

РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ И ИХ ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ

Горизонты физики ИКИ РАН, 2024

отдел Астрофизики высоких энергий

Мухин Андрей

Рентгеновское излучение в космосе

Историческая справка

Пульсары (одиночные)

Пульсары (в двойных системах)

Временной анализ

Чем мы займемся на практике?

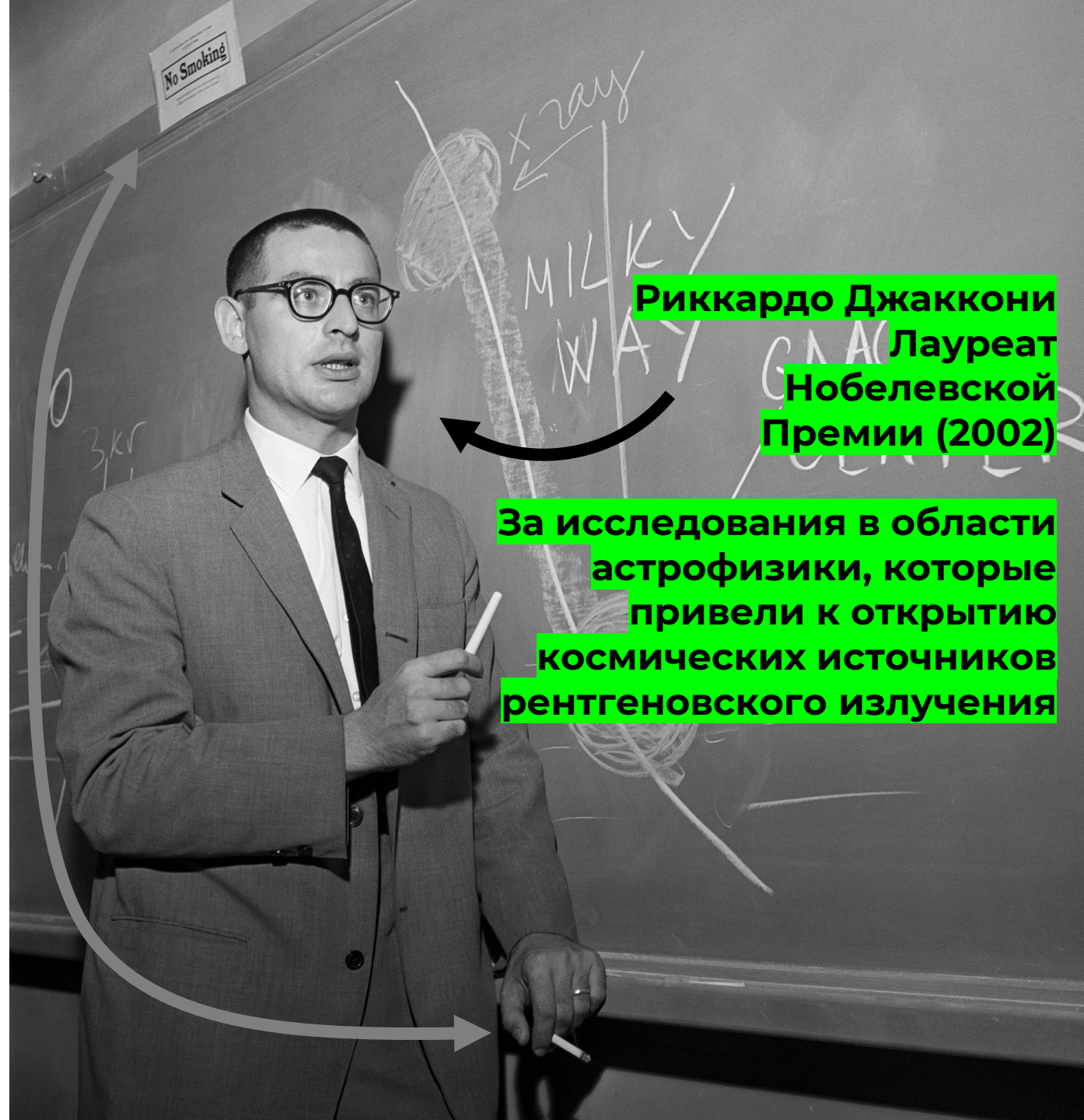
Историческая справка

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

(чередa 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



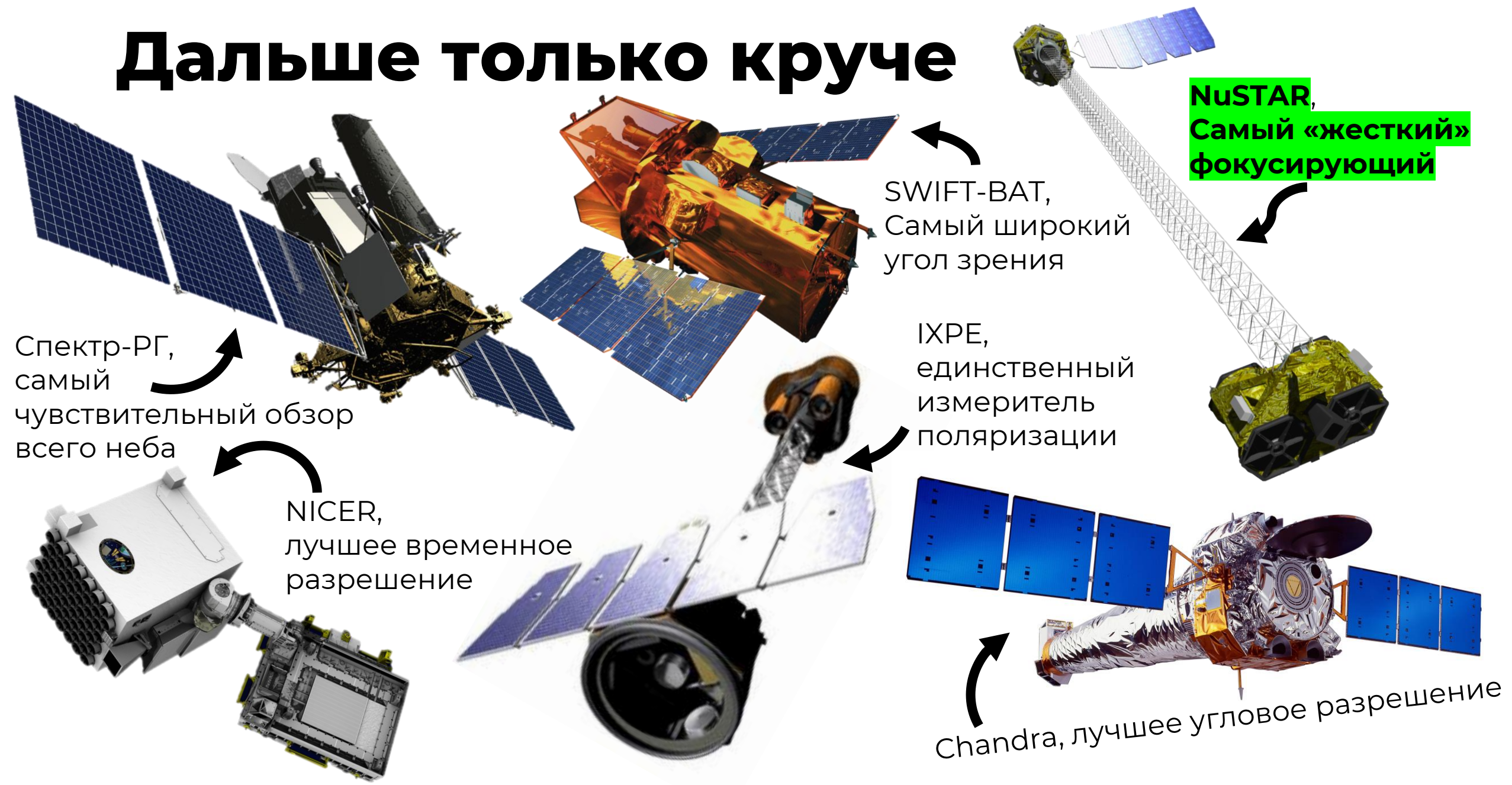
UHURU satellite



Потом

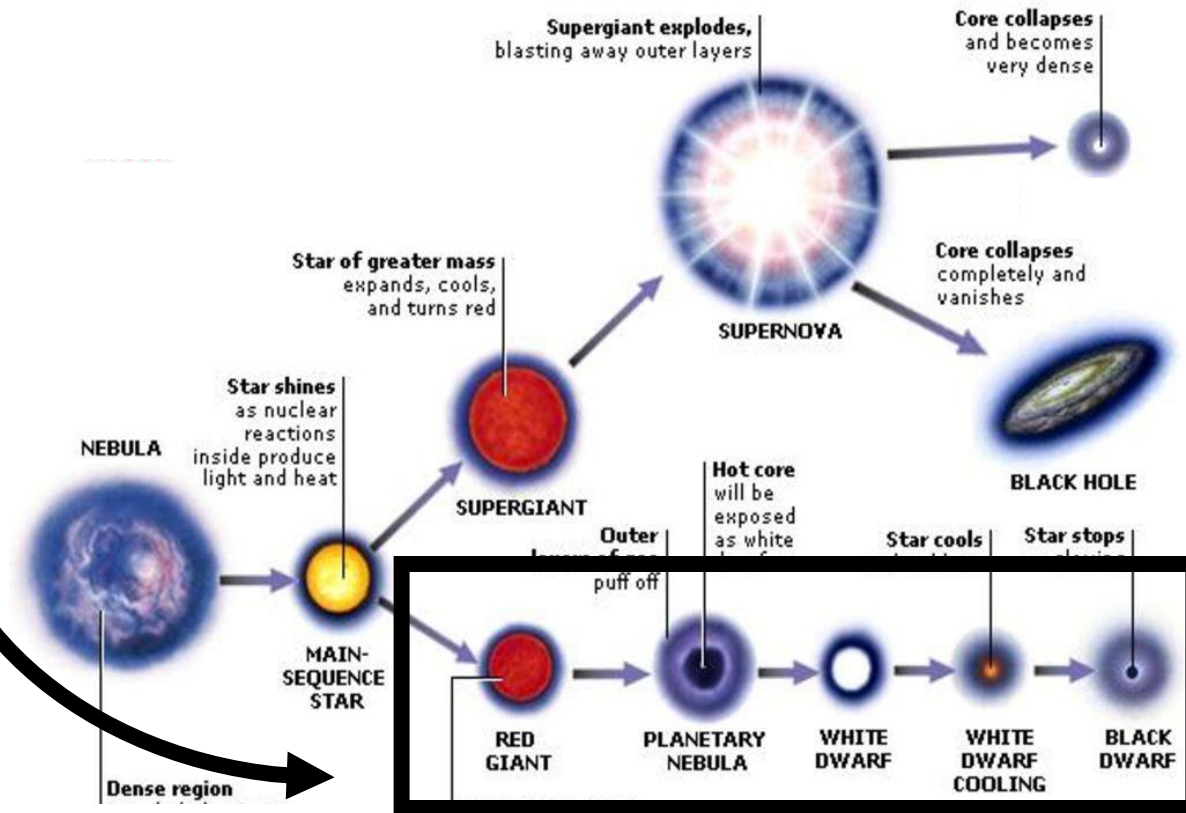
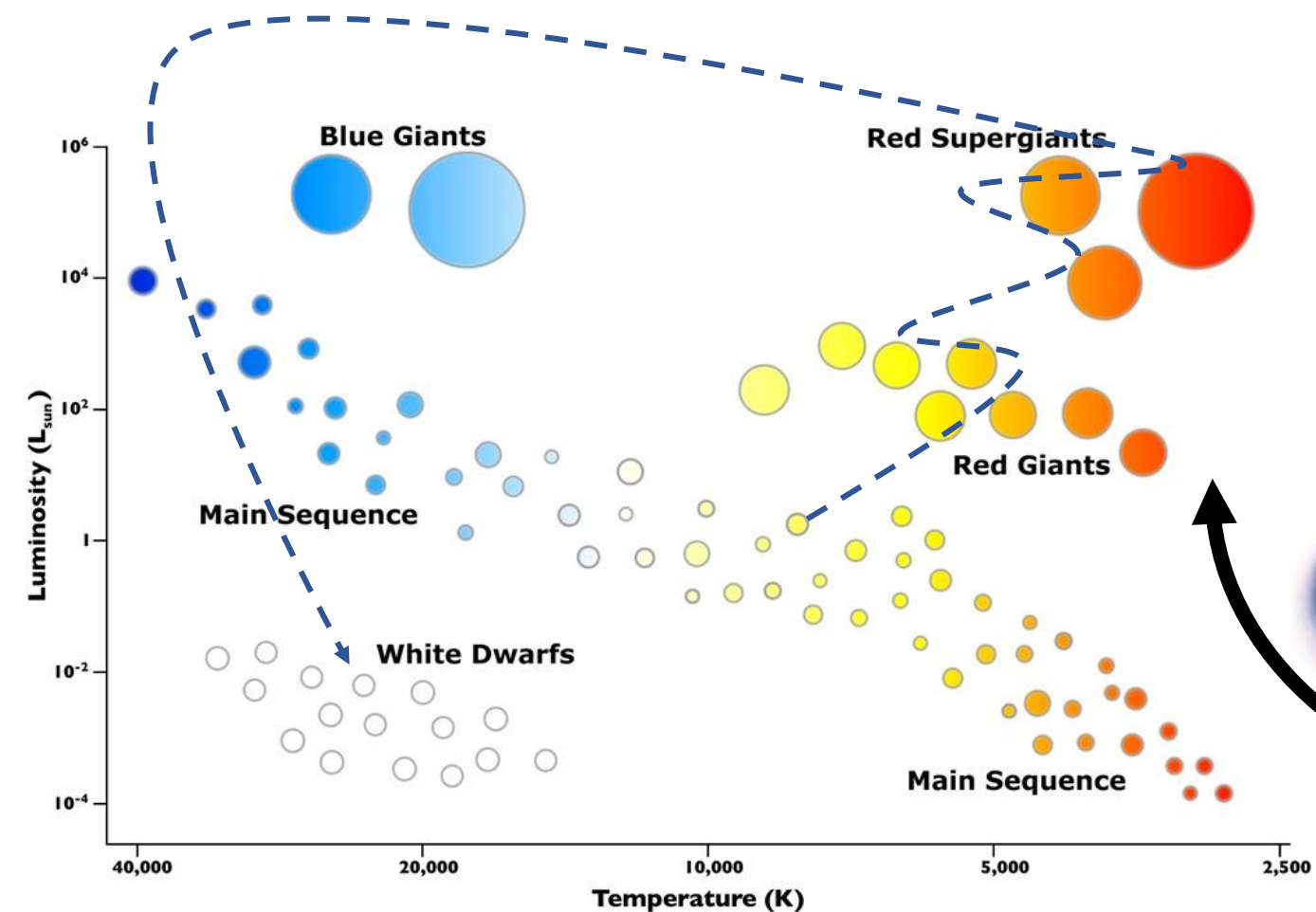
Орбитальные спутники

