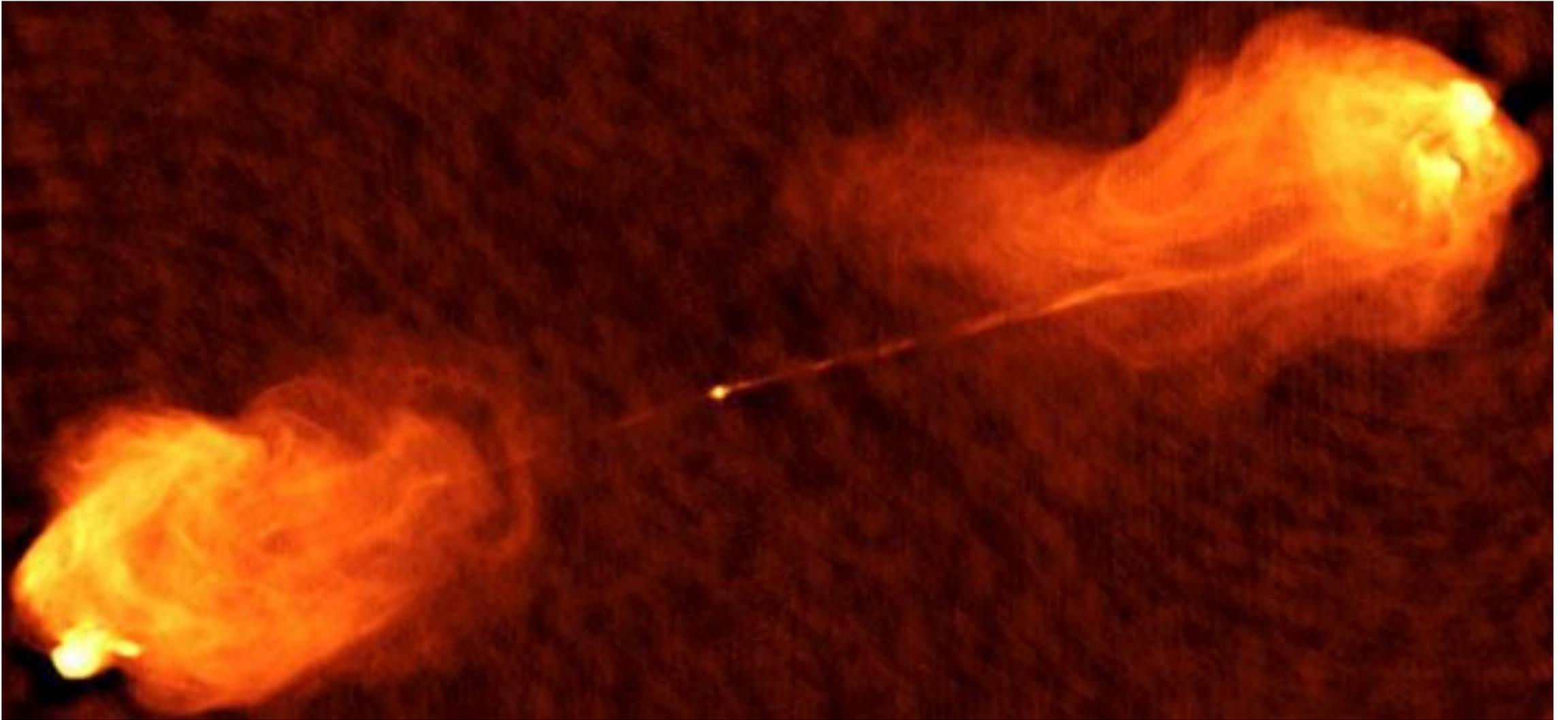


Active Galactic Nuclei (AGNs)

Елена Нохрина

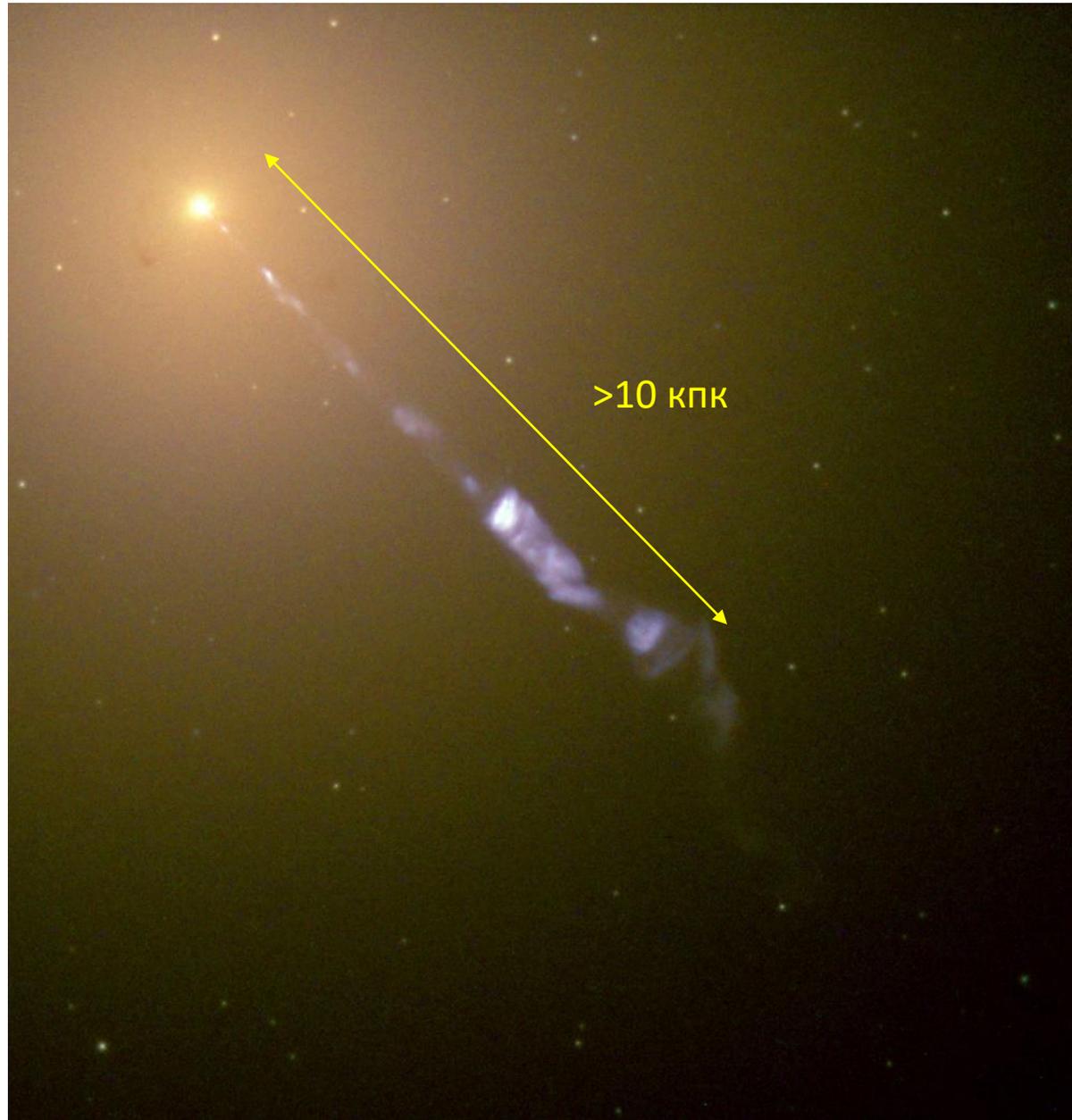
Лаборатория Релятивистской Астрофизики

МФТИ

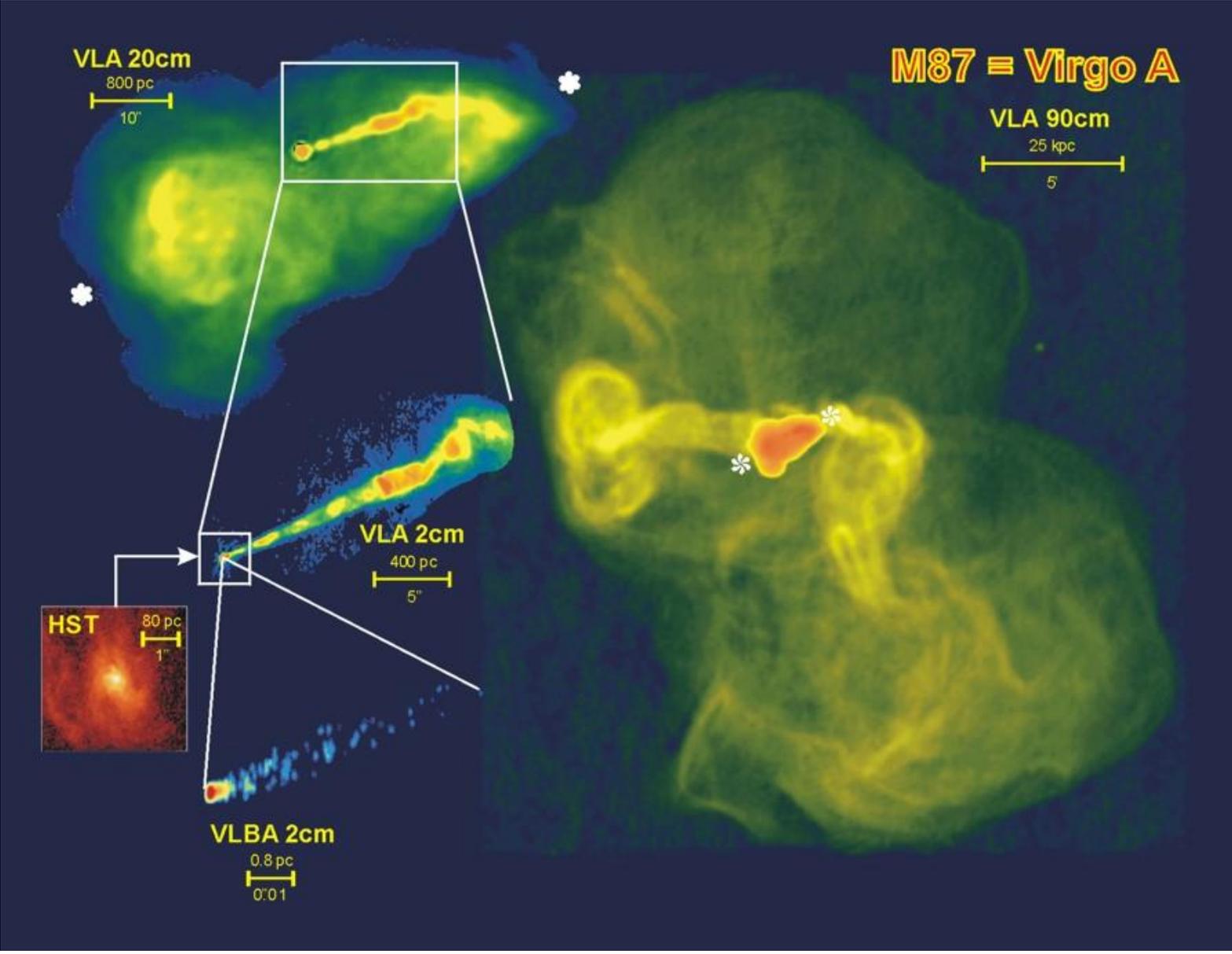


Cygnus A (NRAO)

M87

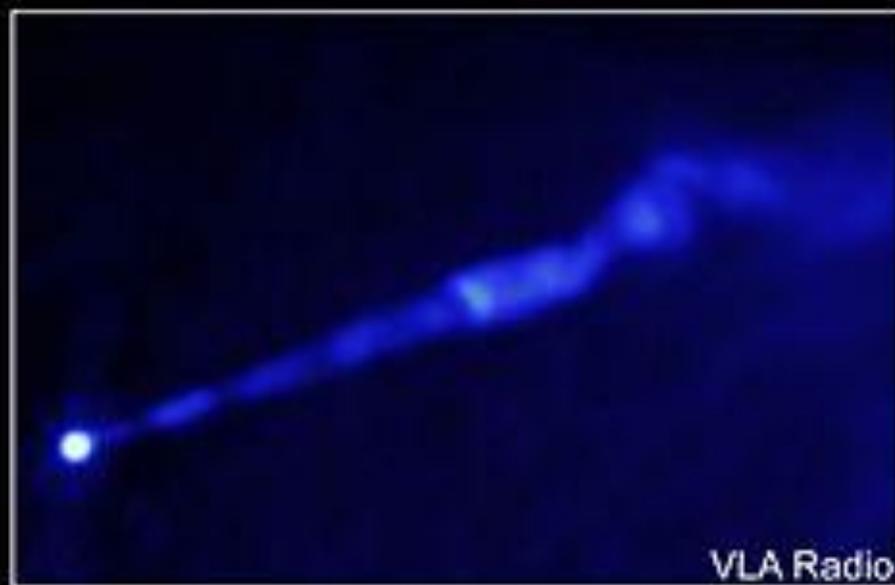


Hubble Space Telescope (HST)

