

# **Рентгеновские пульсары и их временной анализ**

Горизонты физики ИКИ РАН, 2023  
Мухин Андрей

# **Рентгеновское излучение в КОСМОСЕ**

**Историческая справка**

**Пульсары (одиночные)**

**Пульсары (в двойных системах)**

**Временной анализ**

**Чем мы займемся на практике?**

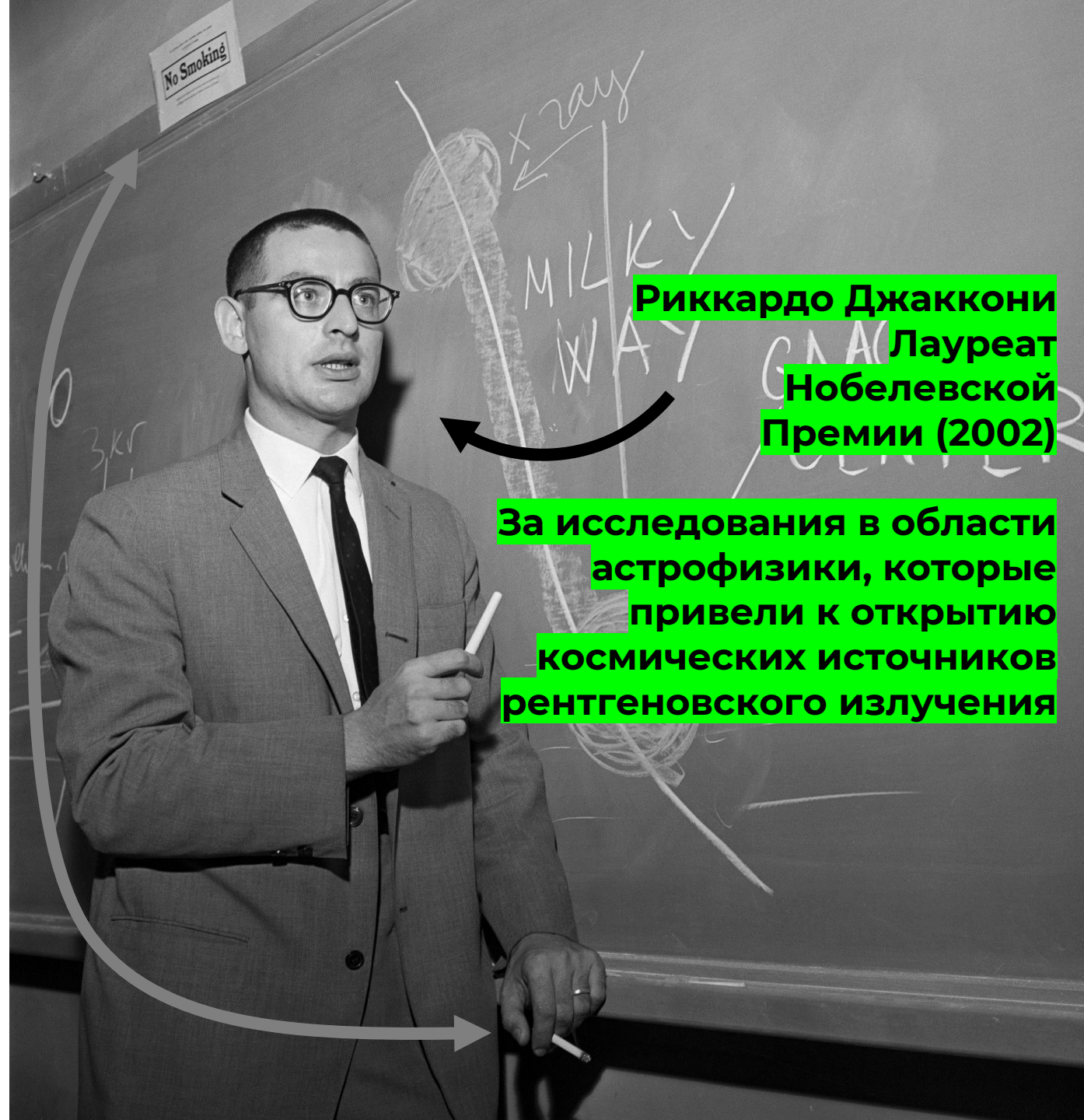
# Историческая справка

**Открыли рентгеновское излучение**  
Rontgen, W. (1896). On a New Kind of Rays. Nature.

*(череда открытий излучения Солнца)*

**Нашли рентгеновский источник вне Солнечной Системы (Sco X-1)**  
Giacconi, Riccardo et al. (1962). Evidence for x Rays From Sources Outside the Solar System

**Нашли первый рентгеновский пульсар (Cen X-3)**  
Giacconi, R. et al. (1971). Discovery of Periodic X-Ray Pulsations in Centaurus X-3 from UHURU



**Риккардо Джаккони**  
**Лауреат**  
**Нобелевской**  
**Премии (2002)**

**За исследования в области**  
**астрофизики, которые**  
**привели к открытию**  
**космических источников**  
**рентгеновского излучения**