Дальше только круче



Эволюция звёзд

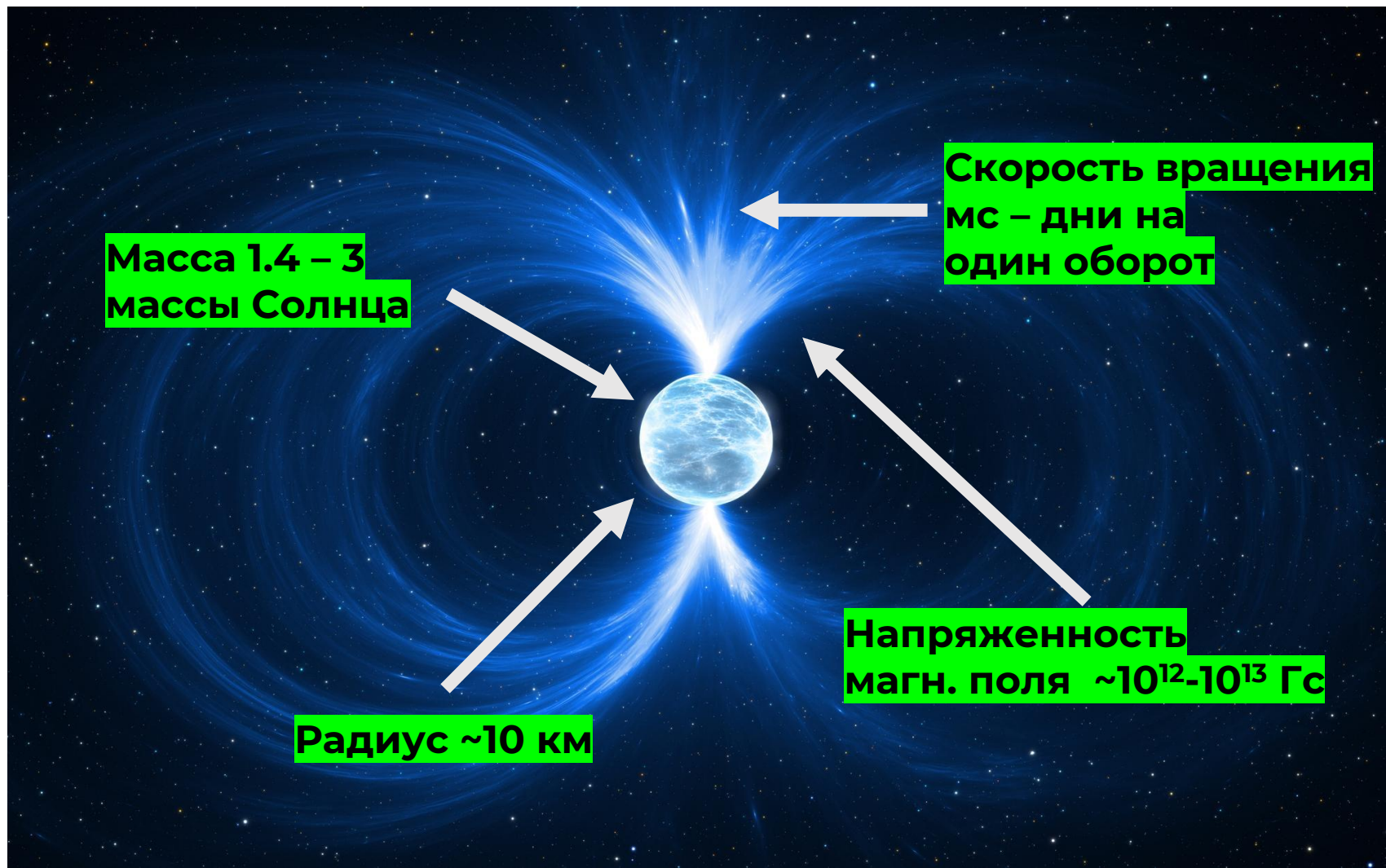
Нейтронные
звезды



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
Нейтронной звезды	10^{12}-10^{13} Гс

Размеры

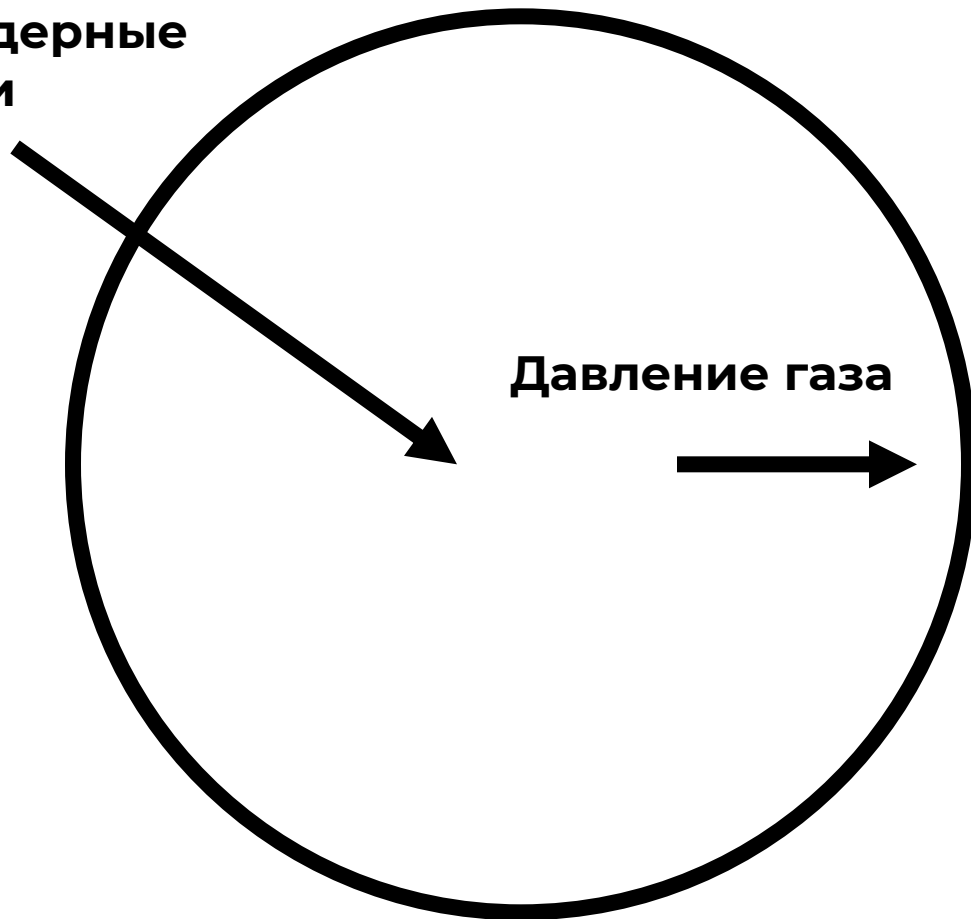
Радиус объекта:

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

Откуда такая экстремальность?

Экстремальность: **размер**

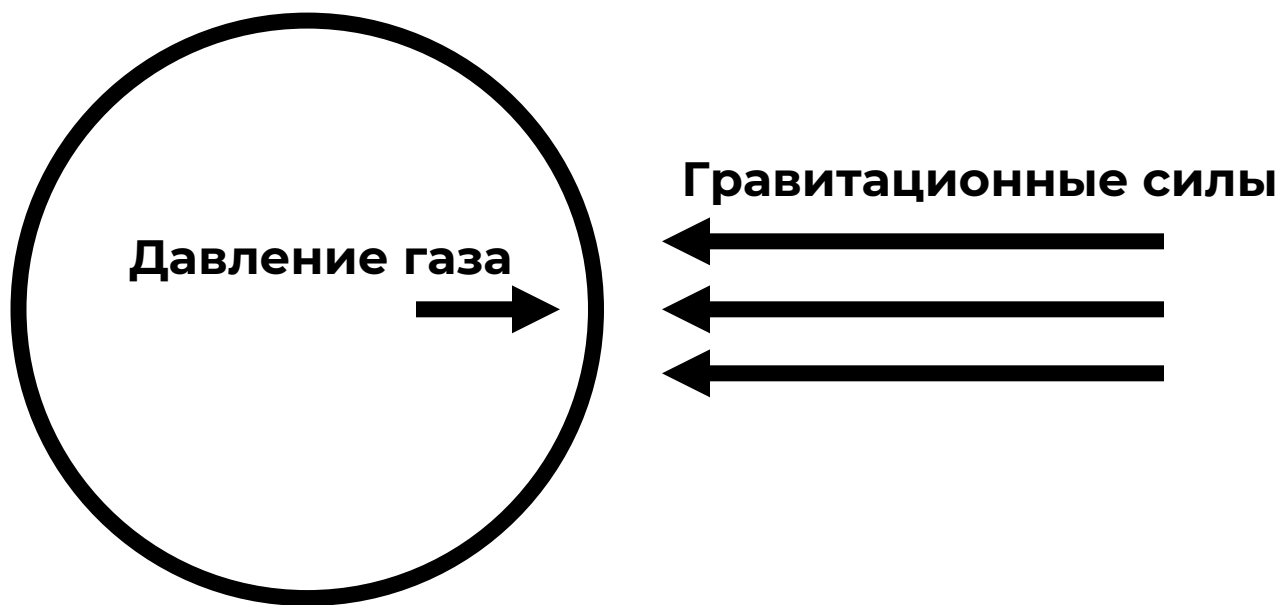
Термоядерные
реакции



Гравитационные силы

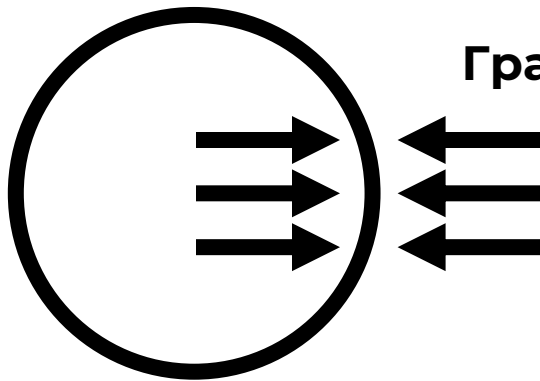
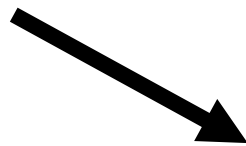