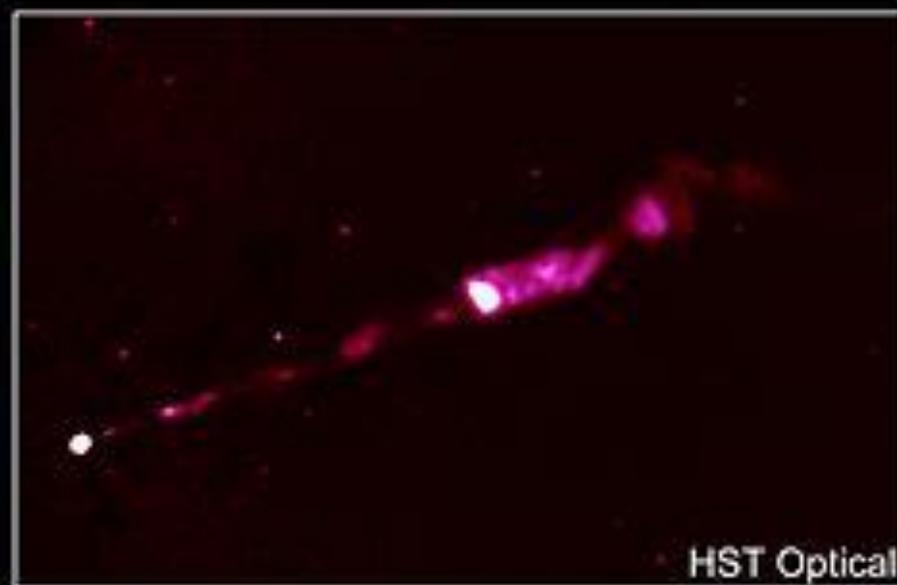




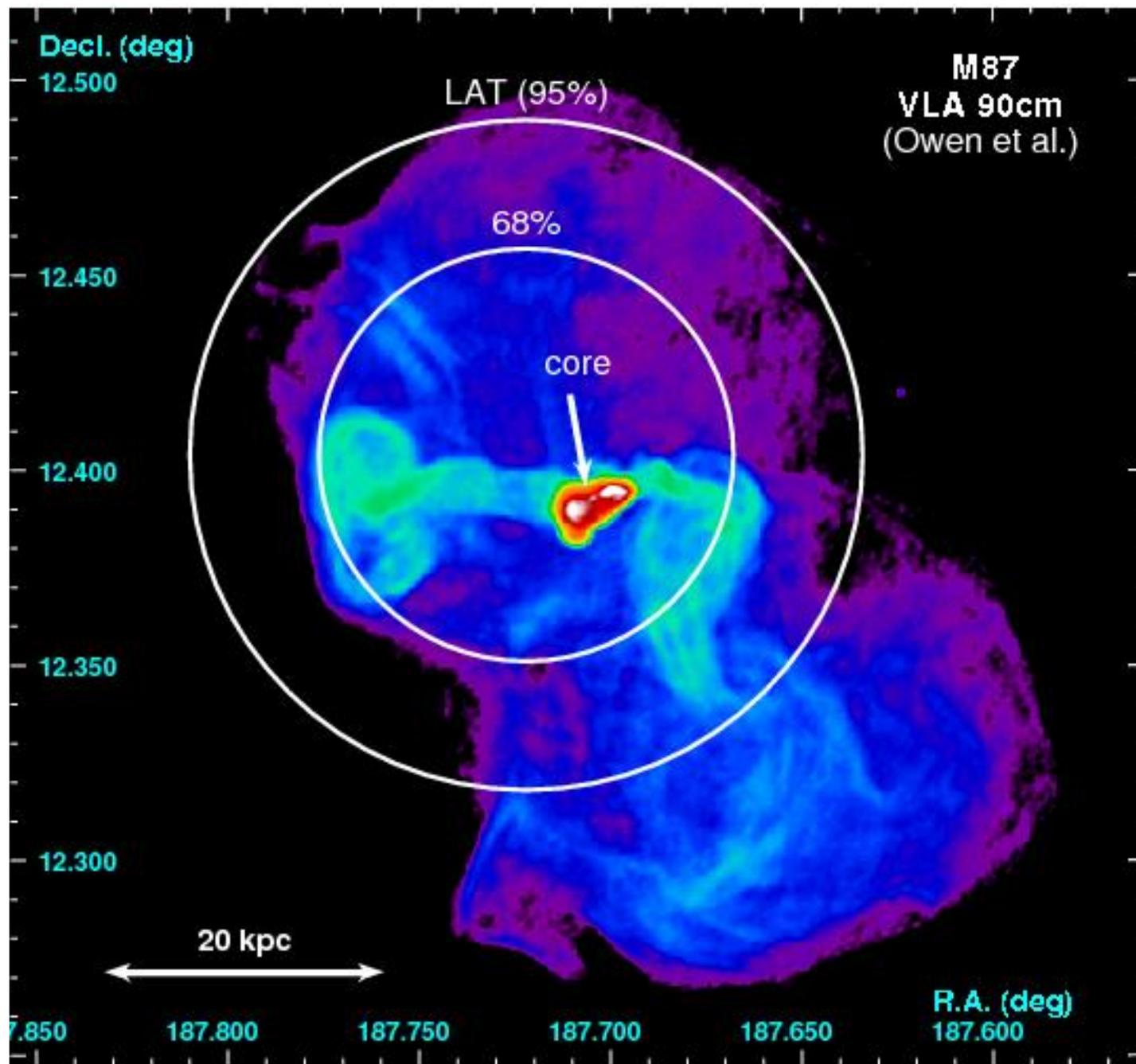
Chandra X-Ray



VLA Radio



HST Optical



Fermi - gamma

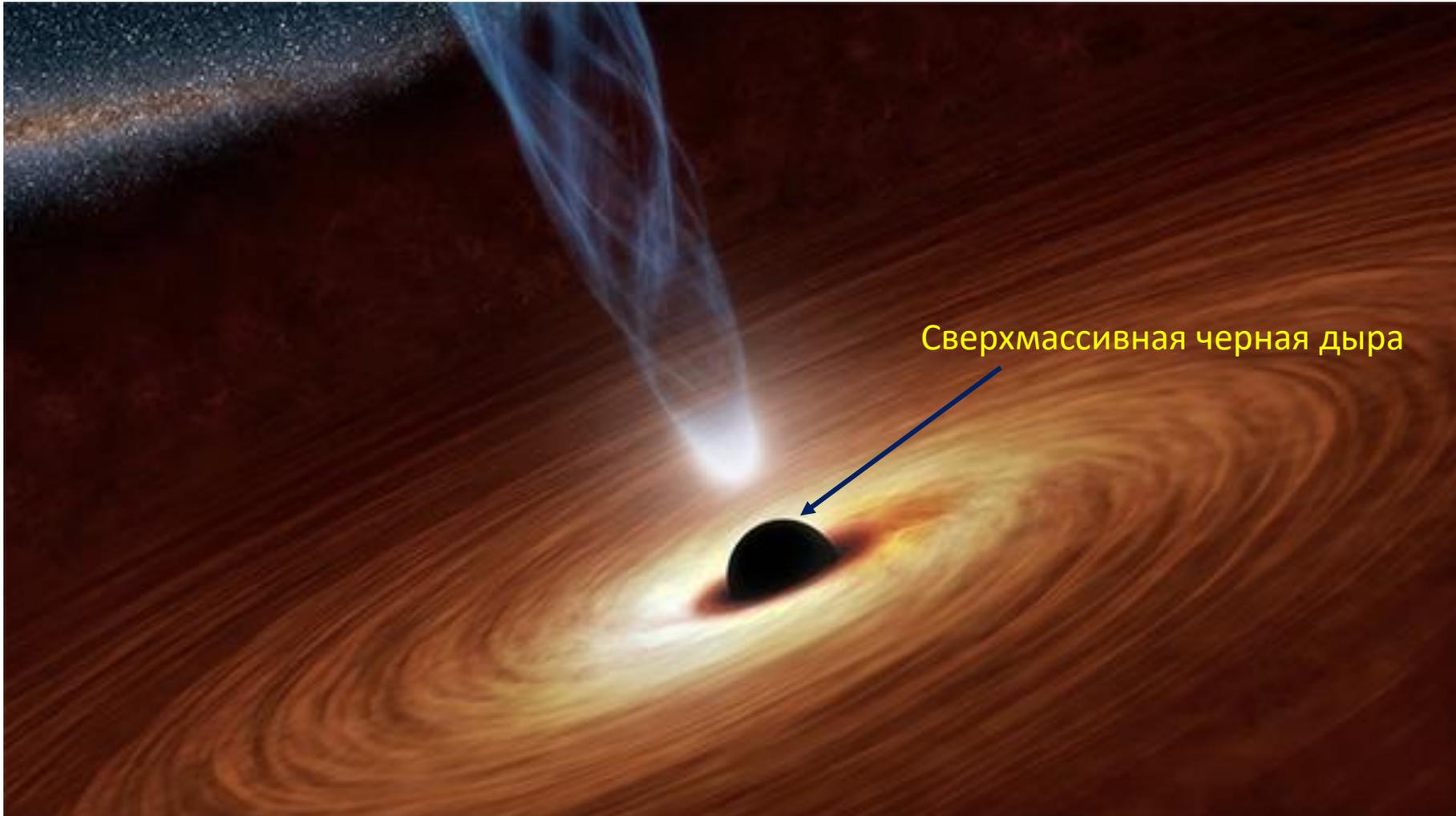
Что нужно для запуска
джета?

Что мы думаем про АЯГ?



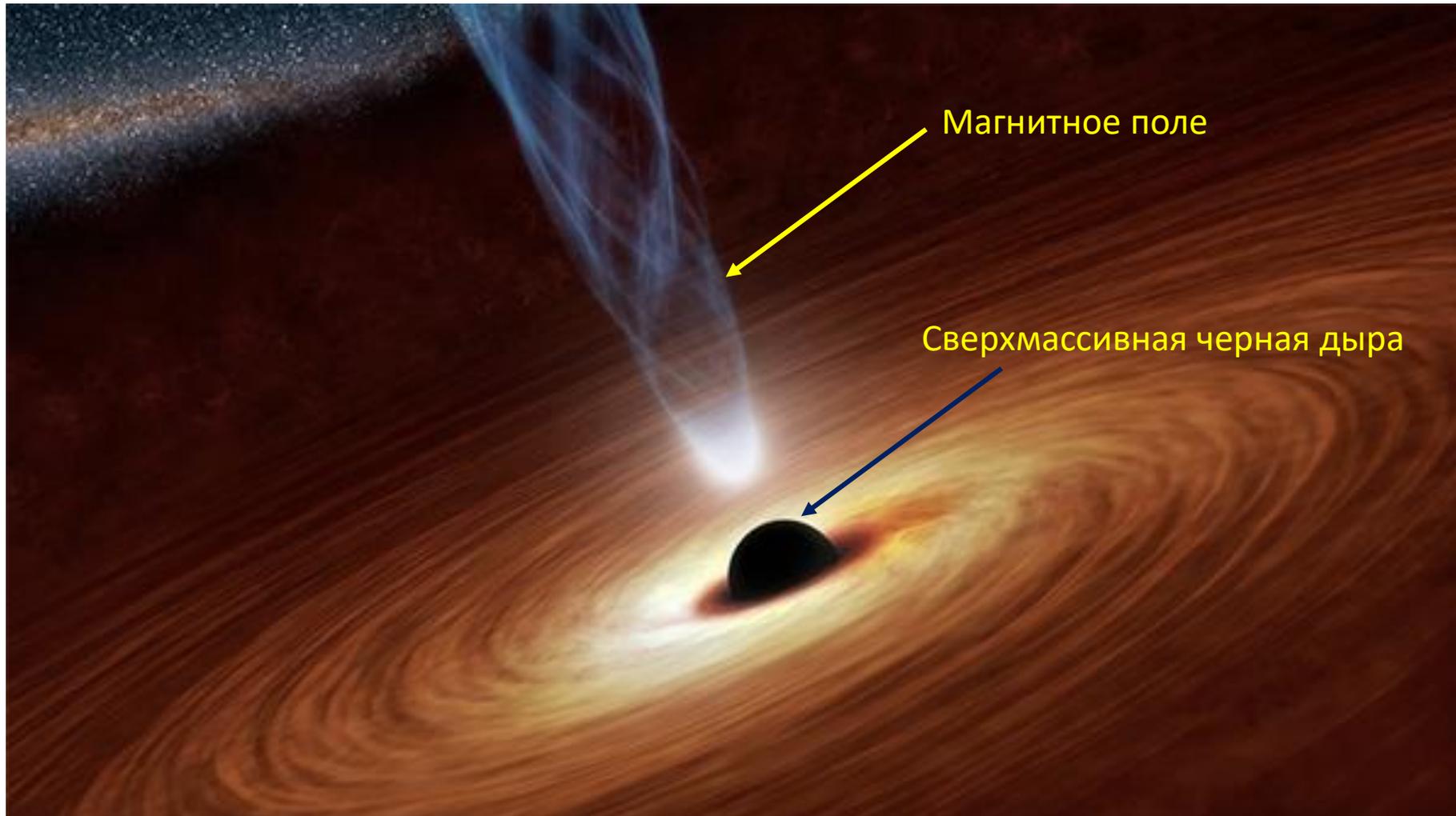
NASA/JPL

Что мы думаем про АЯГ?



Сверхмассивная черная дыра

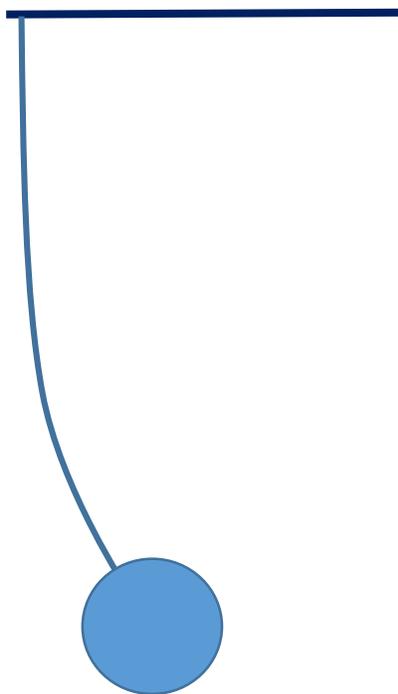
Что мы думаем про АЯГ?



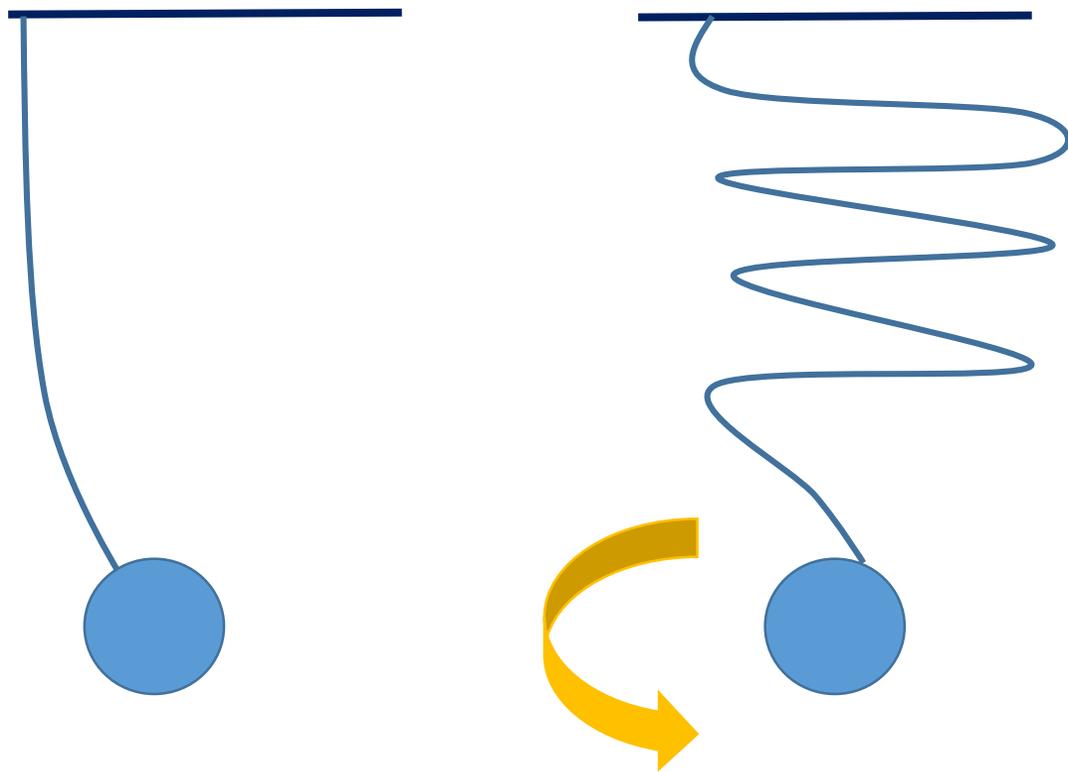
Магнитное поле

- Например, около горизонта M87 ~ 1000 Гс.
- На поверхности Земли – около 0.5 Гс.
- Аппарат магнитно-резонансной томографии: 3000 – 70 000 Гс.