**Почему так долго?**

# Почему так долго?



Credits to NASA educational programm

Нужна высота больше 80 км

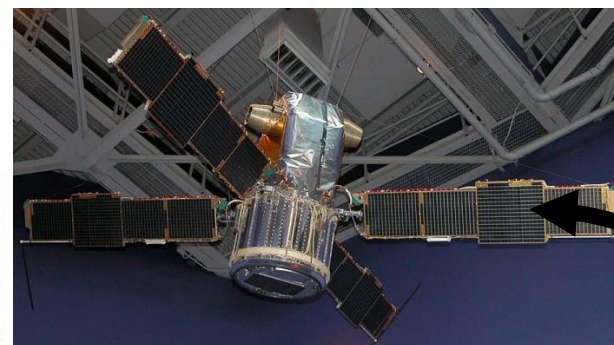
Сначала

Метеорологические ракеты

Серия Aerobee



UHURU satellite



Потом

Орбитальные спутники



# Дальше только круче



Спектр-РГ,  
самый  
чувствительный обзор  
всего неба



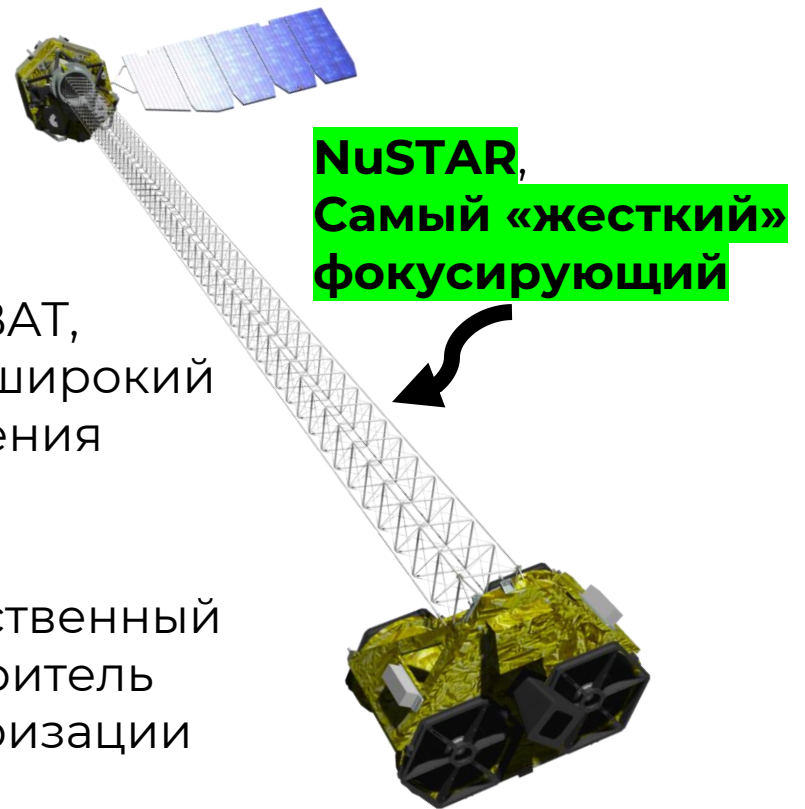
NICER,  
лучшее временное  
разрешение



SWIFT-BAT,  
Самый широкий  
угол зрения



IXPE,  
единственный  
измеритель  
поляризации



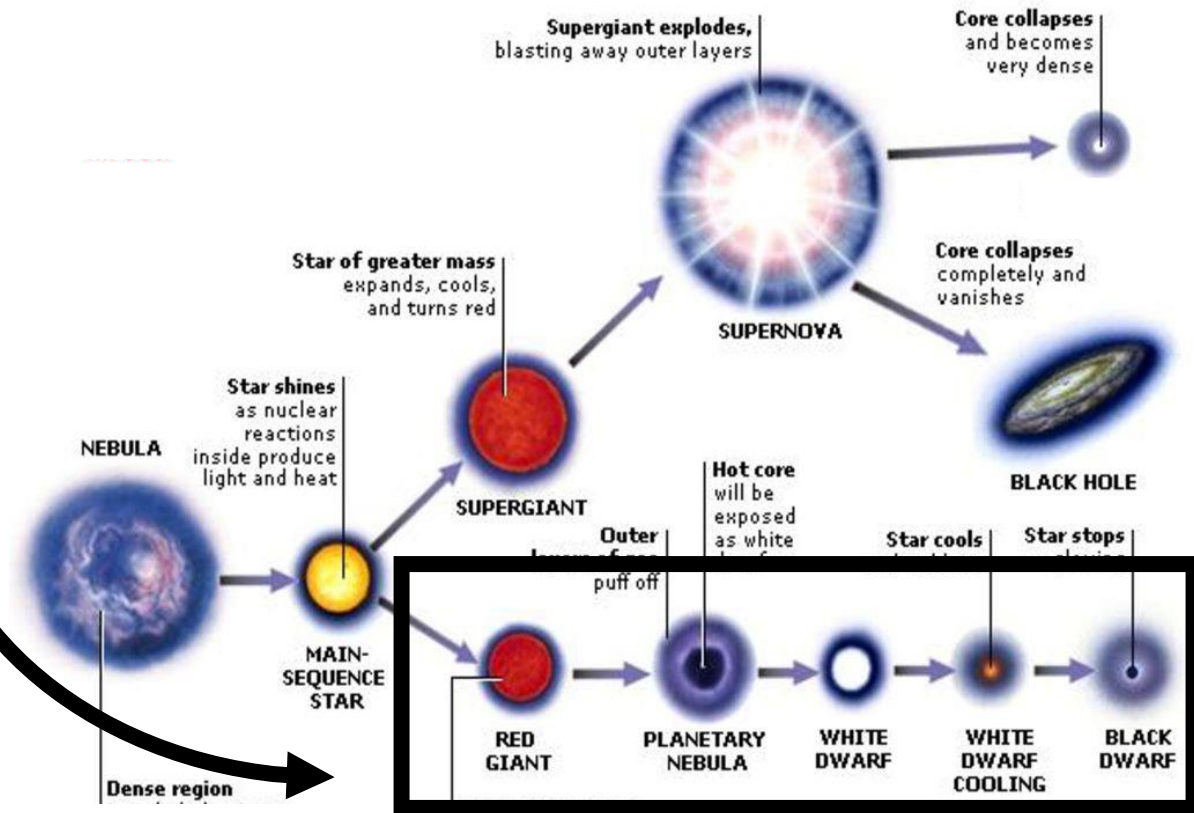
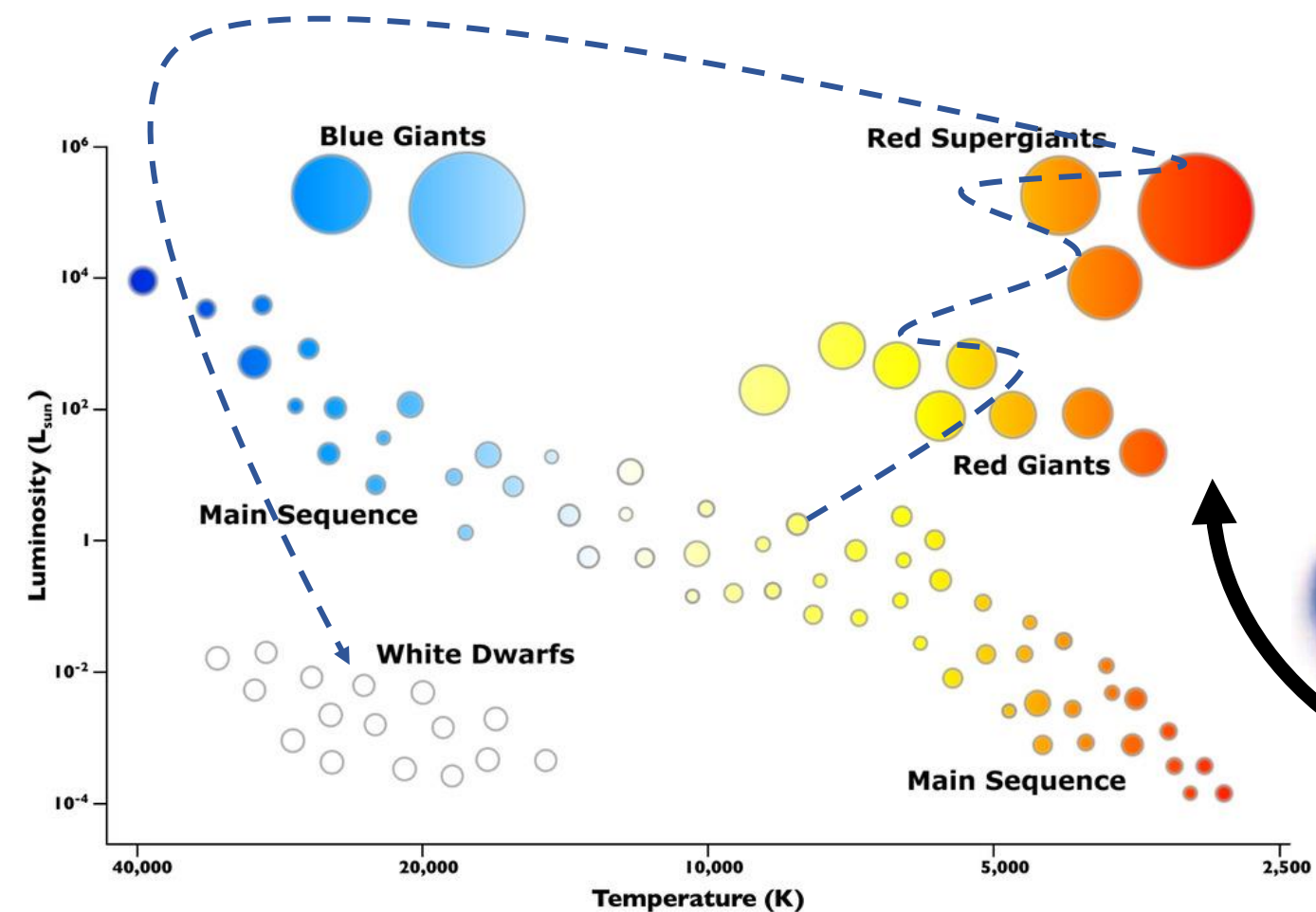
**NuSTAR,  
Самый «жесткий»  
фокусирующий**



Chandra, лучшее угловое разрешение

# Эволюция звёзд

Нейтронные  
звезды

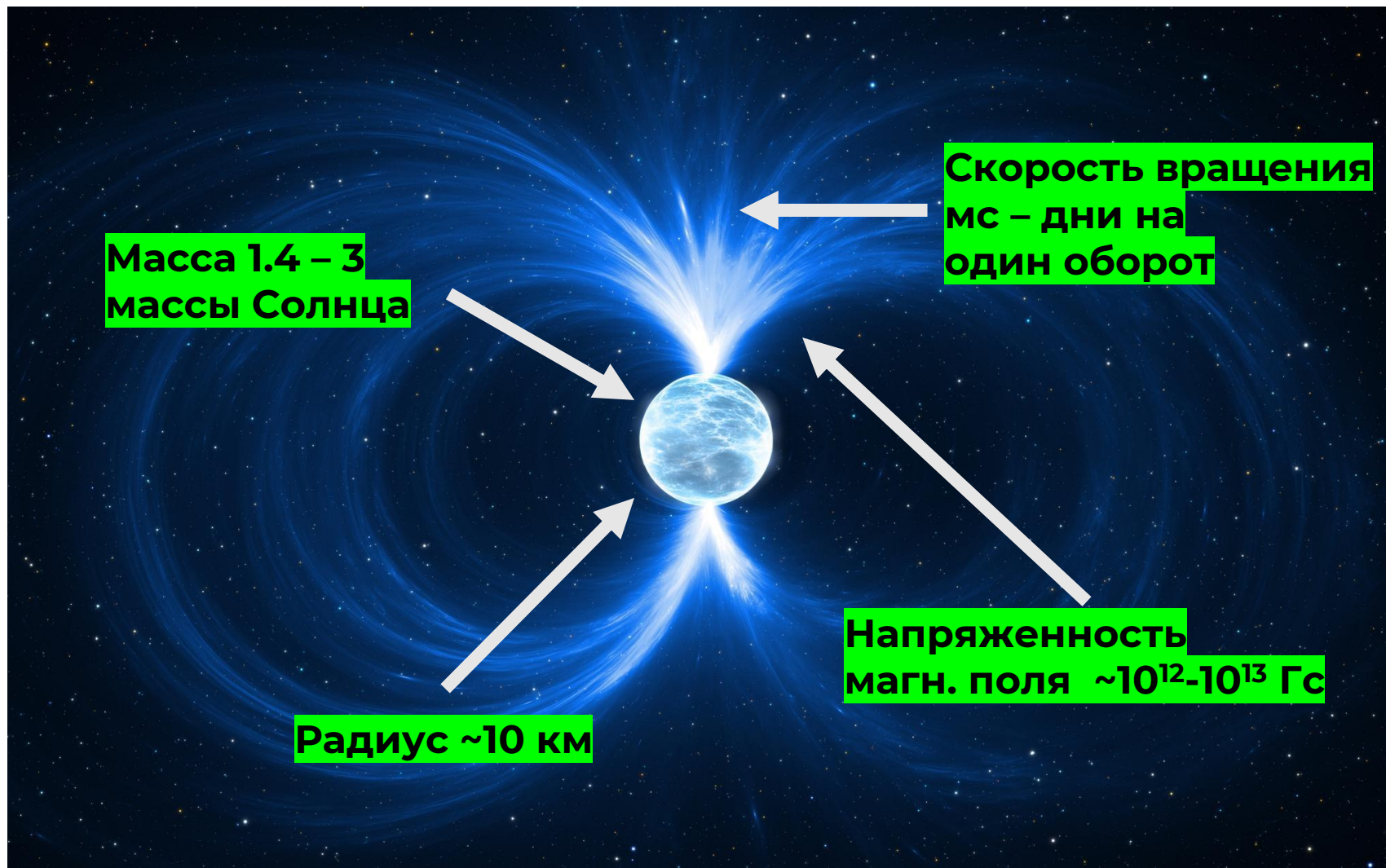




# Нейтронные звезды

Экстремальный  
объект:

Что такого  
экстремального?