Экстремальность: **размер**



Экстремальность: **размер**

Вырождение
нейтронов



Гравитационные силы

Экстремальность: **все остальное**

Законы сохранения

магнитного момента

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

момента импульса

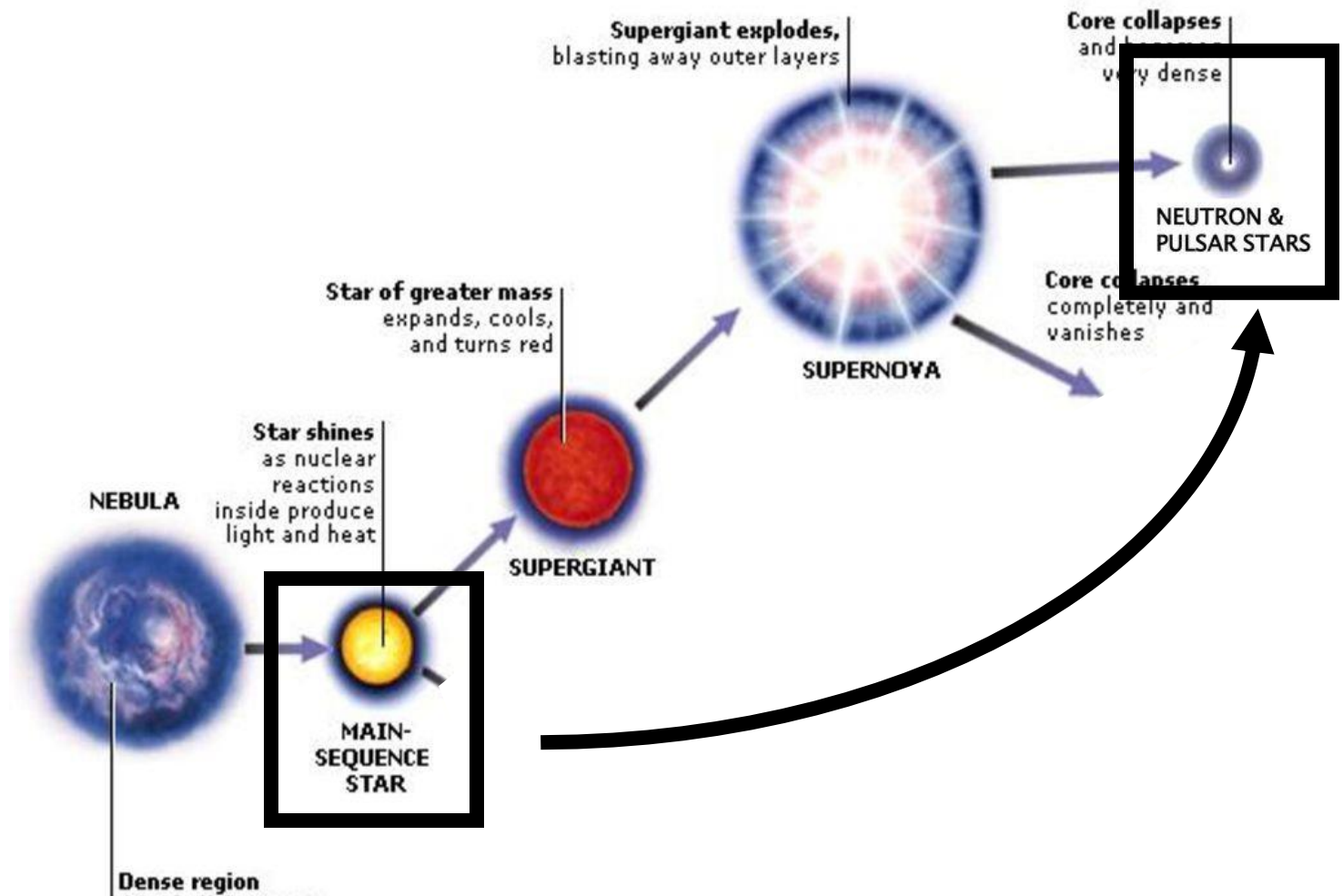
$$M\omega R^2 = \text{const}$$

Из звезды (Солнца)

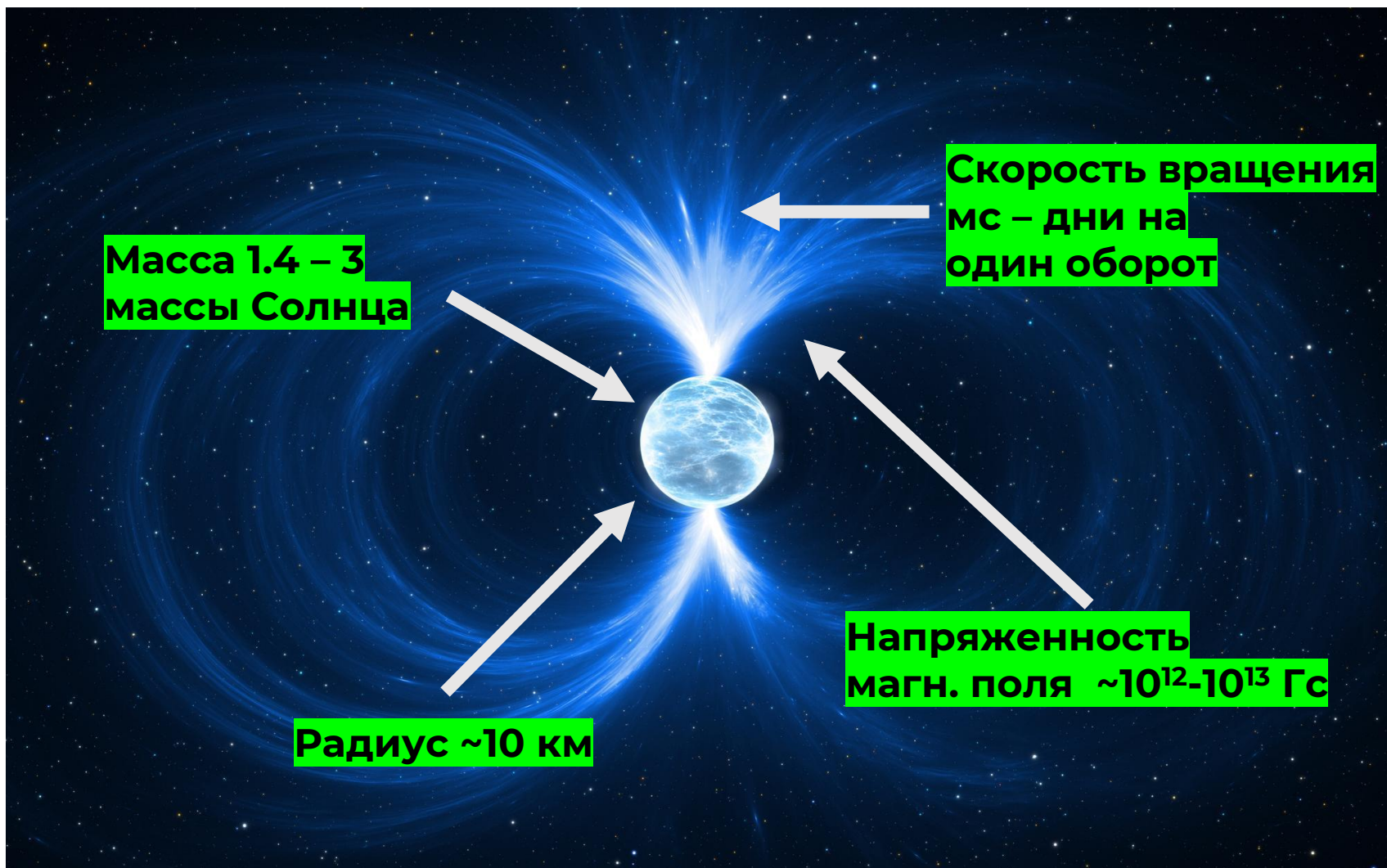
1 000 000 км

В объект радиусом

10 км



Что имеем в итоге?



Пульсары (одиночные)

Периодическое
излучение
в **радио-диапазоне**

Как это работает?

Пульсар вращается
вокруг оси
вращения
излучение идет
вдоль магнитной
оси

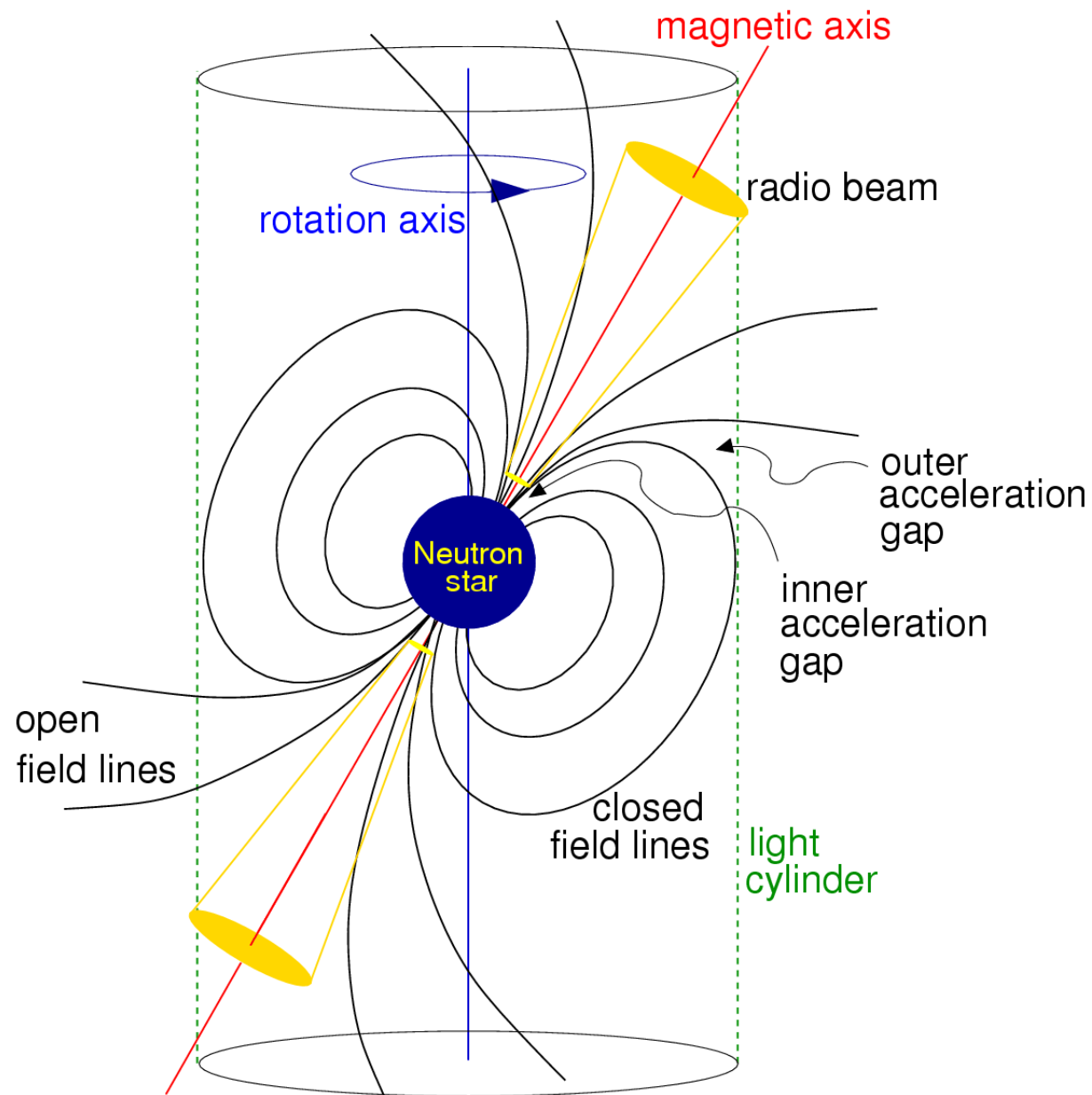


Пульсары (одиночные)