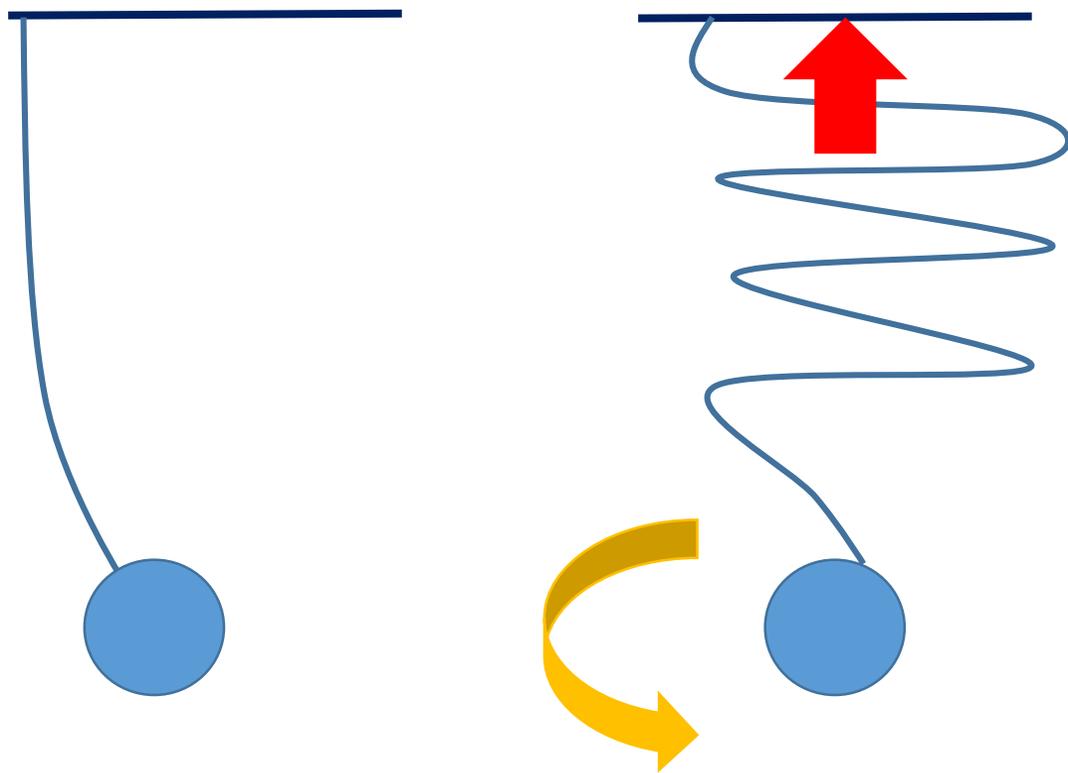
Какую роль играет магнитное поле



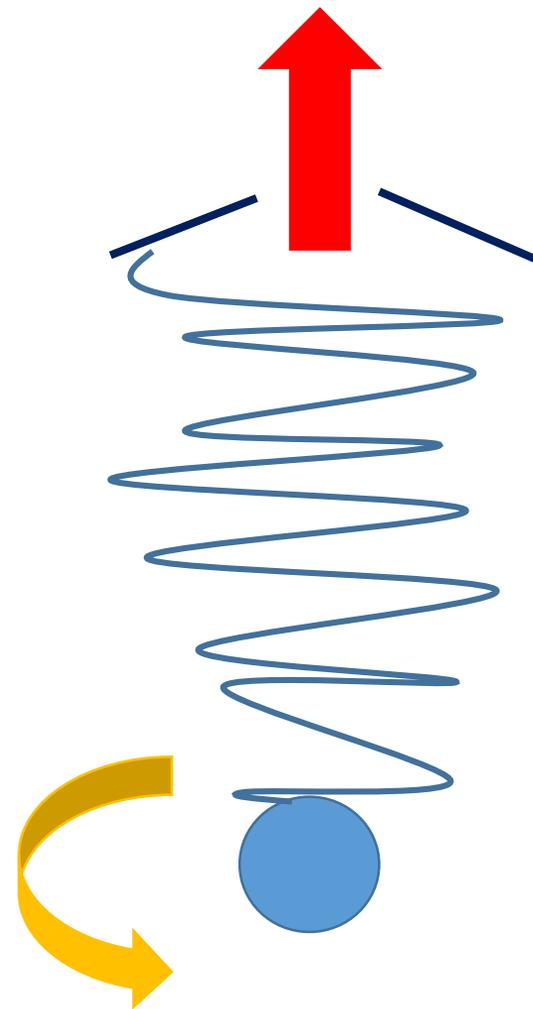
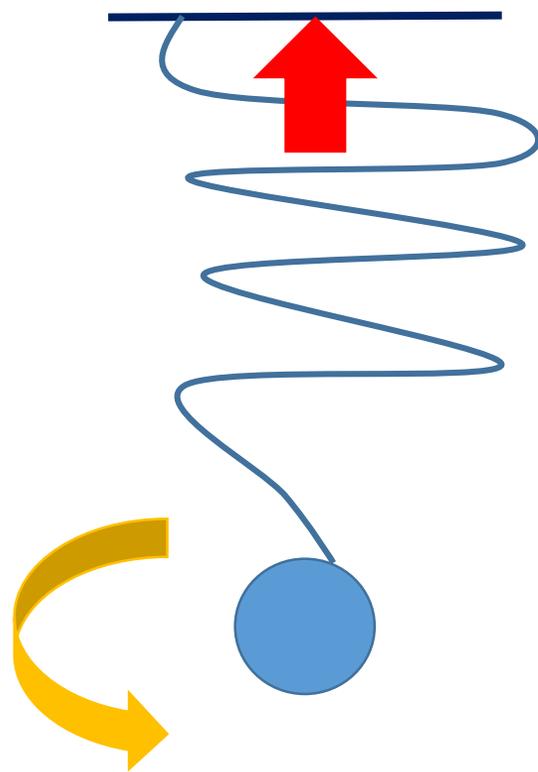
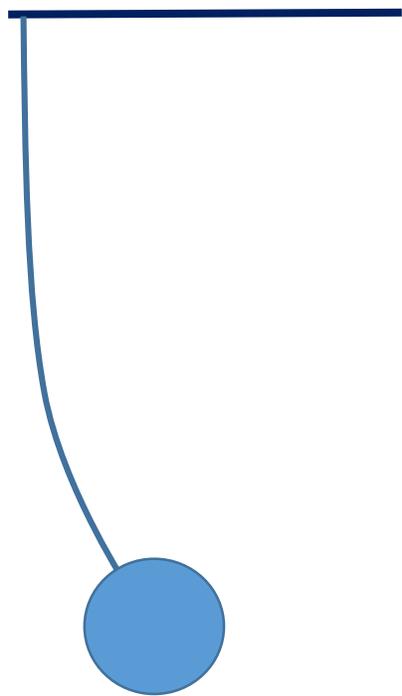
Какую роль играет магнитное поле

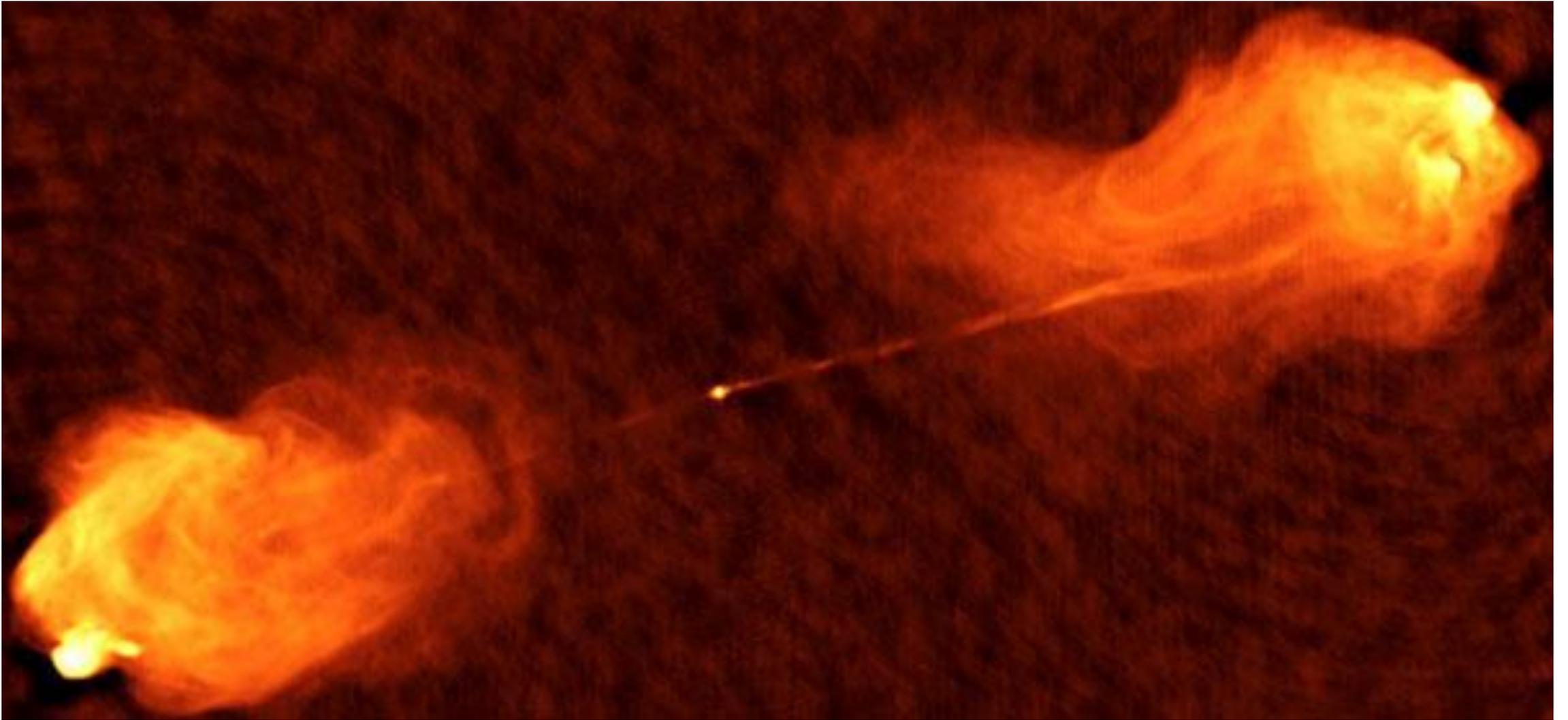


Какую роль играет магнитное поле

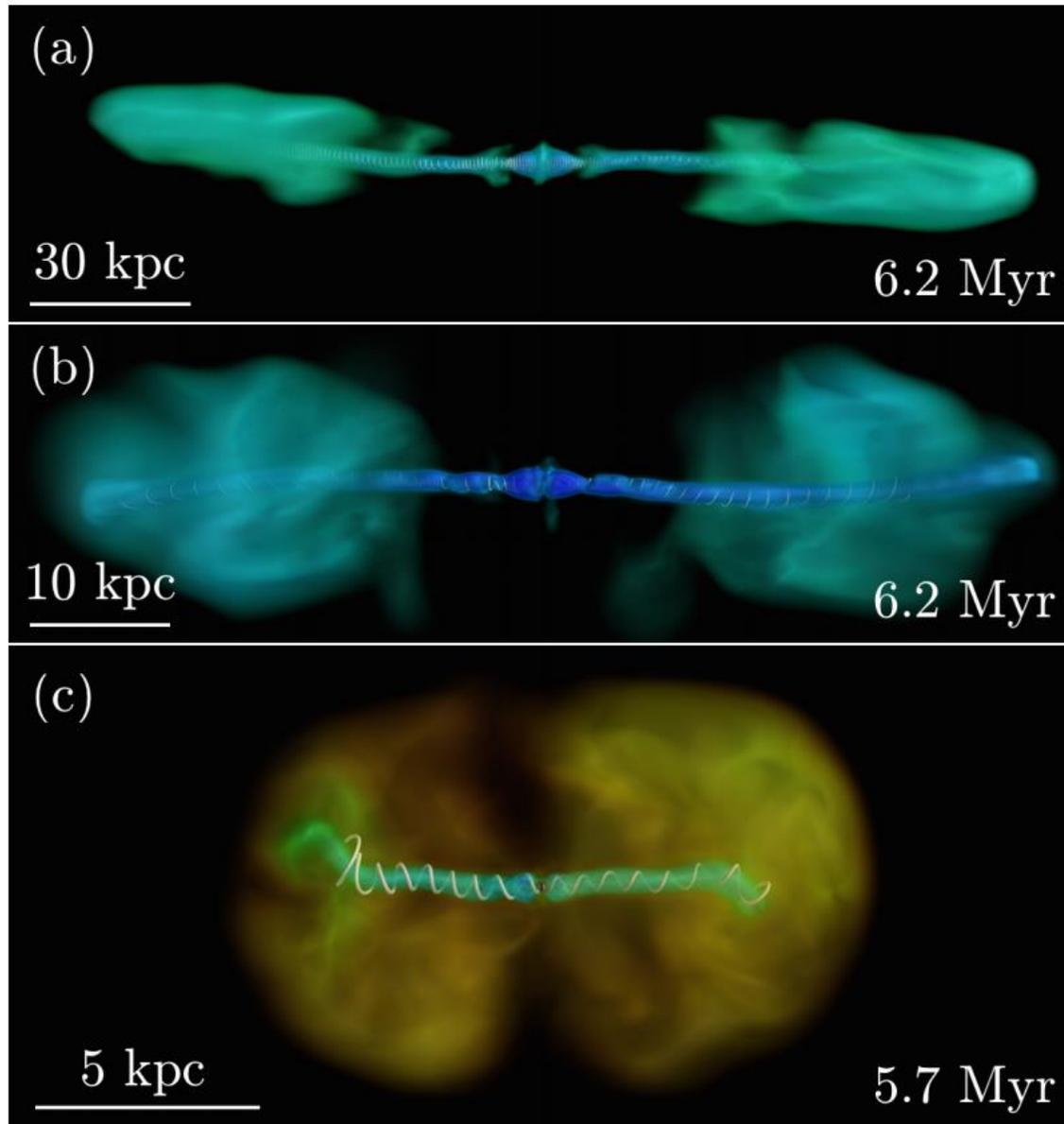


Какую роль играет магнитное поле





Cygnus A (NRAO)



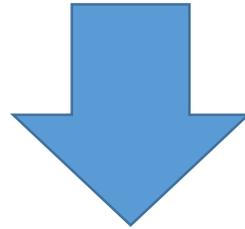
Tchekhovskoy & Bromberg 2015

Сила Лоренца

Одно из уравнений Максвелла

$$\vec{F}_L \propto \vec{j} \times \vec{B}$$

$$\text{rot} \vec{B} = 4\pi \vec{j}$$



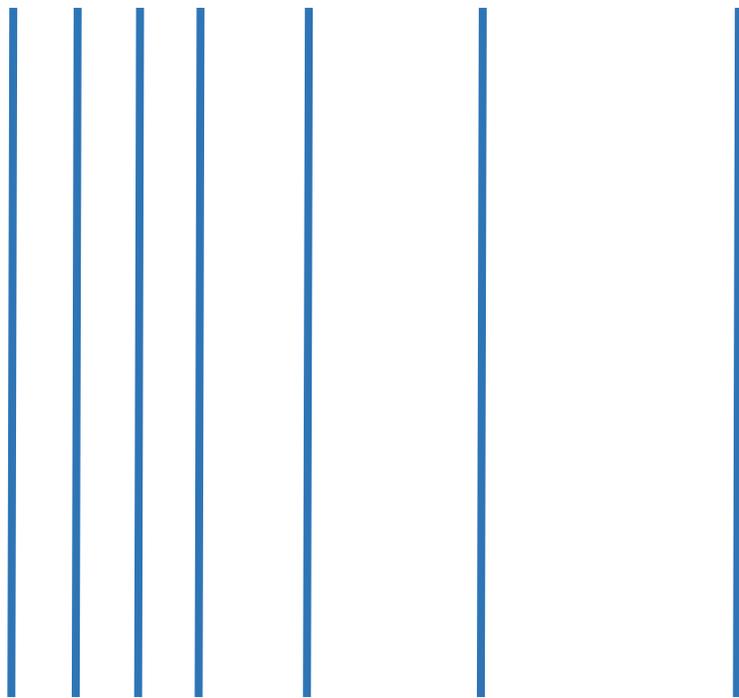
$$\vec{F}_L = \frac{1}{4\pi} (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} - \frac{1}{8\pi} \vec{\nabla} (\vec{B})^2$$

натяжение (tension)

давление (pressure)

