ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

# Рентгеновская астрономия

Илья Мереминский, ИКИ РАН

# Рентгеновское излучение

Фотоны с энергией от 100 эВ до сотен кэВ
(10 нм..0.001 нм)

# Рентгеновское излучение

Фотоны с энергией от 100 эВ до сотен кэВ
(10 нм..0.001 нм)

Как можно произвести такие фотоны?

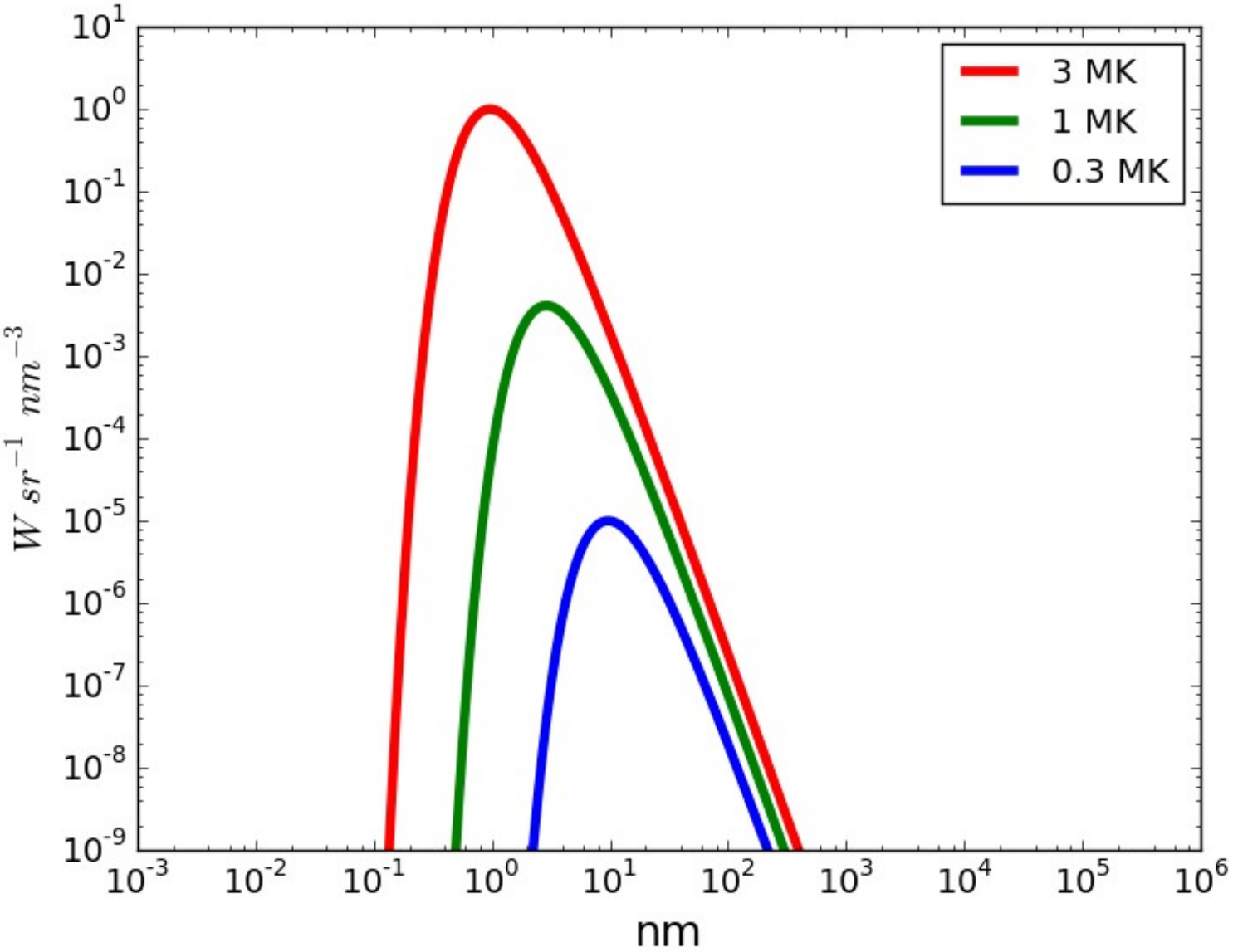
# Рентгеновское излучение

Фотоны с энергией от 100 эВ до сотен кэВ
(10 нм..0.001 нм)

Как можно произвести такие фотоны?

Нагреть вещество – эВ/$k$ = 11600 К, т.е. температура должна быть около 10 МК!

# Рентгеновское излучение



# Рентгеновское излучение

Фотоны с энергией от 100 эВ до сотен кэВ
(10 нм..0.001 нм)

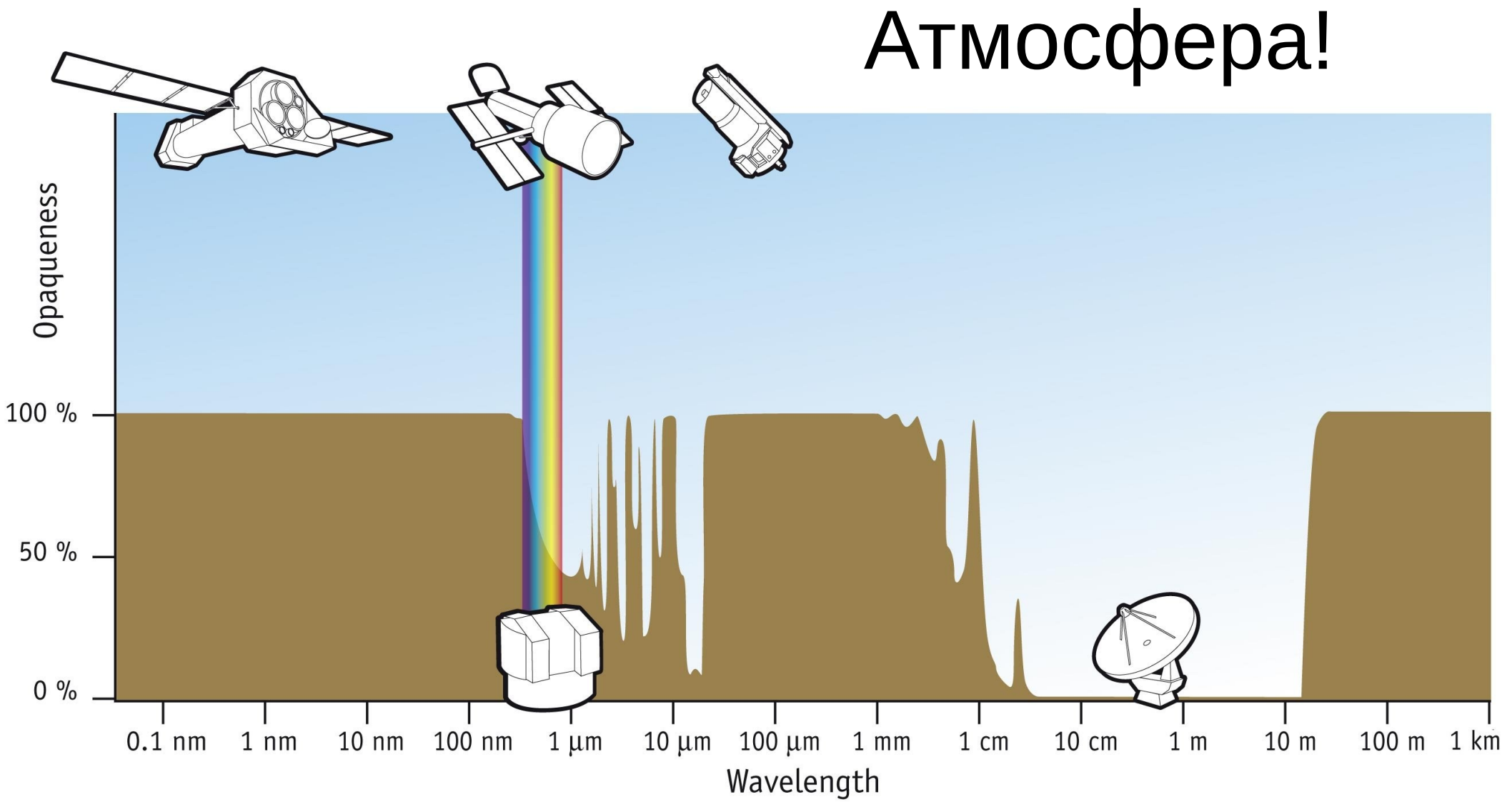
Как можно произвести такие фотоны?

Нагреть вещество – эВ/*k* = 11600 К, т.е. температура должна быть около 10 МК!