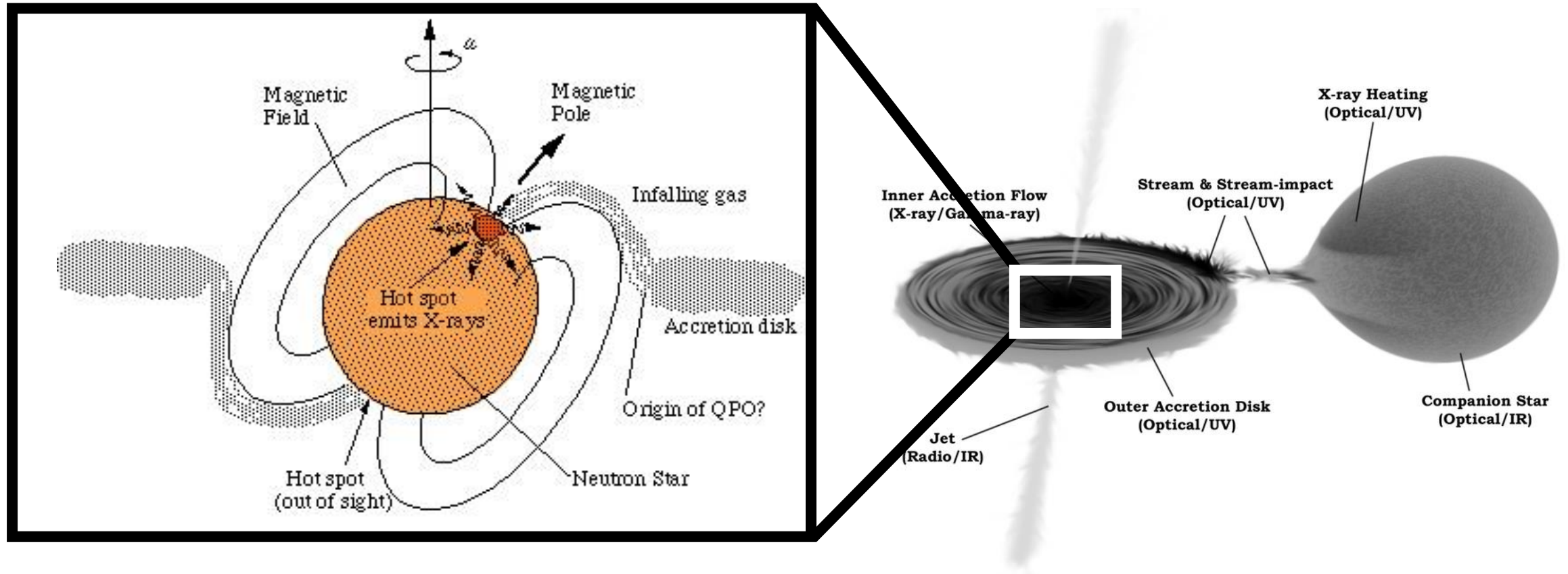
Откуда излучение?

Магнитное поле теряет энергию, ускоряя частицы до релятивистских скоростей

Частицы теряют энергию, излучая в радиодиапазоне



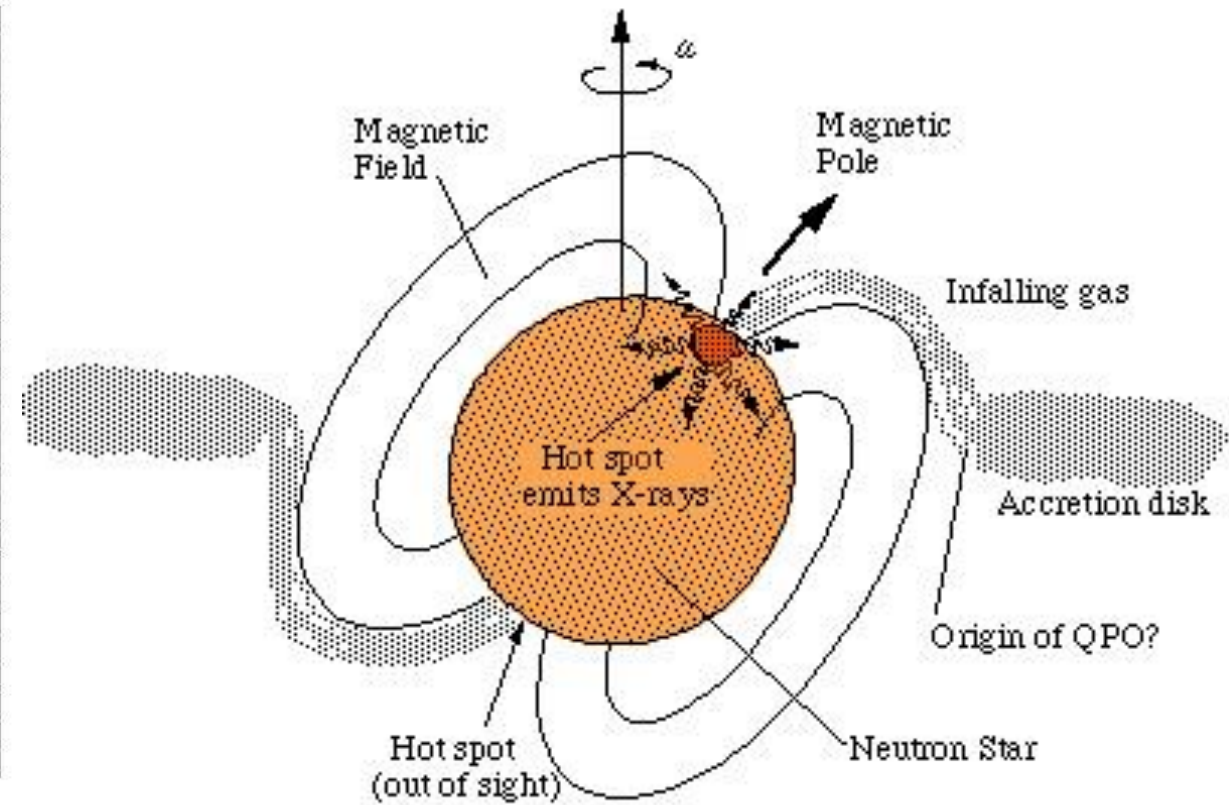
Пульсары (в двойных системах)



Пульсары (в двойных системах)



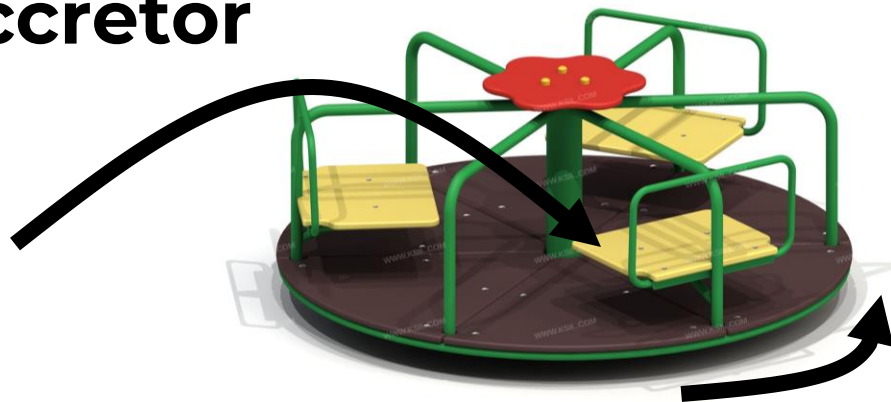
<https://www.eso.org/public/images/eso9948i/>



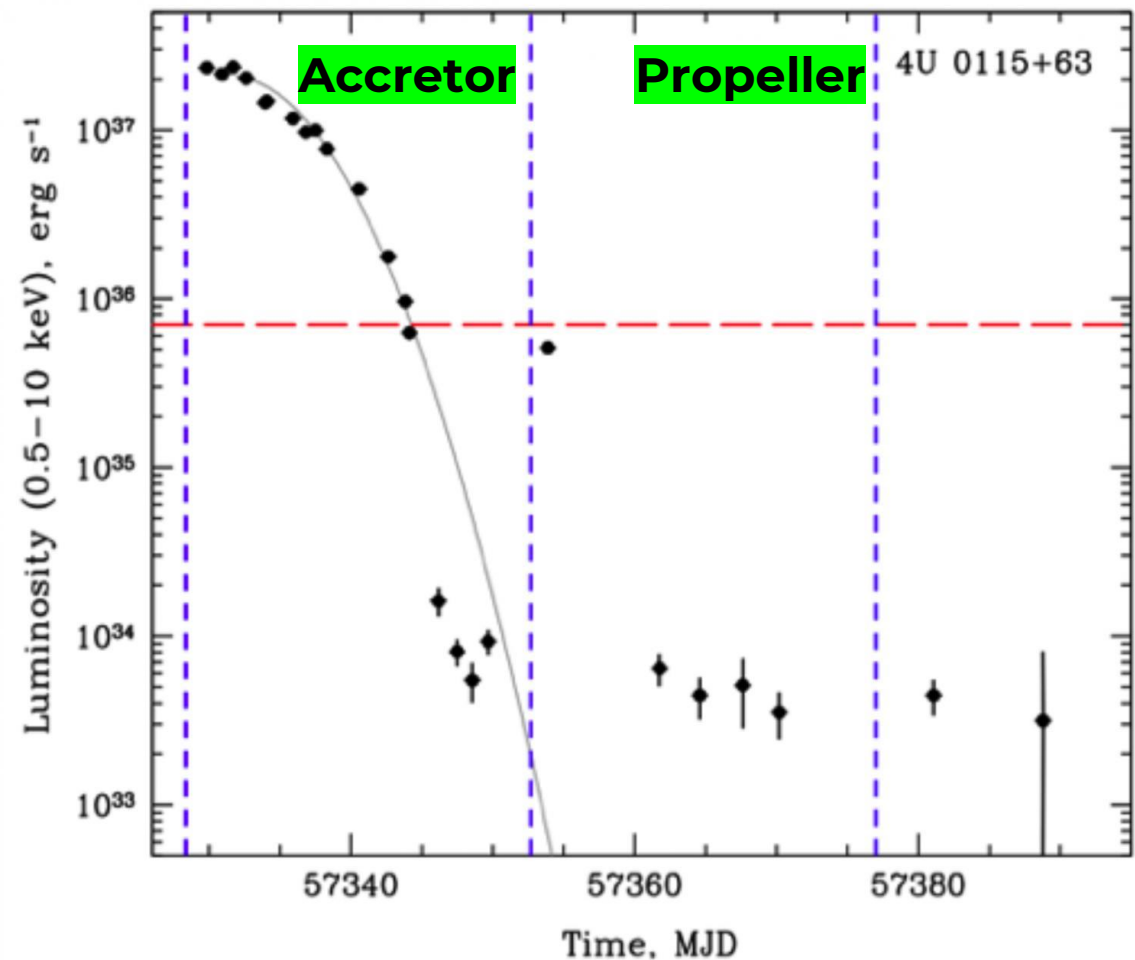
Пульсары (в двойных системах)

Два режима:

Accretor



Propeller

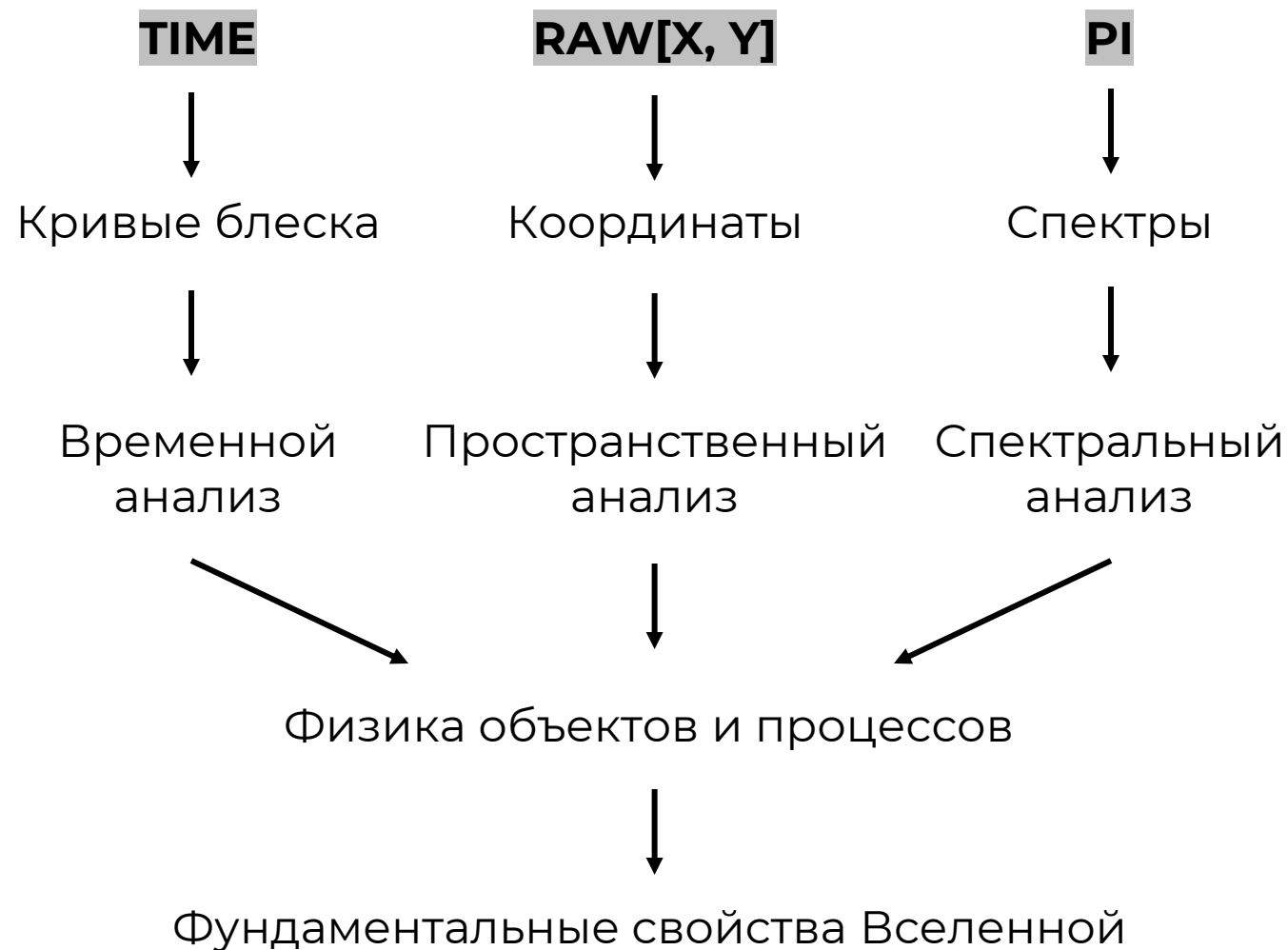


Propeller effect in two brightest transient X-ray pulsars:
4U 0115+63 and V 0332+53
S. S. Tsygankov et al.

Временной анализ

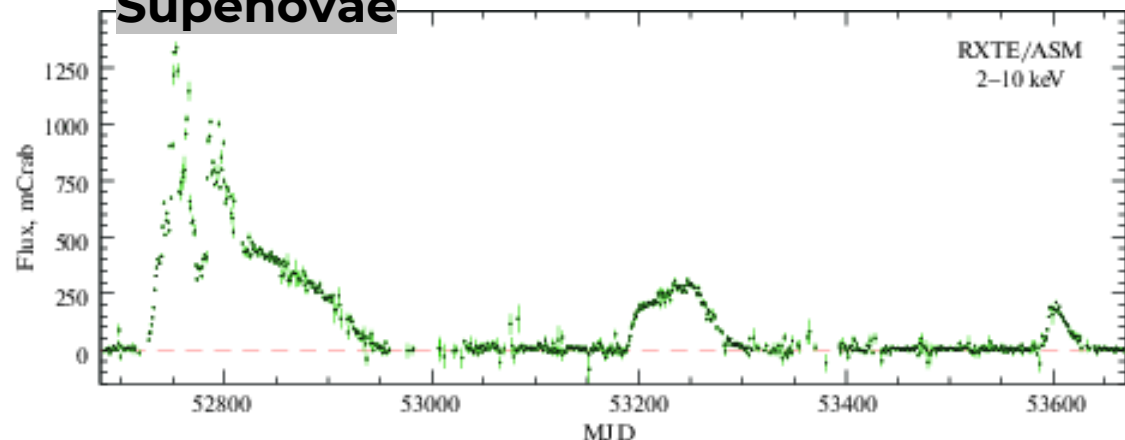
Как выглядят данные?

TIME	RAWX	RAWY	PI
float64	int16	int16	int16
599643821.5373161	56	58	12182
599643821.8530335	61	20	151
599643822.0233889	53	151	11881
599643823.9122173	2	120	213
599643823.909506	10	120	266
599643823.8954127	14	120	195
599643823.8982813	17	120	354
599643823.9380039	29	120	208
599643823.9085362	42	120	385
599643823.8976709	45	120	198
...



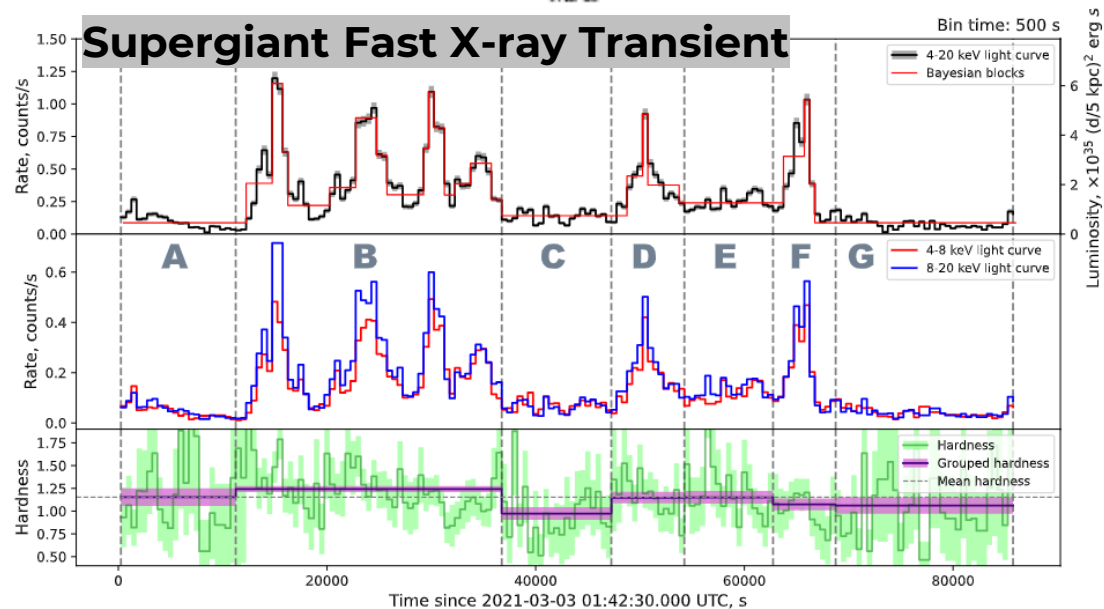
Временной анализ Как выглядят данные?

Supernovae



[Ссылка](#)

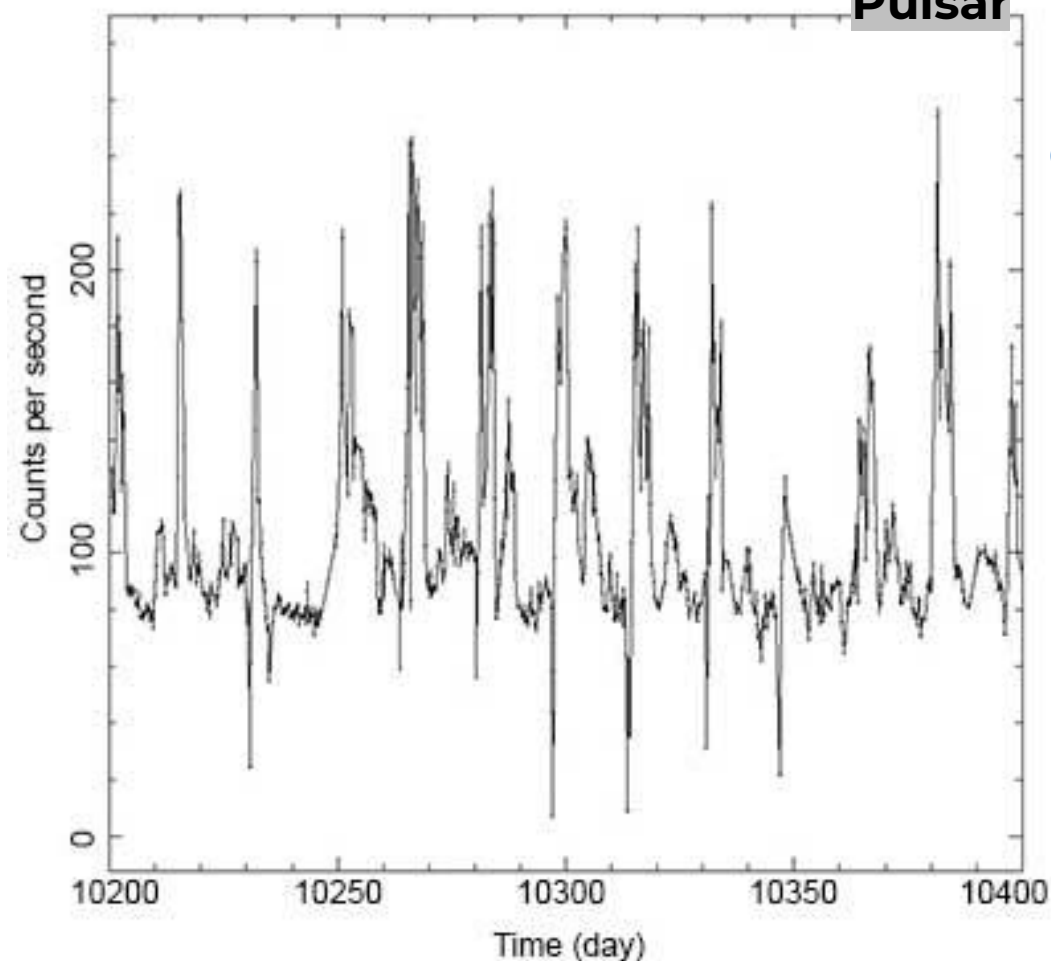
Supergiant Fast X-ray Transient



[Ссылка](#)