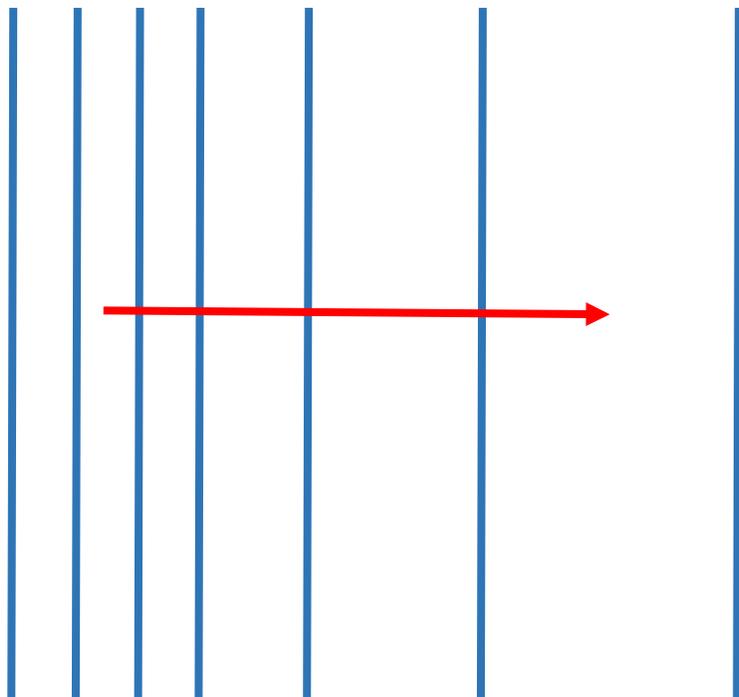
Магнитное давление

$$-\frac{1}{8\pi} \vec{\nabla} (\vec{B})^2$$



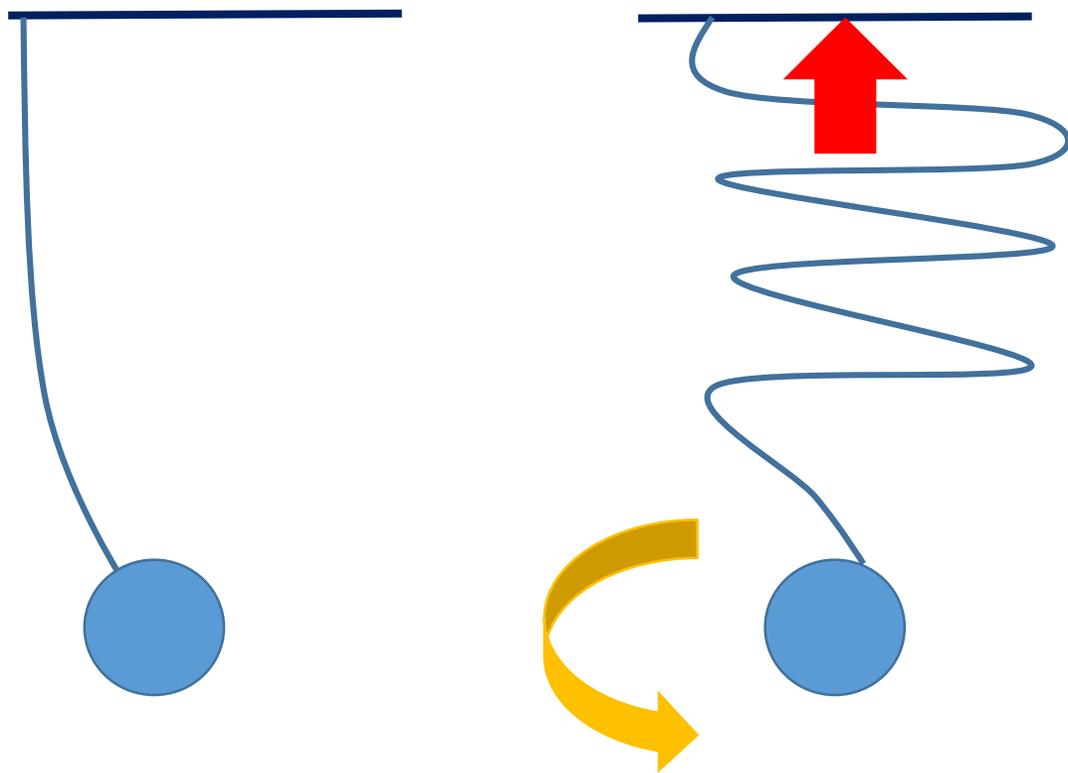
Магнитное давление

$$-\frac{1}{8\pi} \vec{\nabla} (\vec{B})^2$$

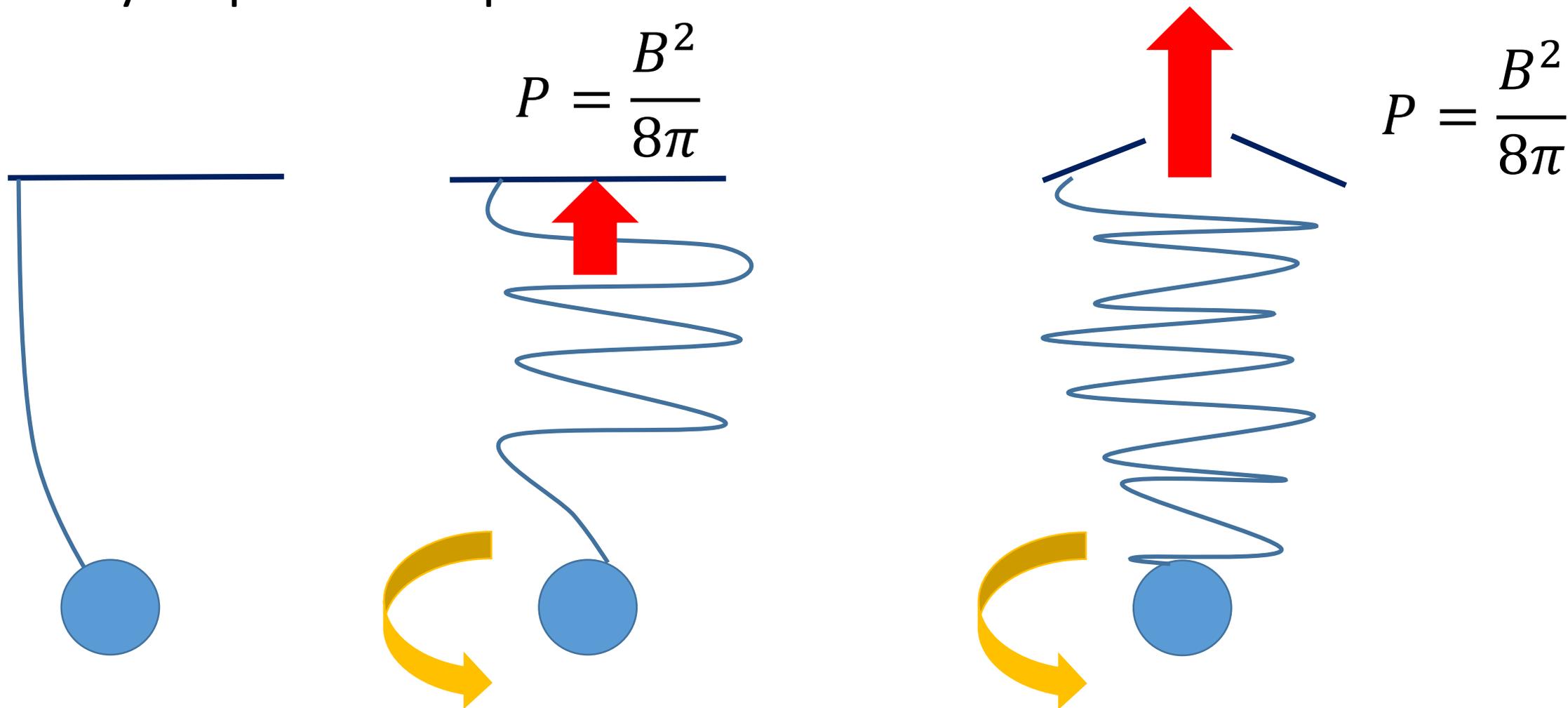


Какую роль играет магнитное поле

$$P = \frac{B^2}{8\pi}$$



Какую роль играет магнитное поле



Магнитное поле

- Например, около горизонта M87 ~ 1000 Гс.
- На поверхности Земли – около 0.5 Гс.
- Аппарат магнитно-резонансной томографии: 3000 – 70 000 Гс.
- **No-hair theorem:** ЧД характеризуется только тремя величинами – массой, угловым моментом и электрическим зарядом.

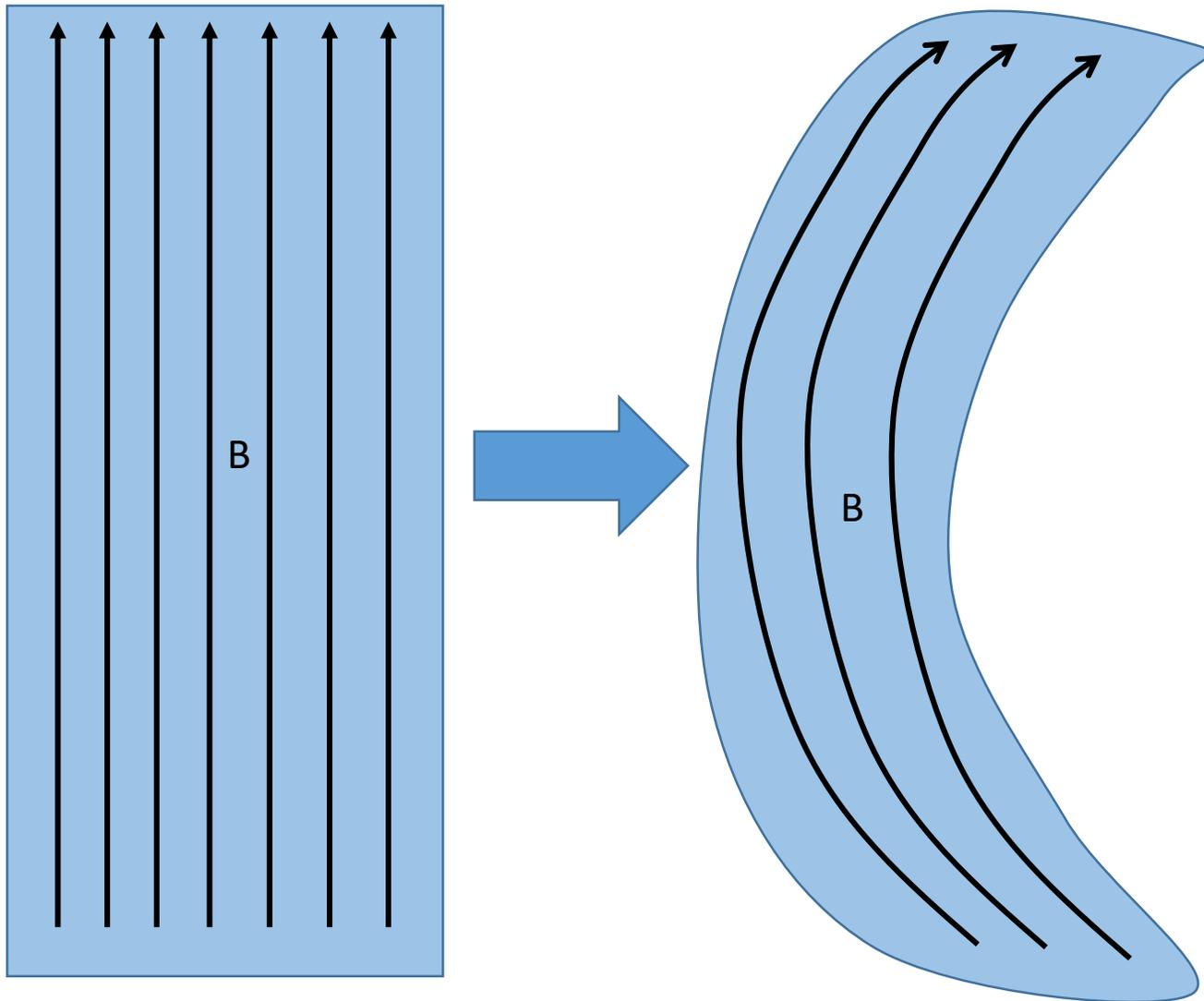
Магнитное поле

- Например, около горизонта M87 ~ 1000 Гс.
- На поверхности Земли – около 0.5 Гс.
- Аппарат магнитно-резонансной томографии: 3000 – 70 000 Гс.
- **No-hair theorem: ЧД характеризуется только тремя величинами – массой, угловым моментом и электрическим зарядом.**
- Откуда магнитное поле?

Что мы думаем про АЯГ?



NASA/JPL



- В плазме – бесконечно проводящей среде – магнитное поле вморожено в плазму. (Теорема Альвена, 1942.)
- Если это не так, то любое движение плазмы перпендикулярно магнитному полю вызовет $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ бесконечный электрический ток ($\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$).
- Поэтому линии поля движутся вместе с плазмой.

Пример flux-freezing

Быстрое сжатие звезды в нейтронную звезду.

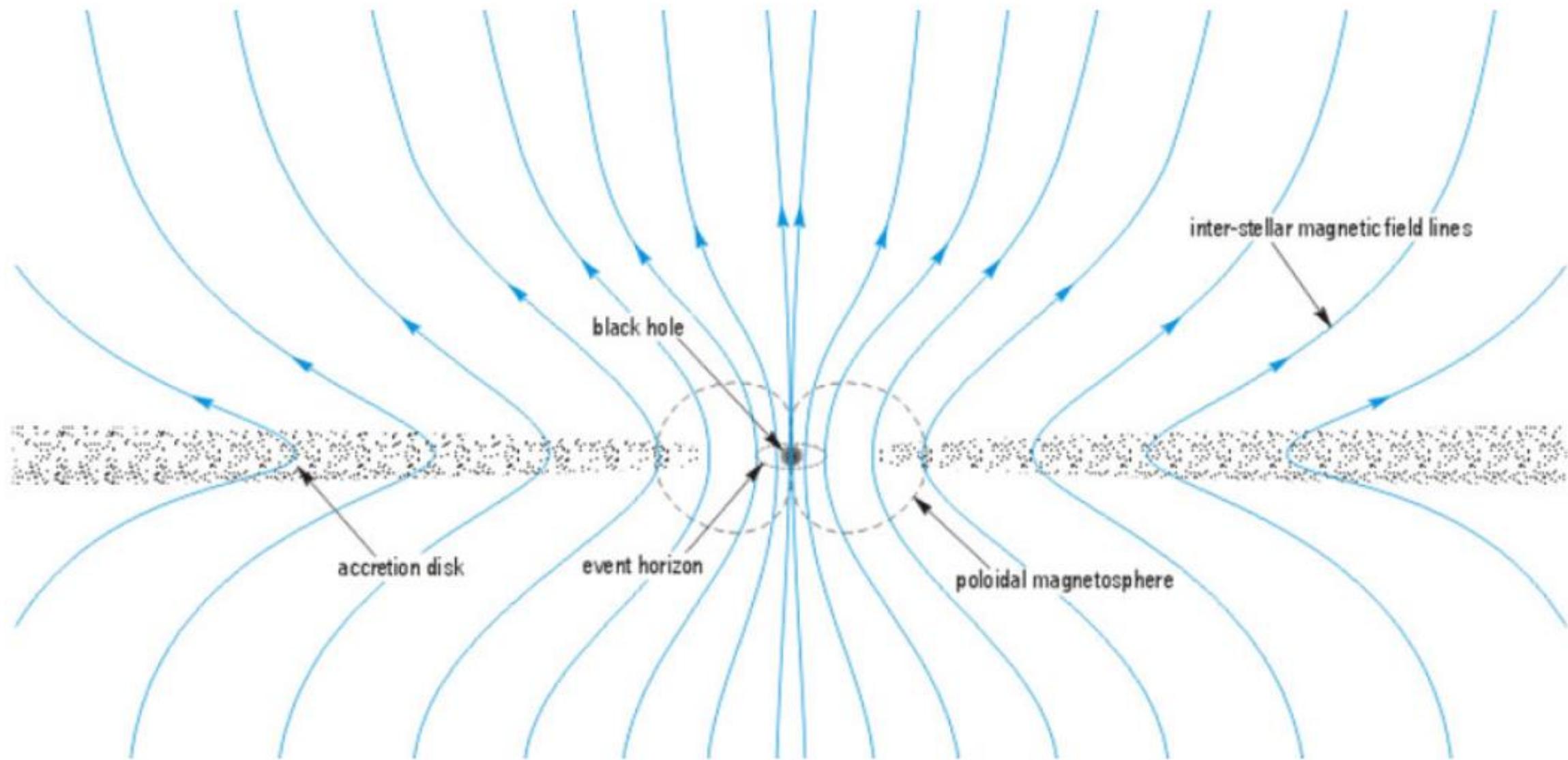
Пусть Солнце ($R=10^{11}$ см, $B=10$ G) сжалось в нейтронную звезду ($r=10^6$ см). Какое магнитное поле мы ожидаем?

Пример flux-freezing

Быстрое сжатие звезды в нейтронную звезду.

Пусть Солнце ($R=10^{11}$ см, $B=10$ G) сжалось в нейтронную звезду ($r=10^6$ см). Какое магнитное поле мы ожидаем?