Разогнать и затормозить электроны -
тормозное излучение
синхротронное излучение

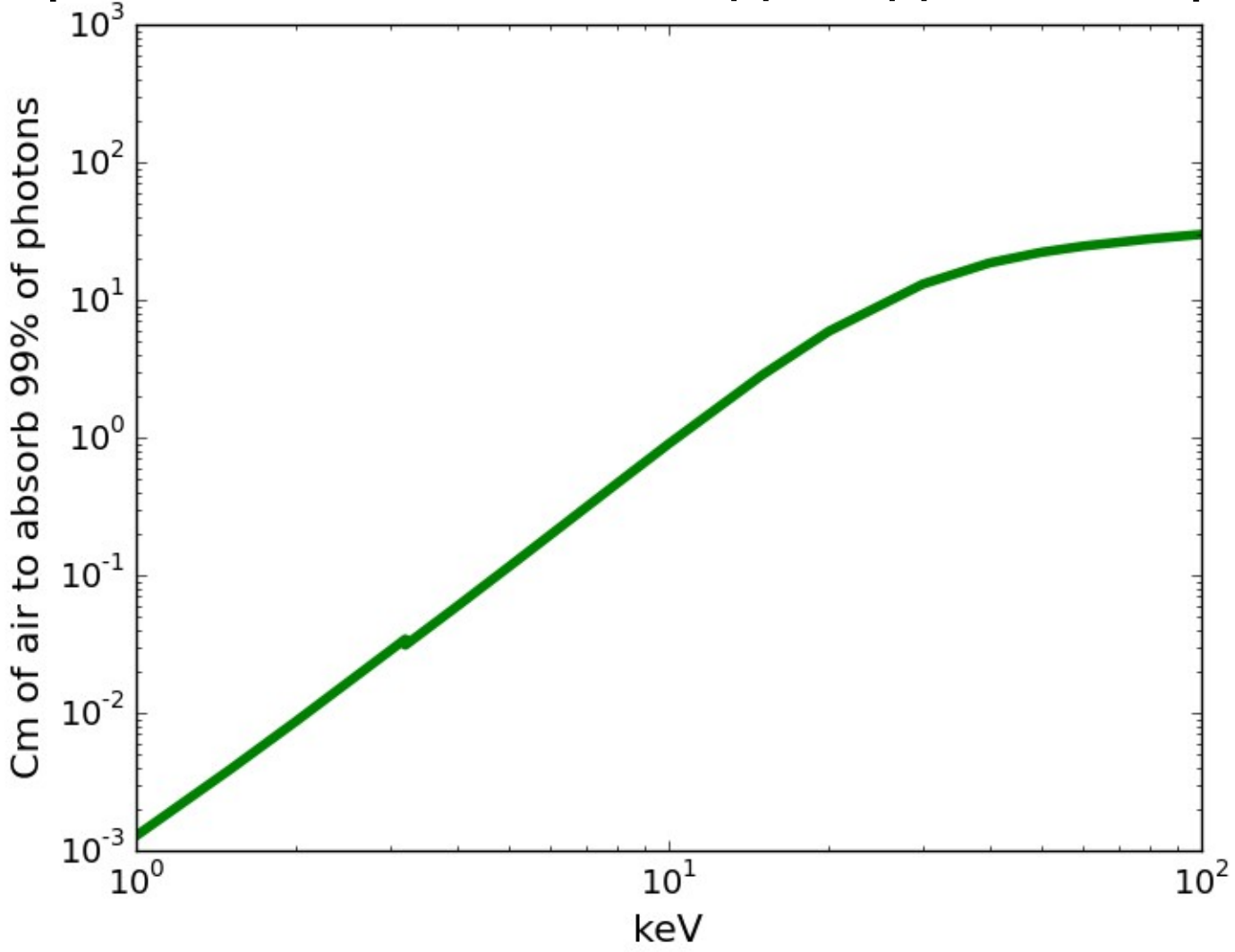
Комптон-эффект

# Рентгеновское излучение



# Рентгеновское излучение

Мягкий рентген нельзя наблюдать даже с аэростатов



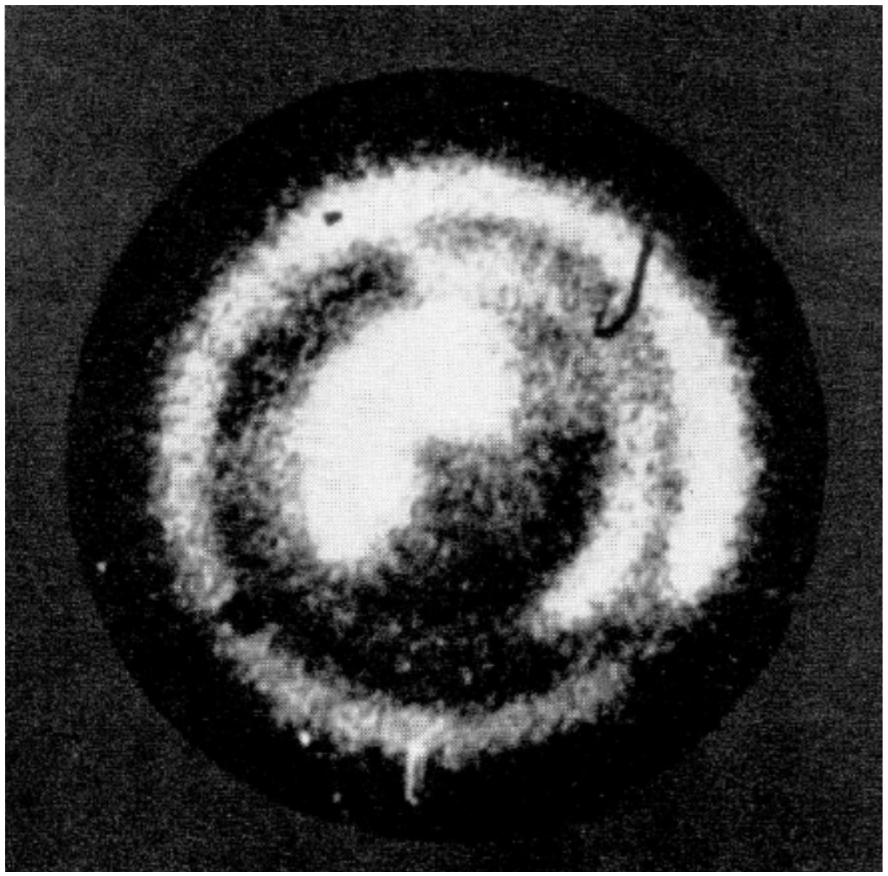
# Все начинается с Солнца

1941 – Альфвен – корона горячая – 1 МК!
Должно быть УФ и рентгеновское излучение

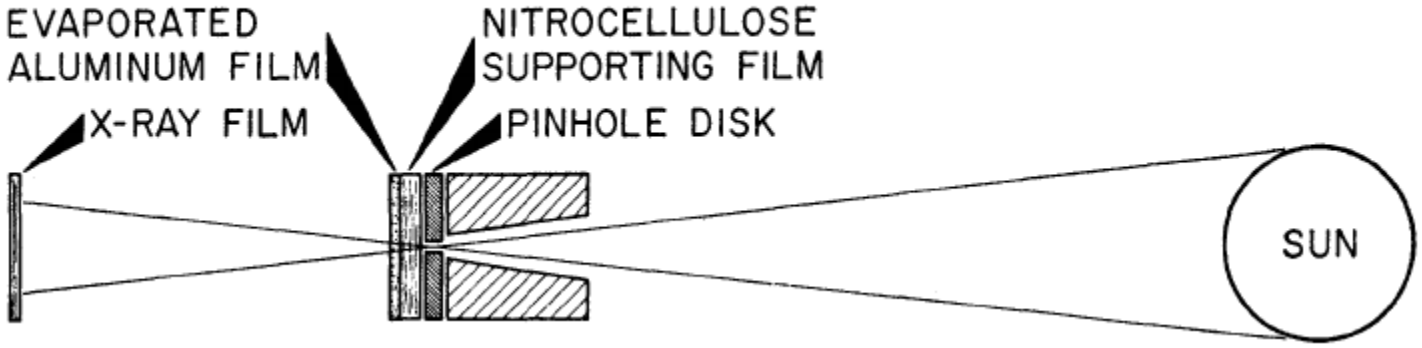
# Все начинается с Солнца

1946 – Тоуси
1949 – Бёрнайт
1949 – Фридман

# Все начинается с Солнца



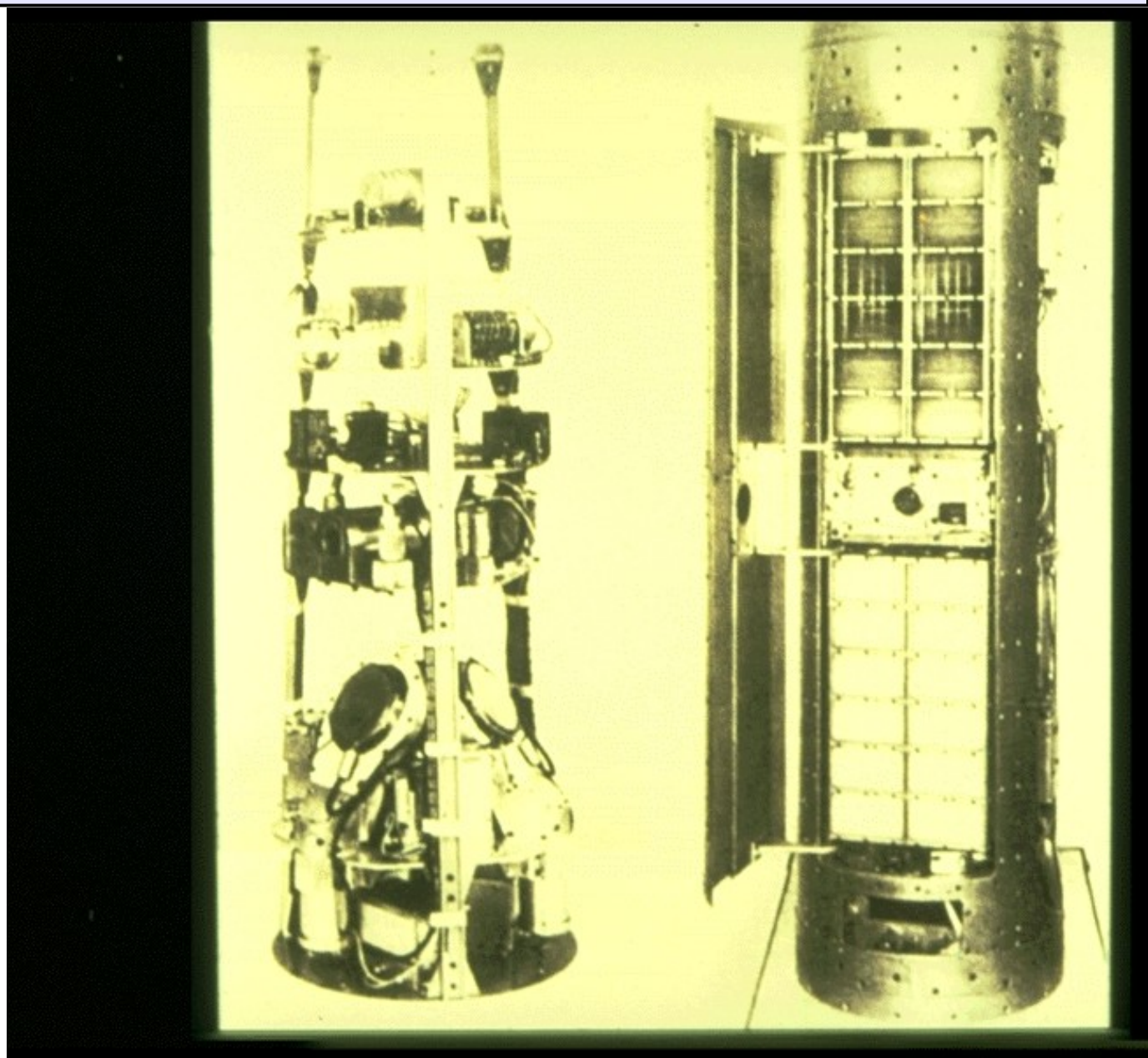
Фотоэмульсии



# Следующий шаг — Луна?

Группа AS&E -
Б. Росси, Р. Джиаконни

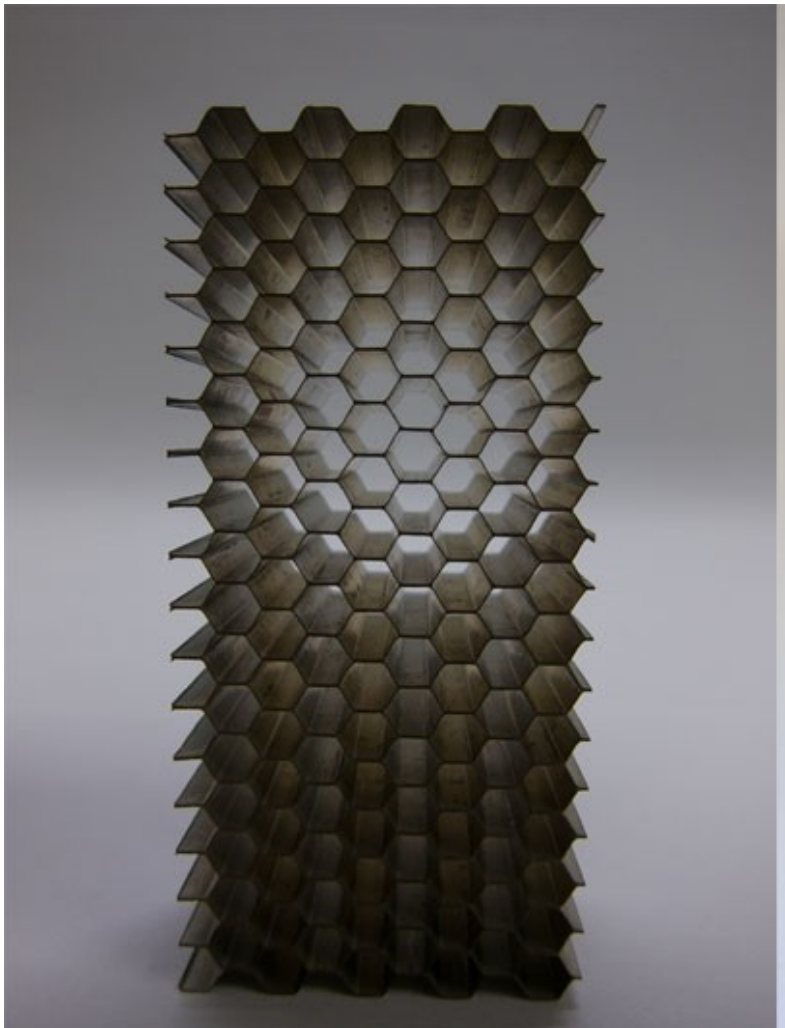
1962
счетчики Гейгера,
~10 см$^2$,
антисовпадение!



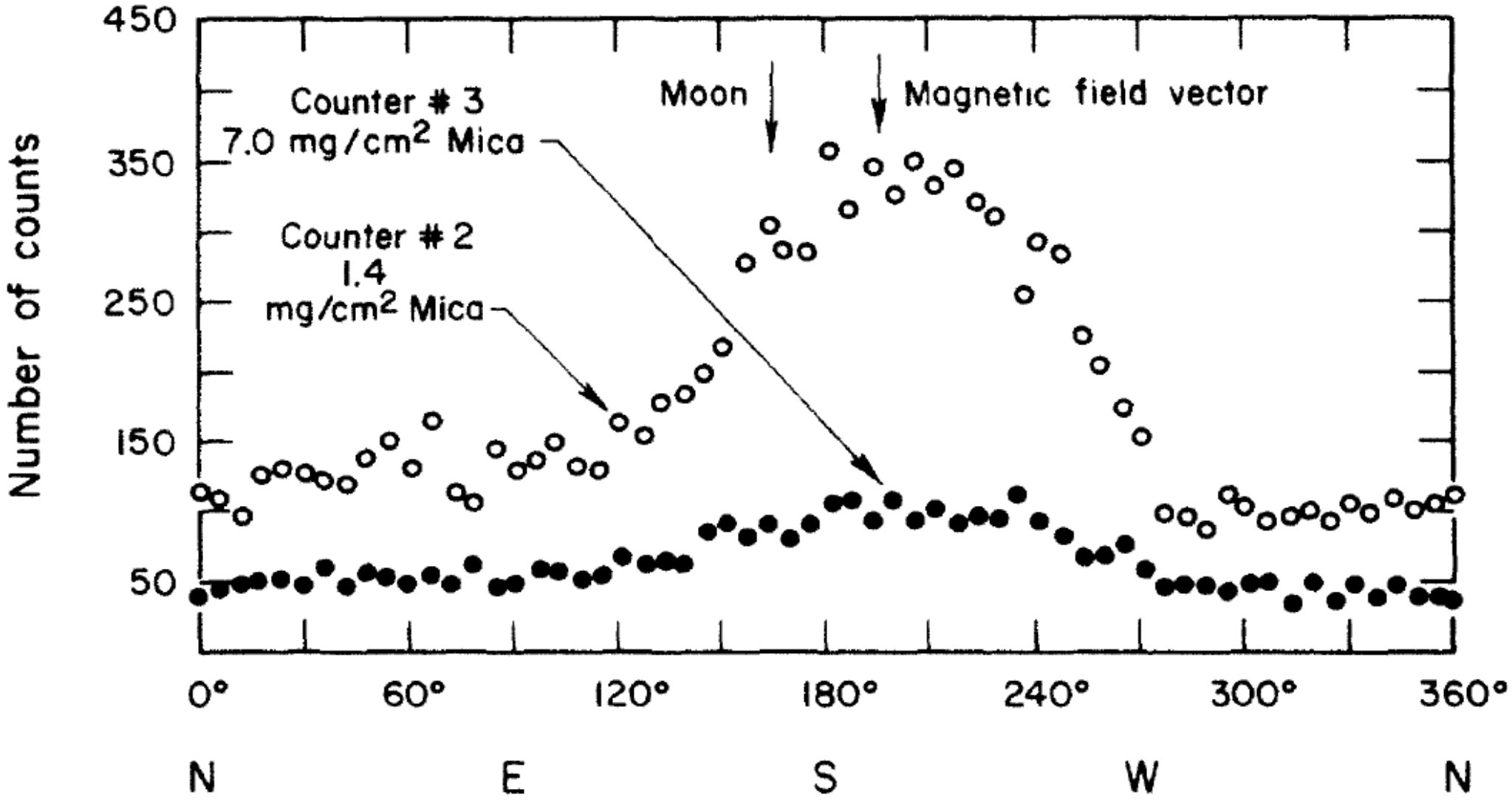
# Следующий шаг — Луна?

Группа AS&E -
Б. Росси, Р. Джиаконни

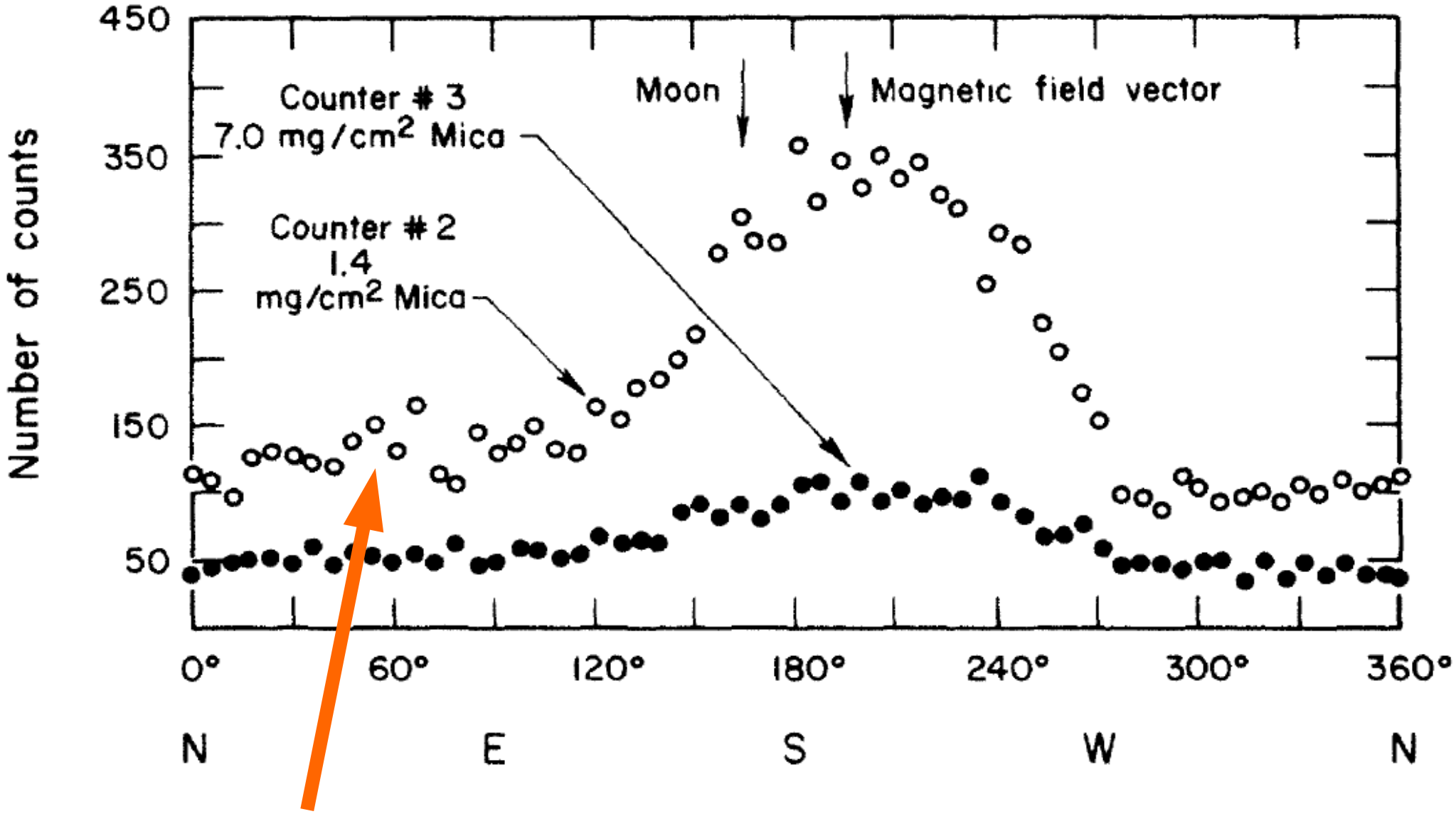
1962
счетчики Гейгера,
~10 см$^2$,
антисовпадение!