Кривые блеска

Pulsar

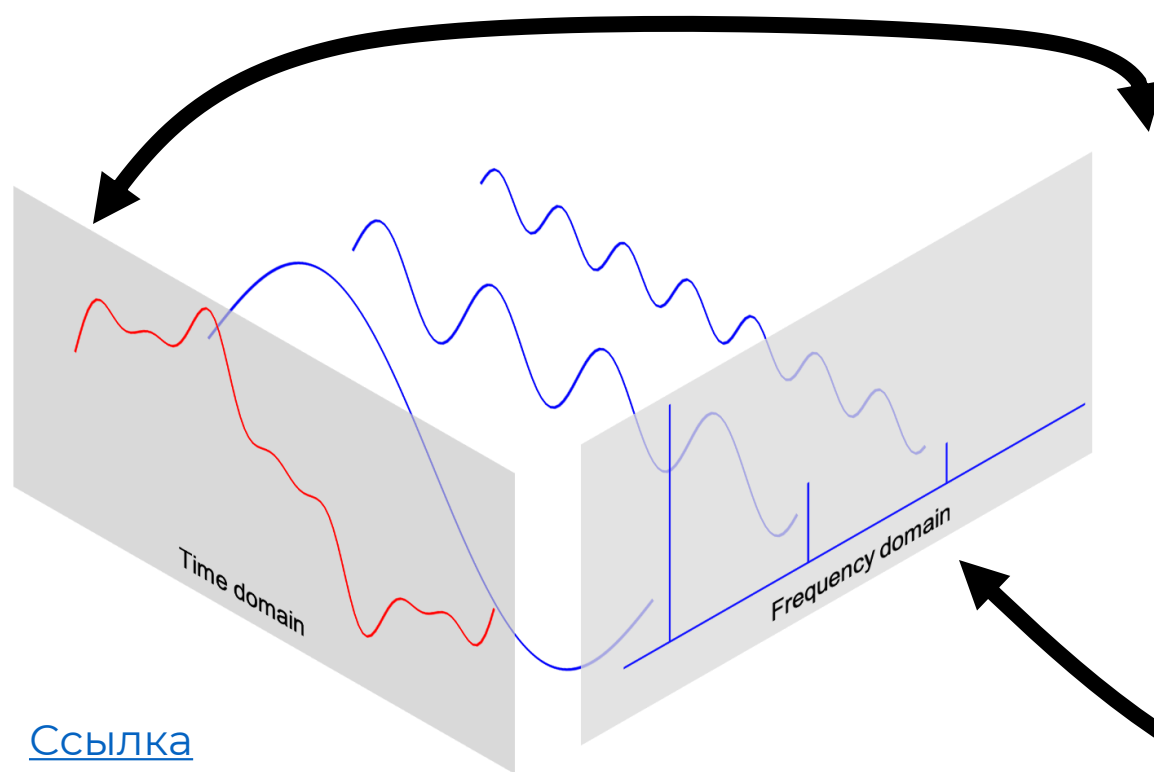


[Ссылка](#)

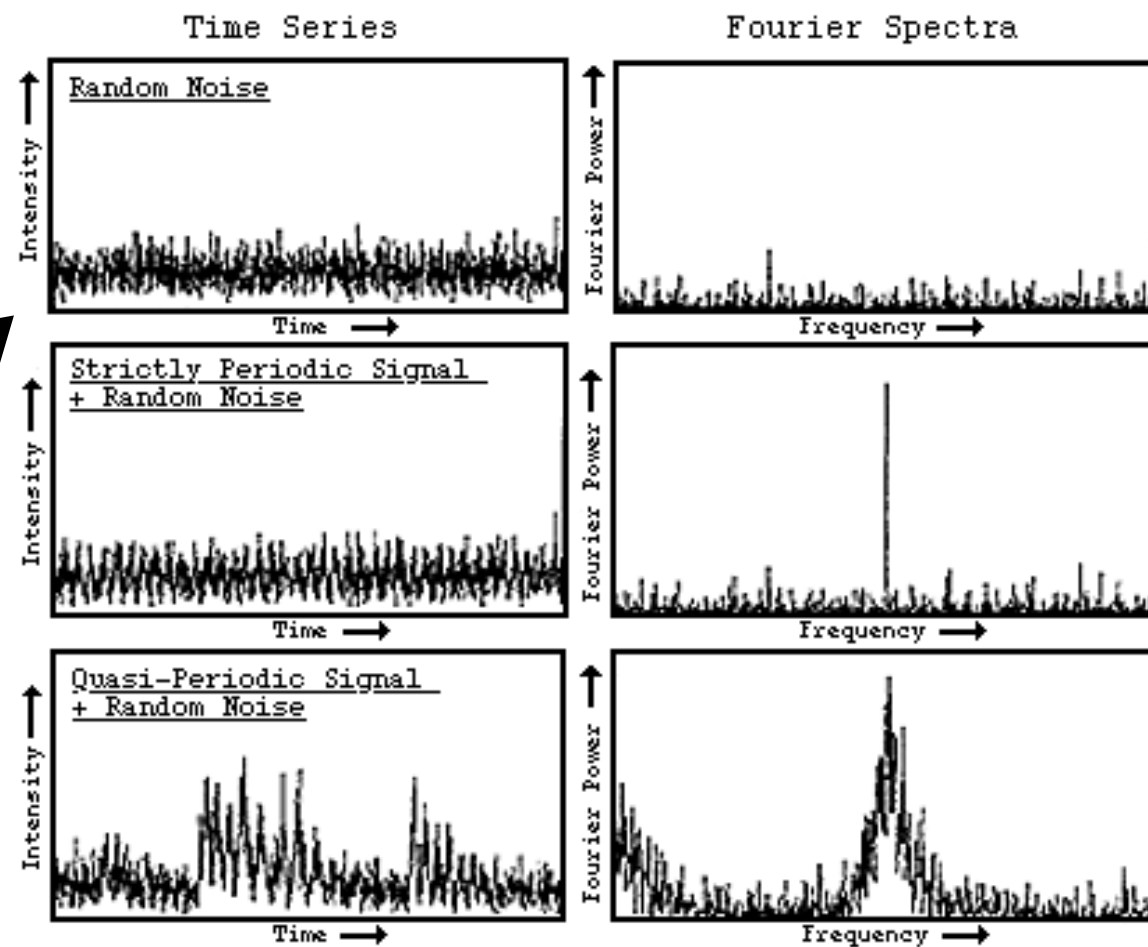
Временной анализ

[Ссылка](#)

Основные виды:
Фурье-трансформация



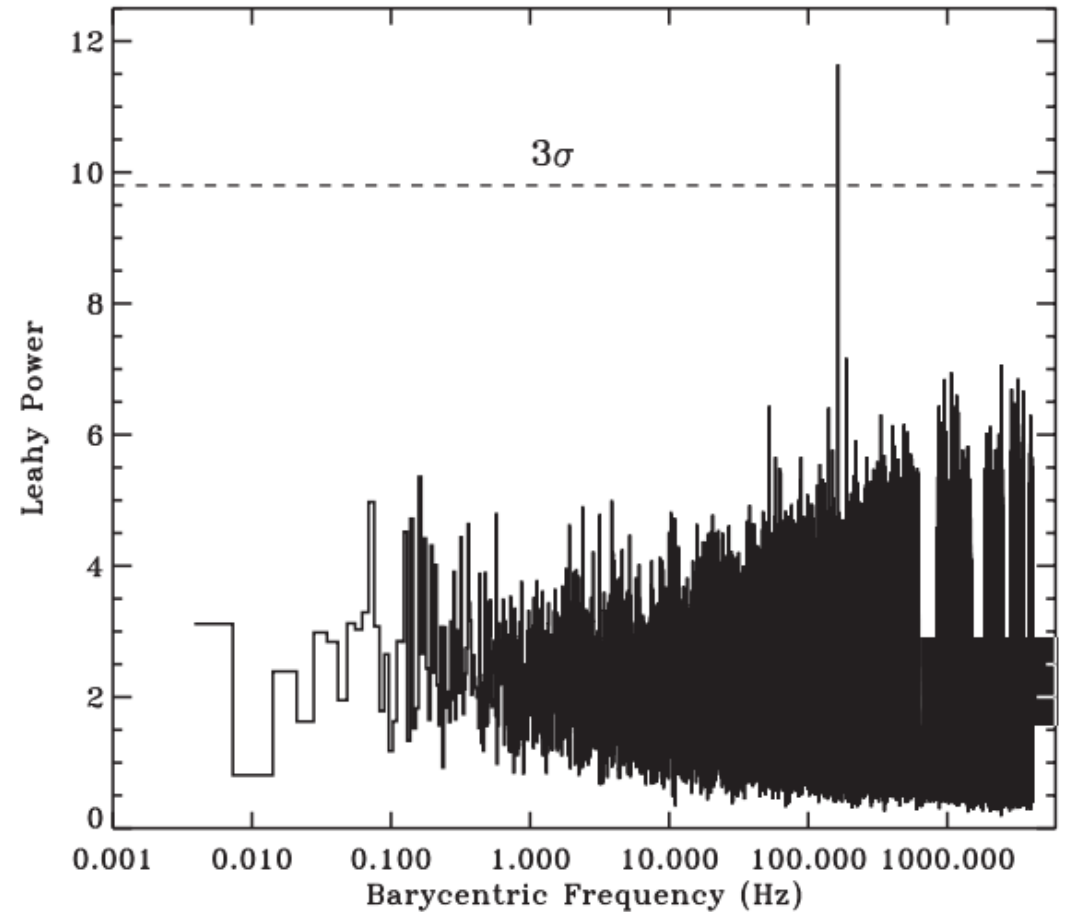
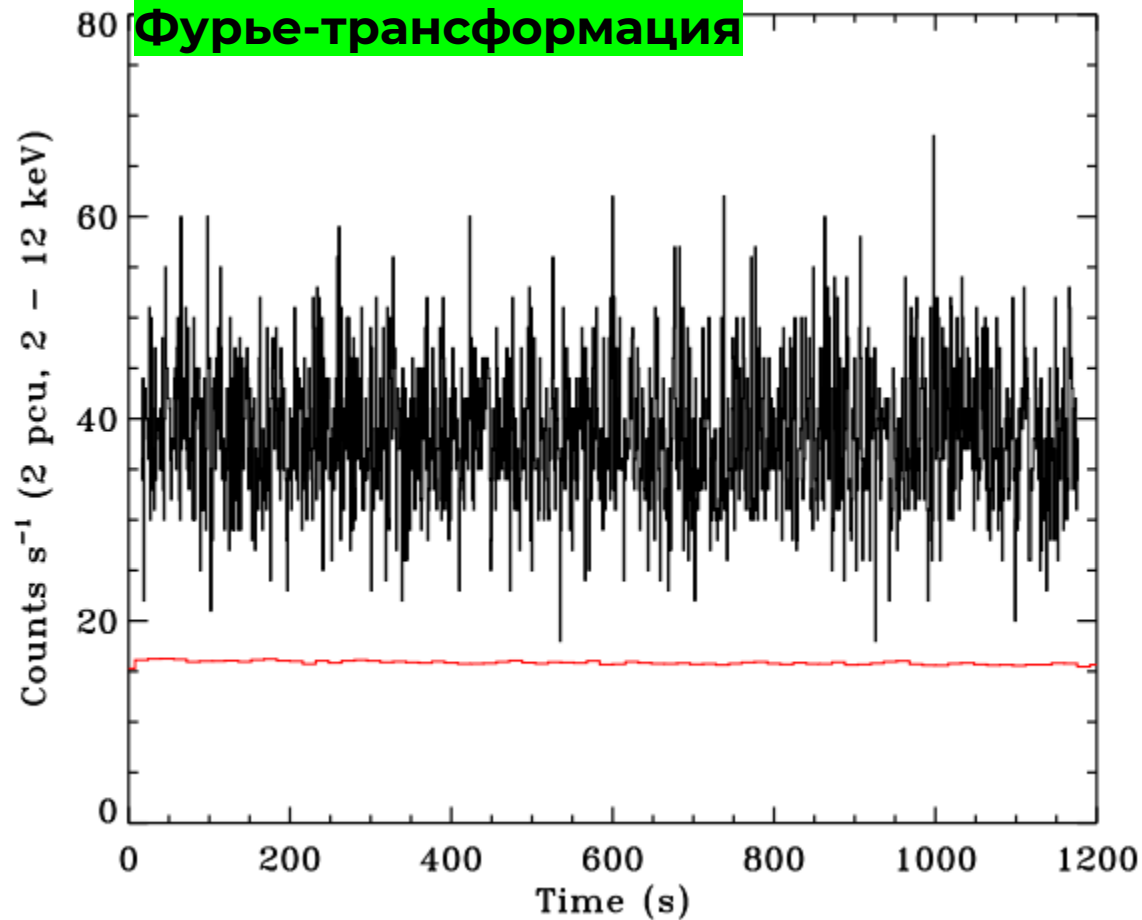
[Ссылка](#)