$B(ns) \sim 10^{11}$ G.



black hole

inter-stellar magnetic field lines

accretion disk

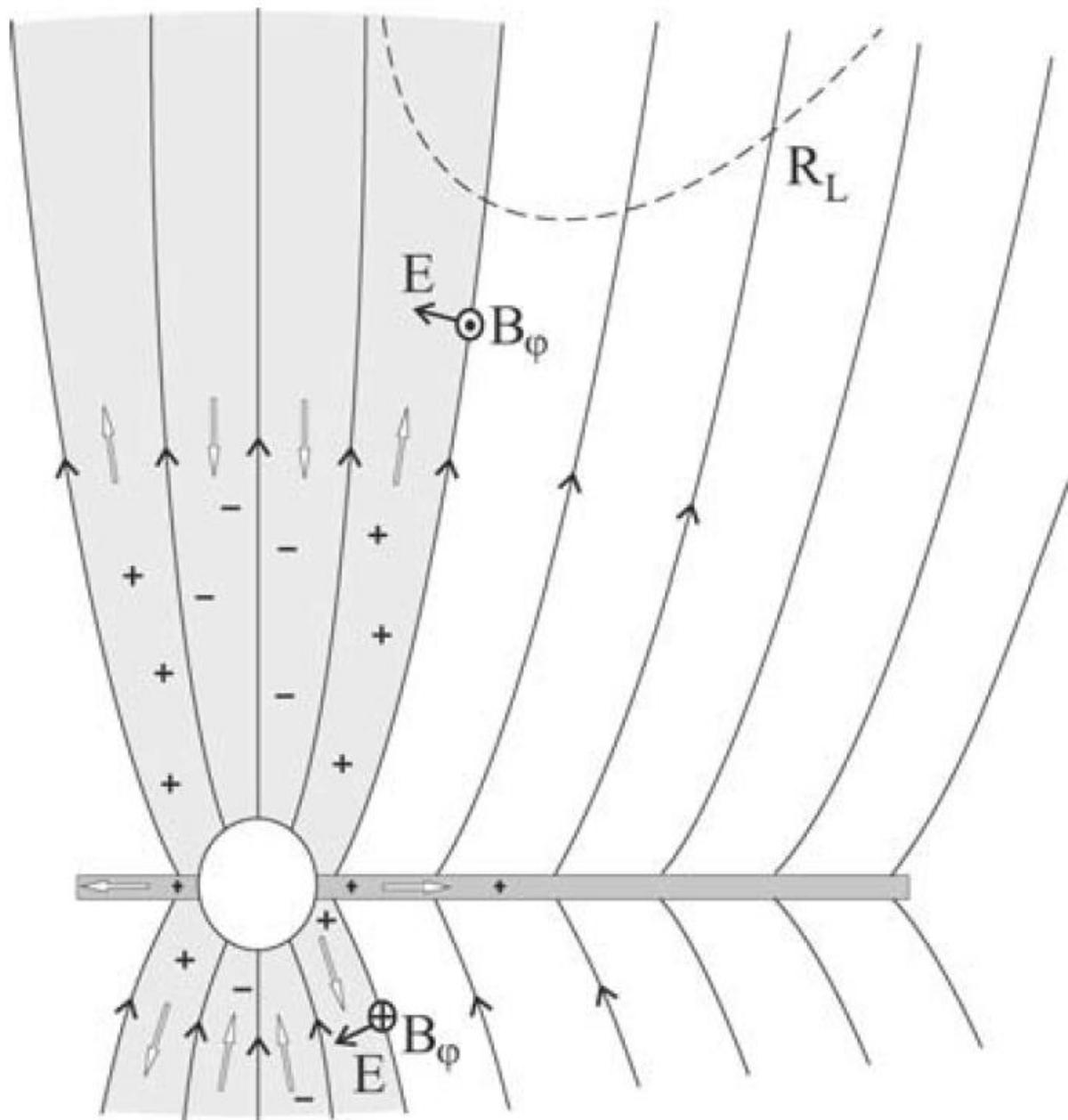
event horizon

poloidal magnetosphere

Итак,

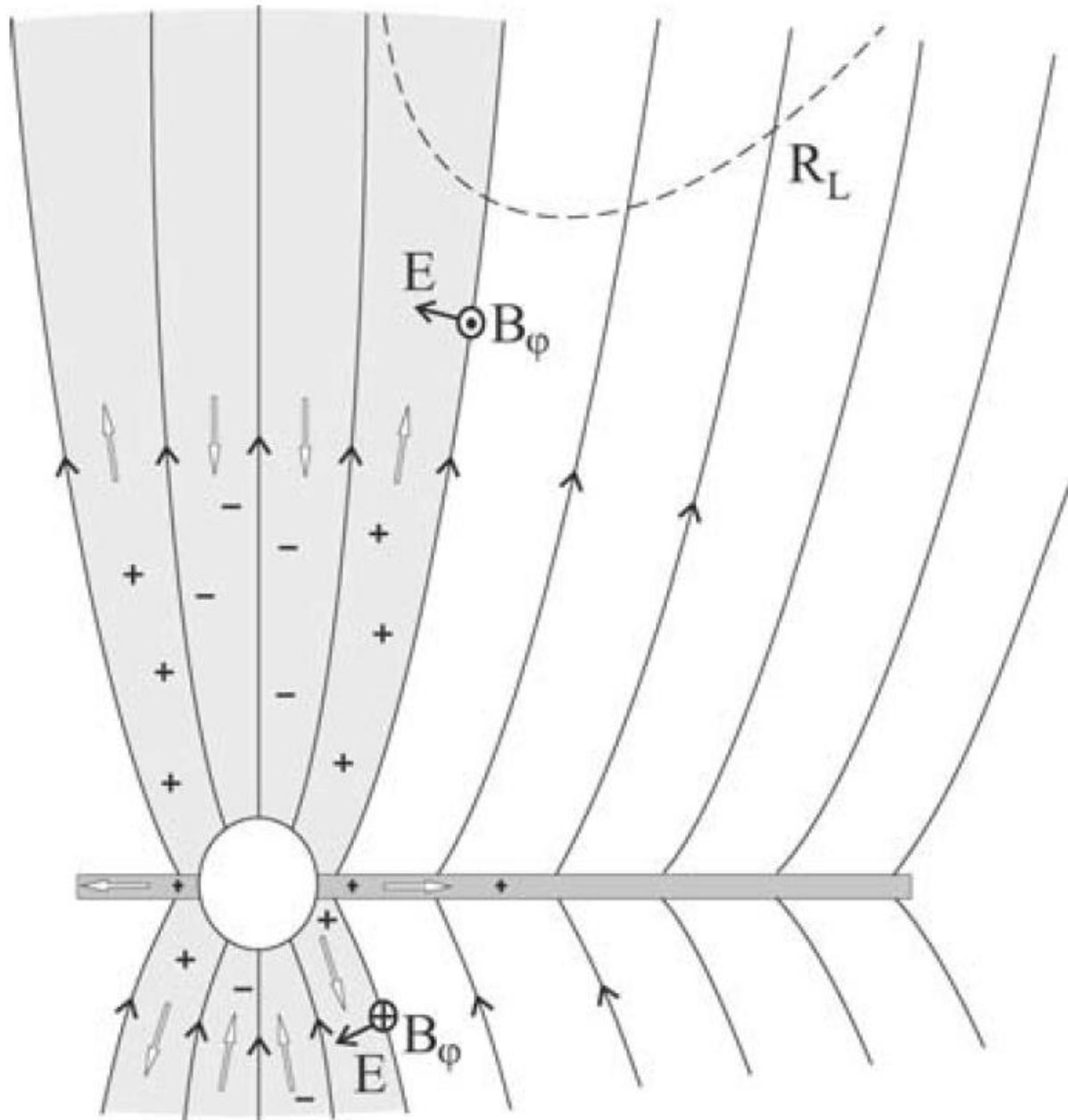
- СМЧД
- вращение (спин \neq 0)
- магнитное поле
- аккреционный диск

Поля и плазма в джете



- Есть полоидальное магнитное поле.

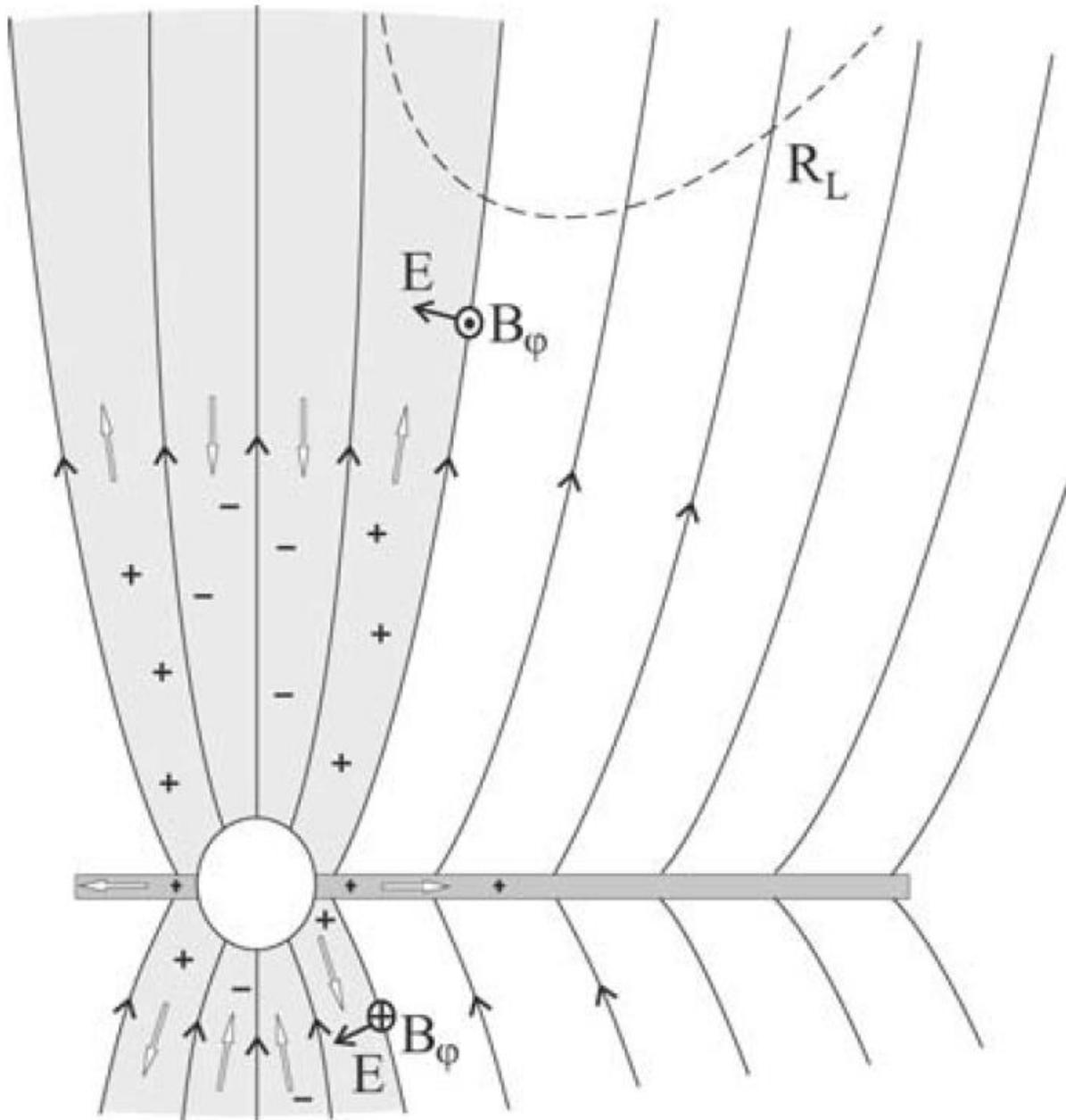
Характерные величины на горизонте $10^3 - 10^4$ Гс.



- Есть полоидальное магнитное поле.

Характерные величины на горизонте $10^3 - 10^4$ Гс.

- Есть тороидальное магнитное поле (party ball).

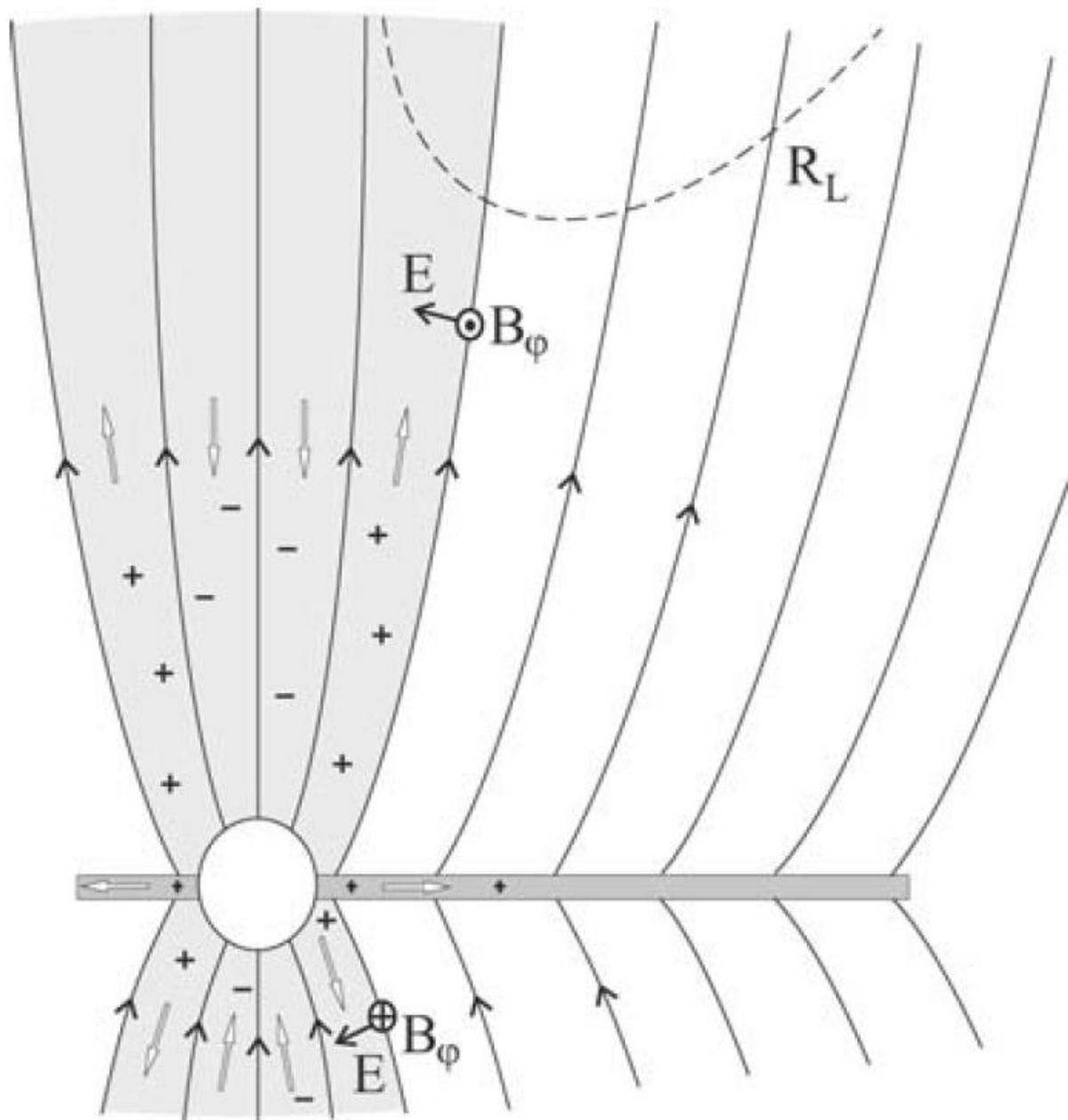


- Есть полоидальное магнитное поле.

