varepsilon_e^{max} \sim 10^{11} \div 10^{14} \text{ эВ}$ (электроны)
 $\varepsilon_i^{max} \lesssim 10^{20} \text{ эВ}$ (ионы)

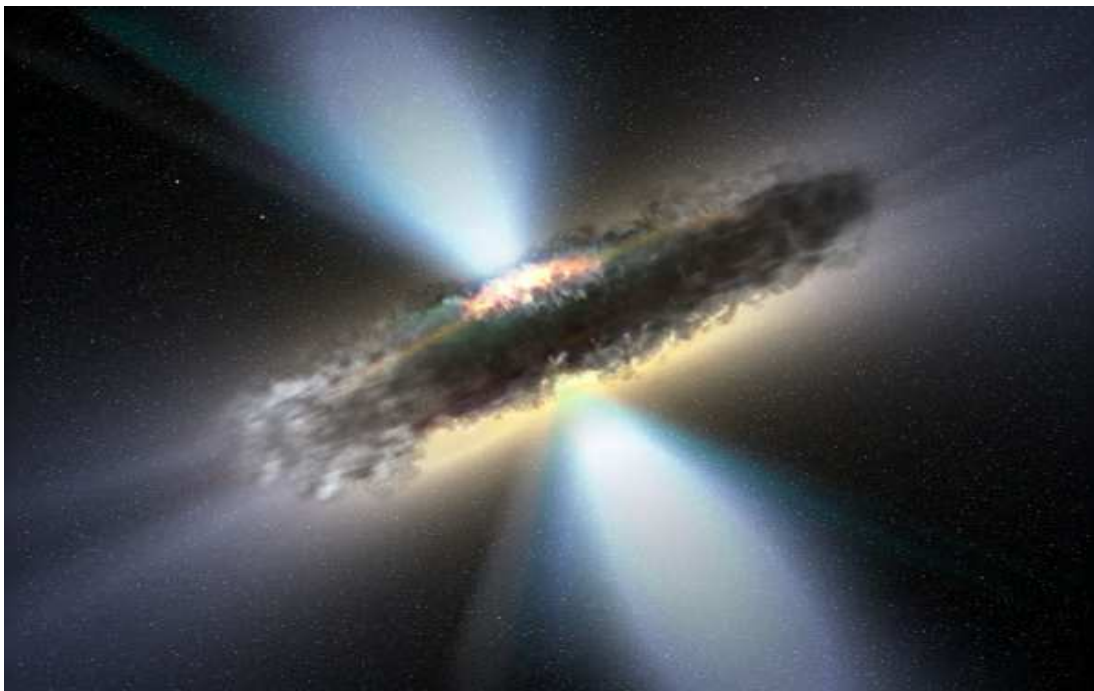
Основные механизмы излучения

- Синхротронное и обратное комптоновское излучение релятивистских электронов
- Столкновения релятивистских протонов с фотонами (?)
- Синхротронное излучение протонов (??)