Временной анализ

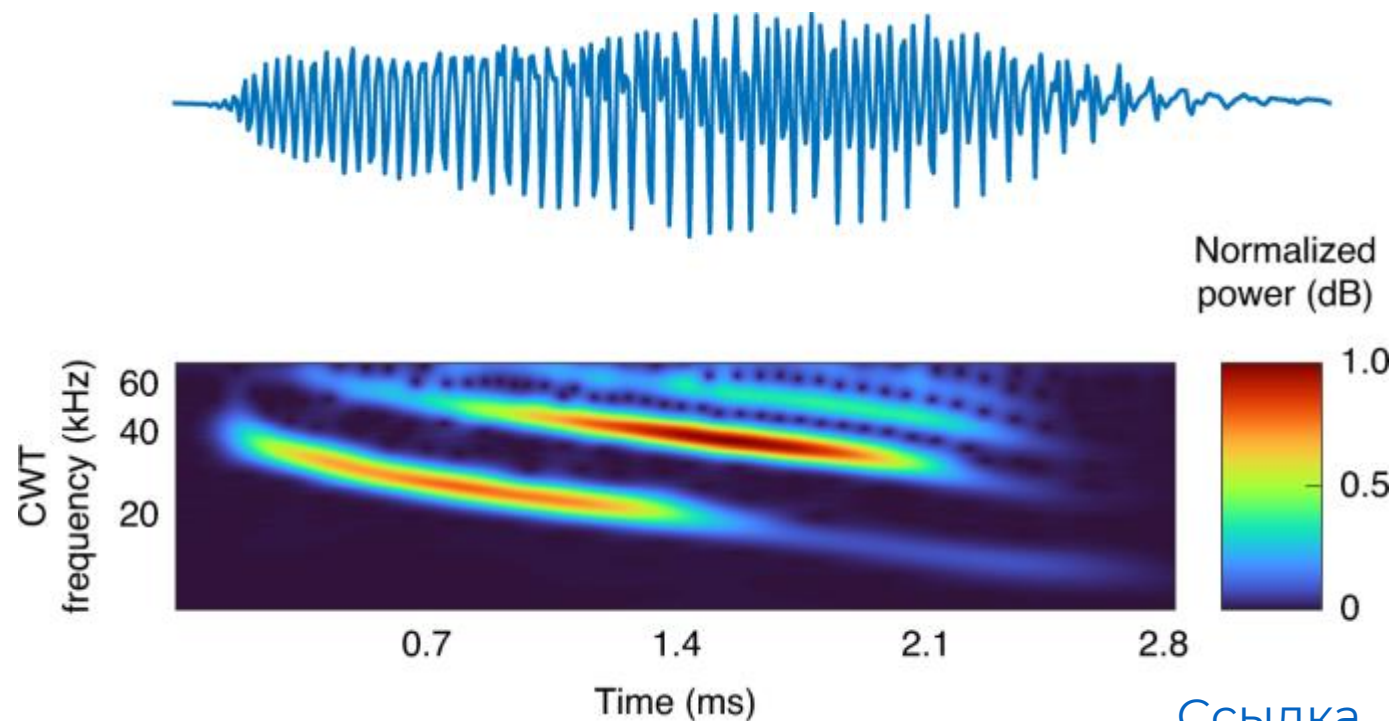
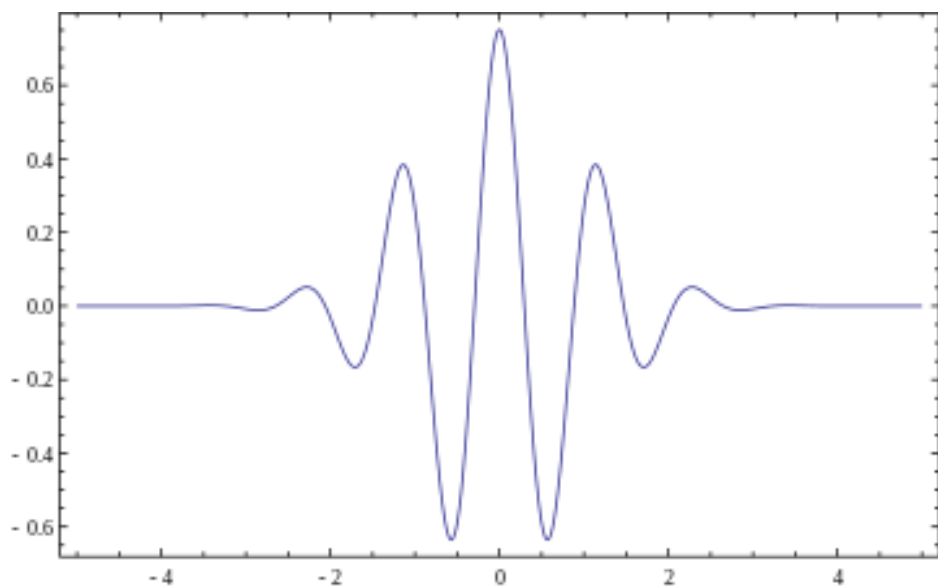
Основные виды:

Фурье-трансформация



Временной анализ

Основные виды: Вейвлет анализ

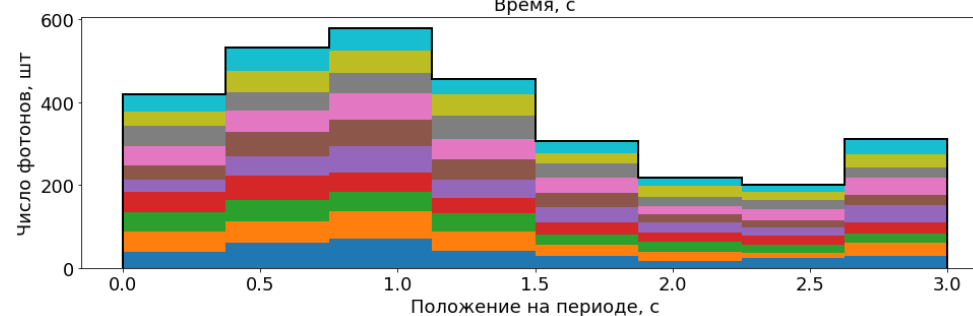
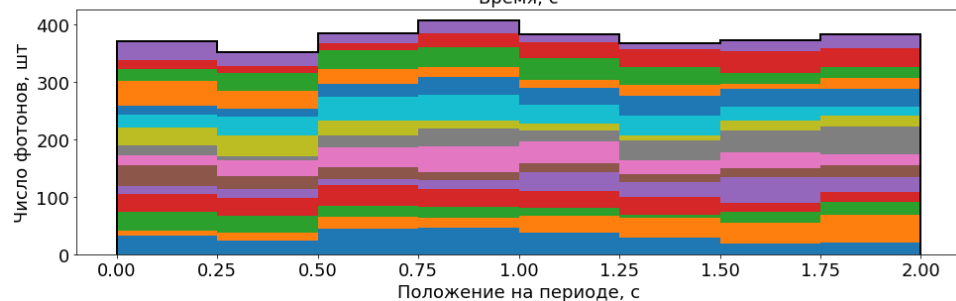
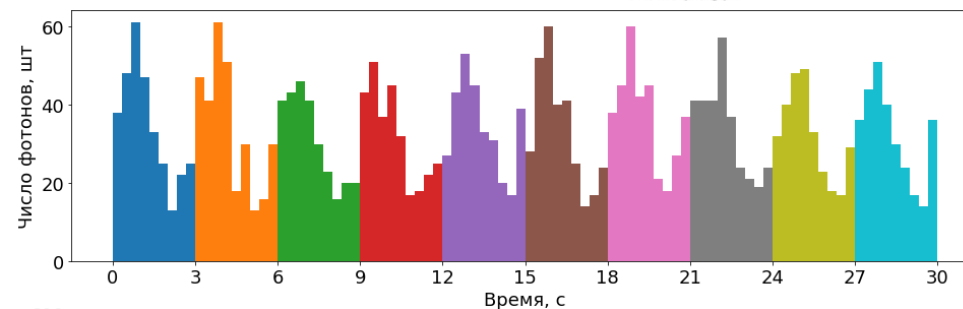
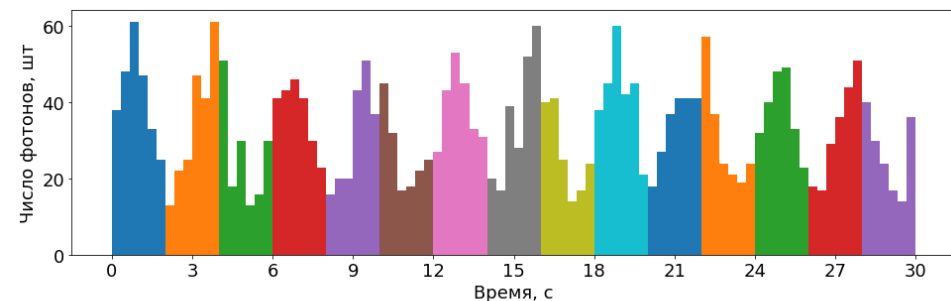
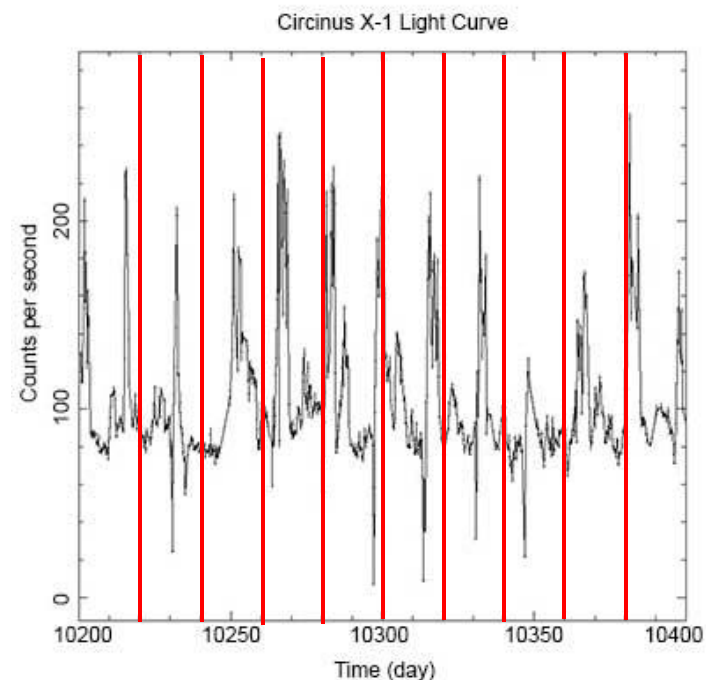


[Ссылка](#)

Временной анализ

Основные виды:

Наложение эпох
(Epoch folding)