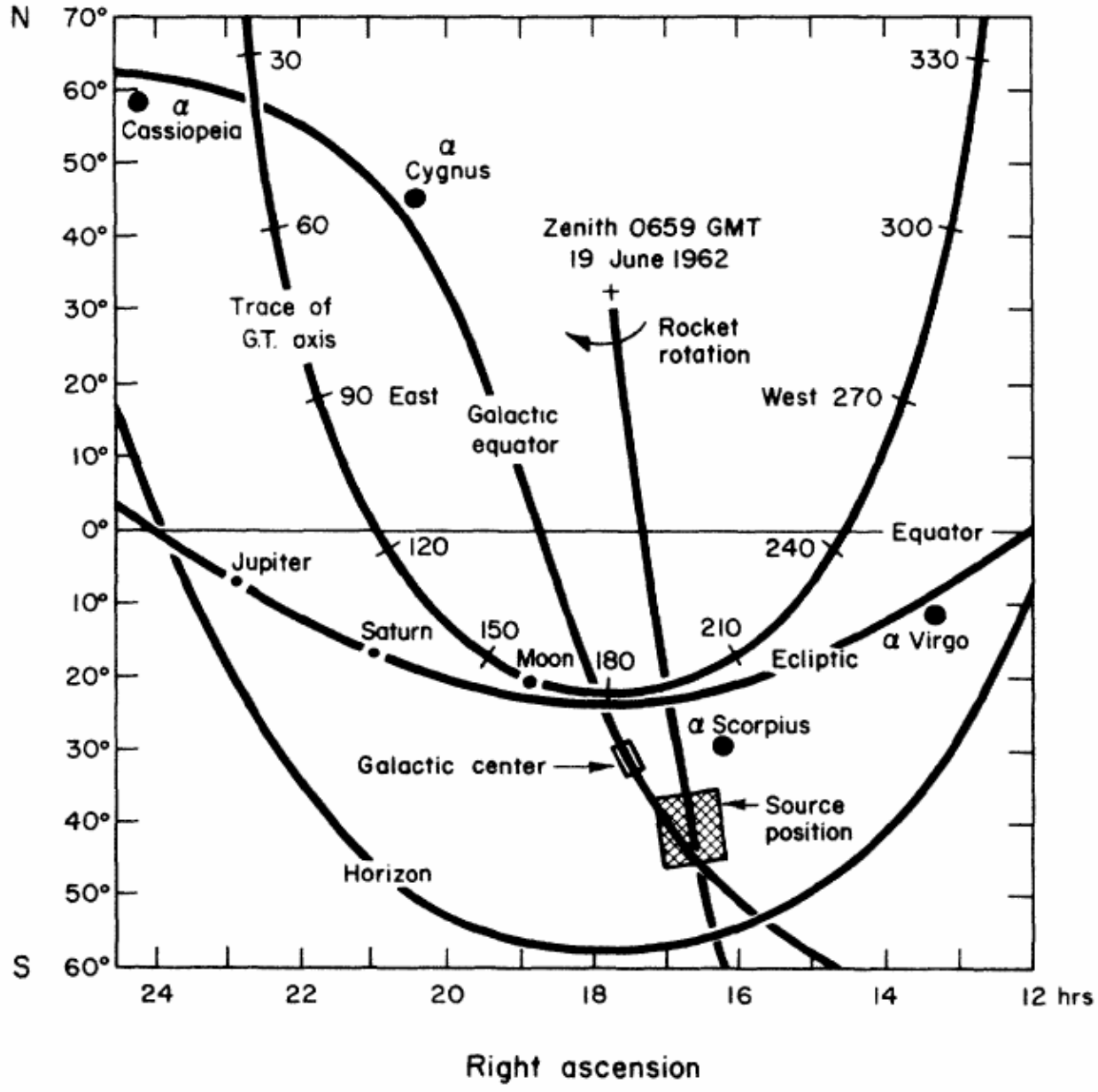
# Источник вне Солнечной системы



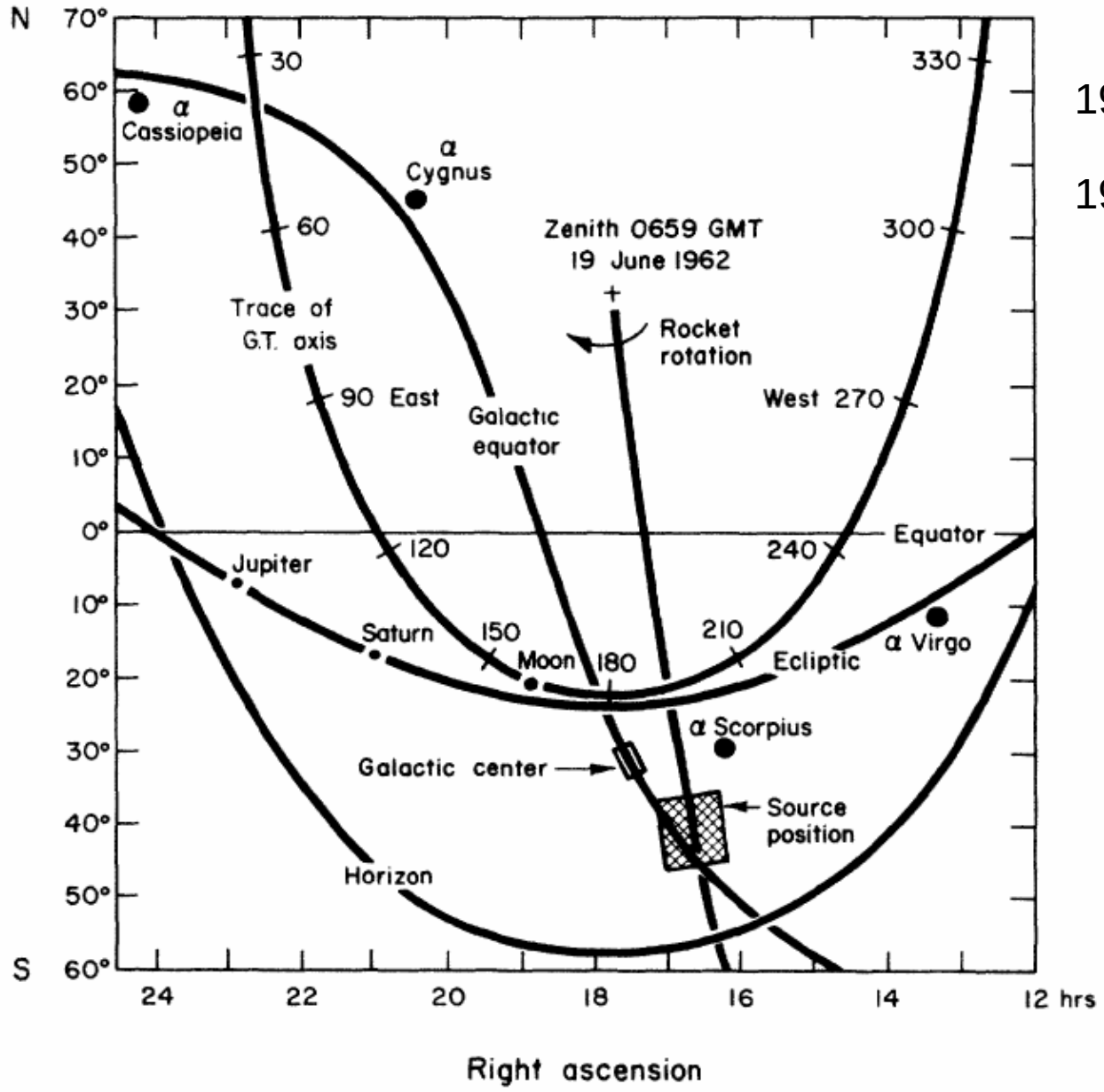
# Источник вне Солнечной системы



# Источник вне Солнечной системы



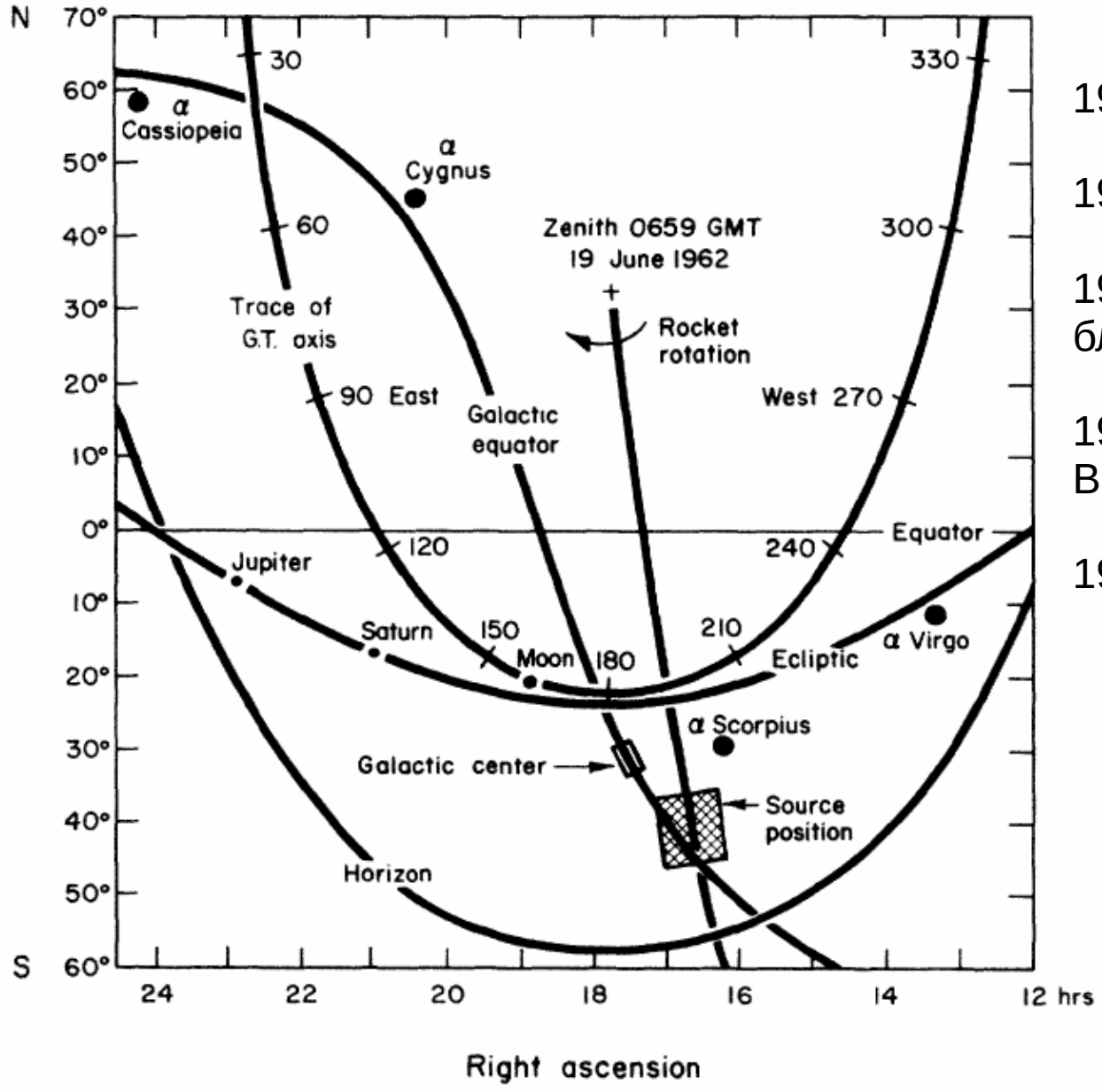
# Источник вне Солнечной системы




1963 – Крабовидная туманность(M1)

1964 – M1 – не точечный источник

# Источник вне Солнечной системы




1963 – Крабовидная туманность(M1)

1964 – M1 – не точечный источник

1965 – еще 6 источников, в.т.ч. близкие галактики

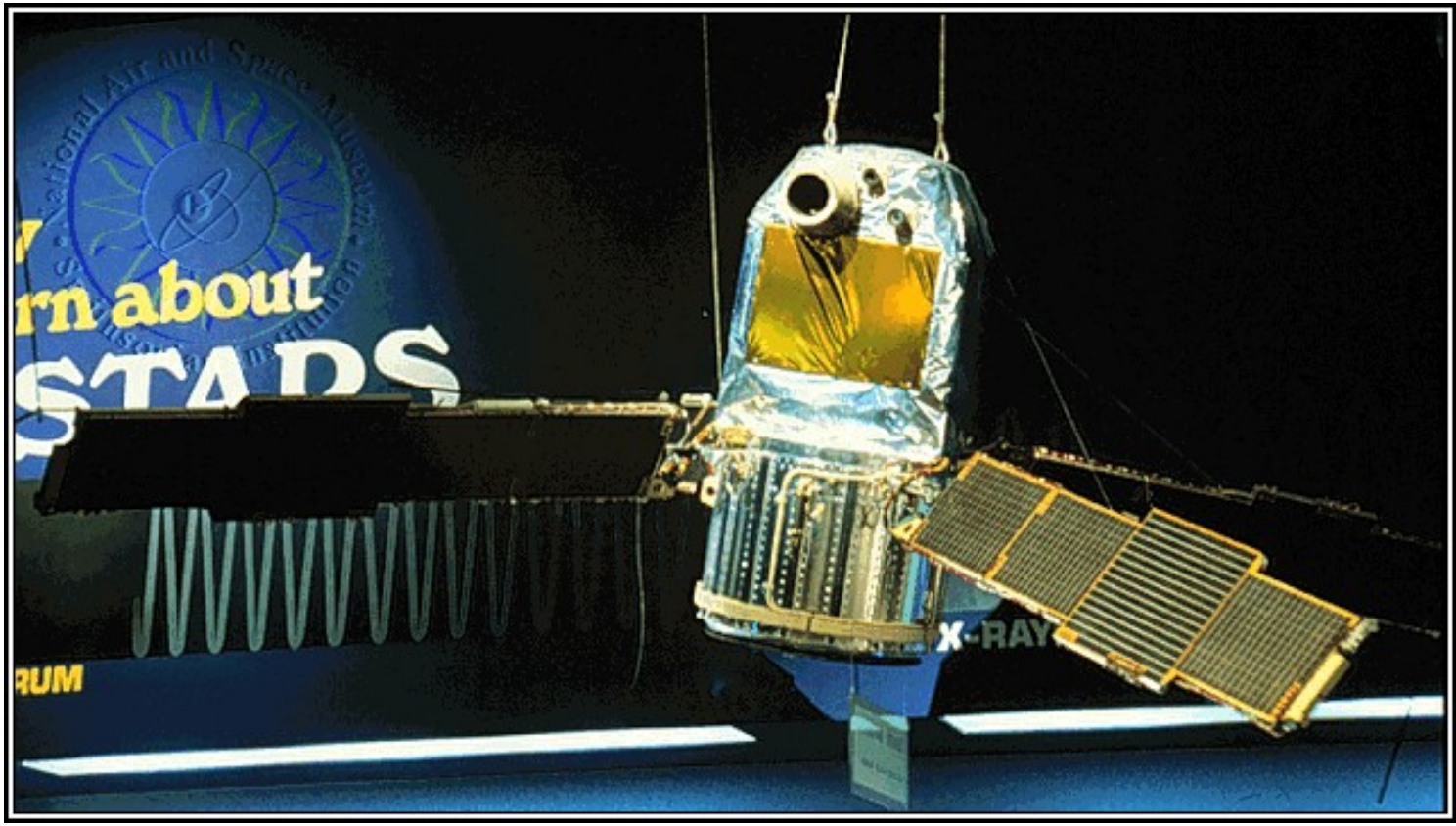
1965 – Скопление в Волосах Вероники

1966 – точная локализация Sco X-1

# Спутниковые эксперименты

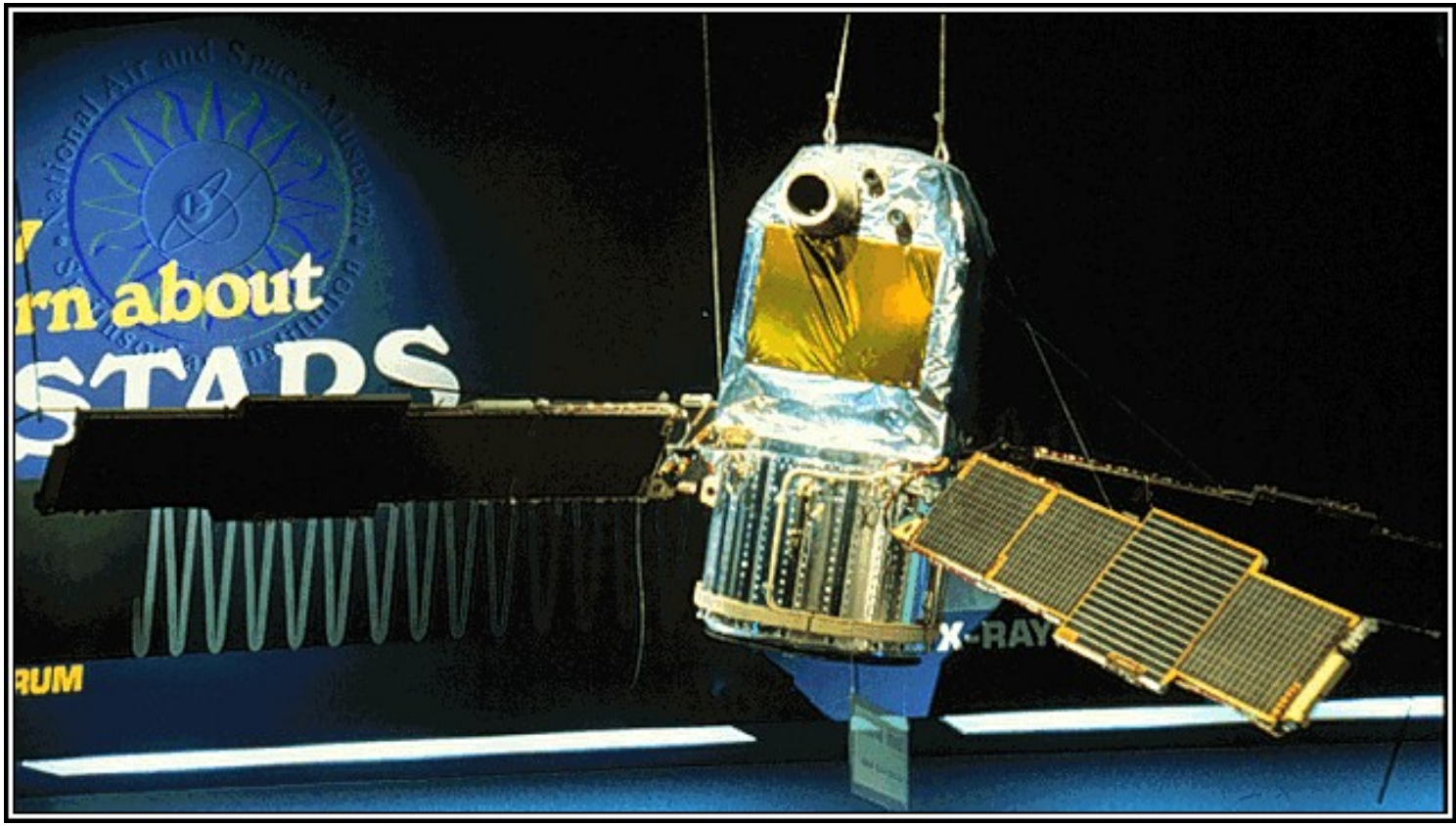
1970 - Uhuru
Коллиматоры
1°x10°, 10°x10°
2-20 кэВ
1680 см$^2$

$P_{вращ}$ = 12 мин.



# Спутниковые эксперименты

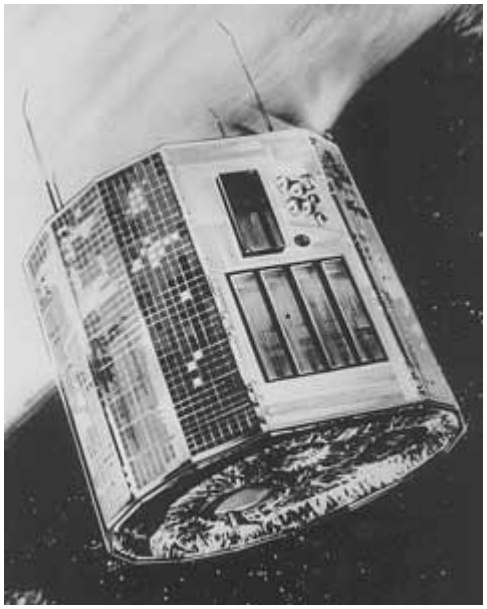
1970 - Uhuru
Коллиматоры
1°x10°, 10°x10°
2-20 кэВ
1680 см$^2$



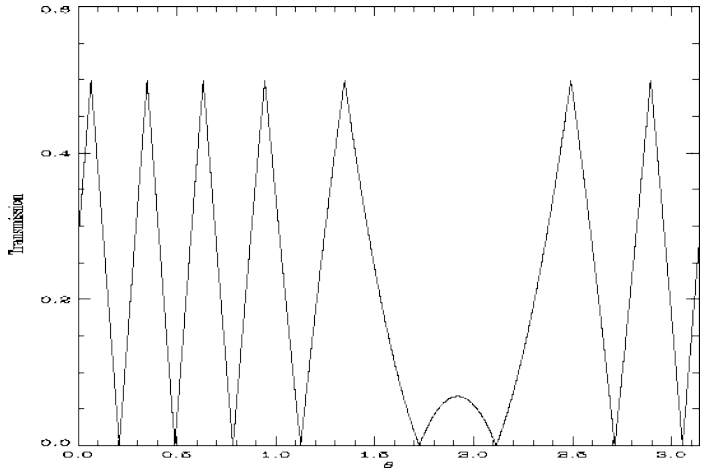

$P_{вращ}$ = 12 мин.