# Магнитное поле

## Напряженность магнитного поля:

Земли	0,5 Гс
Магнит на холодильнике	50 Гс
Звезд	10 – 1000 Гс
Для левитации лягушки	$10^5$ Гс
Сильнейшее в лаборатории	$10^6$ Гс
<b>Нейтронной звезды</b>	<b><math>10^{12}</math>-<math>10^{13}</math> Гс</b>

# Размеры

## Радиус объекта:

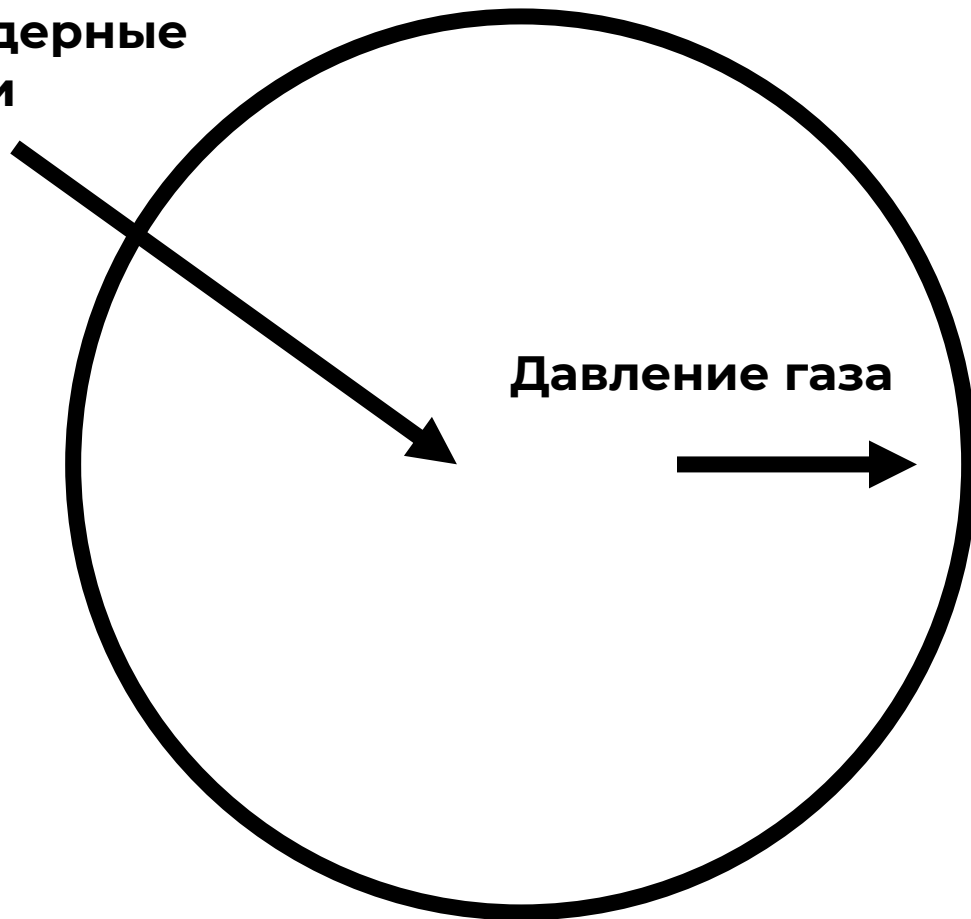
Солнца	696 340 км
Белого карлика	7000 км
Земли	6371 км
Радиус МКАД	19 км
Нейтронной звезды	10 км

**Откуда такая экстремальность?**



# Экстремальность: **размер**

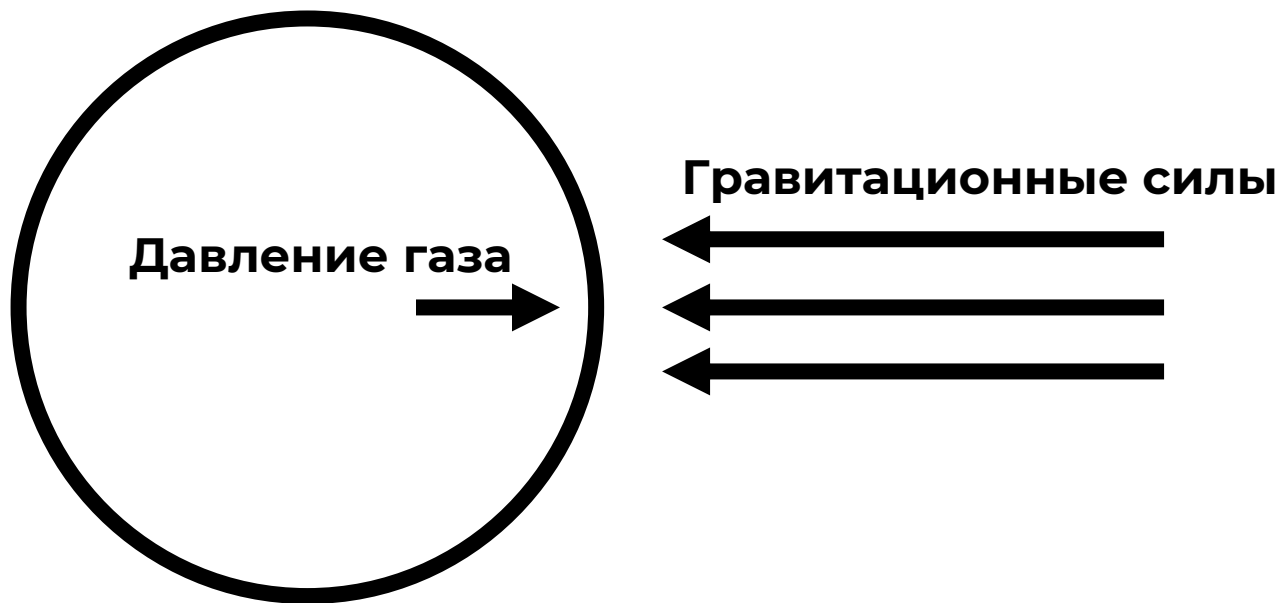
Термоядерные  
реакции



Гравитационные силы

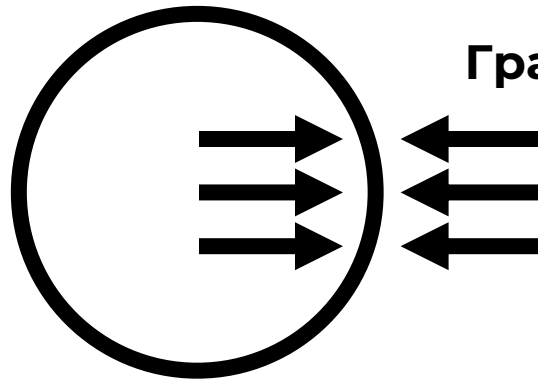
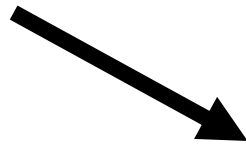