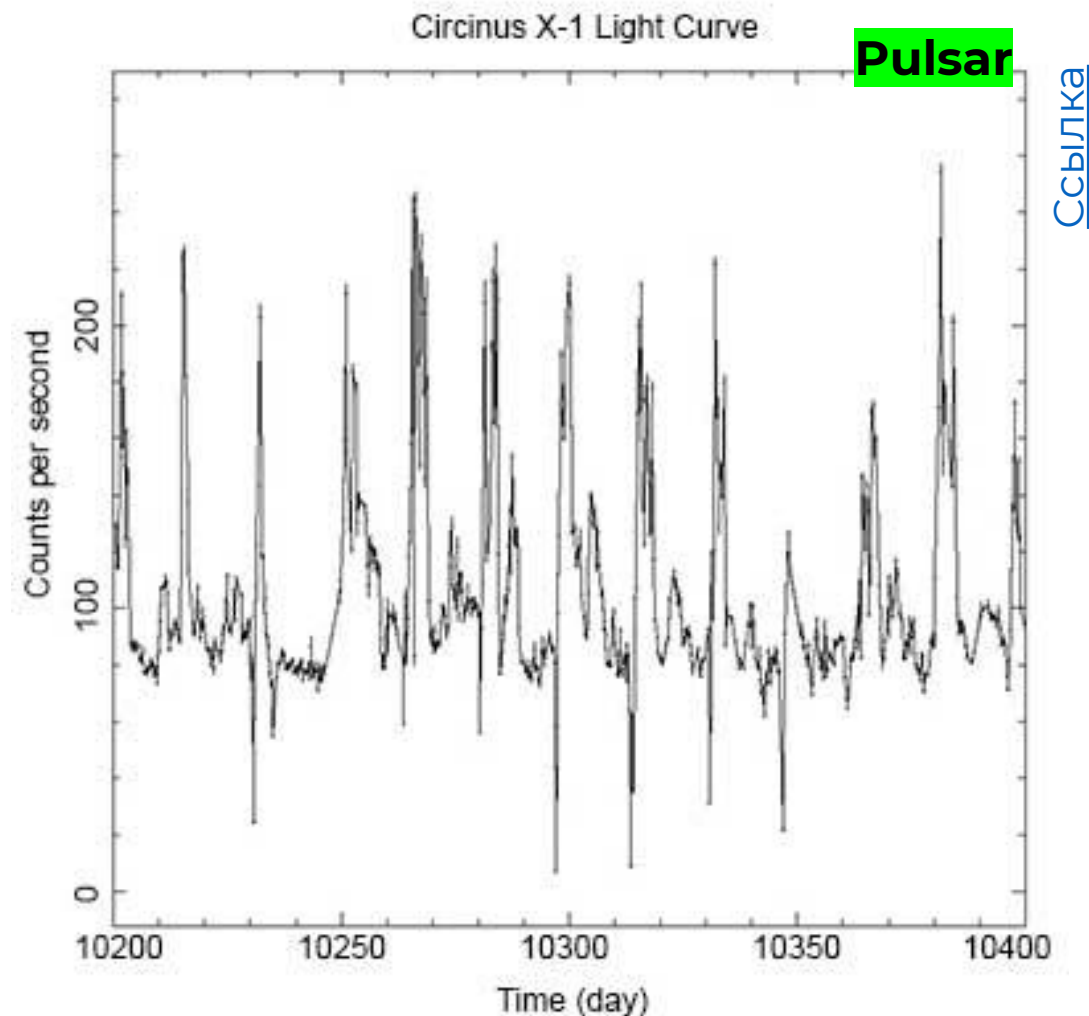
Что можно узнать о пульсаре?

Период собственного вращения

Период орбитального вращения

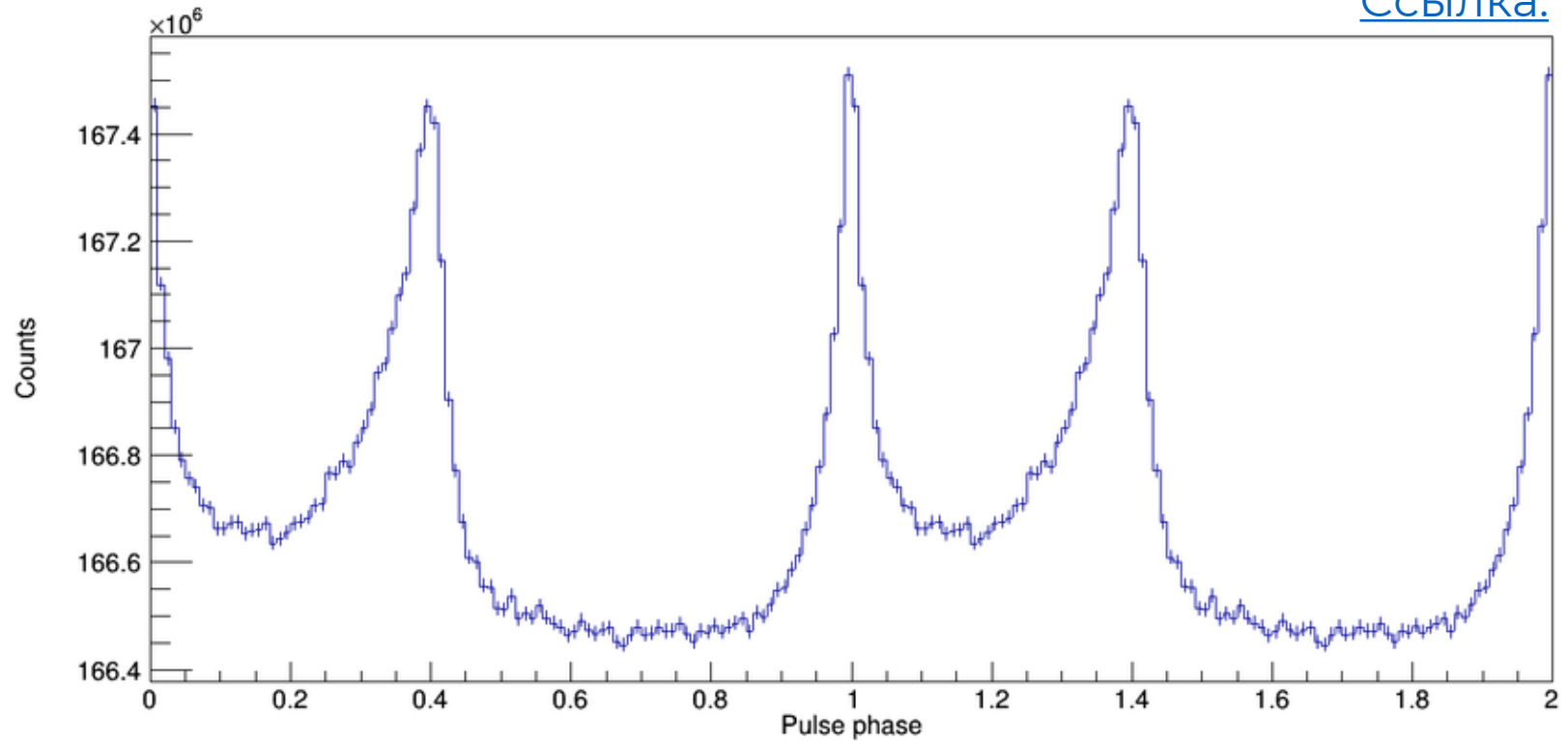
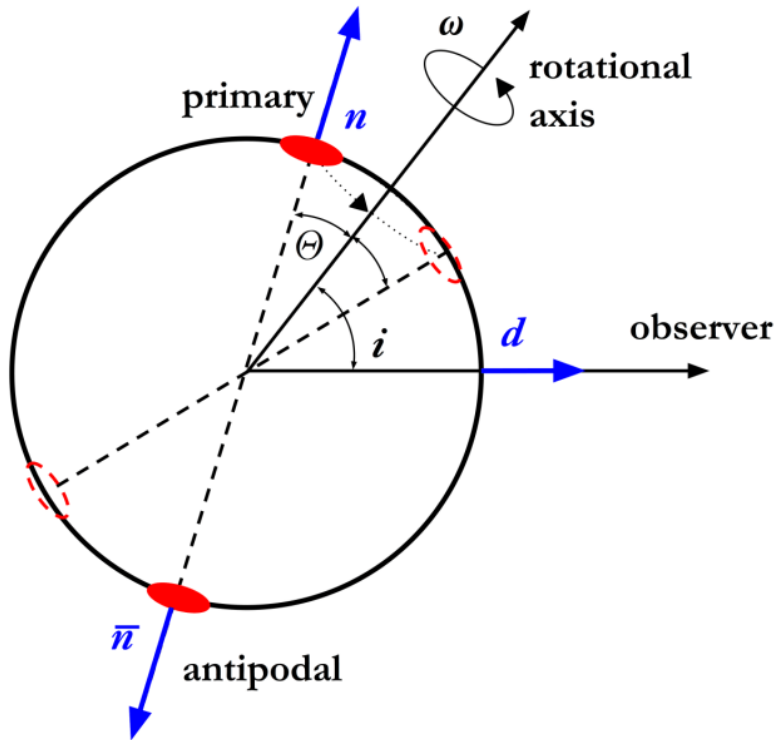
Наклон пульсара (?)

Возраст (???)



Наклон пульсара

Физические модели go brrrrrrr



Сила статистики (и еще немного моделей)

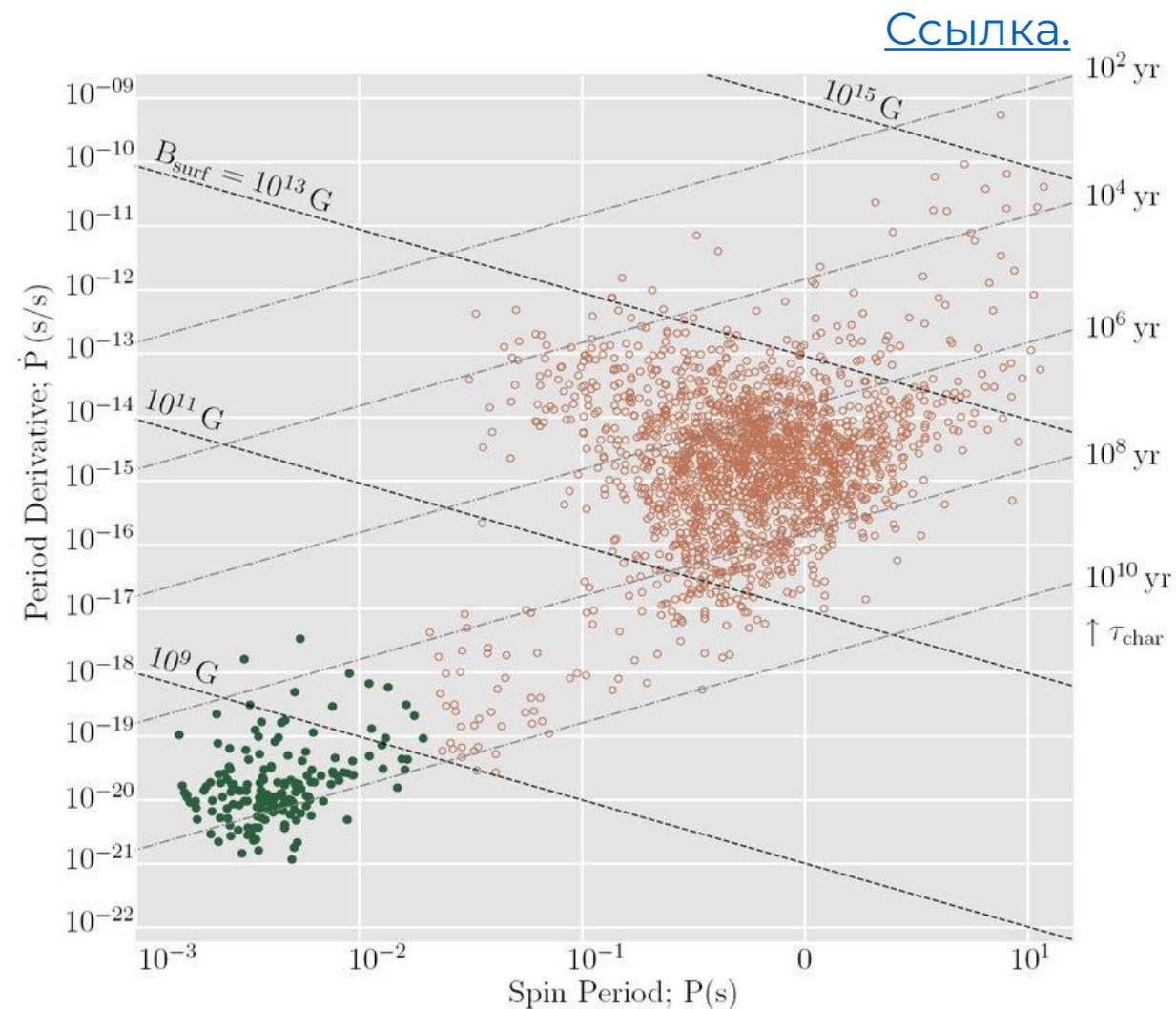
Пульсары теряют момент



Пульсары замедляются



Можно **оценить** возраст



Чем мы займемся на практике?

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

- Что такое кривые блески и фазовые профили
- 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