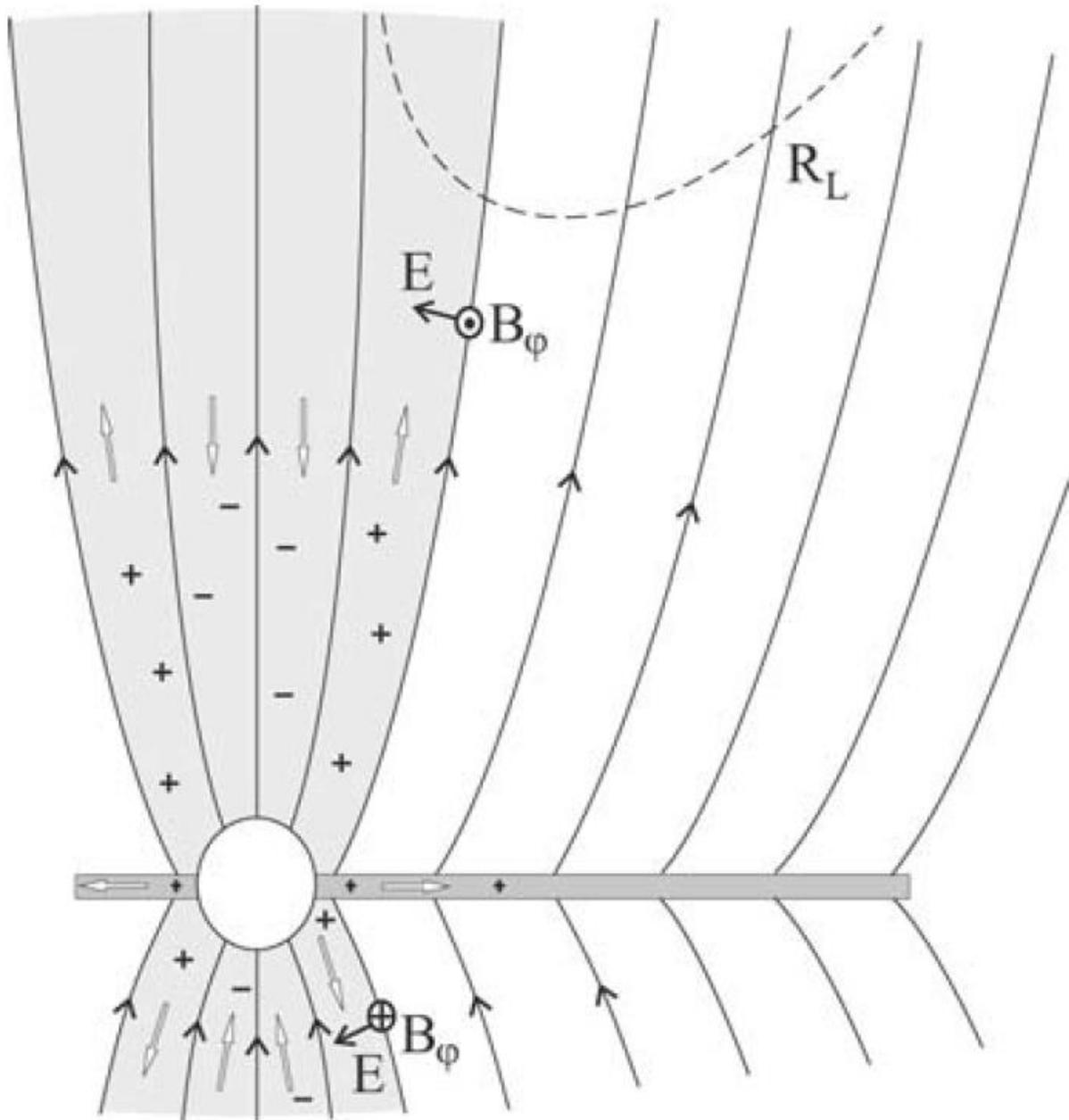
Характерные величины на горизонте $10^3 - 10^4$ Гс.

- Есть тороидальное магнитное поле (party ball).

Течет ток $\sim 10^{26} - 10^{28}$ единиц СГС ($\sim 10^{16} - 10^{18}$ А).



- Магнитный поток $\Psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$
Типичное значение $\sim 10^{32} - 10^{35}$
Гс см².



- Магнитный поток $\Psi = \int \vec{B} \cdot \vec{dS}$

Типичное значение $\sim 10^{32} - 10^{35}$
Гс см².

- Мощность

$$P_{jet} = \left(\frac{\Psi f(a)}{\pi r_g} \right)^2 c$$

Мощность $\sim 10^{42} - 10^{45}$ эрг/с.

Майкелевский параметр замагниченности (Michel, 1969) σ_M .



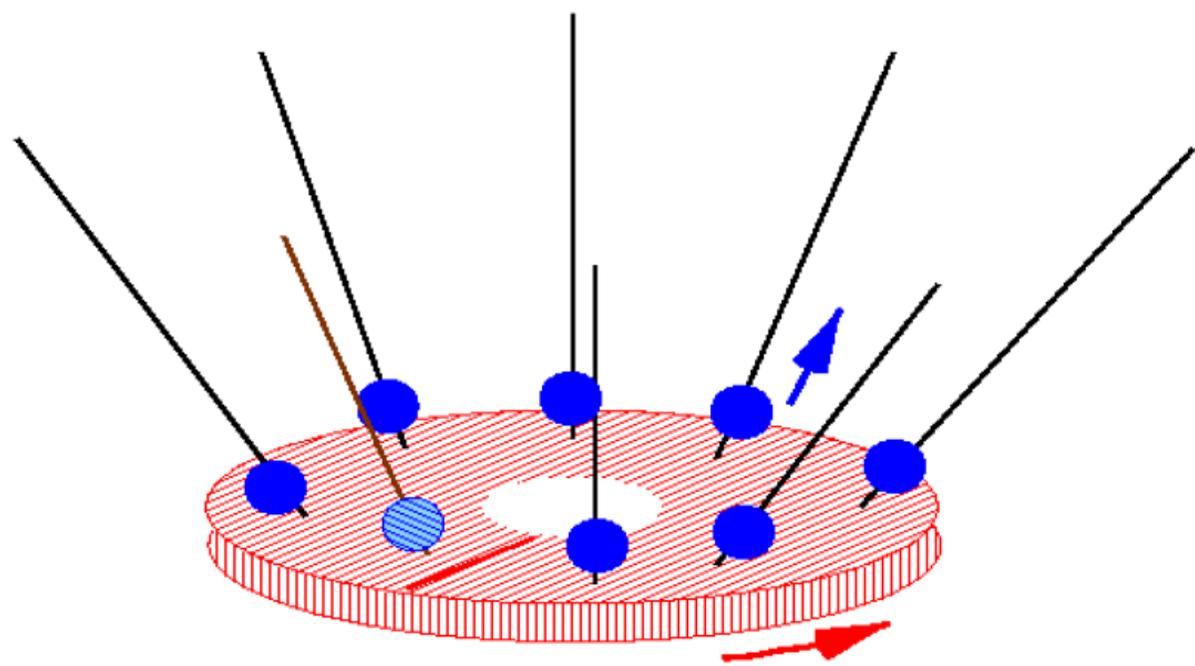
Майкелевский параметр замагниченности (Michel, 1969) σ_M .

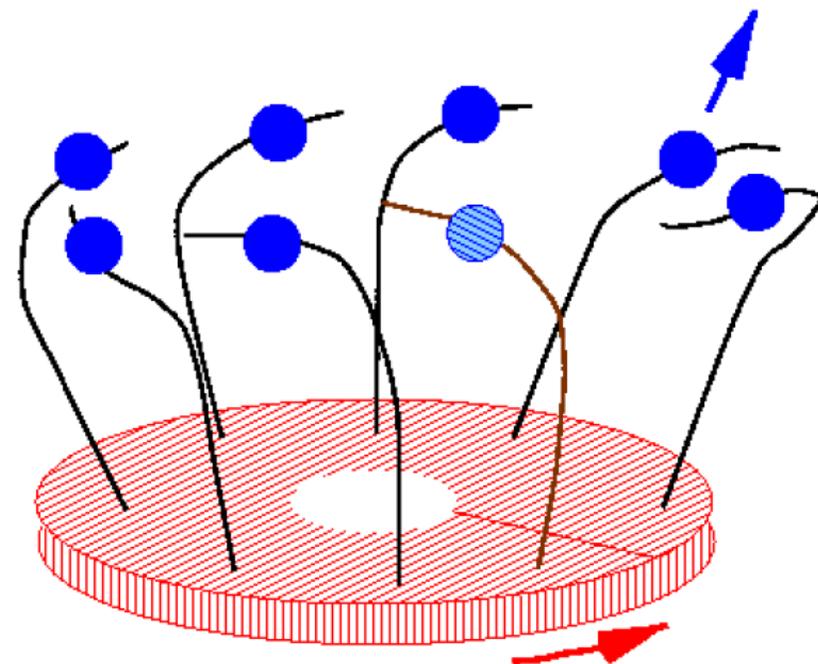
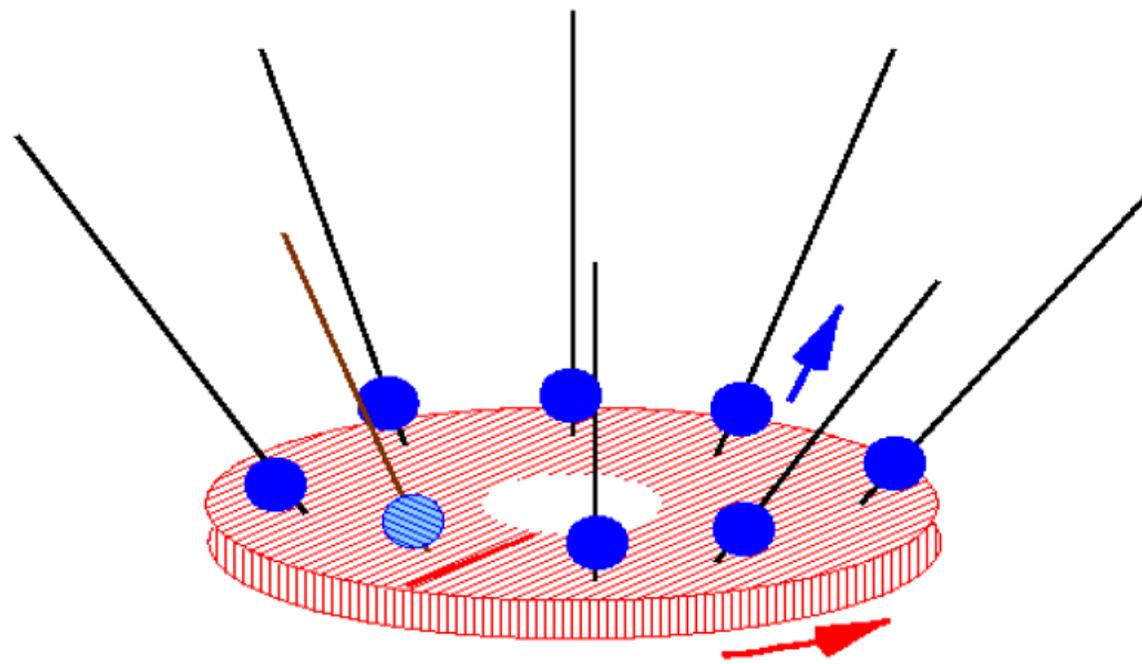


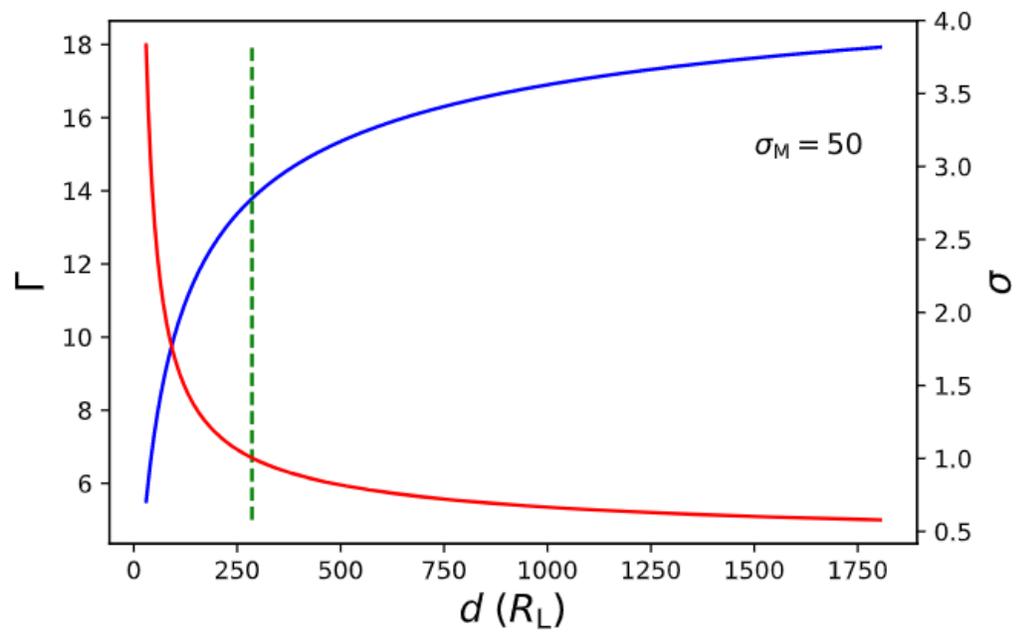
Если это записать в виде формулы:

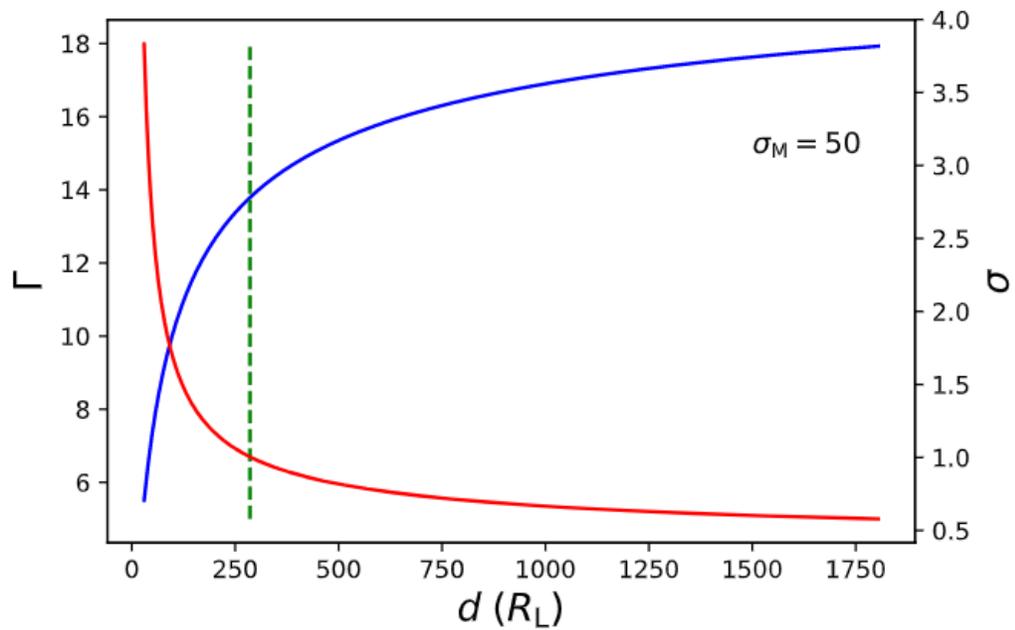
$$\sigma_M = \Gamma_{max}$$

- Параметр замагниченности – это максимальный Лоренц-фактор, до которого можно разогнать плазму в джете, перекачав всю энергию джета в кинетическую энергию плазмы.