Микроквazar GRS1955 со сверхсветовым джетом

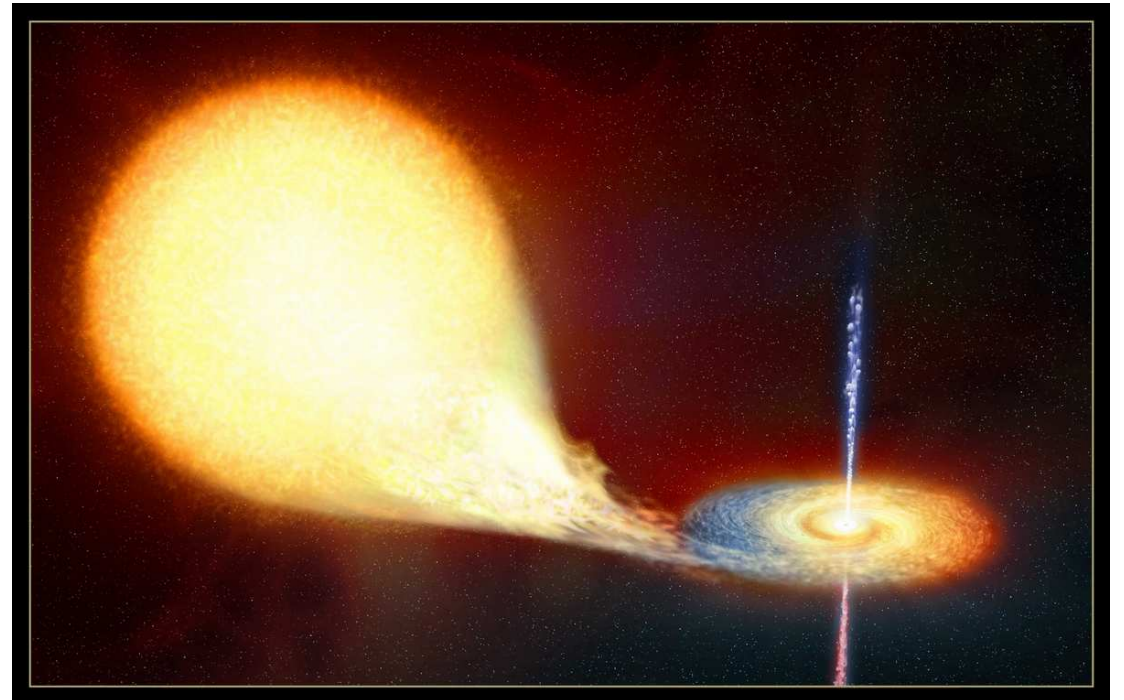
(радиоизображение)





**Схематическое
изображение
квазара**

**Аккреционный диск с джетом
в двойной звезде
(микрквазар)**



Параметры плазмы в джетах микроквараров

- Гидродинамический лоренц-фактор $\Gamma \approx 2 \div 5$
- Концентрация плазмы $N \sim 10^{18} \text{ см}^{-3} \rightarrow N \sim 0.1 \text{ см}^{-3}$
- Магнитное поле $B \sim 10^6 \text{ Гс} \rightarrow B \sim 10^{-4} \text{ Гс}$
- Максимальная энергия $\varepsilon_e^{max} \sim 10^{12} \div 10^{13} \text{ эВ}$ (электроны)
 $\varepsilon_i^{max} \lesssim 10^{15} \text{ эВ}$ (ионы)