# Экстремальность: **размер**



# Экстремальность: **размер**

**Вырождение  
нейтронов**



Гравитационные силы



# Экстремальность: **все остальное**

Законы сохранения

магнитного момента

$$\sim BR^2 = \text{const}$$

момента импульса

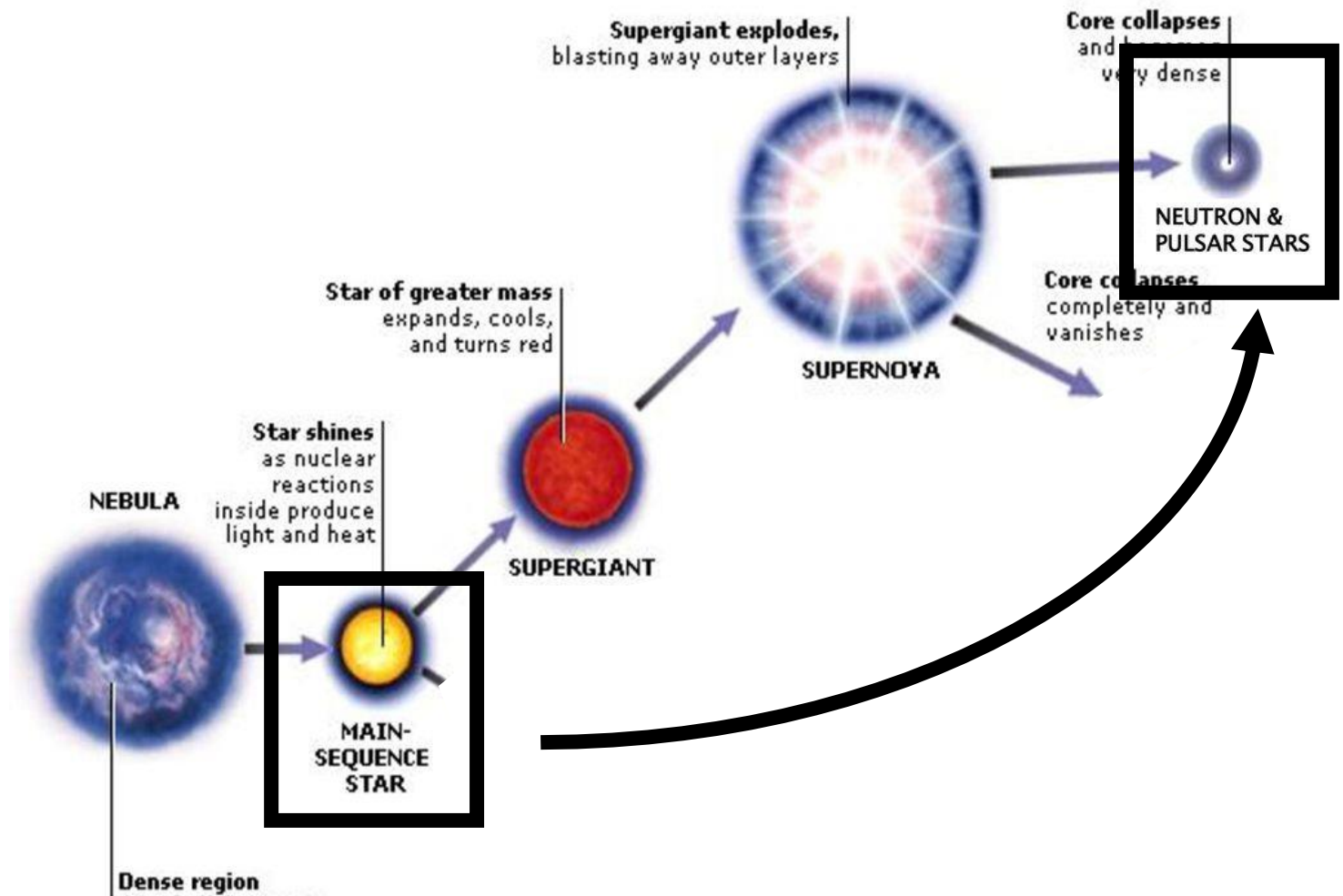
$$M\omega R^2 = \text{const}$$

Из звезды (Солнца)

**1 000 000 км**

В объект радиусом

**10 км**

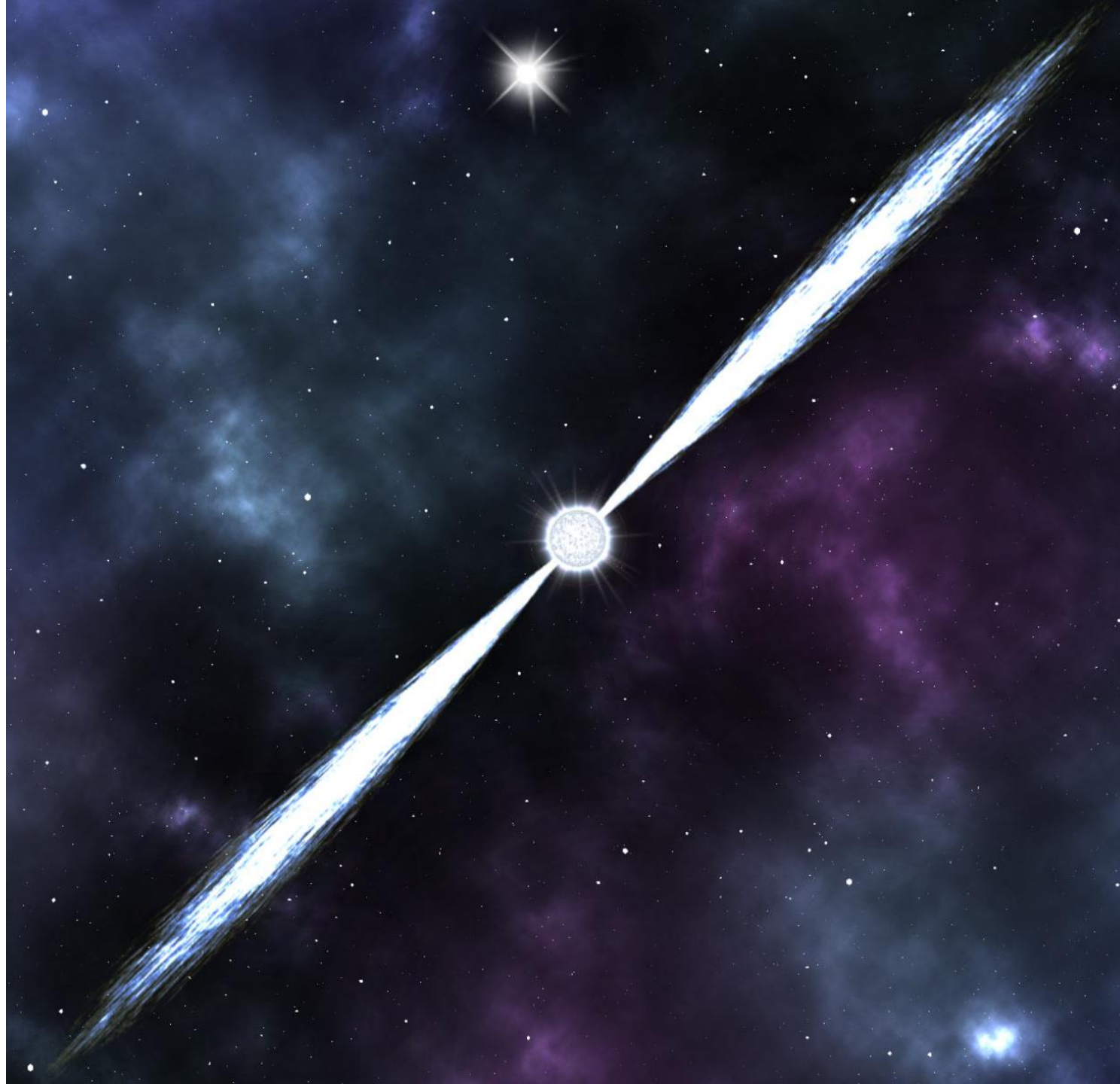


# Пульсары (одиночные)

Периодическое  
излучение  
в **радио-диапазоне**

## Как это работает?

Пульсар вращается  
**вокруг оси**  
**вращения**  
излучение идет  
**вдоль магнитной**  
**оси**

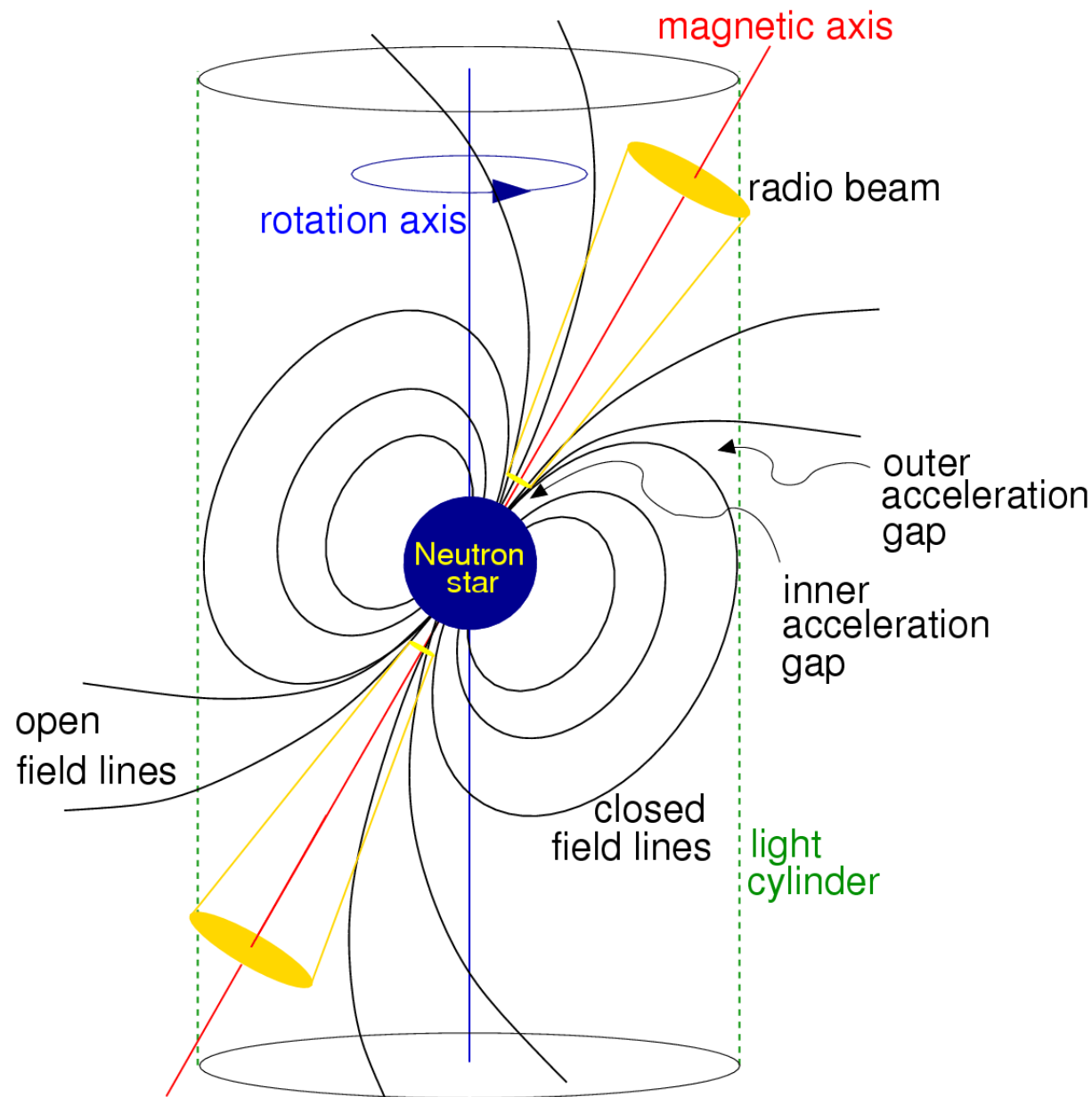


# Пульсары (одиночные)

Откуда излучение?