→ 339 источников за 2.5 года

# Спутниковые эксперименты



Ariel-V 1974






RHESSI SUBCOLLIMATOR SCHEMATIC

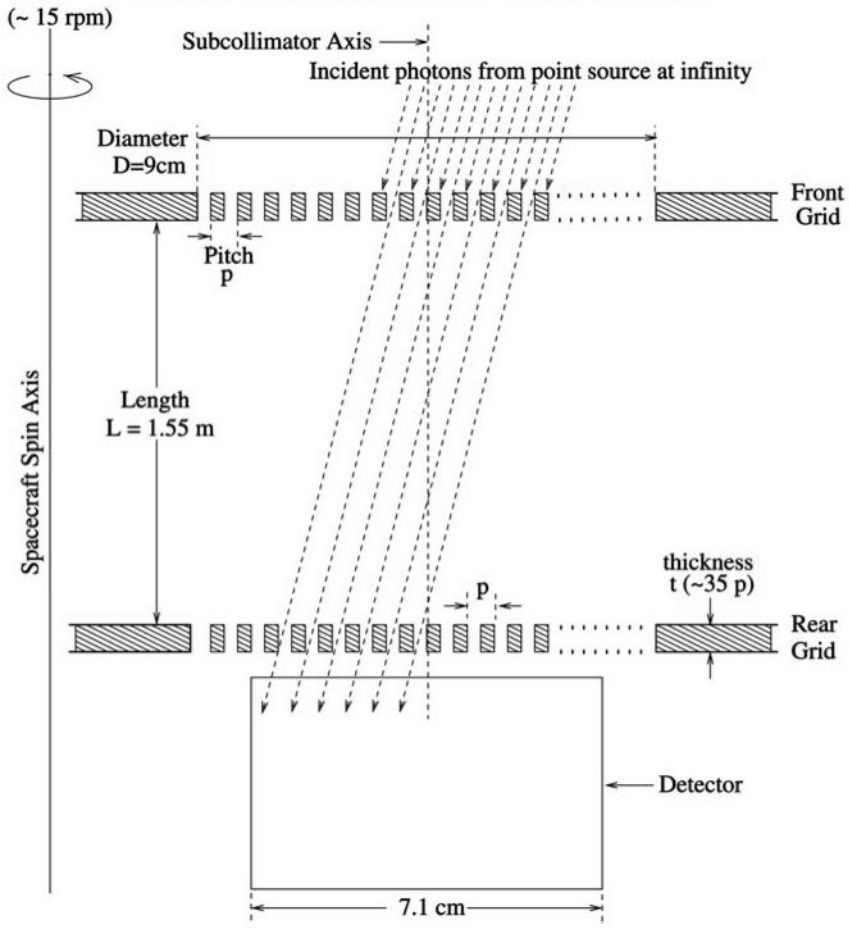
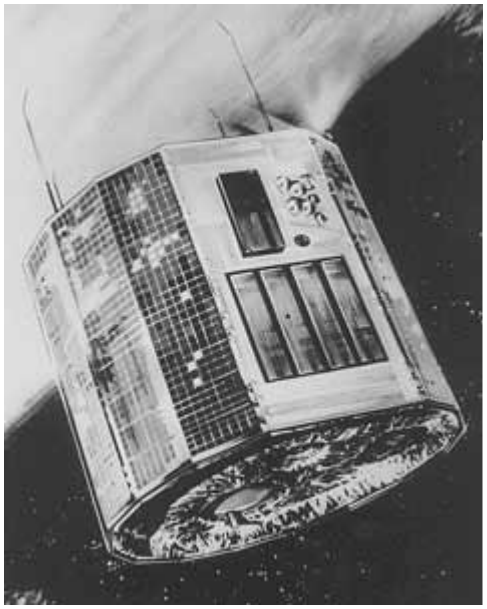
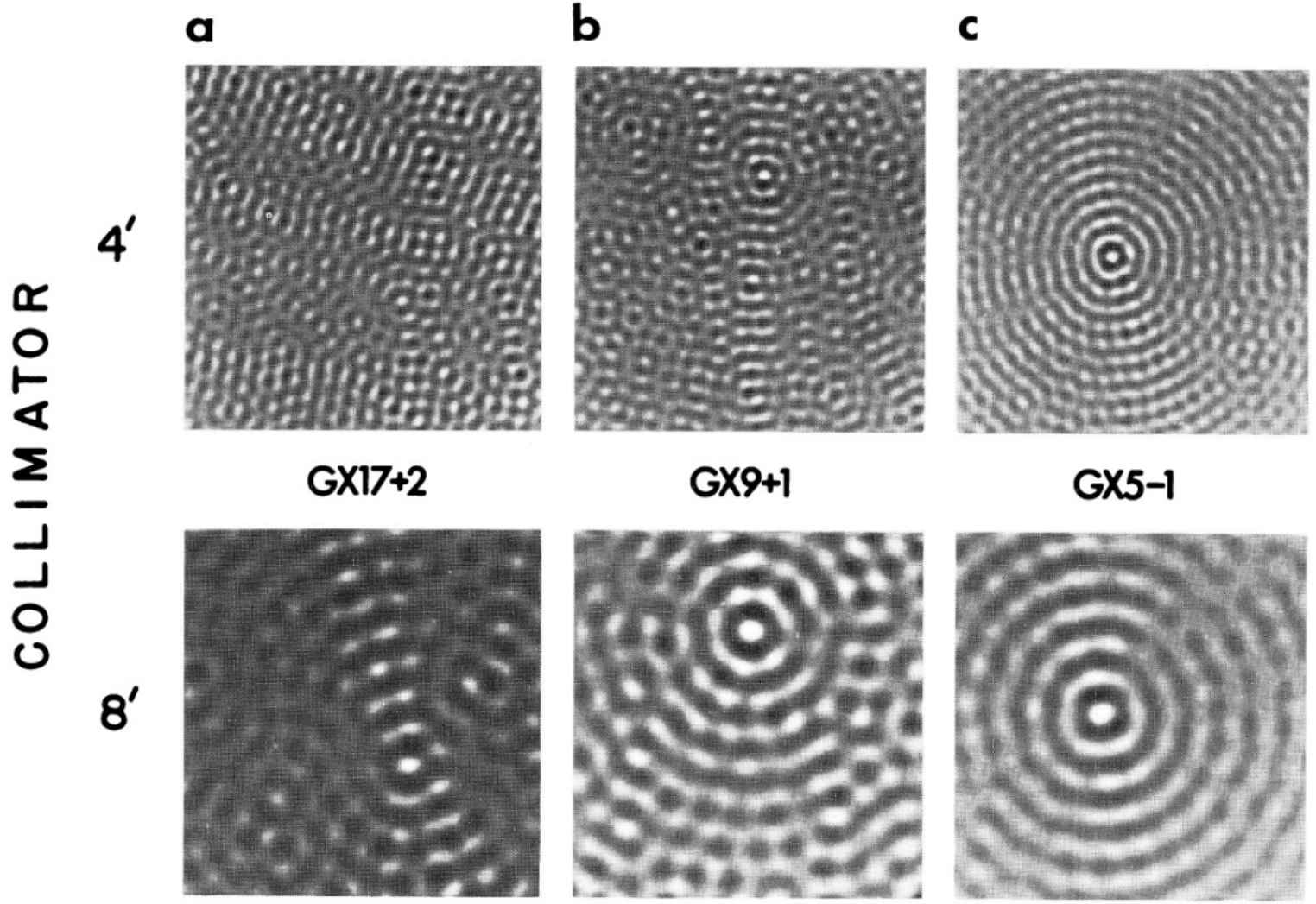



*Figure 2.* Schematic geometry of the RHESSI subcollimators, showing representative incident photons with respect to the collimator axis.