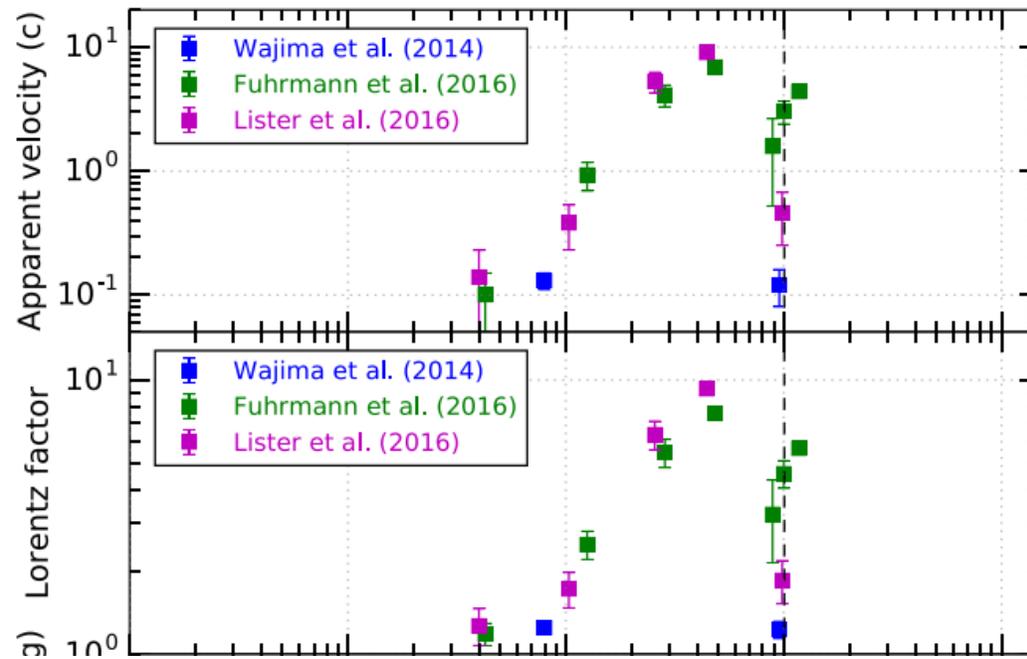






Kovalev et al. 2020

1H 0323+342



Hada et al. 2018

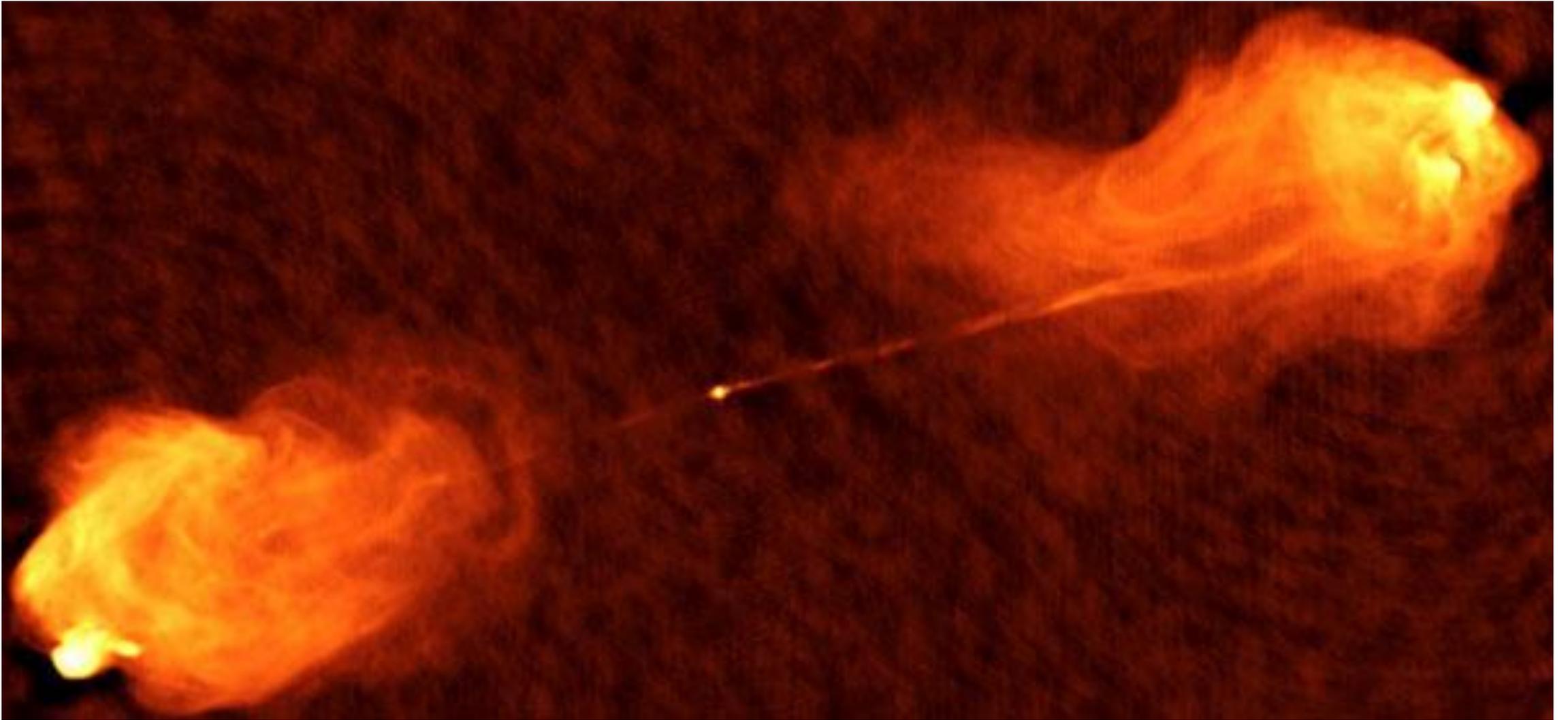
Если это записать в виде формулы:

$$\sigma_M = \Gamma_{max}$$

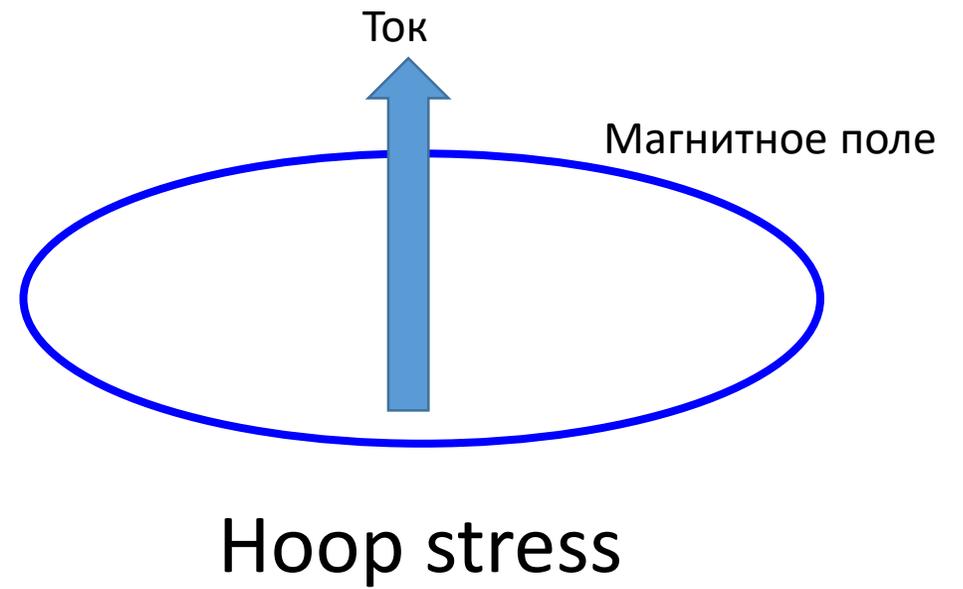
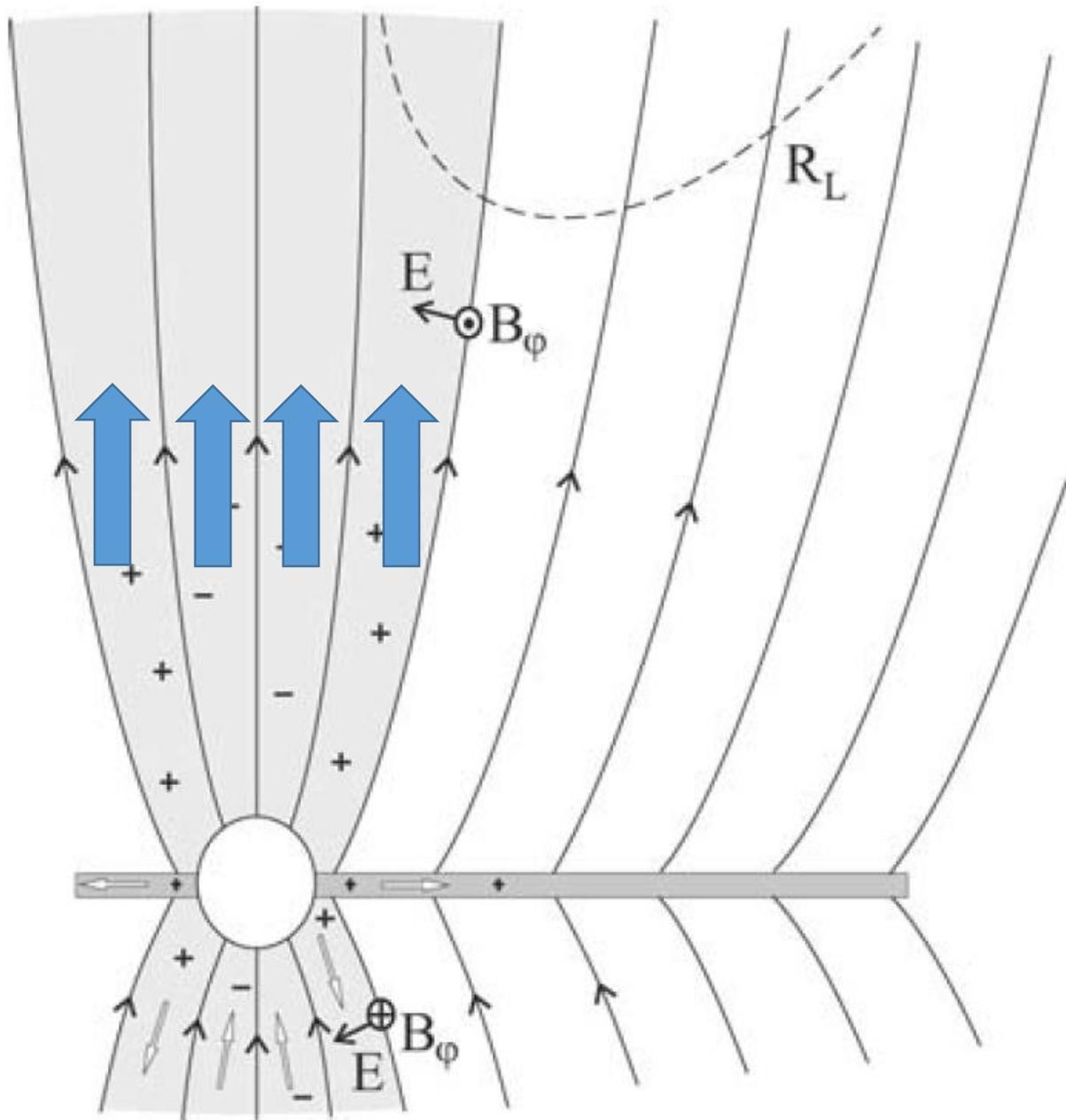
- Параметр замагниченности – это максимальный Лоренц-фактор, до которого можно разогнать плазму в джете, перекачав всю энергию джета в кинетическую энергию плазмы.
- На самом деле в рамках магнитной гидродинамики (МГД) мы можем разогнать плазму только примерно до половины максимального Лоренц-фактора. Поэтому

$$\Gamma_{obs} = \frac{\sigma_M}{2}$$

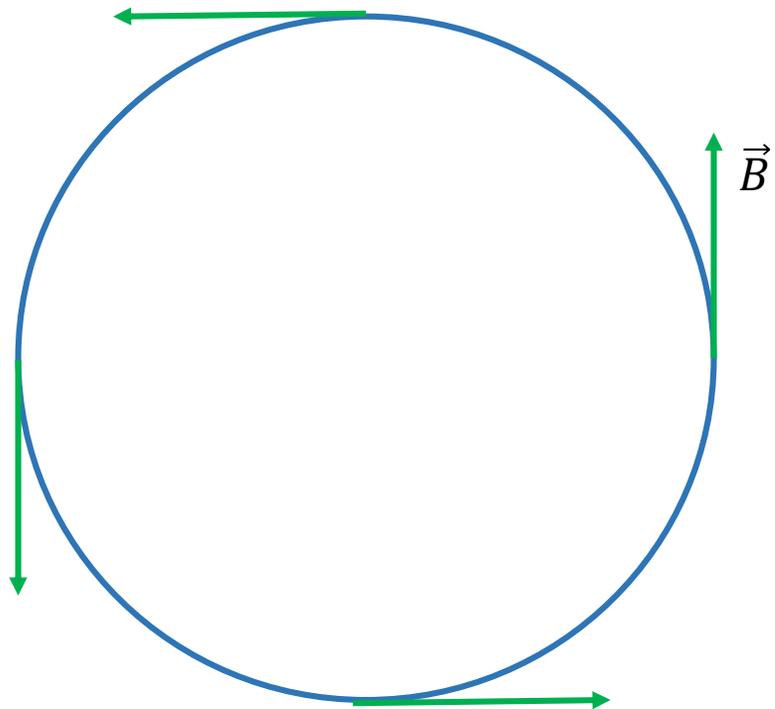
Коллимация



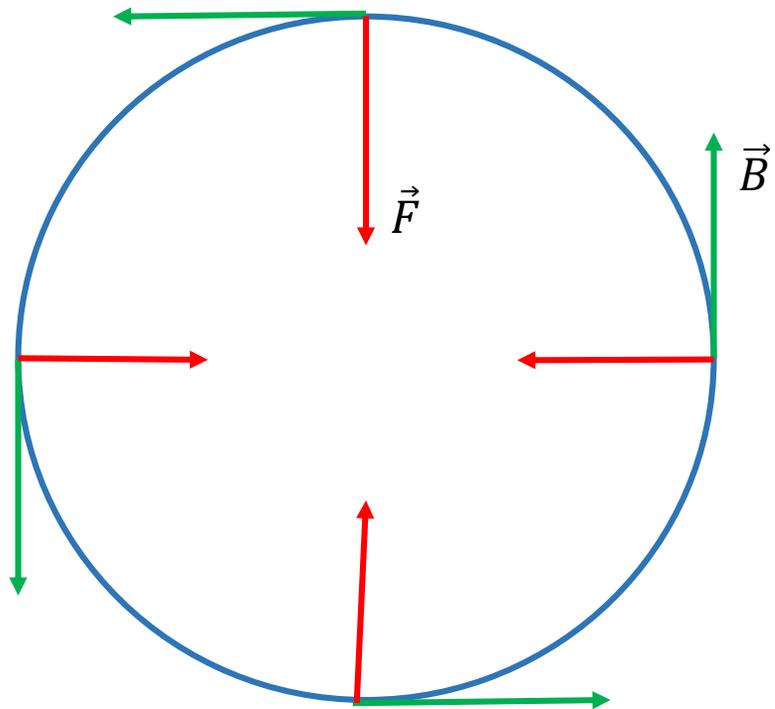
Cygnus A (NRAO)