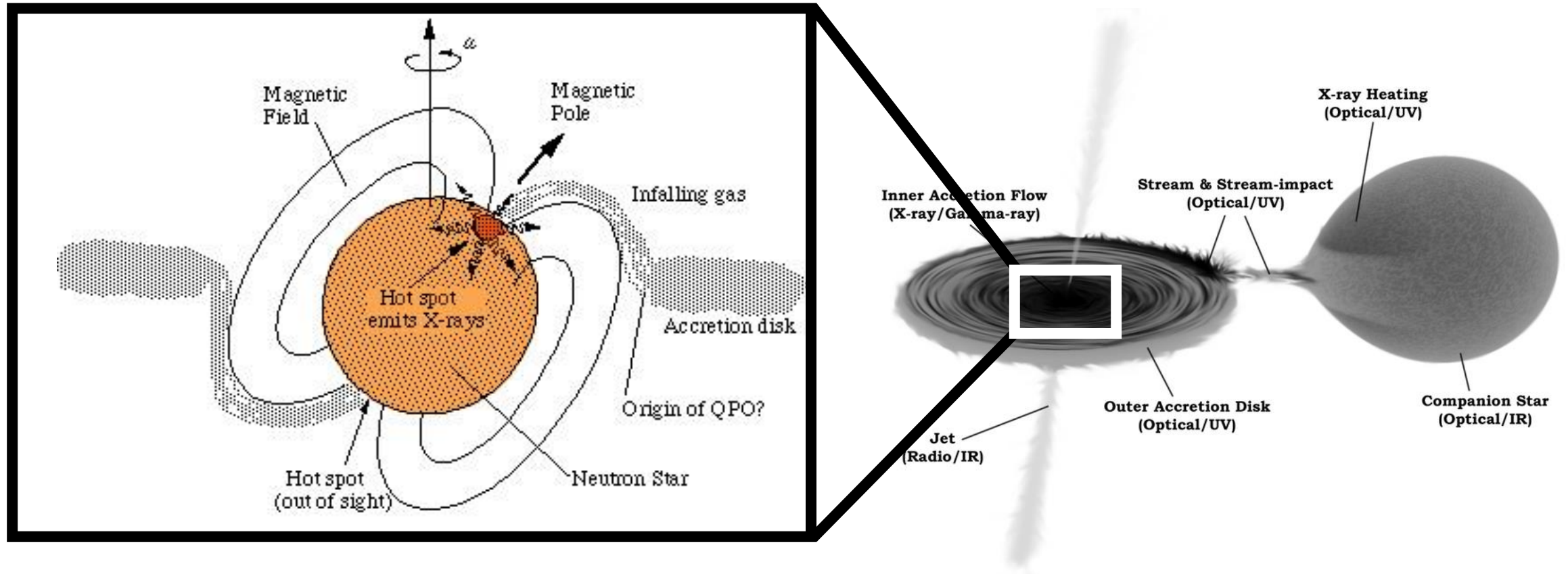
**Магнитное поле теряет энергию**, ускоряя частицы до релятивистских скоростей

**Частицы теряют энергию**, излучая в радиодиапазоне





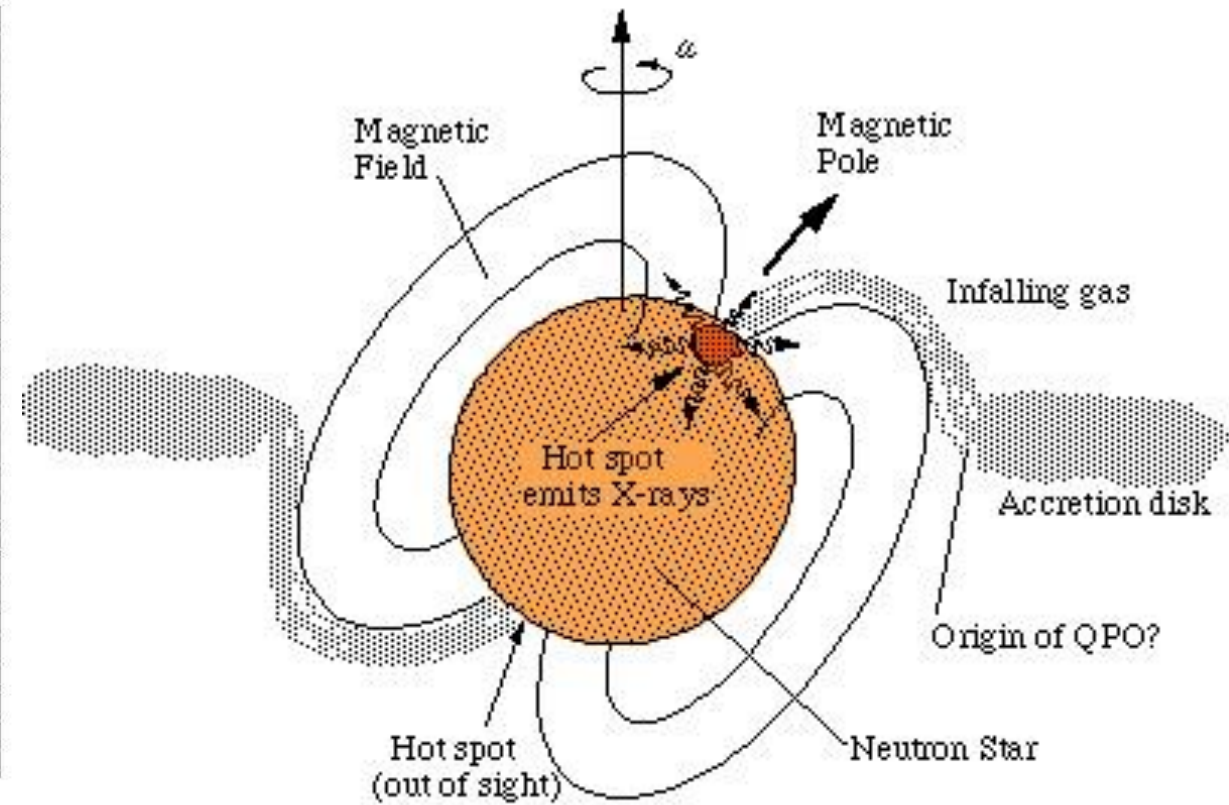
# Пульсары (в двойных системах)



# Пульсары (в двойных системах)



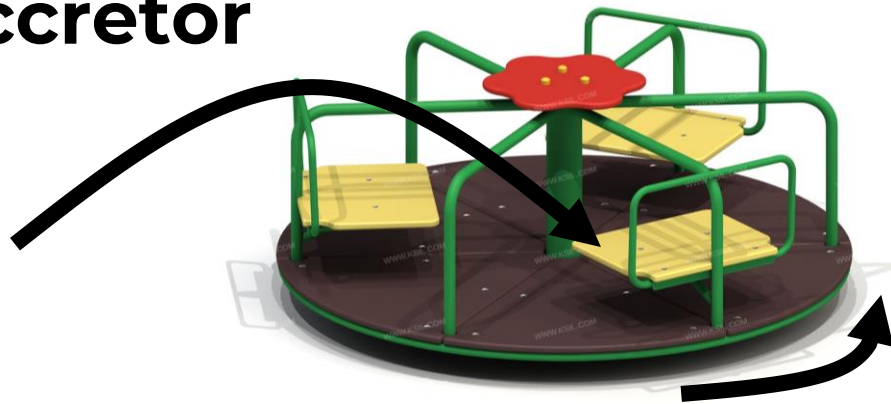
<https://www.eso.org/public/images/eso9948i/>