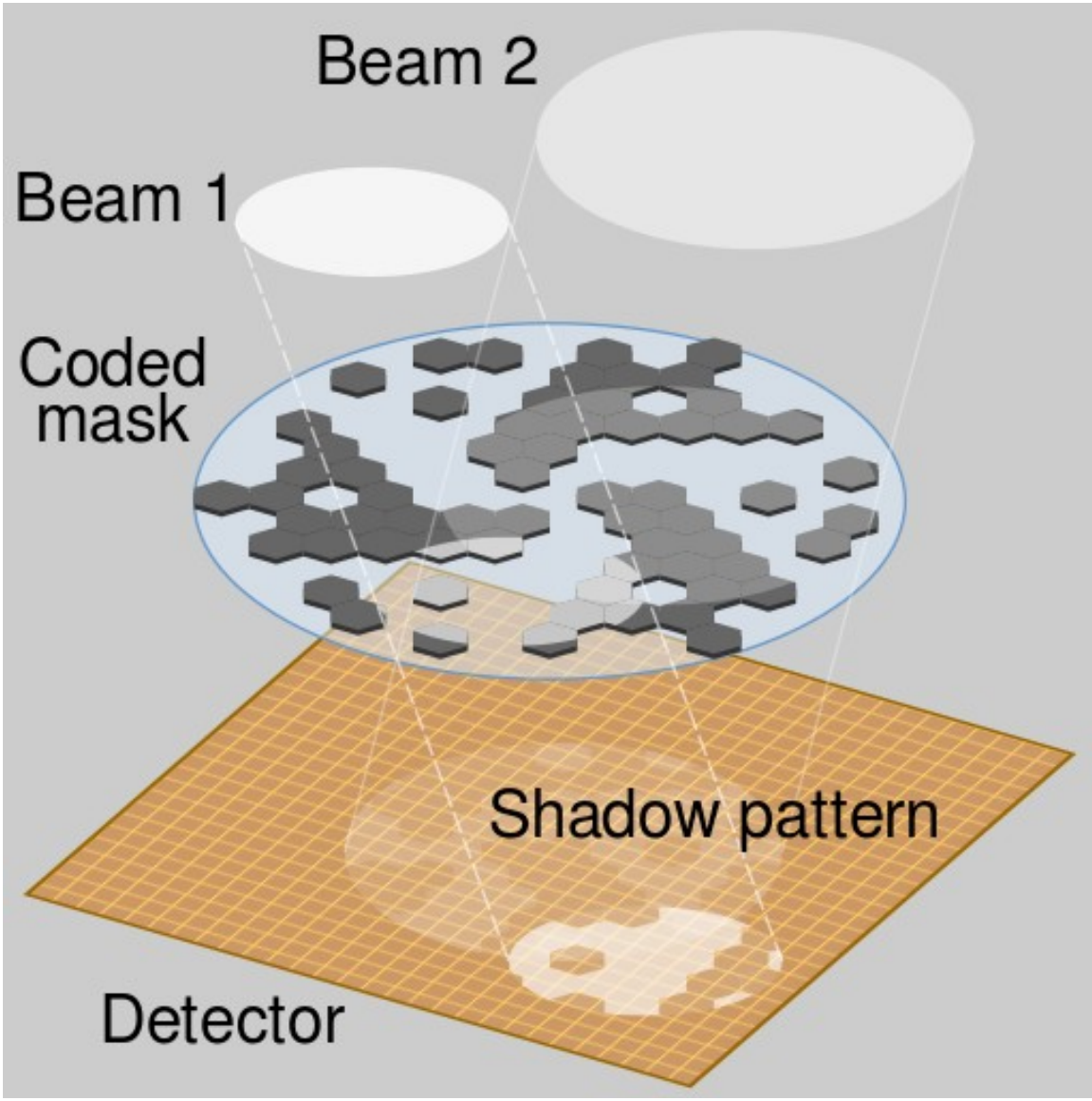
# Спутниковые эксперименты



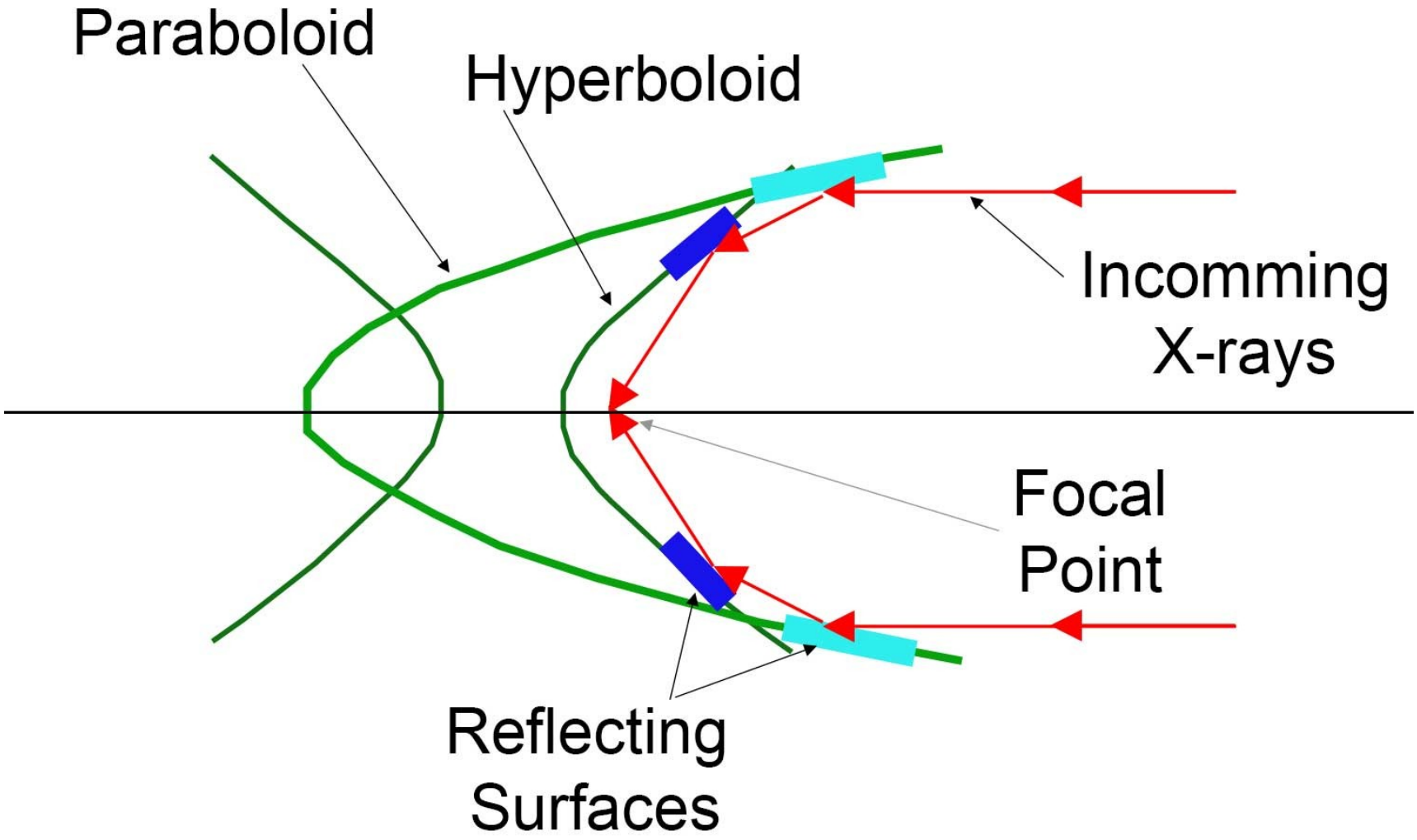
Ariel-V 1974



# Телескопы с кодирующей апертурой



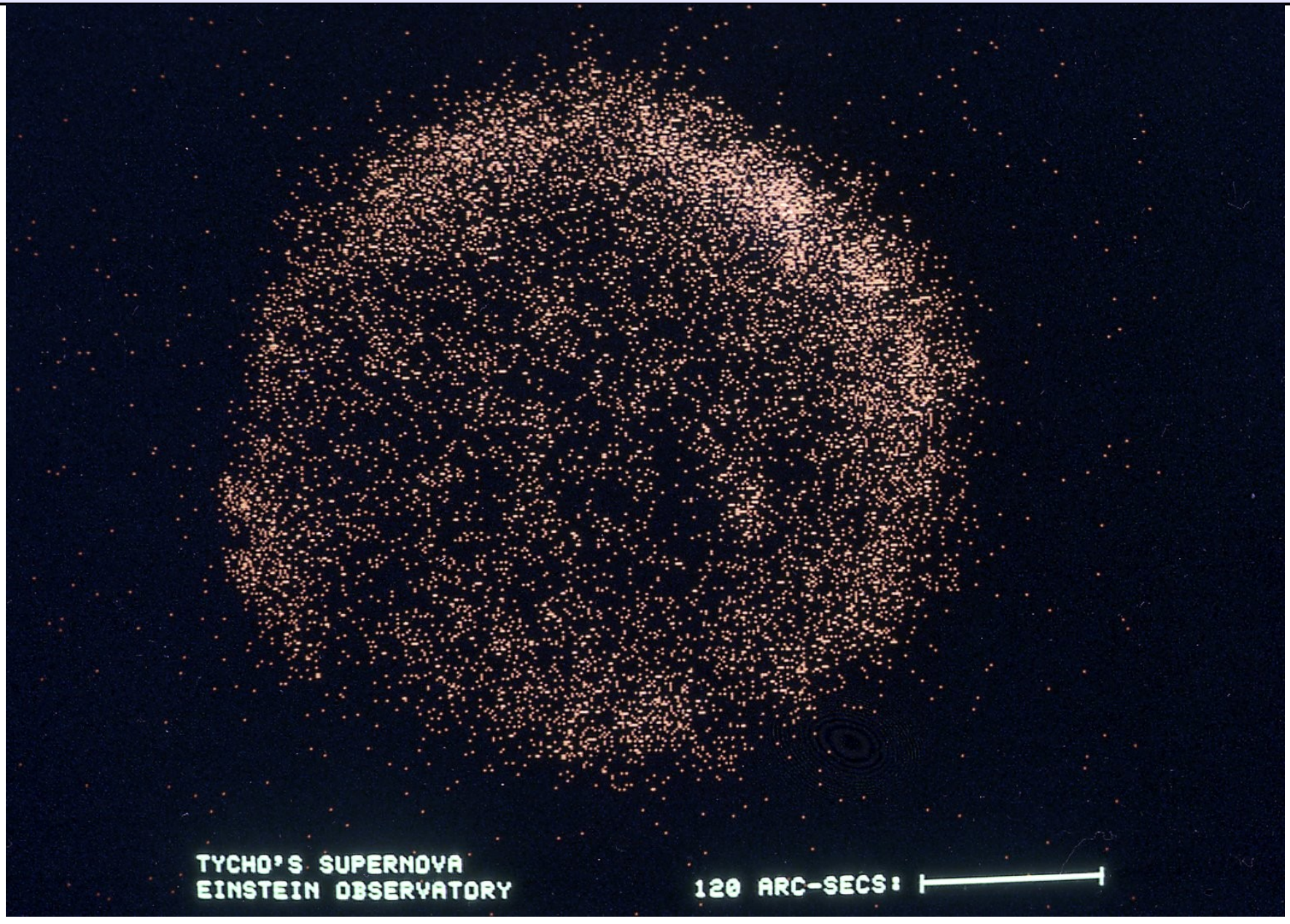
# Телескопы косого падения



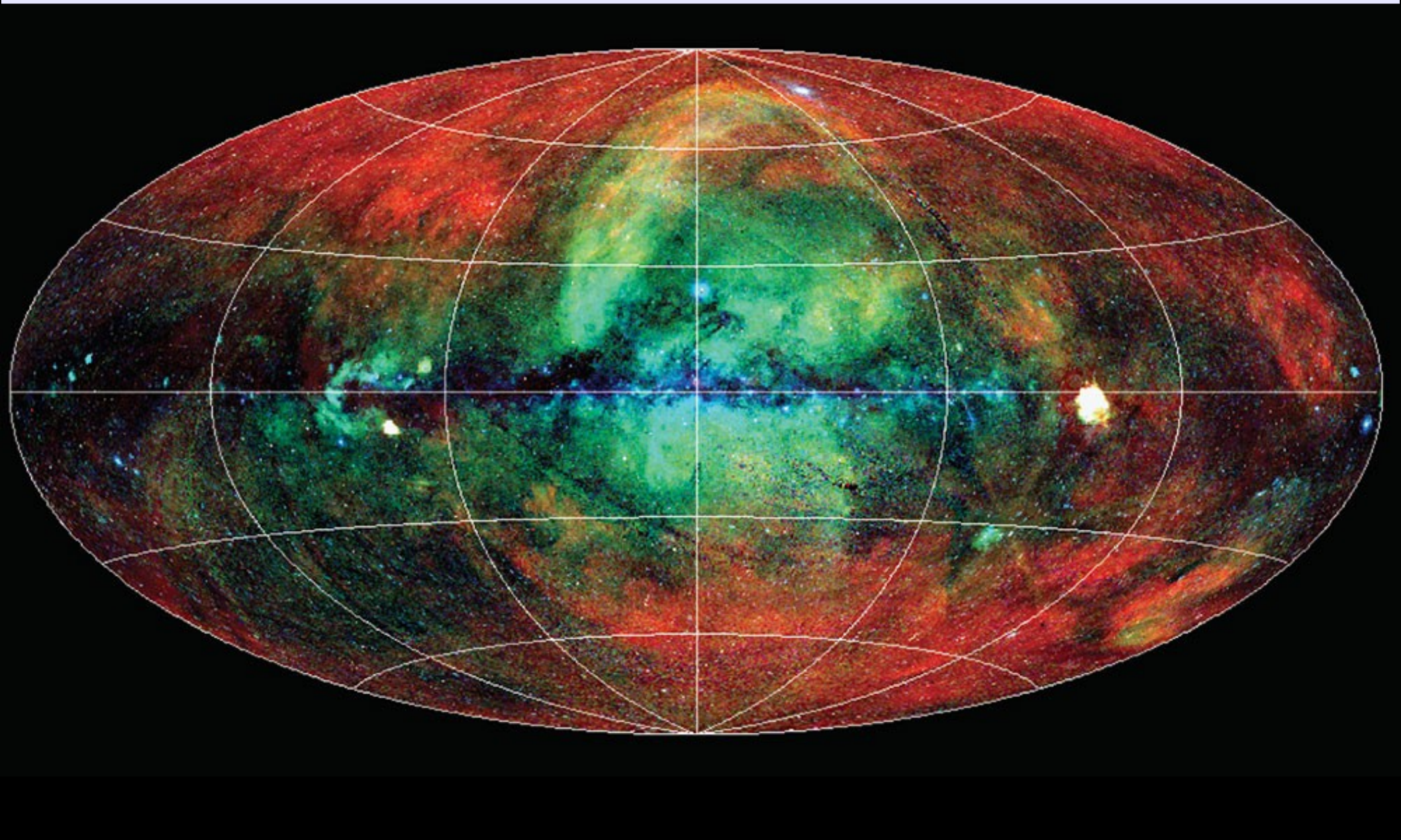
# Телескопы косого падения

# Обсерватория им. Эйнштейна

# Обсерватория им. Эйнштейна



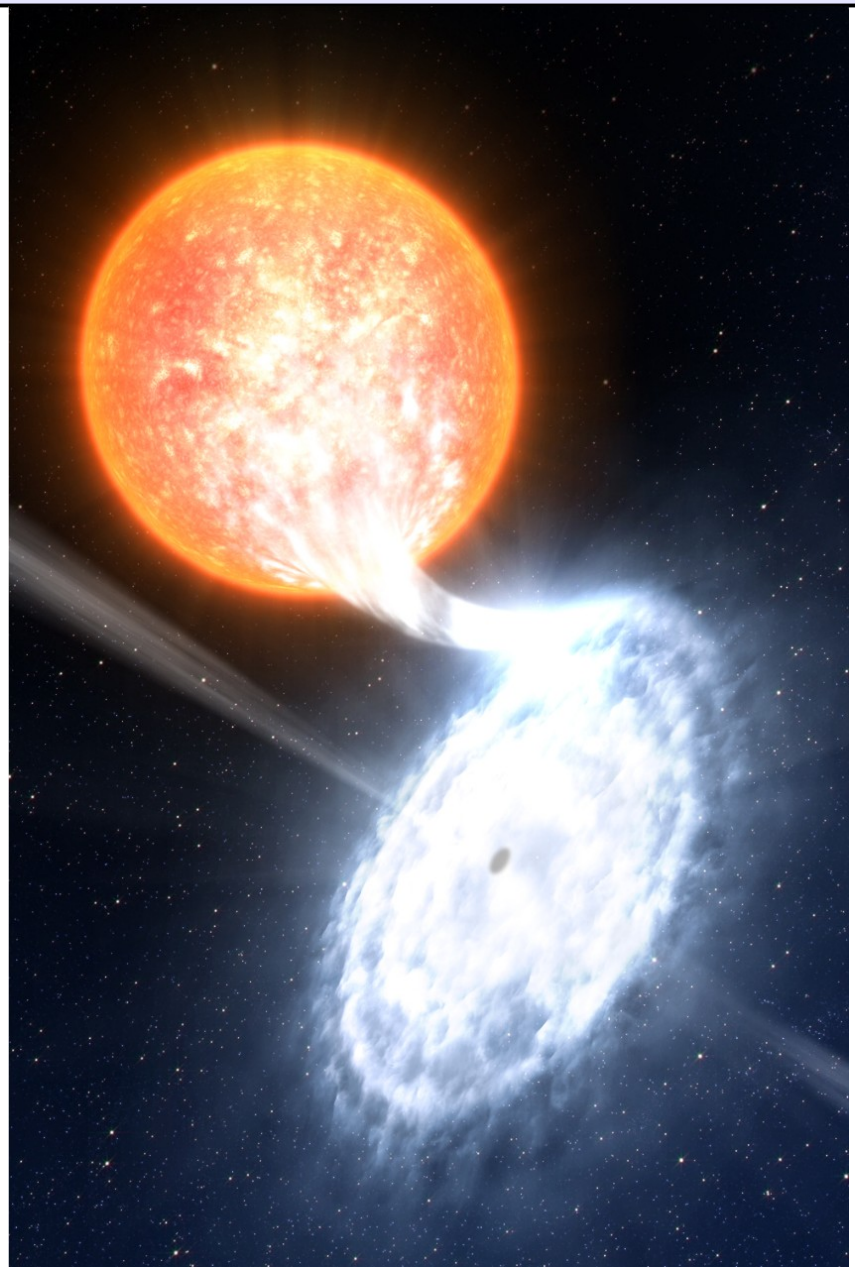
# Обзор всего неба - ROSAT



# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

двойные системы с компактными объектами

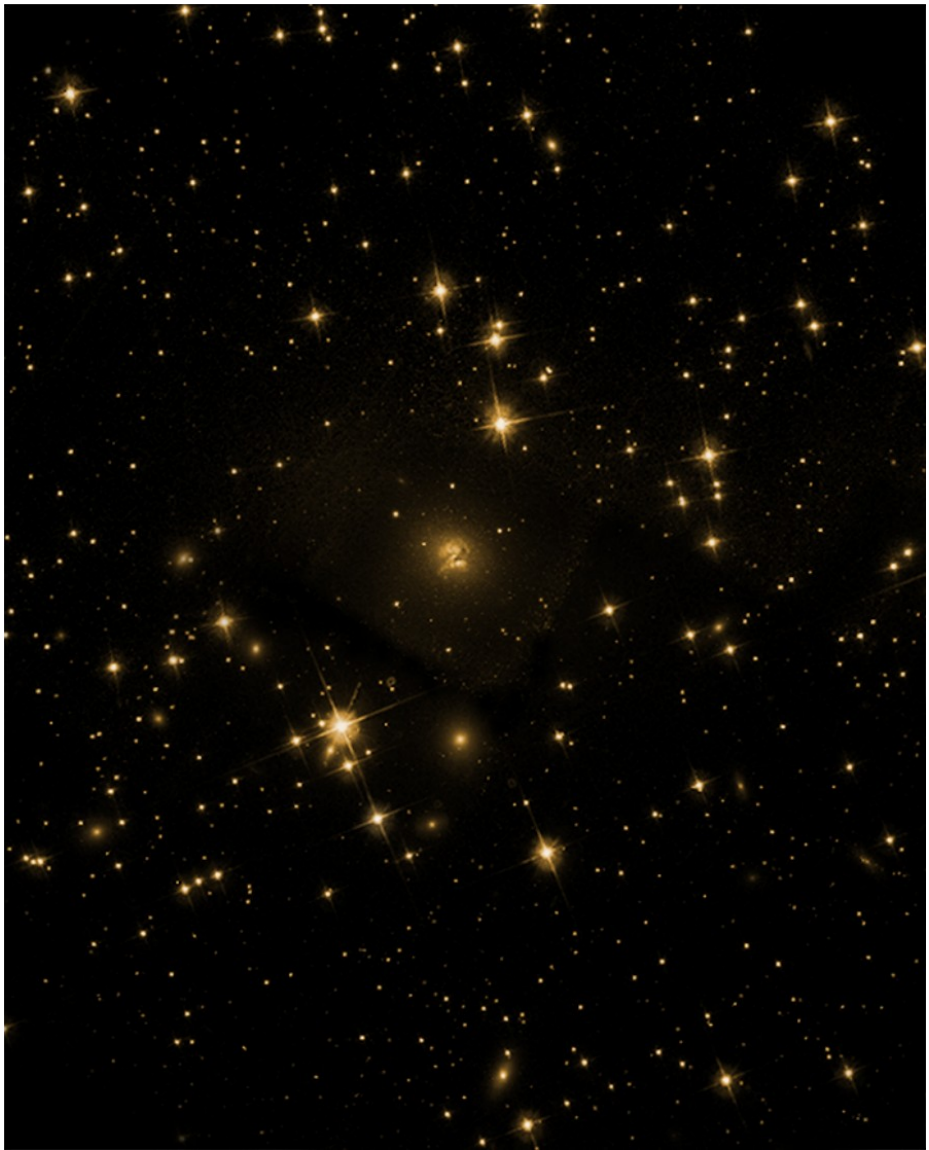


# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

двойные системы с компактными объектами

ядра галактик

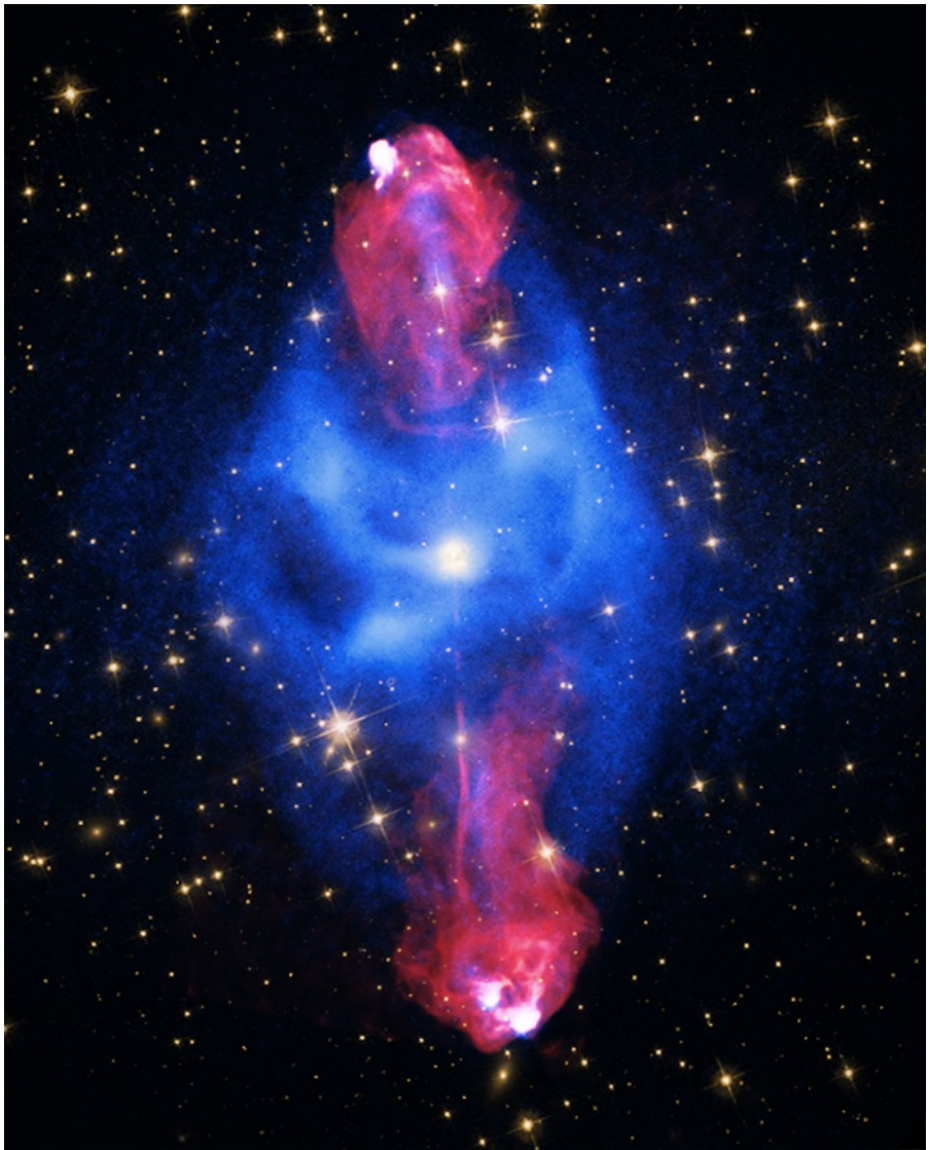


# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

двойные системы с компактными объектами

ядра галактик



# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

двойные системы с компактными объектами

ядра галактик

скопления галактик

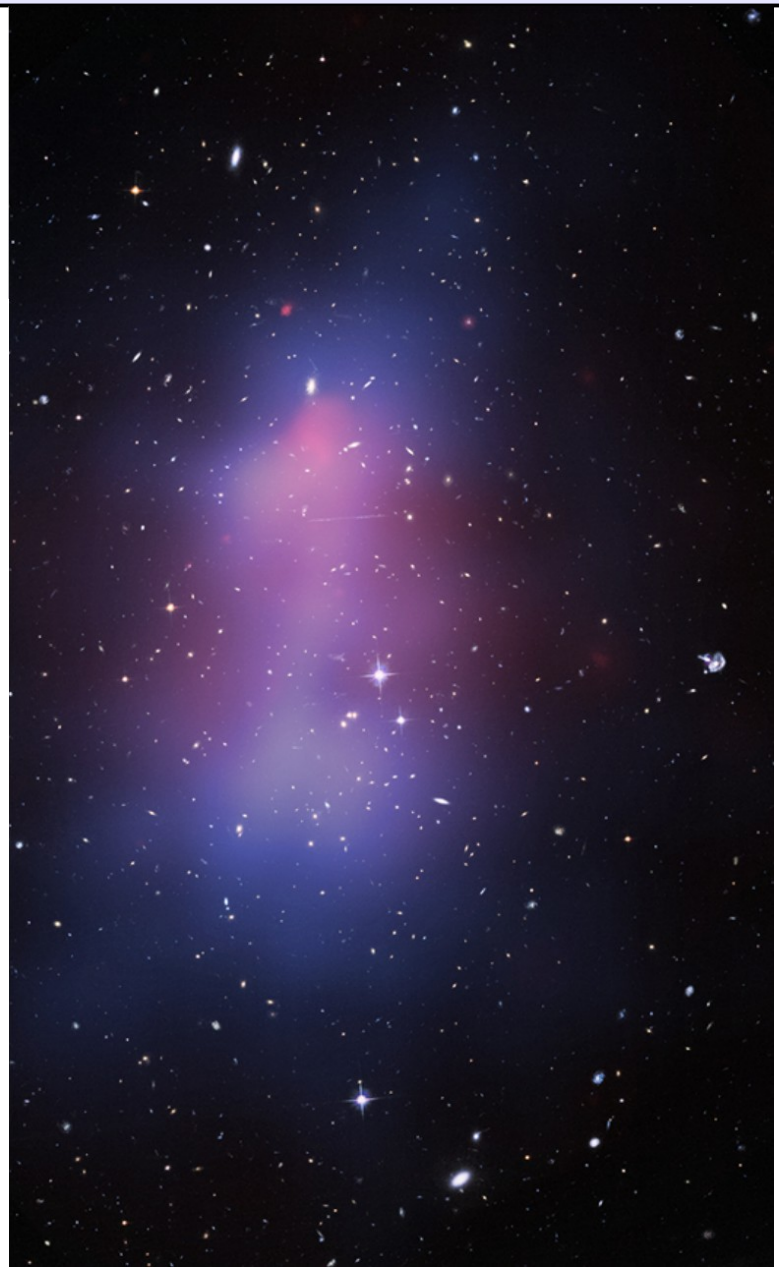
# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

двойные системы с компактными объектами

ядра галактик

скопления галактик

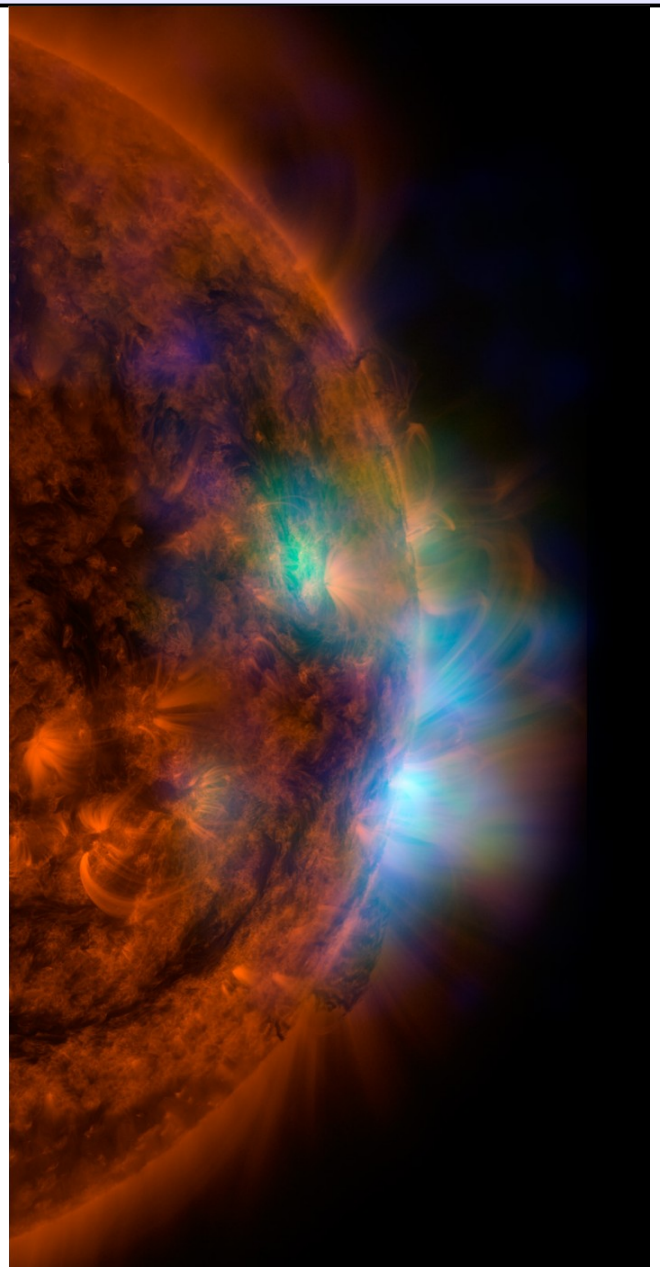


# Рентгеновские источники

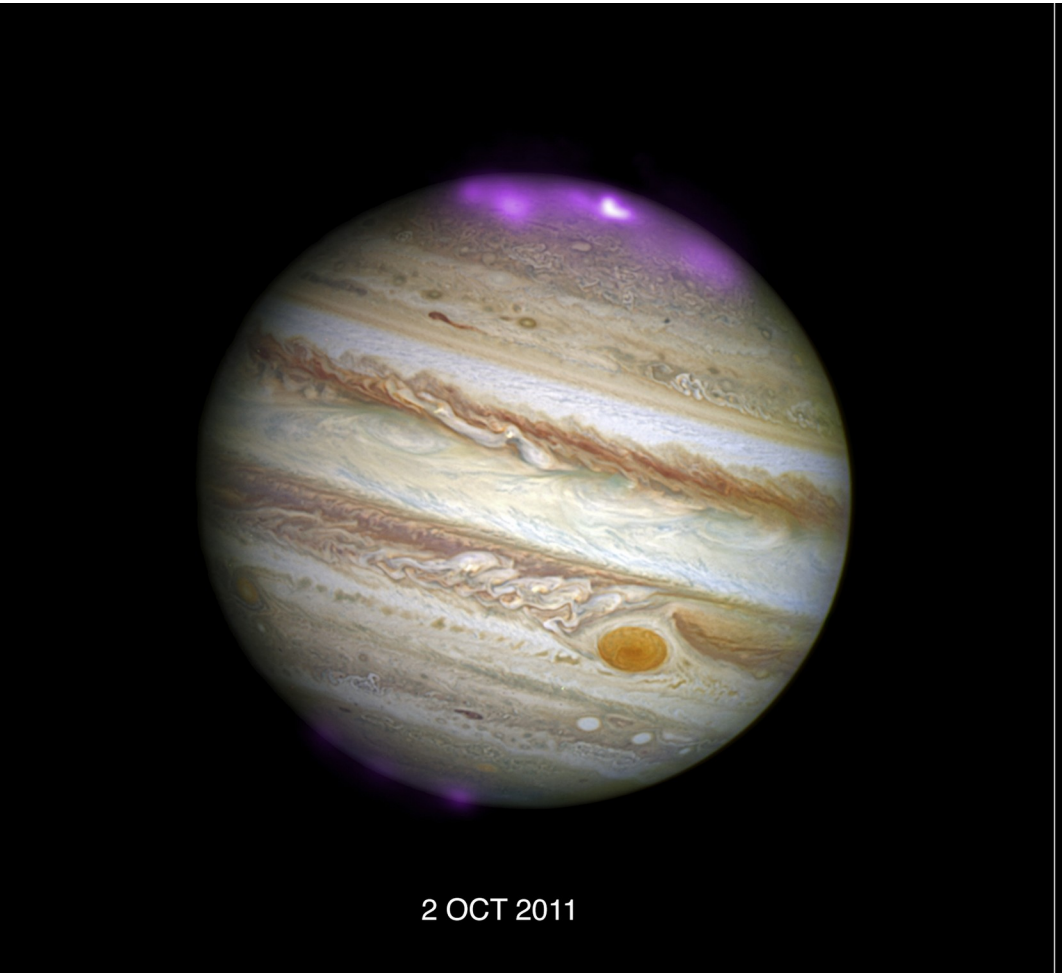
Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