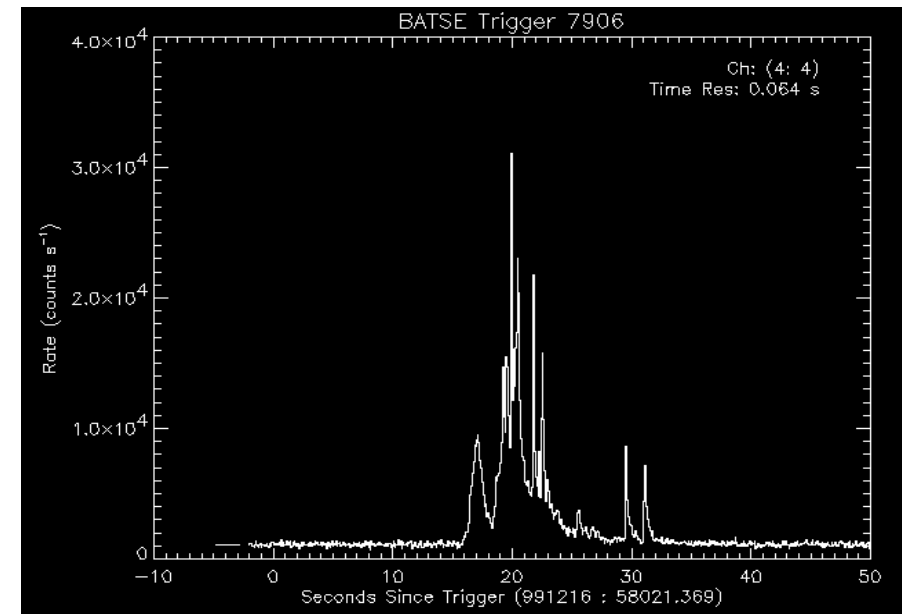
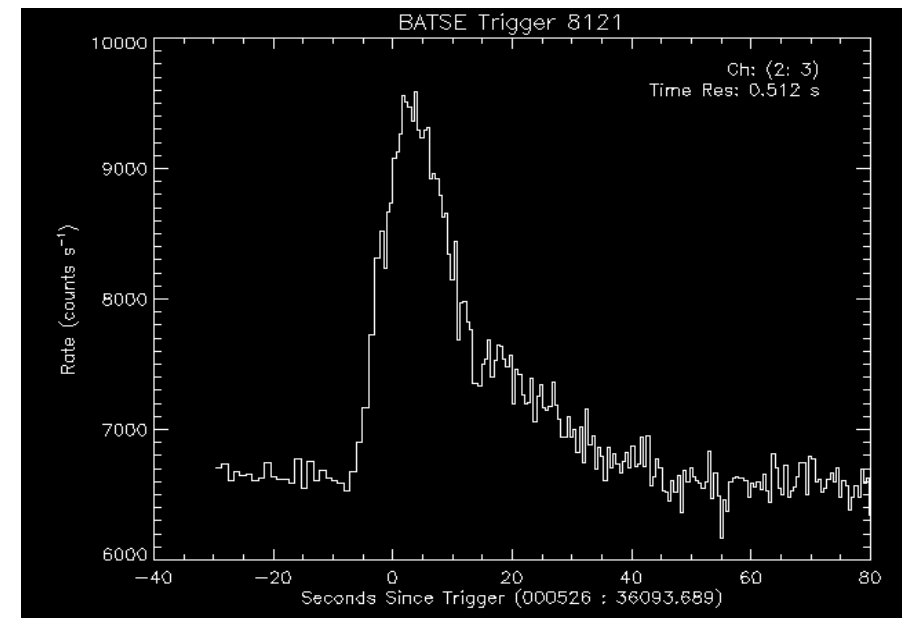
Основные механизмы излучения

- Синхротронное и обратное комптоновское излучение релятивистских электронов
- Столкновения релятивистских протонов с ионами межзвездного газа (?)