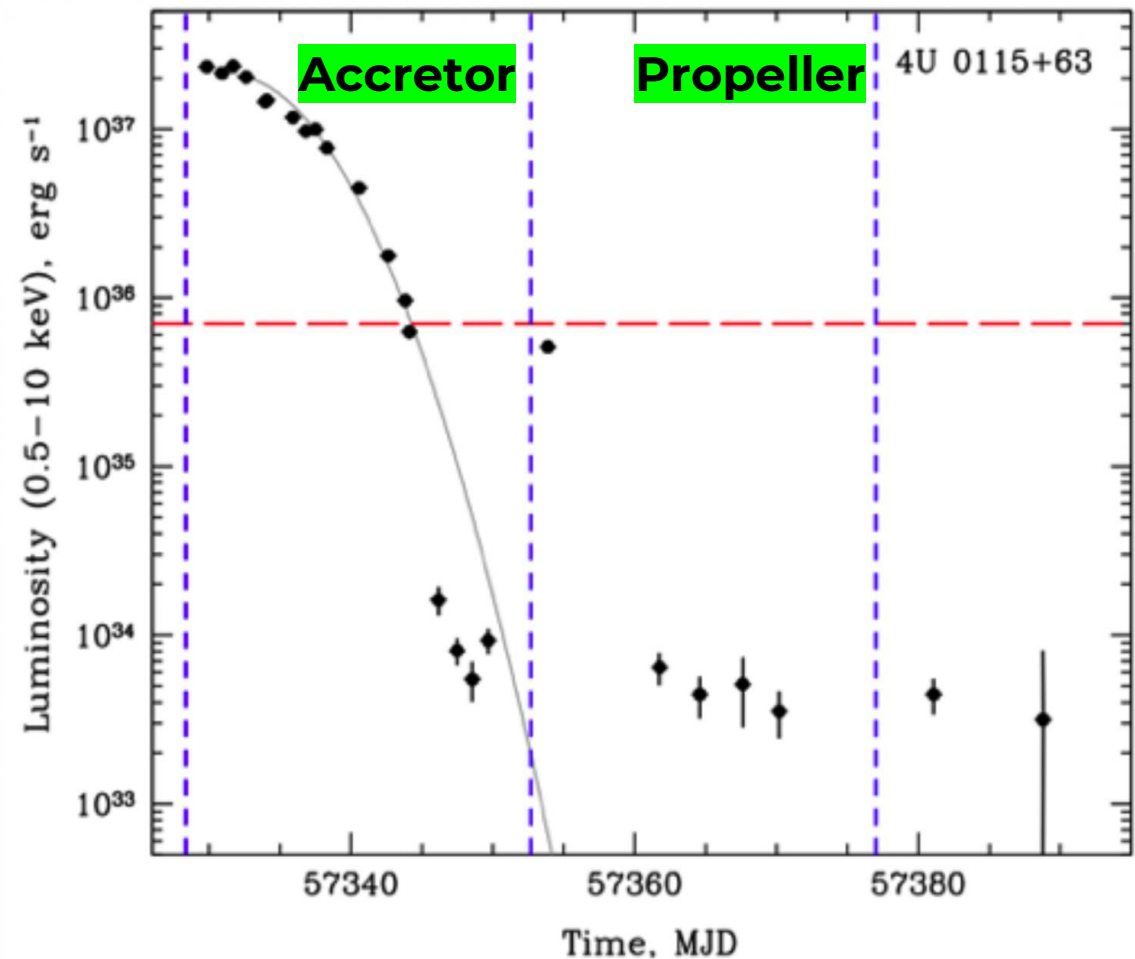
# Пульсары (в двойных системах)

Два режима:

**Accretor**



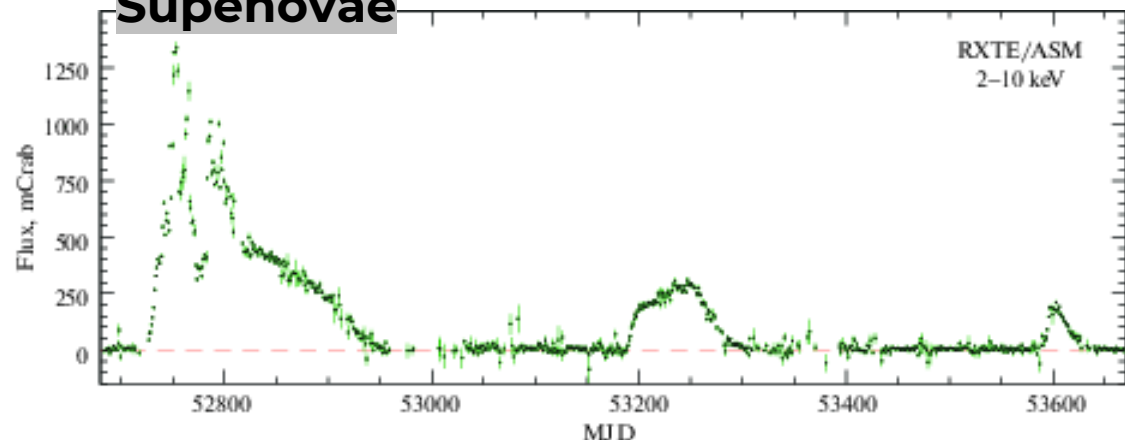
**Propeller**



Propeller effect in two brightest transient X-ray pulsars:  
4U 0115+63 and V 0332+53  
S. S. Tsygankov et al.

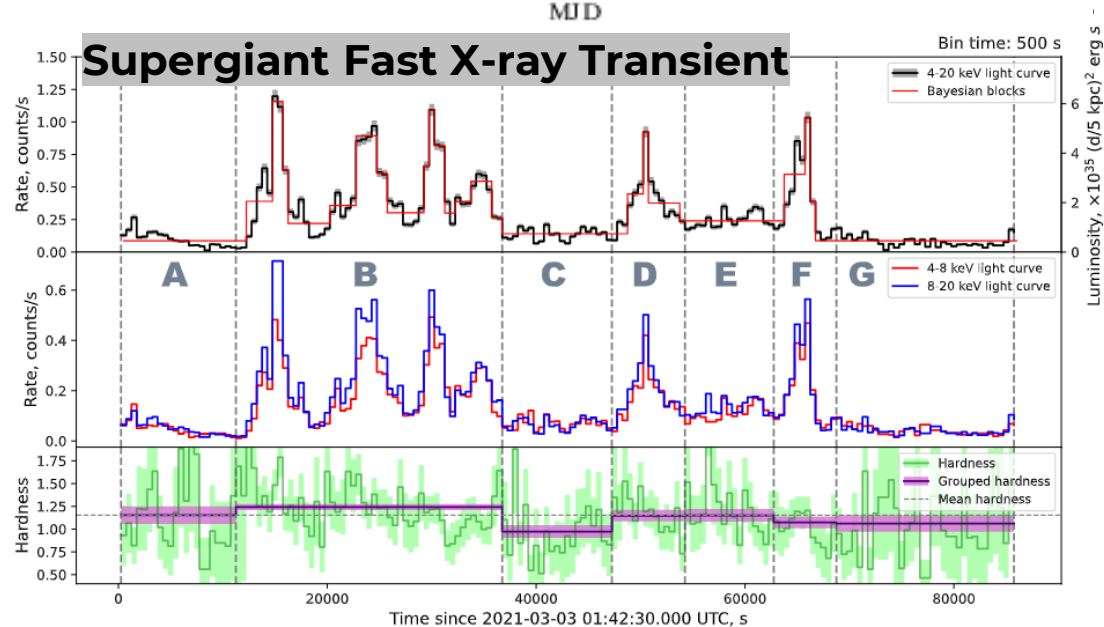
# Временной анализ Как выглядят данные?

Supernovae



[Ссылка](#)

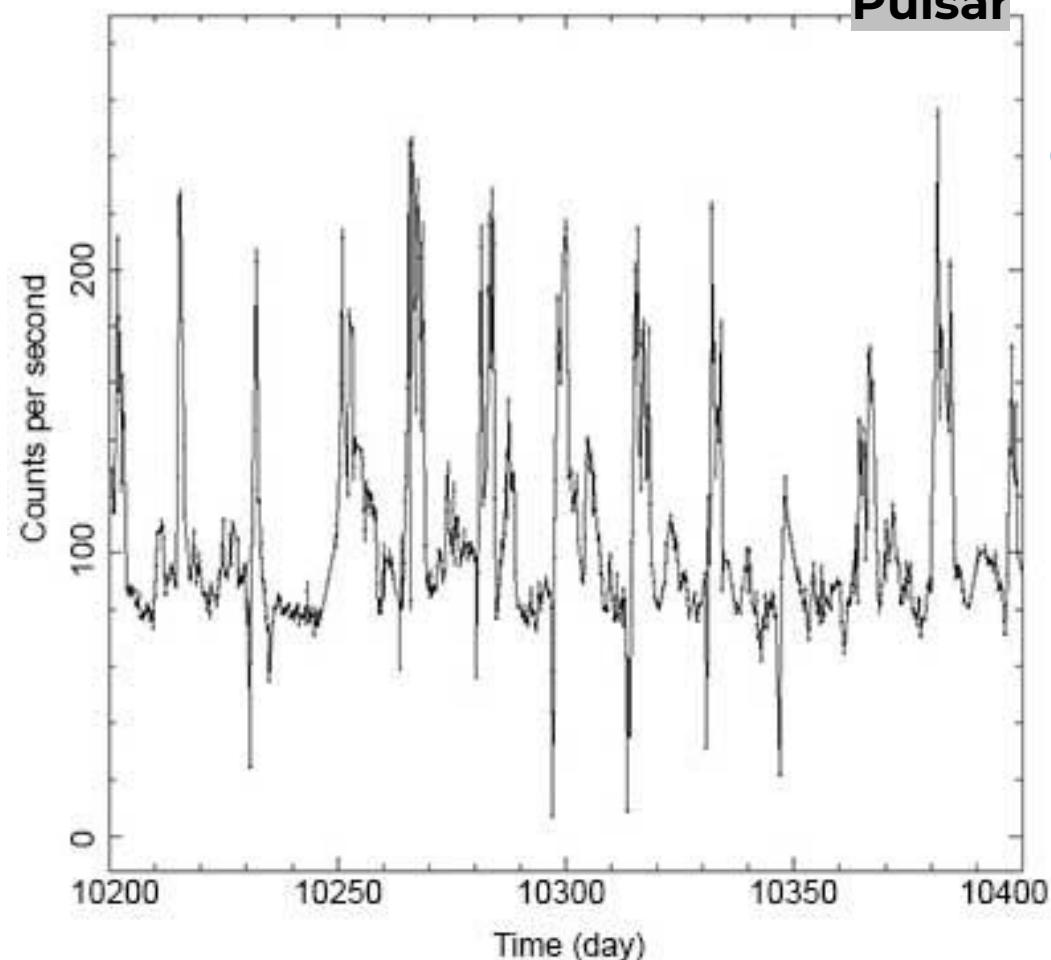
Supergiant Fast X-ray Transient



[Ссылка](#)