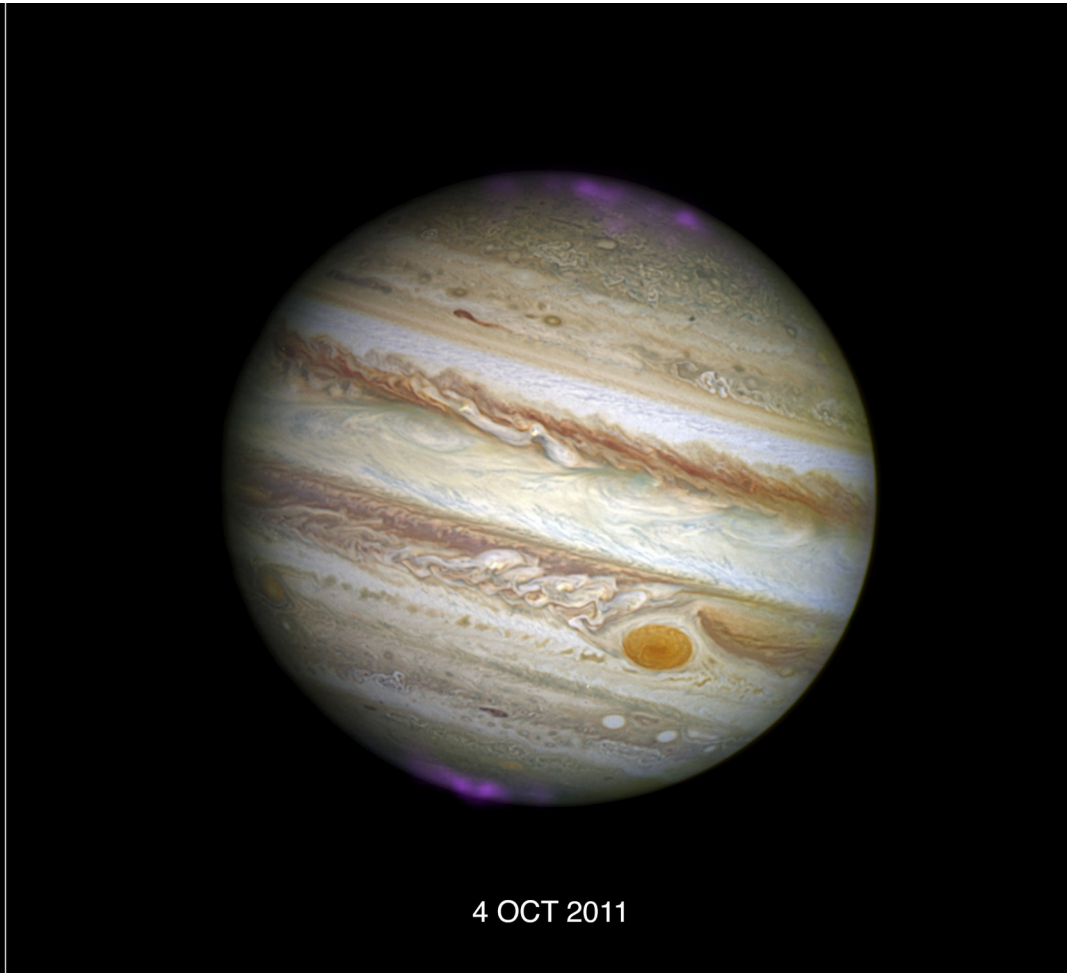
- двойные системы с компактными объектами
- ядра галактик
- скопления галактик

Короны активных звезд - “магнитный” нагрев



# ...даже планеты!



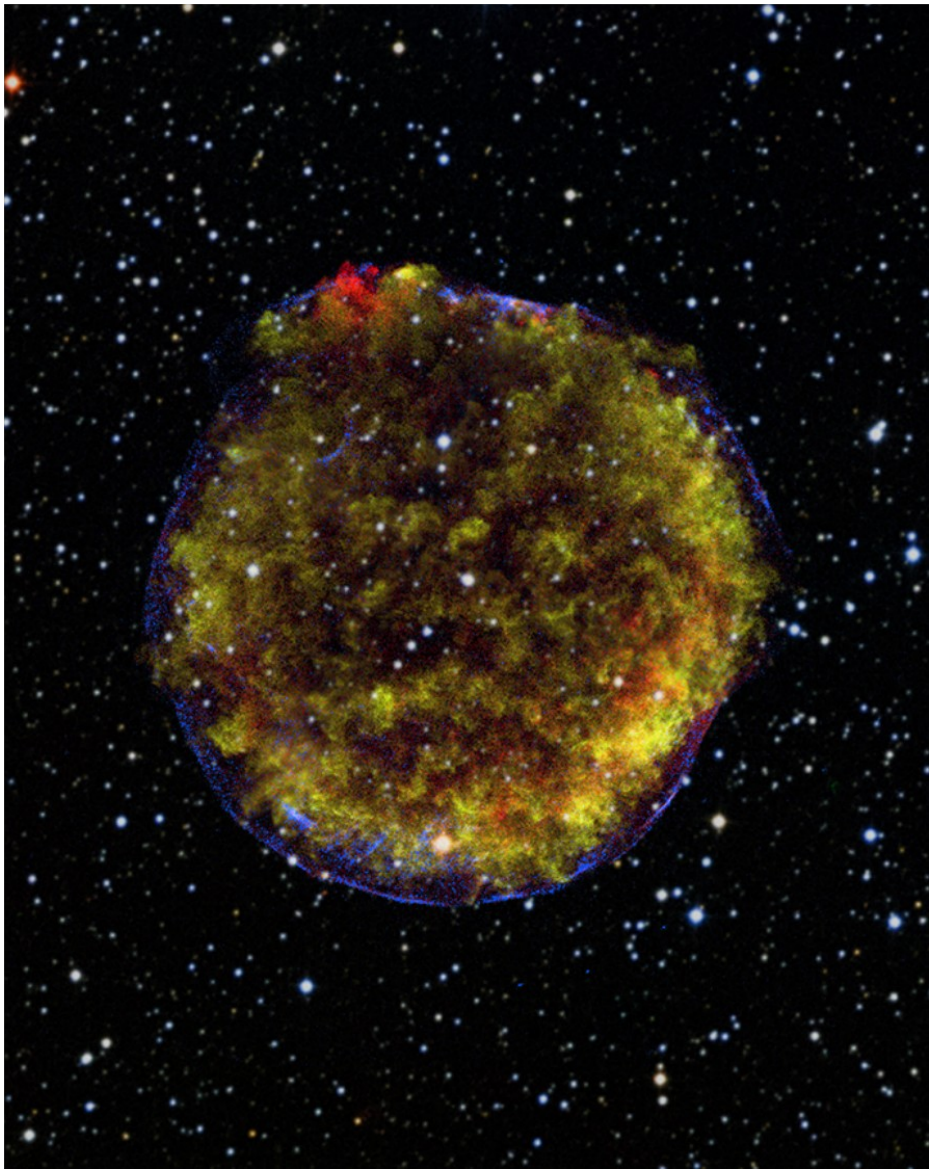
# Рентгеновские источники

Нагрев газа при падении в гравитационные “ямы”:

- двойные системы с компактными объектами
- ядра галактик
- скопления галактик

Короны активных звезд - “магнитный” нагрев

Остатки сверхновых – нагрев на ударной волне



# Зачем все это?

Компактные объекты –

- ядерная физика и физика частиц
- гравитация и ОТО
- магнитные поля

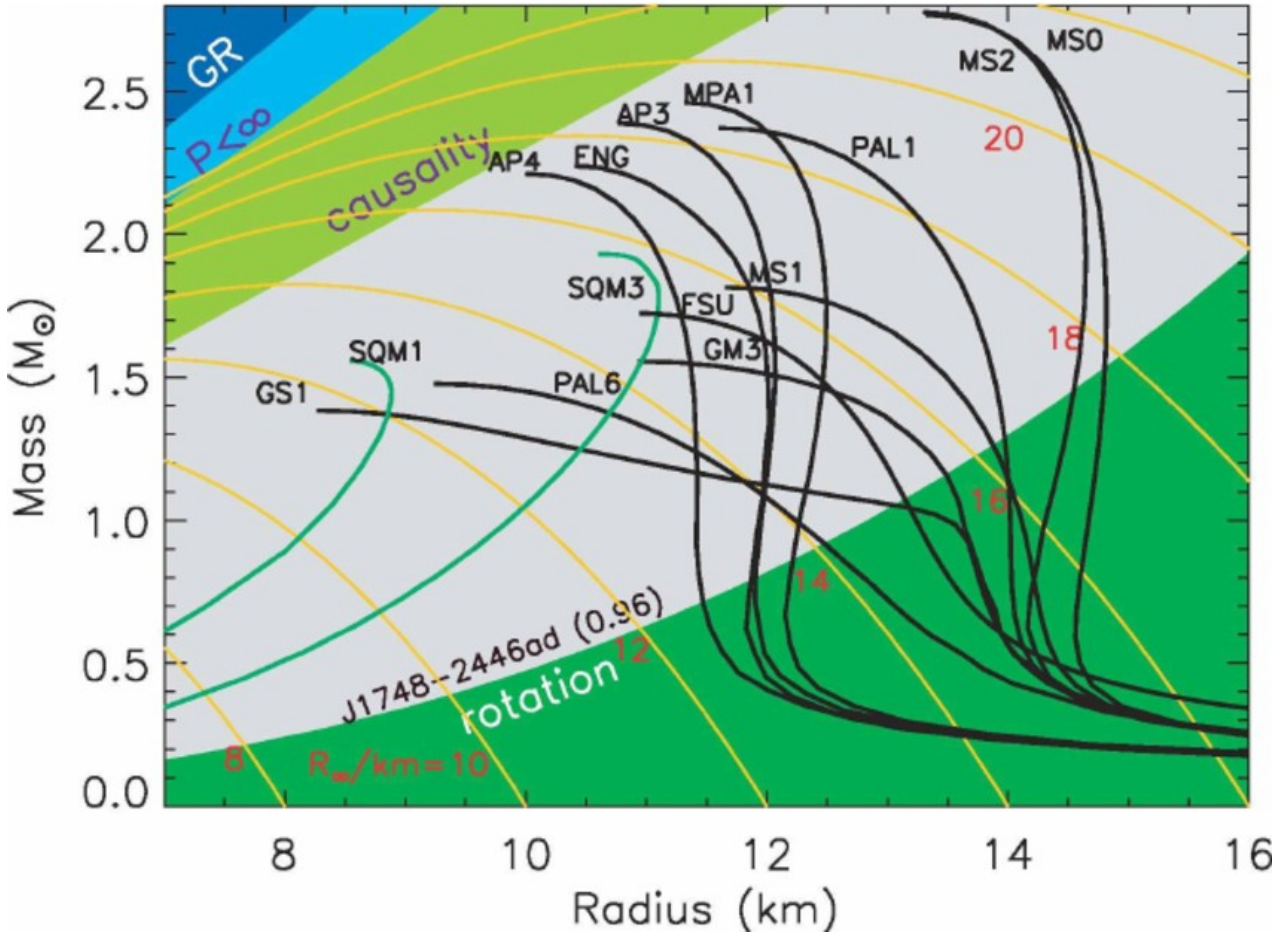
# Зачем все это?

Компактные объекты –

ядерная физика и физика частиц

гравитация и ОТО

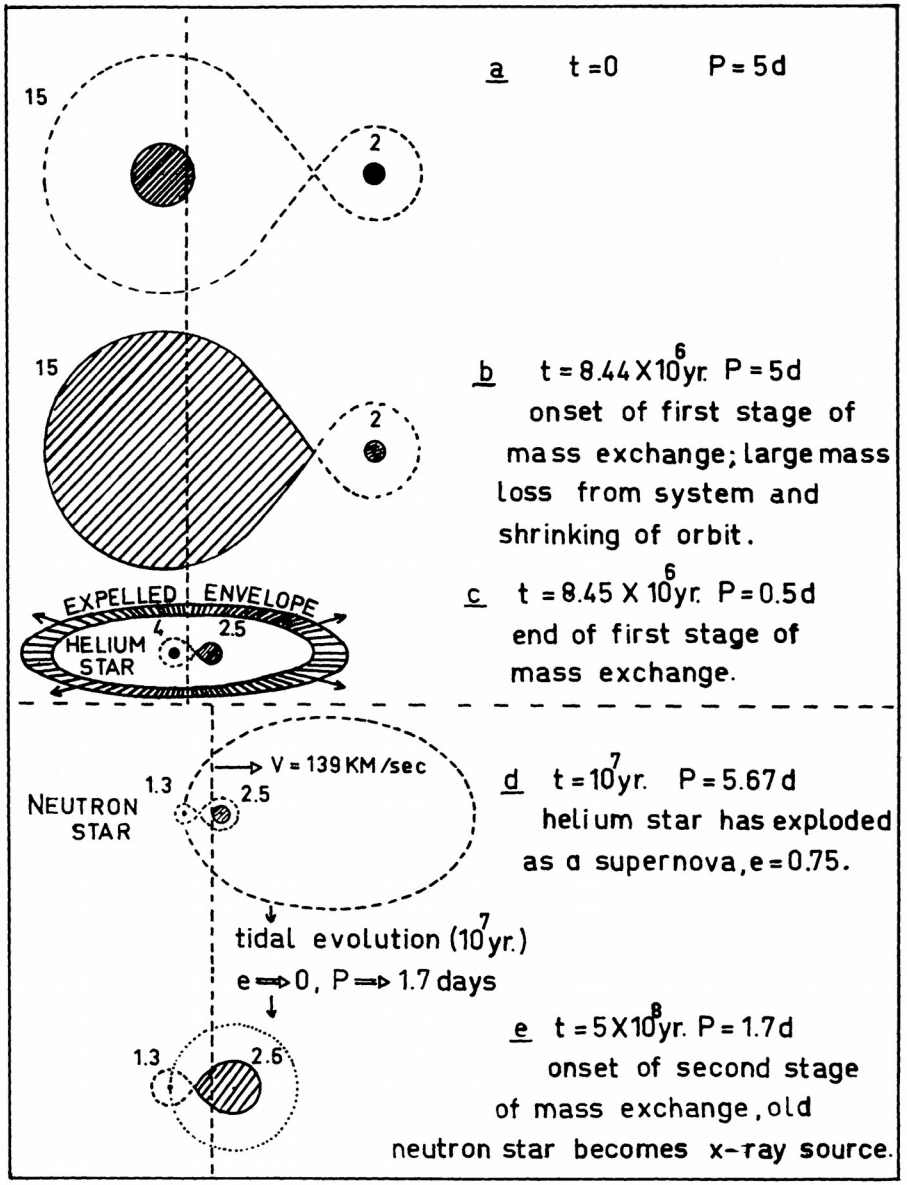
магнитные поля



# Зачем все это?

Компактные объекты –
ядерная физика
гравитация и ОТО
магнитные поля

Звездная эволюция



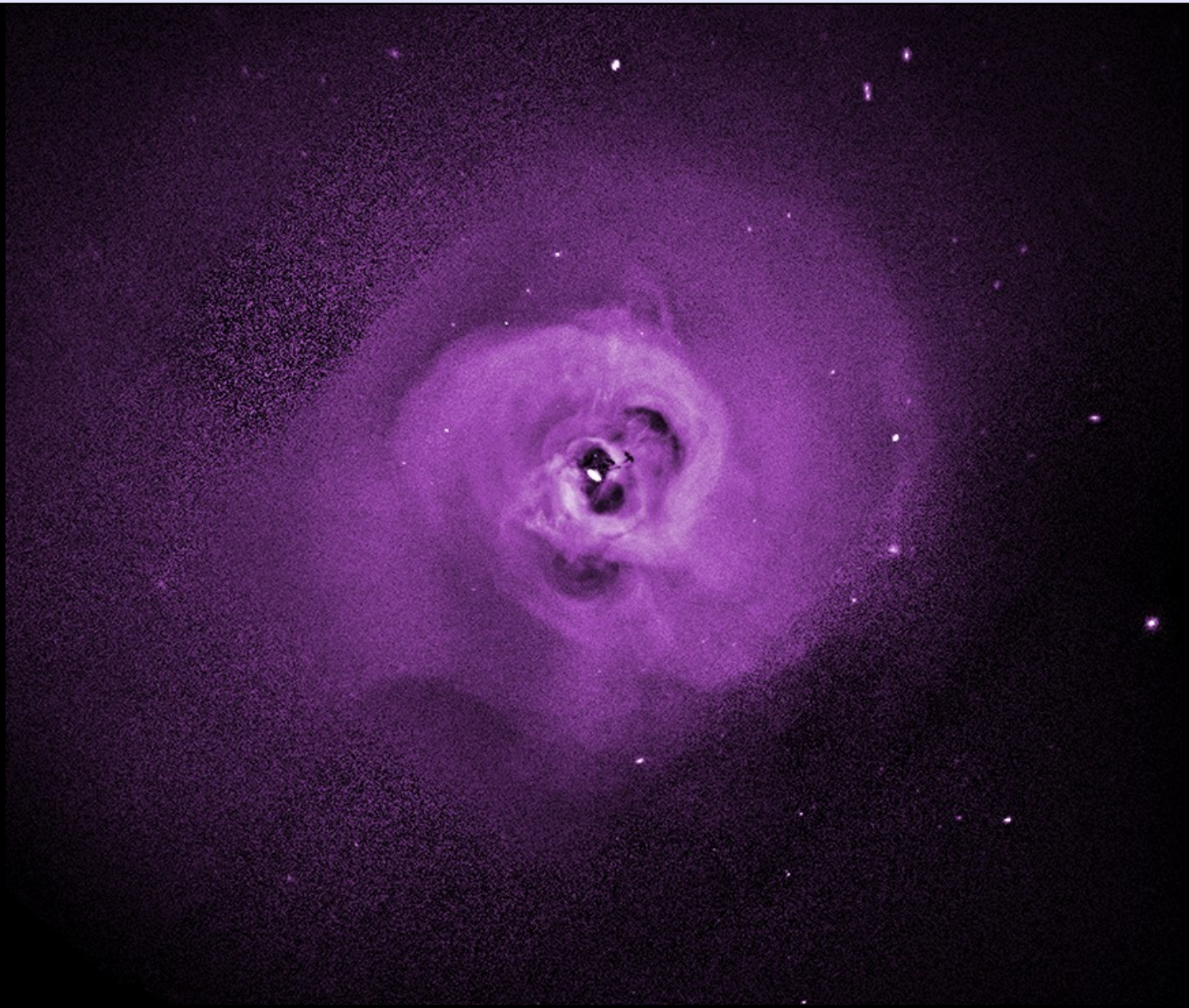
# Зачем все это?