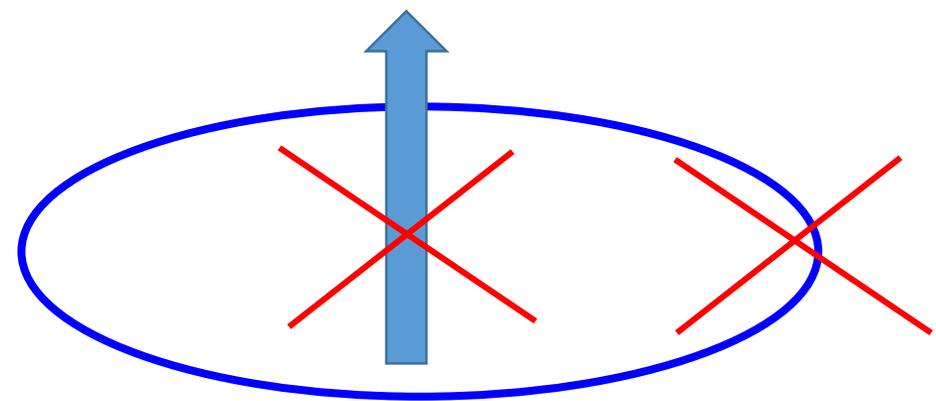
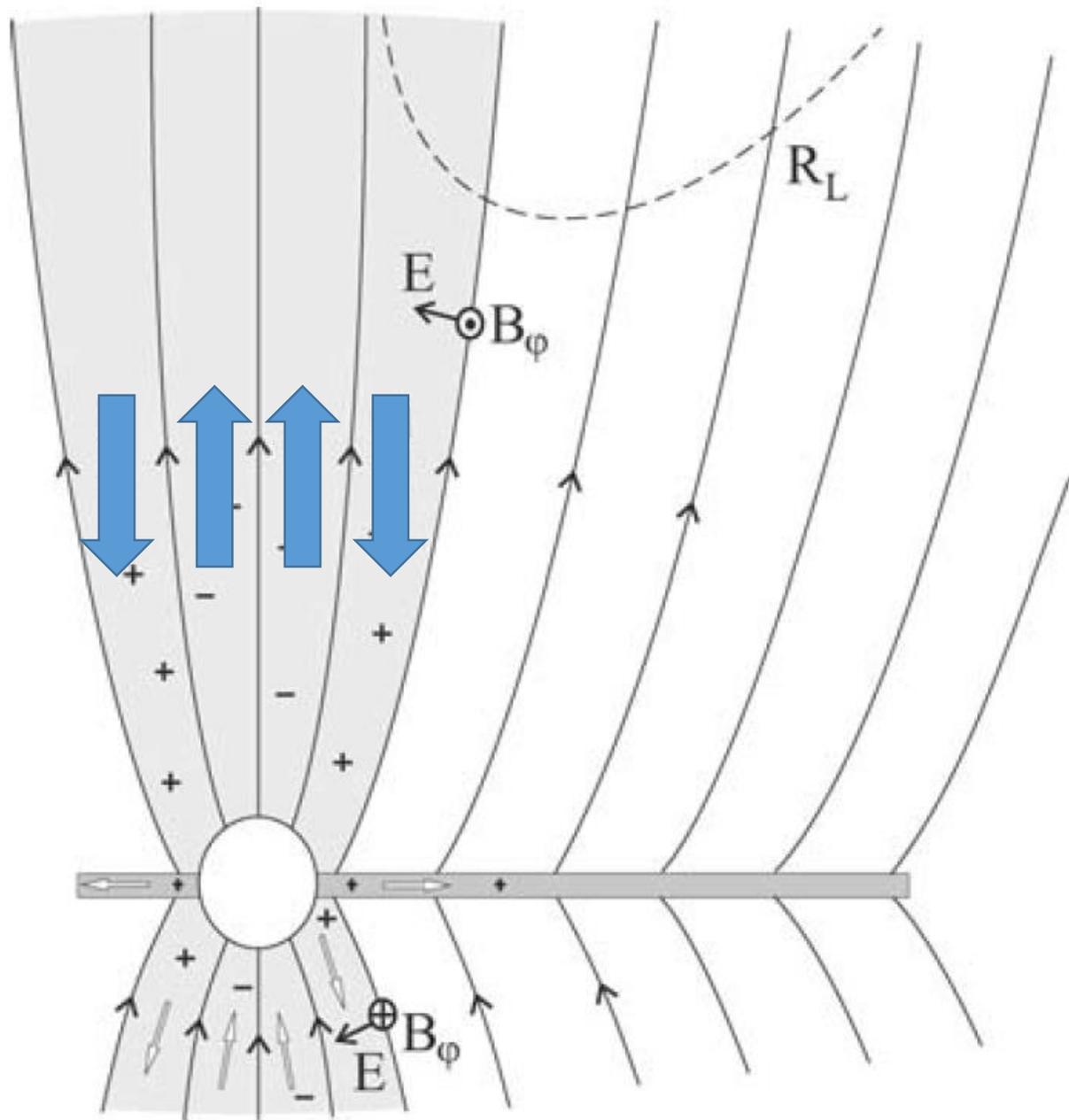


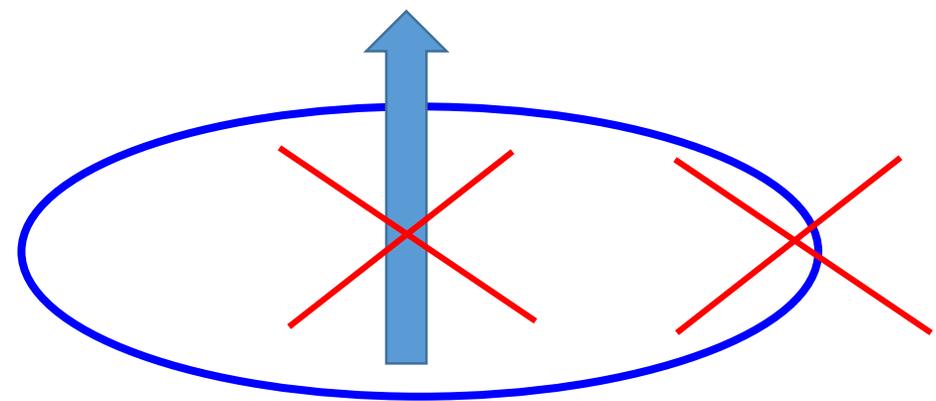
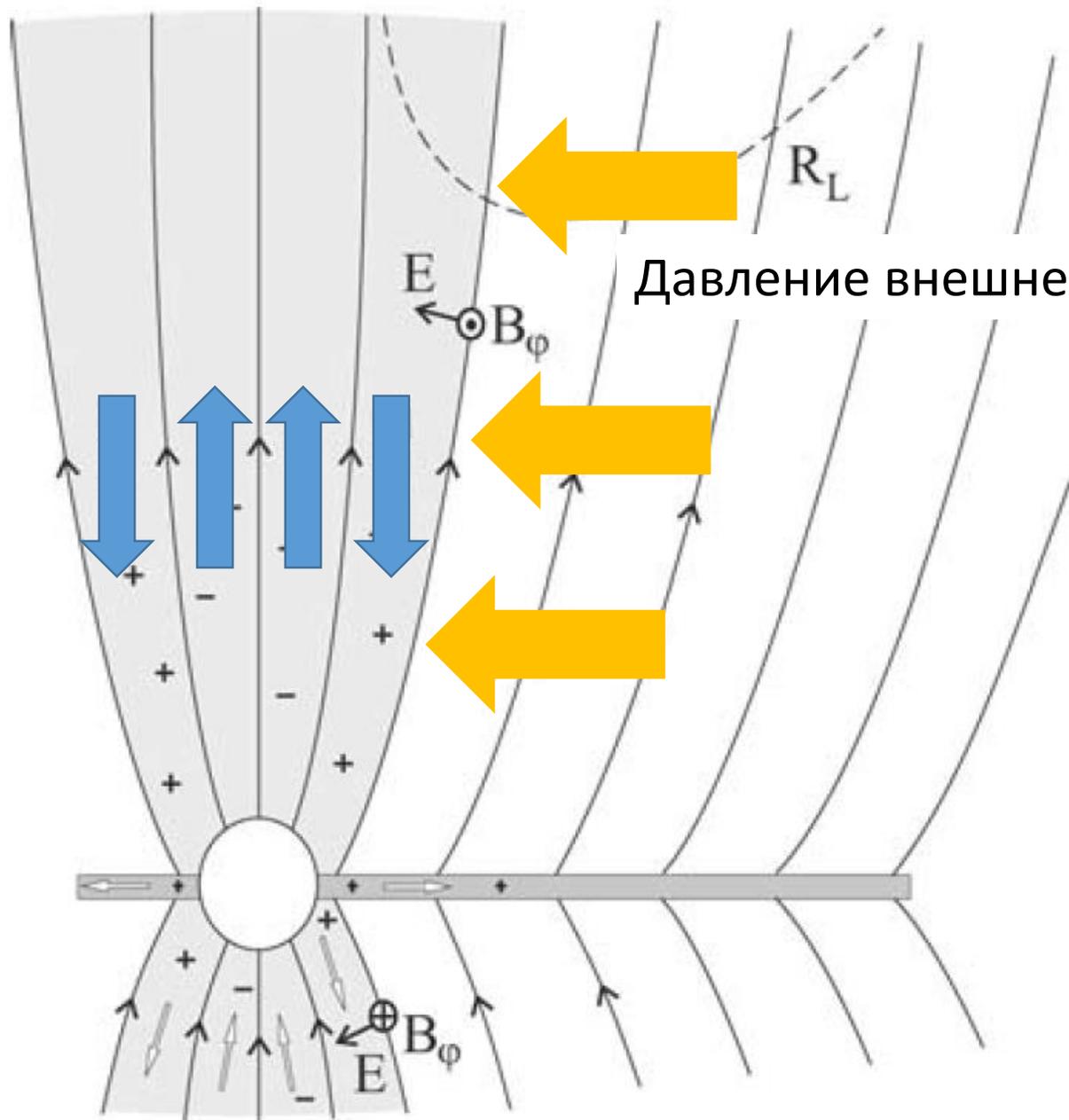
$$\frac{1}{4\pi} (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} - \frac{1}{8\pi} \vec{\nabla} (\vec{B})^2$$

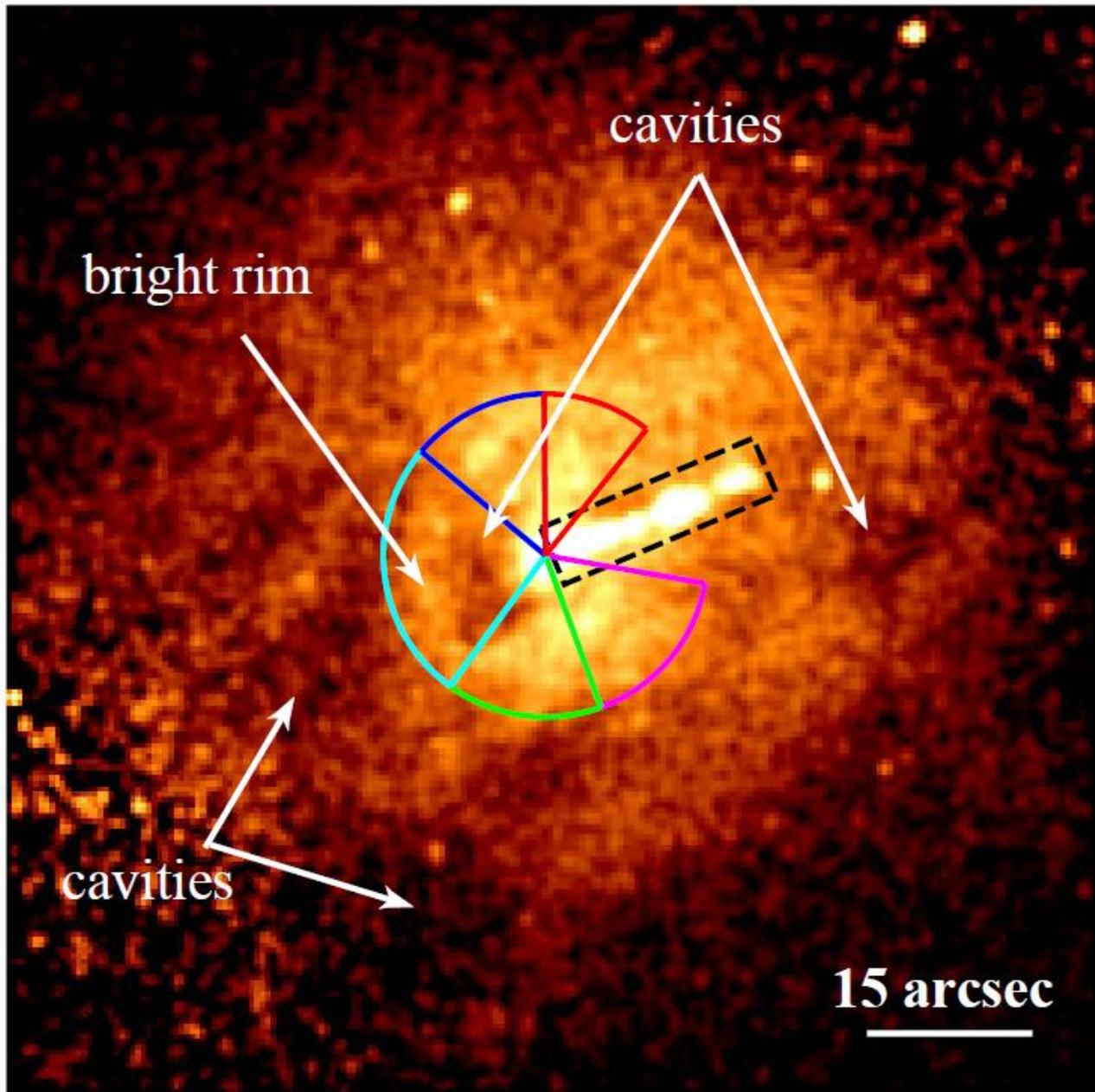


$$\frac{1}{4\pi} (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} - \frac{1}{8\pi} \vec{\nabla} (\vec{B})^2$$



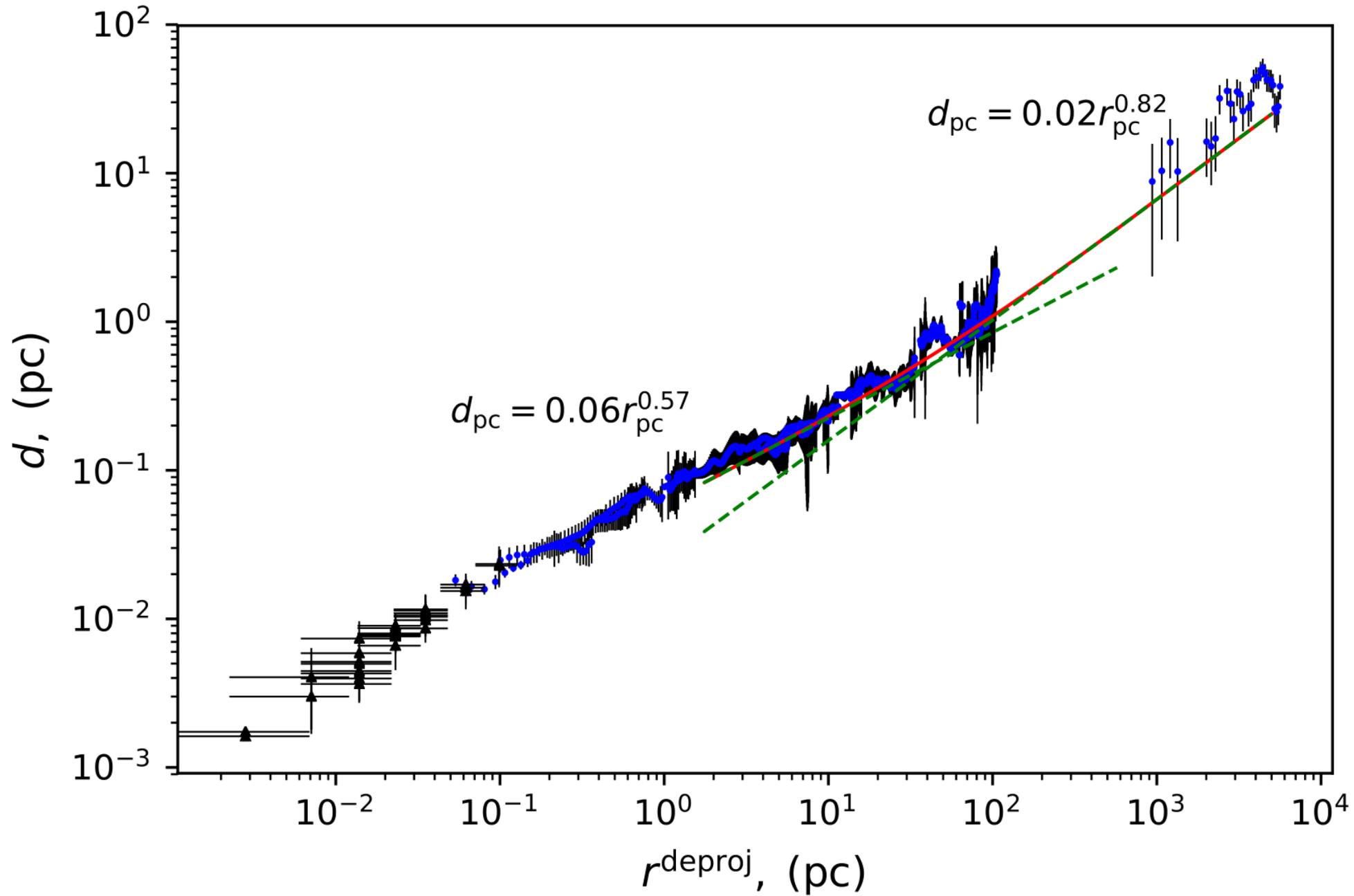






Surface brightness ($\text{counts s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{arcsec}^{-2}$)

Russell and Fabian, 2015 –
M87 environment



Как исследовать АЯГ?