Кривые блеска

Pulsar

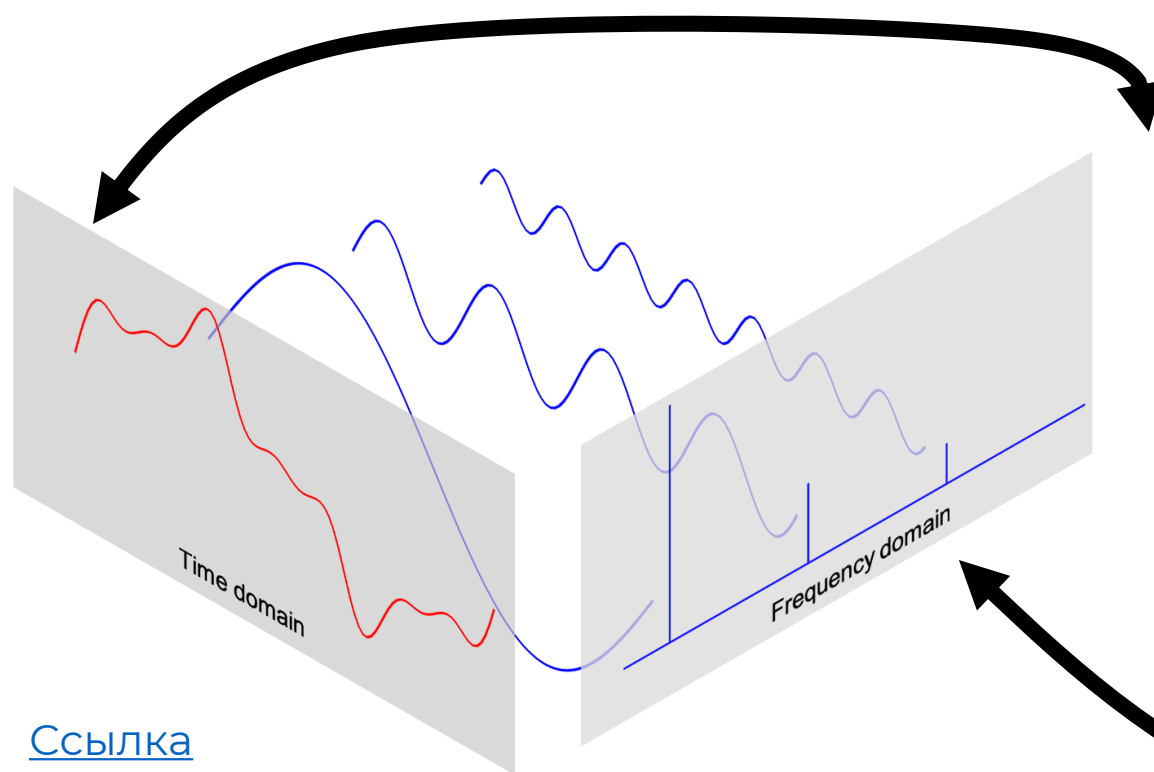


[Ссылка](#)

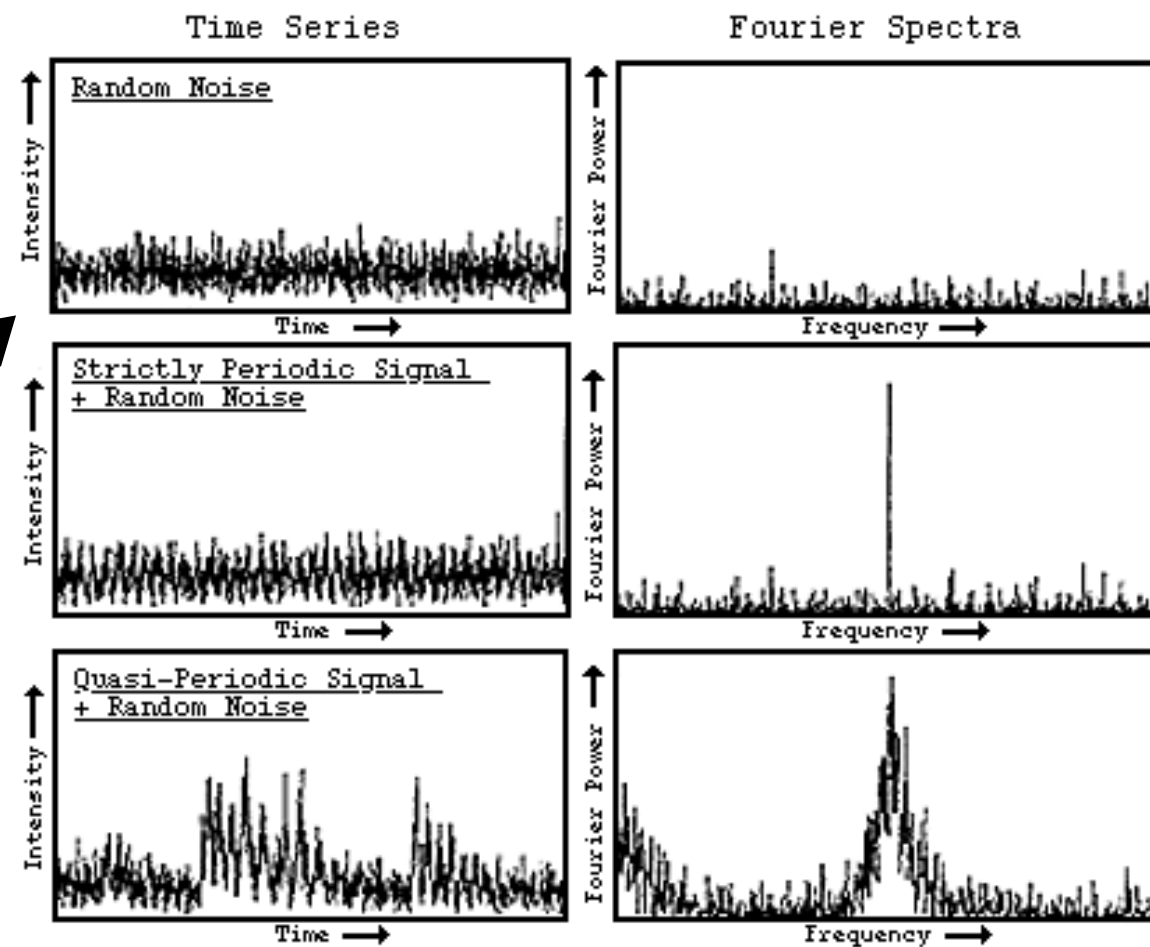
# Временной анализ

[Ссылка](#)