Компактные объекты –
- ядерная физика и физика частиц
- гравитация и ОТО
- магнитные поля

Звездная эволюция

Скопления галактик и SNR –
- физика разреженной плазмы
- физика ударных волн

# Зачем все это?



# Зачем все это?

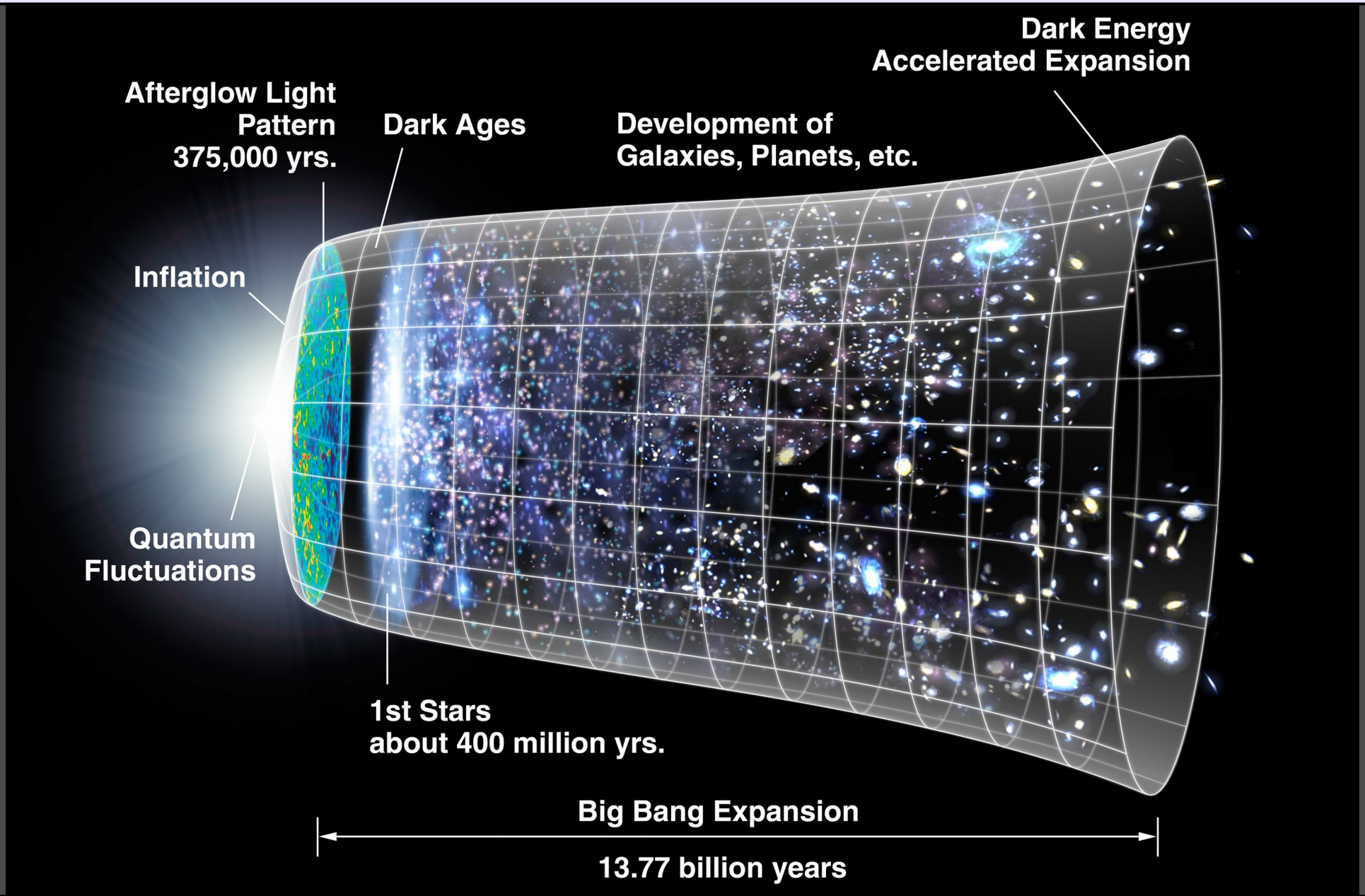
Компактные объекты –
- ядерная физика и физика частиц
- гравитация и ОТО
- магнитные поля

Звездная эволюция

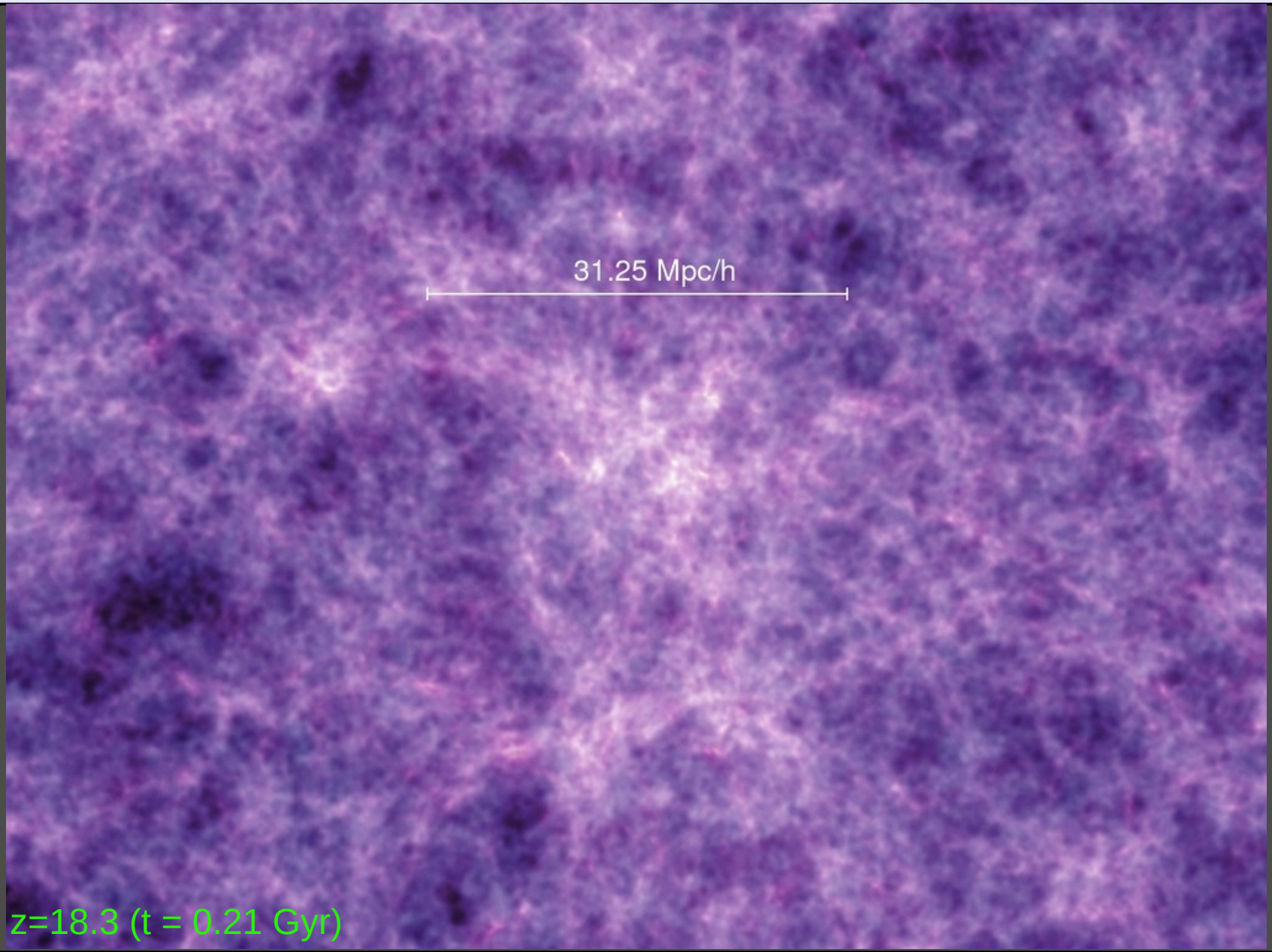
Скопления галактик и SNR –
- физика разреженной плазмы
- физика ударных волн