Гамма-всплески

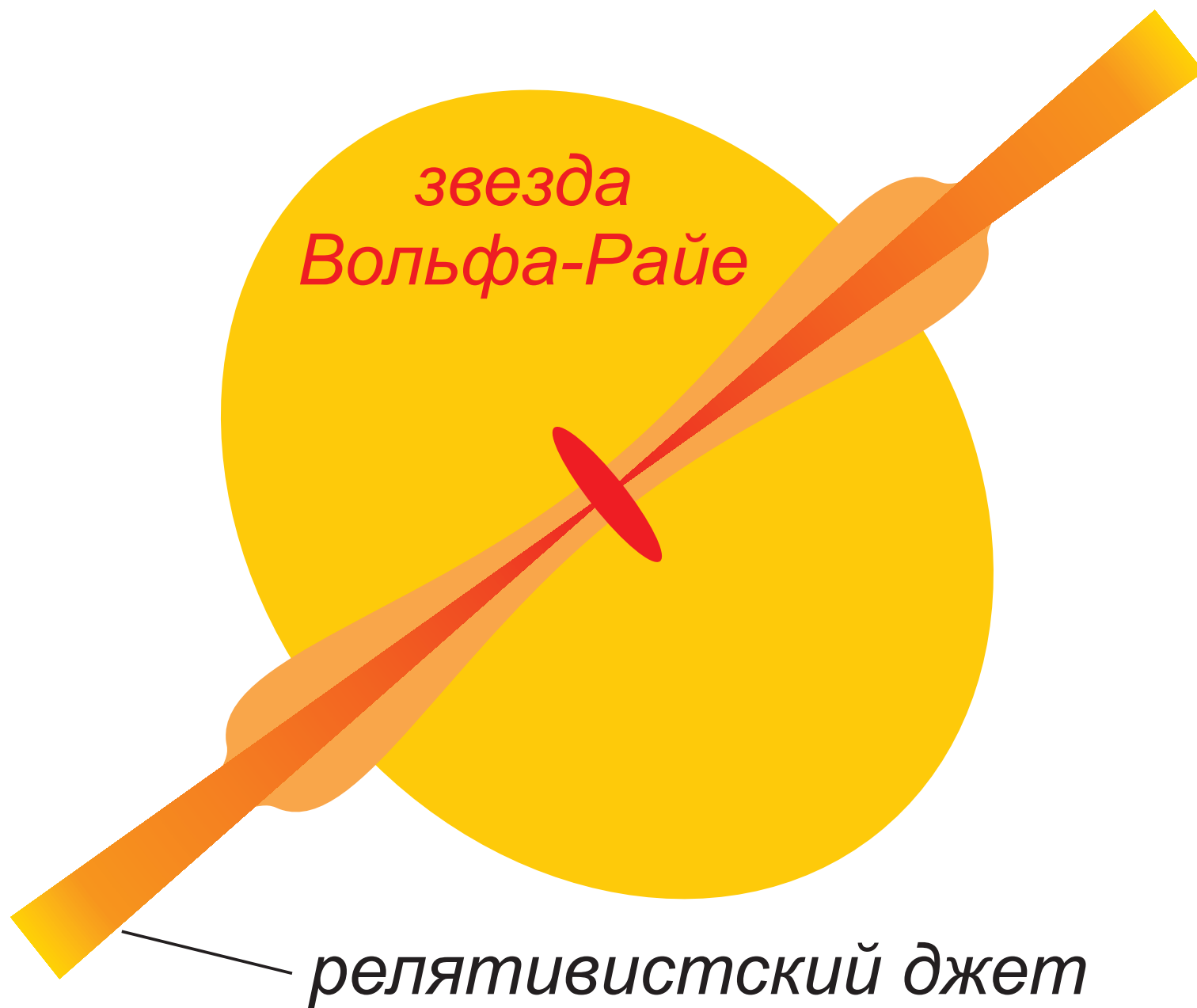
- Частота появления: ок. 1000 в год (изотропны на небесной сфере)
- Длительность: 0,1 – 100 секунд
- Расстояние: несколько гигапарсек
- Энерговыведение: $10^{51} - 10^{54}$ эрг
- Максимум в спектре в области 100 кэВ

Из условия прозрачности по двухфотонному рождению электрон-позитронных пар:
лоренц-фактор течения $\Gamma > 100$



Кривые блеска для двух гамма-всплесков
(по данным BATSE)

Схема источника гамма-всплеска



Параметры плазмы в гамма-всплесках

- Гидродинамический лоренц-фактор $\Gamma \sim 100 \div 1000$
- Концентрация плазмы $N \sim 10^{30} \text{ см}^{-3} \rightarrow N \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$
- Магнитное поле $B \sim 10^{15} \text{ Гс} \rightarrow B \sim 10^5 \text{ Гс}$
- Максимальная энергия $\varepsilon_e^{max} \sim 10^9 \div 10^{10} \text{ эВ}$ (электроны)
 $\varepsilon_i^{max} \lesssim 10^{21} \text{ эВ}$ (ионы)

Основные механизмы излучения

- Синхротронное и обратное комптоновское излучение релятивистских электронов
- Столкновения релятивистских протонов с фотонами (?)
- Синхротронное излучение протонов (??)