Основные виды:  
Фурье-трансформация



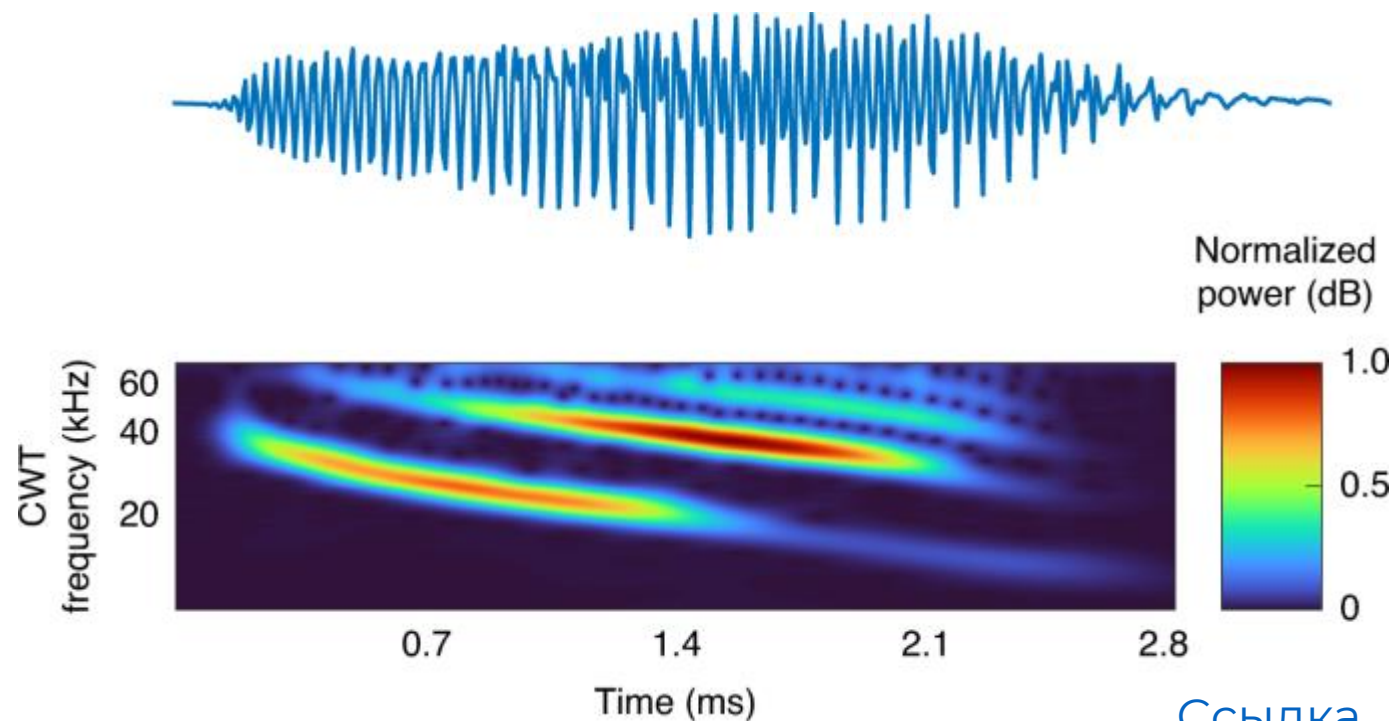
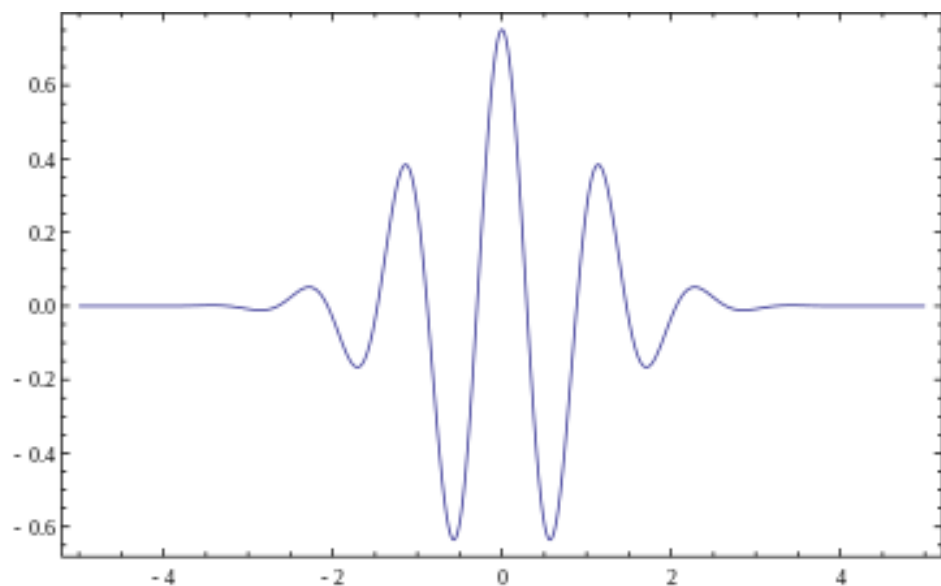
[Ссылка](#)





# Временной анализ

## Основные виды: Вейвлет анализ

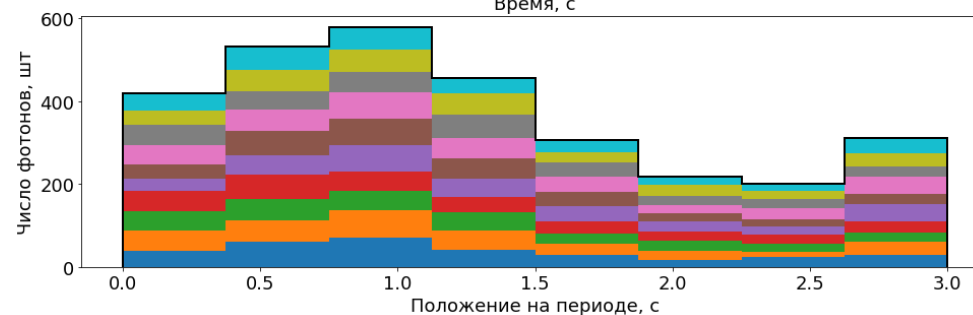
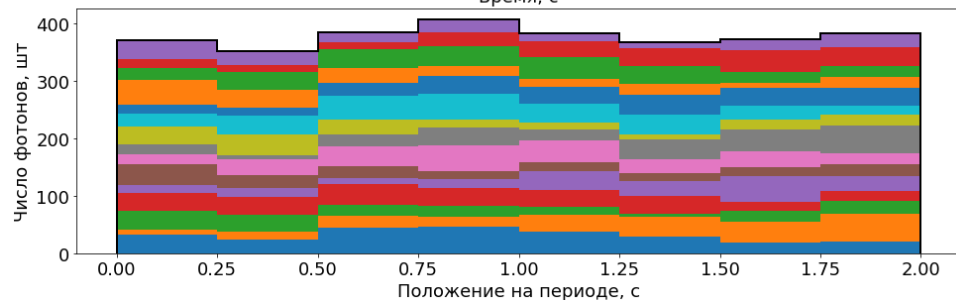
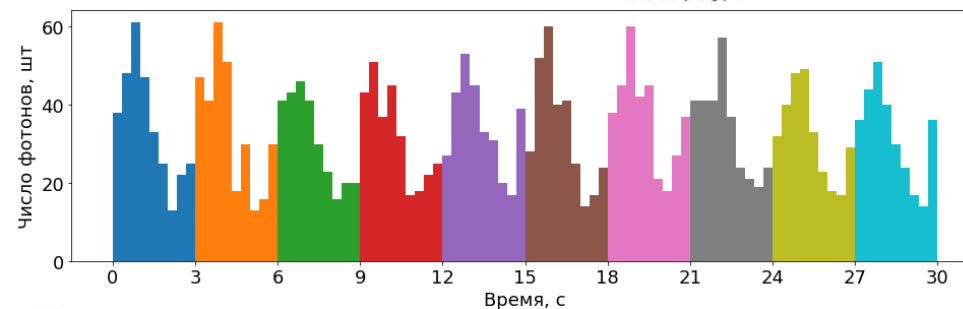
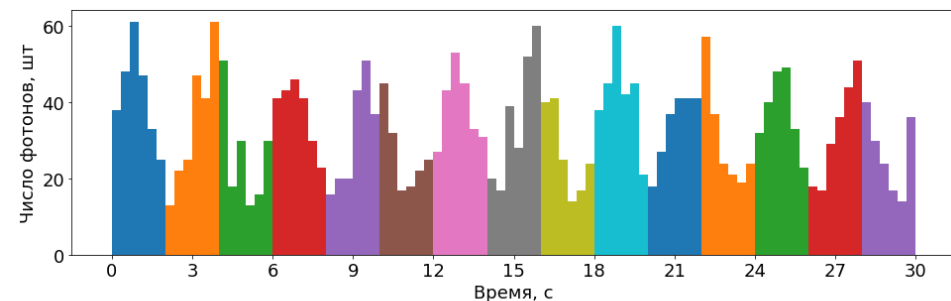
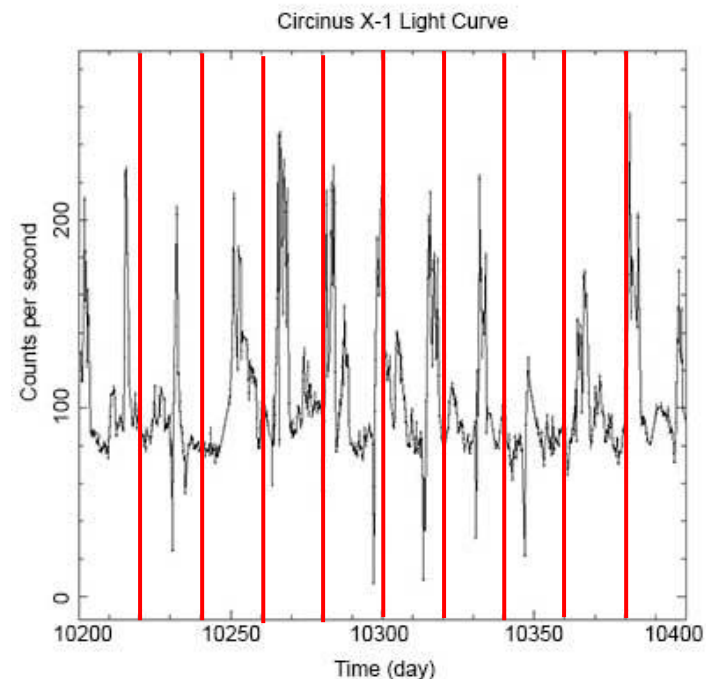


[Ссылка](#)

# Временной анализ

Основные виды:

Наложение эпох  
(Epoch folding)



# Чем мы займемся на практике?

На искусственных данных научимся использовать **Epoch folding**:

- Что такое гистограммы
- Что такое хи-квадрат
- Как это написать в коде

Возьмем настоящие данные **рентгеновского пульсара Cen X-3** и найдем в них **его период**

- Какой период детектируется у этого объекта
- Как определить истинный период в данных

**Спасибо за внимание**