**Космология?**

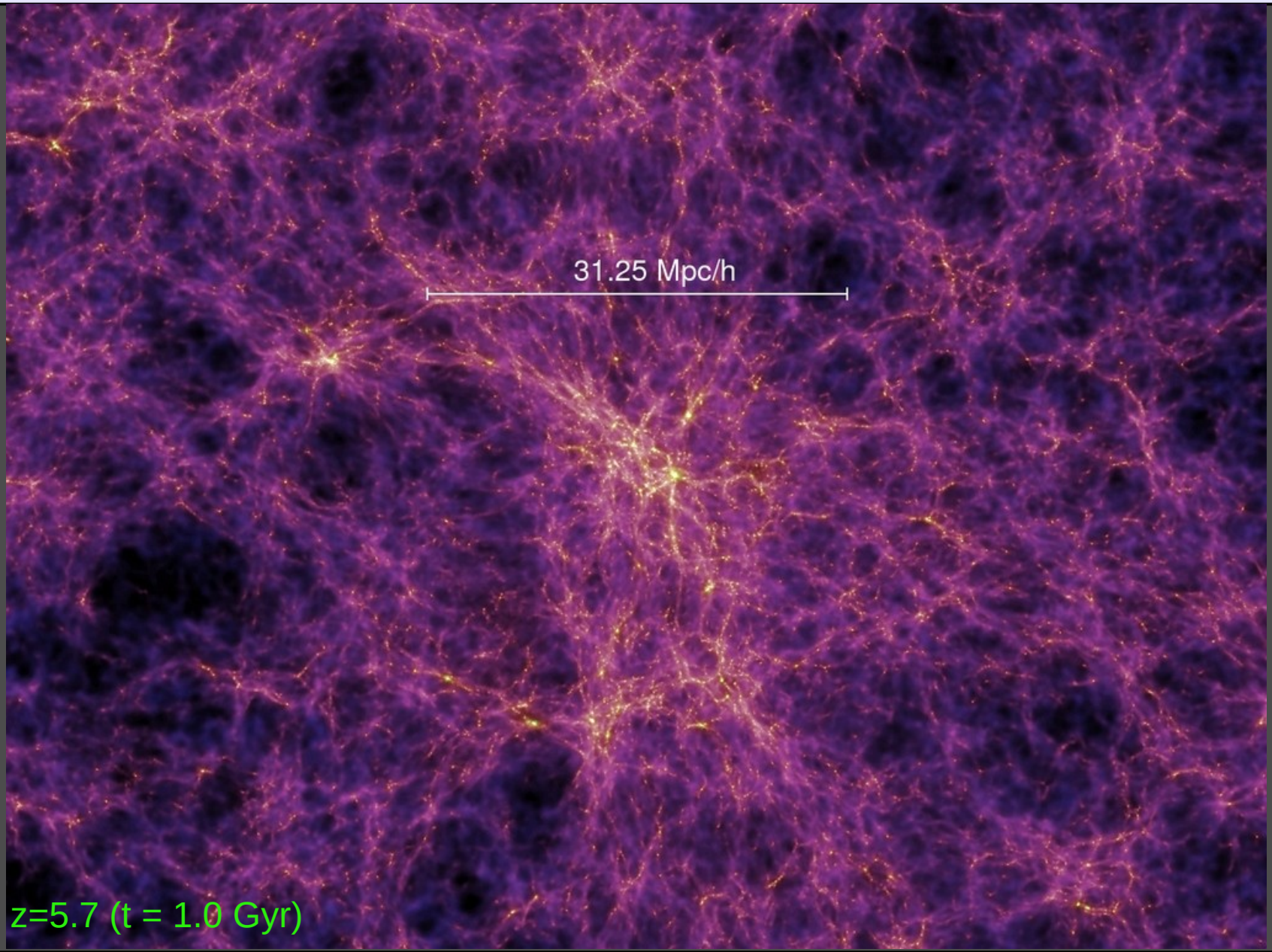
# Космологическая подоплека



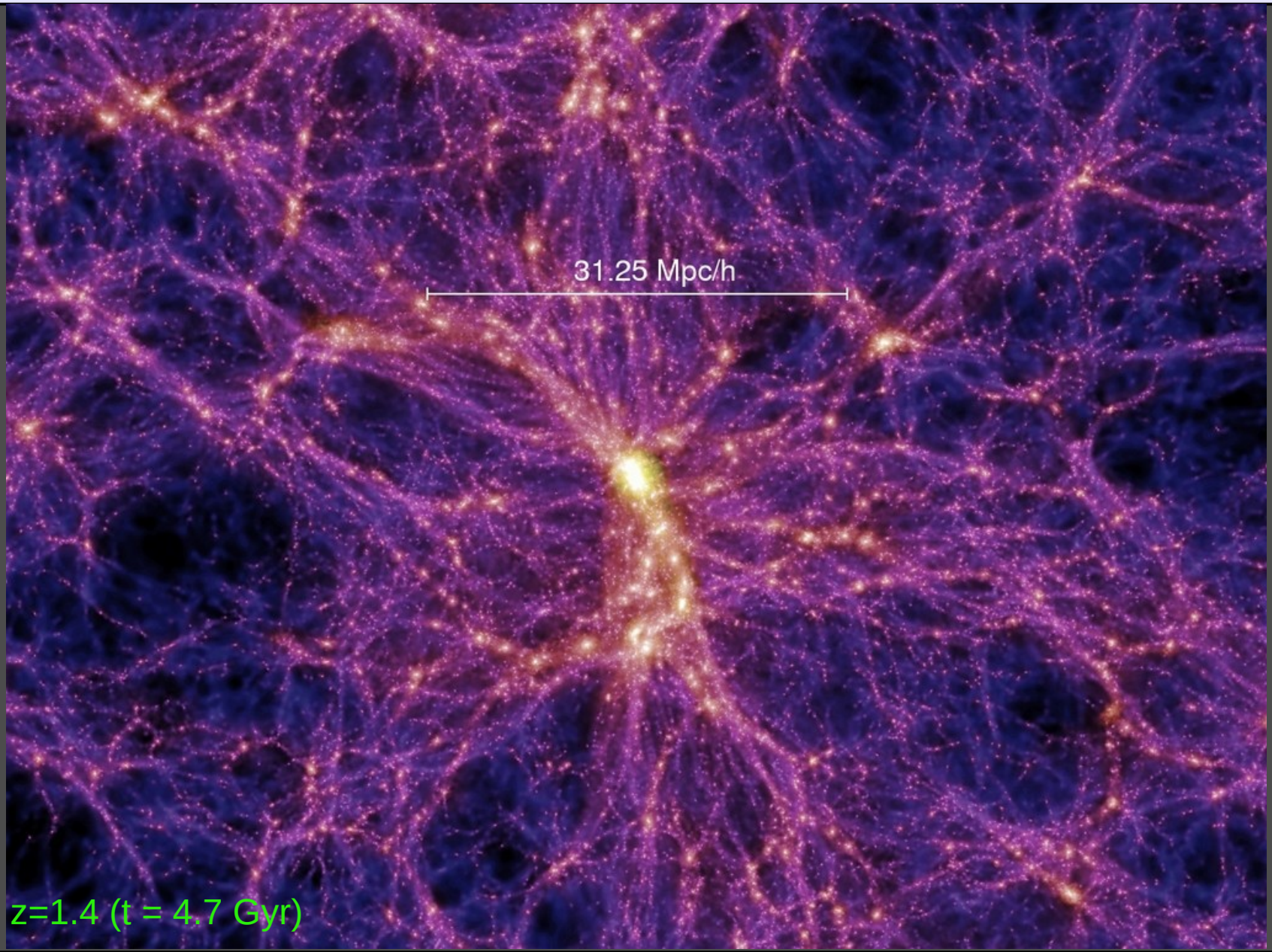
# Рост возмущений



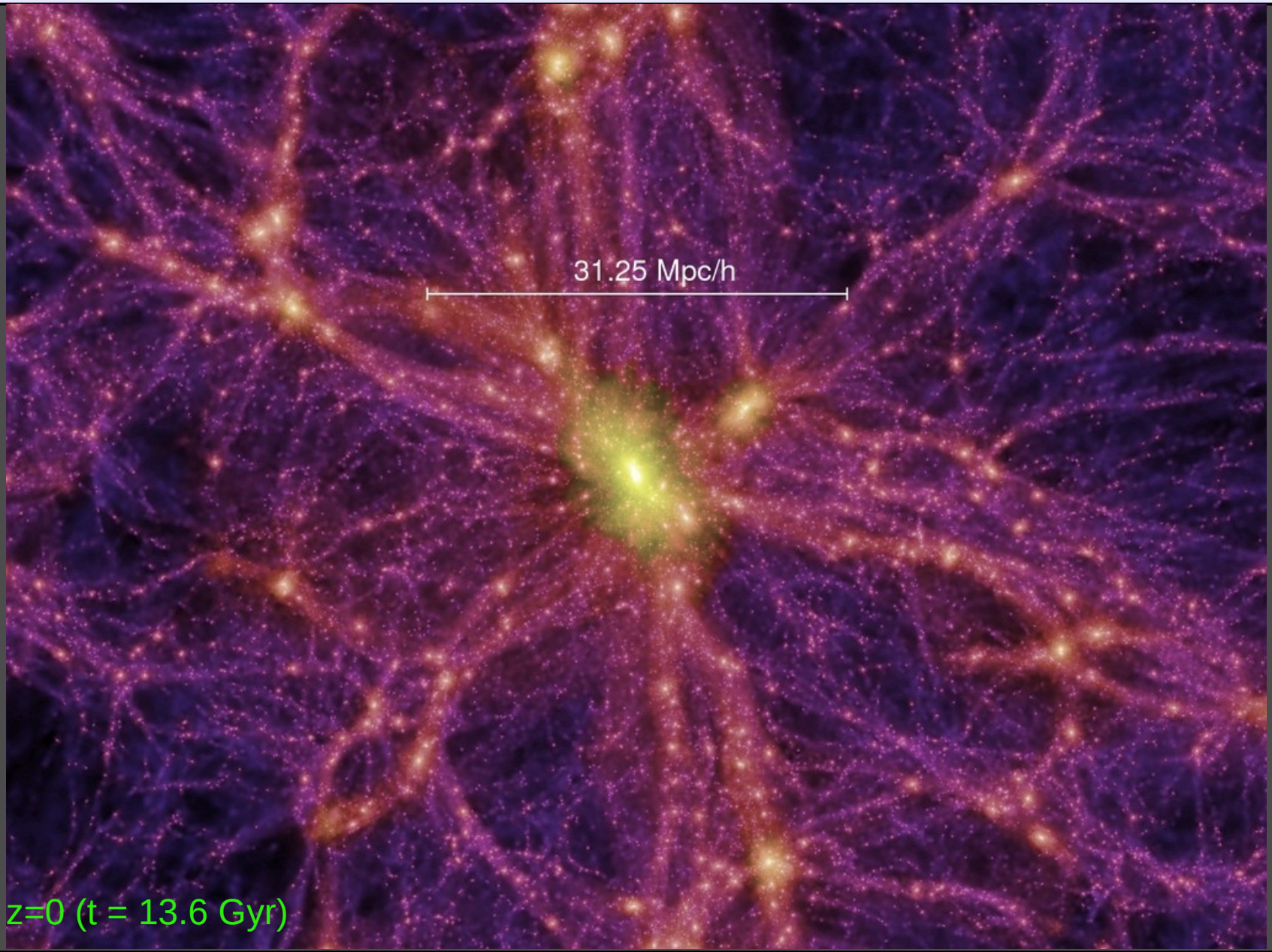
# Рост возмущений



# Рост возмущений

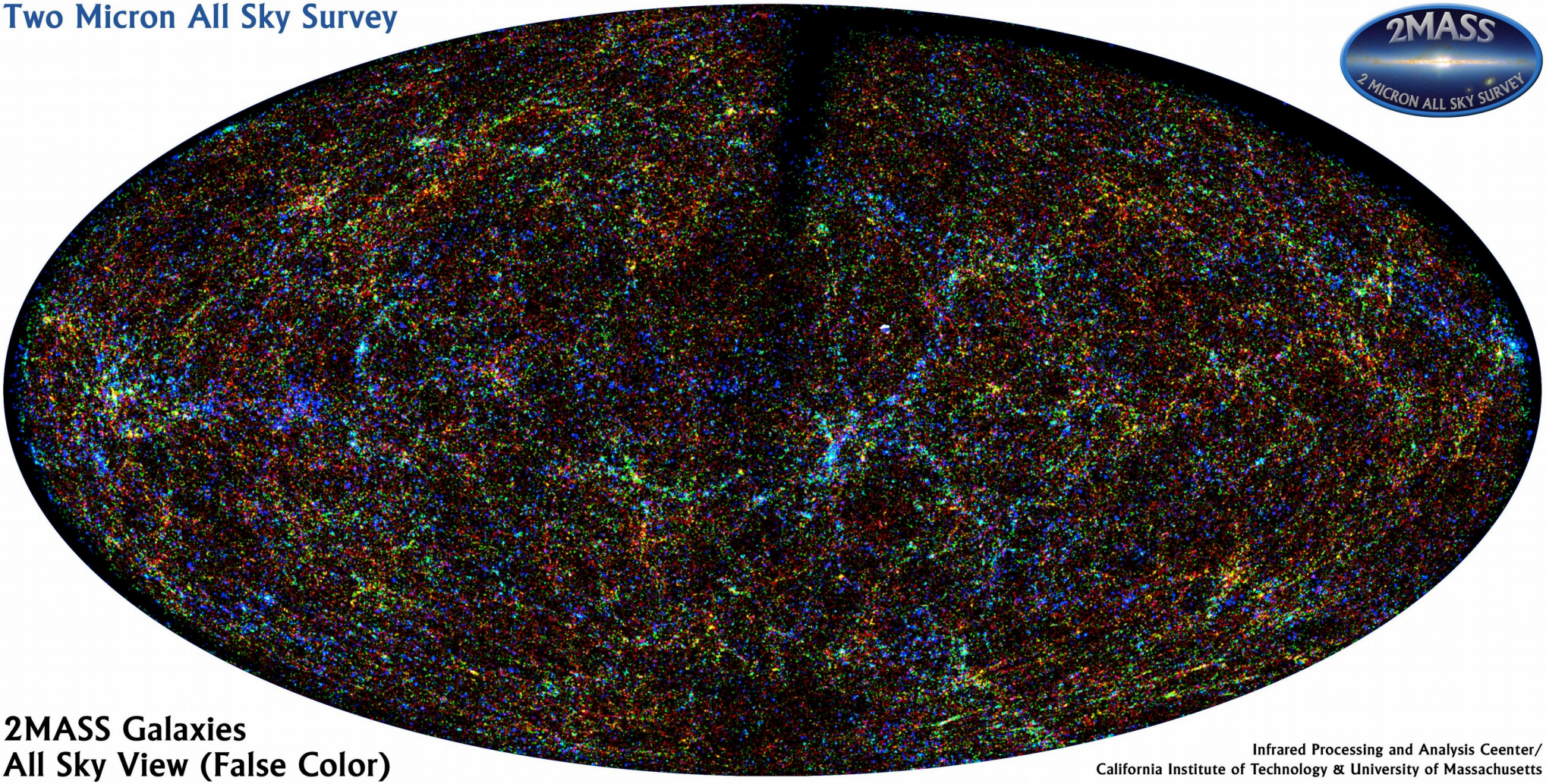


# Рост возмущений

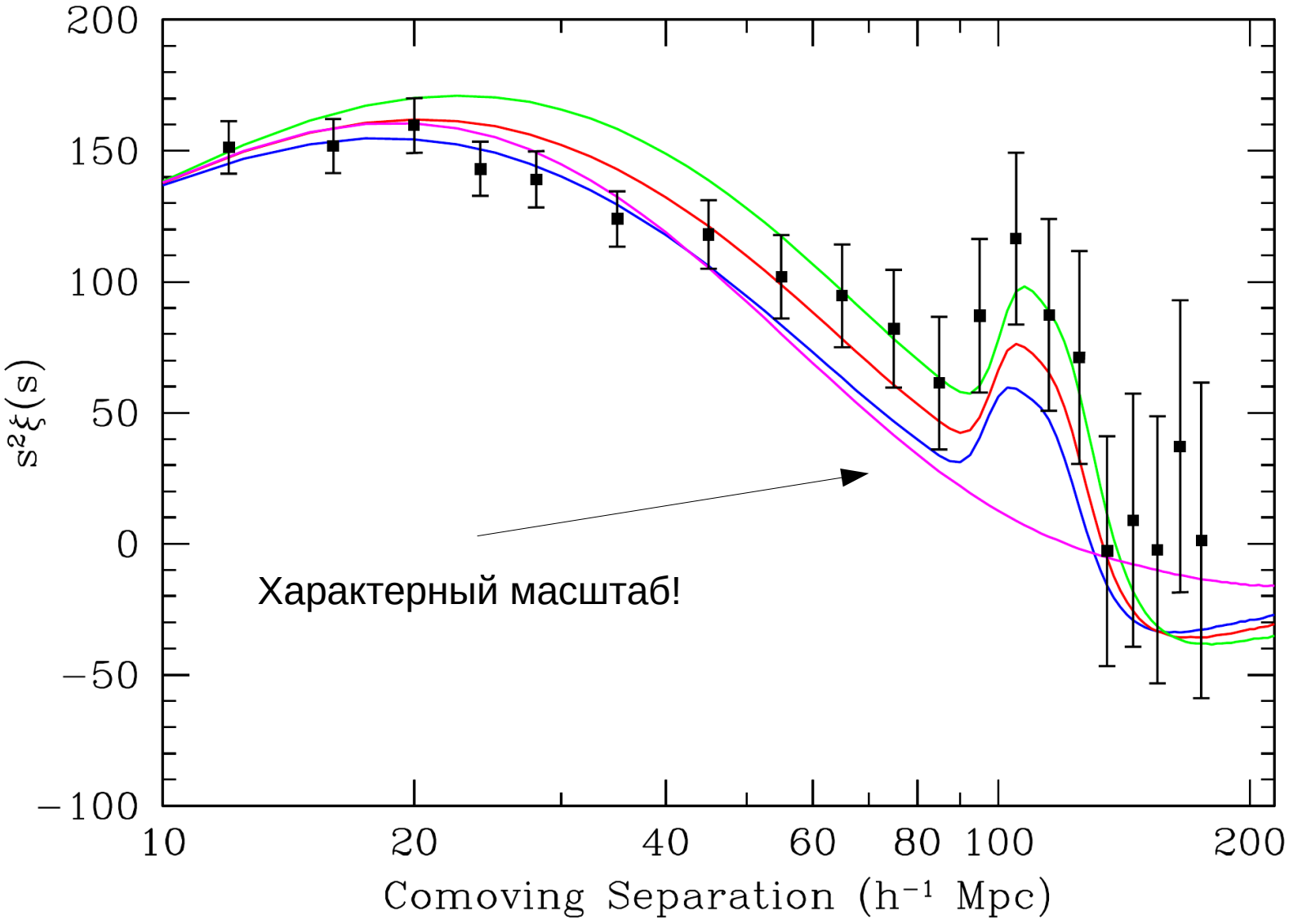


# Космологические задачи

# Акустические осцилляции



# Акустические осцилляции

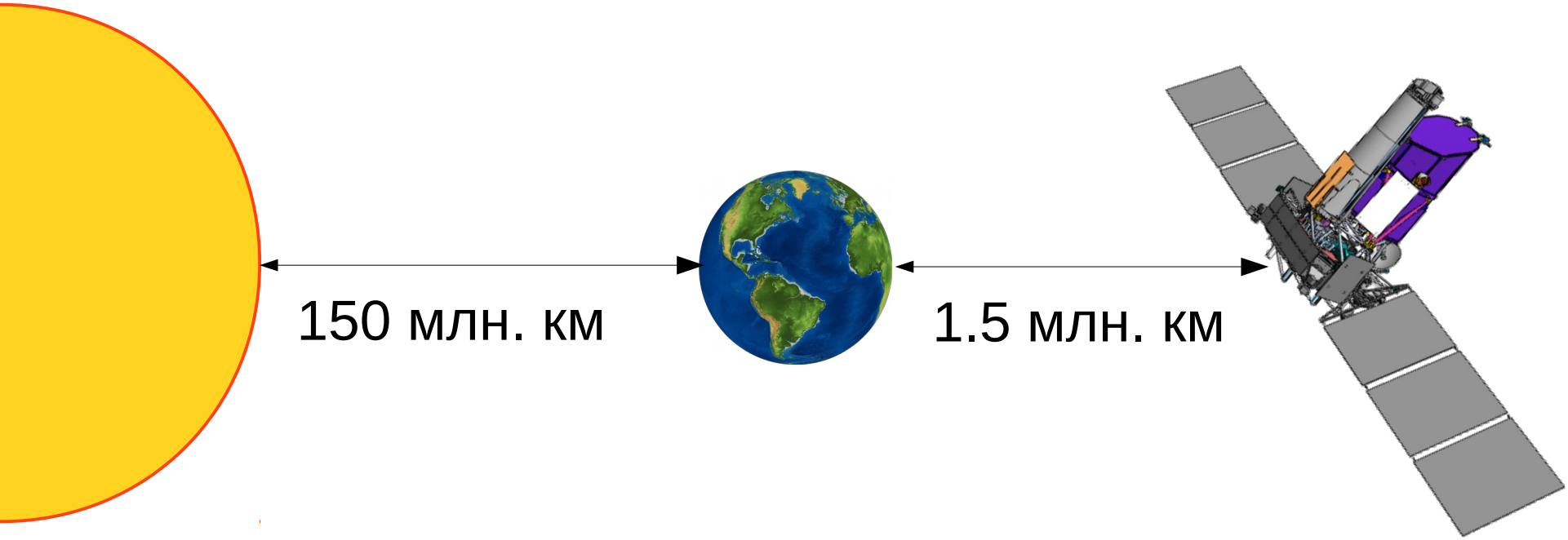


# Вперед, к новым обзорам!

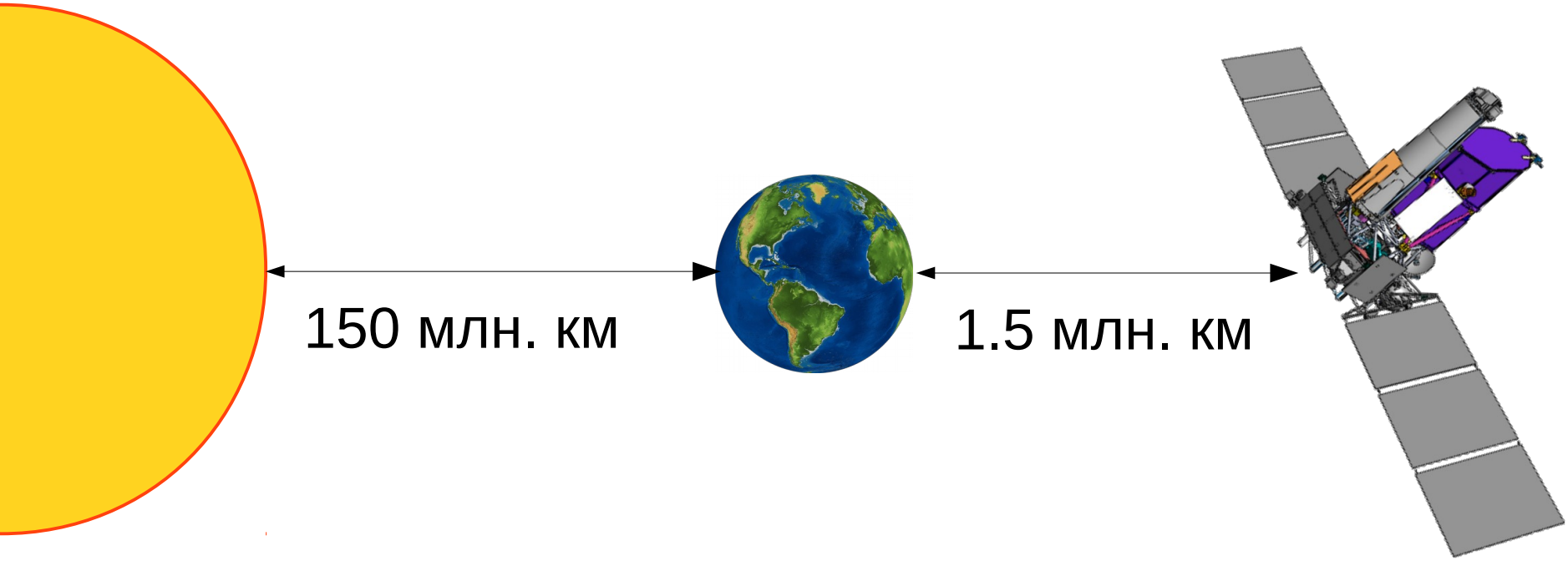
## Спектр-РГ

ИКИ MPE DLR ROSCOSMOS

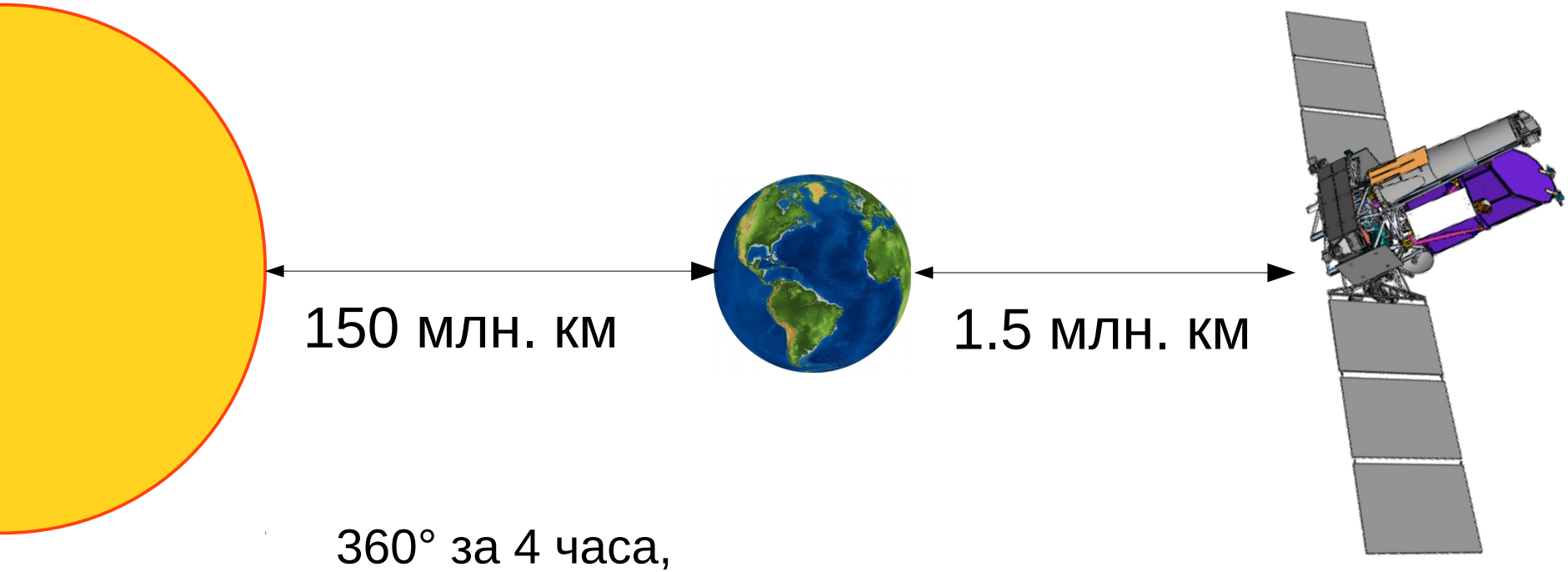
# Спектр-РГ



# Спектр-РГ



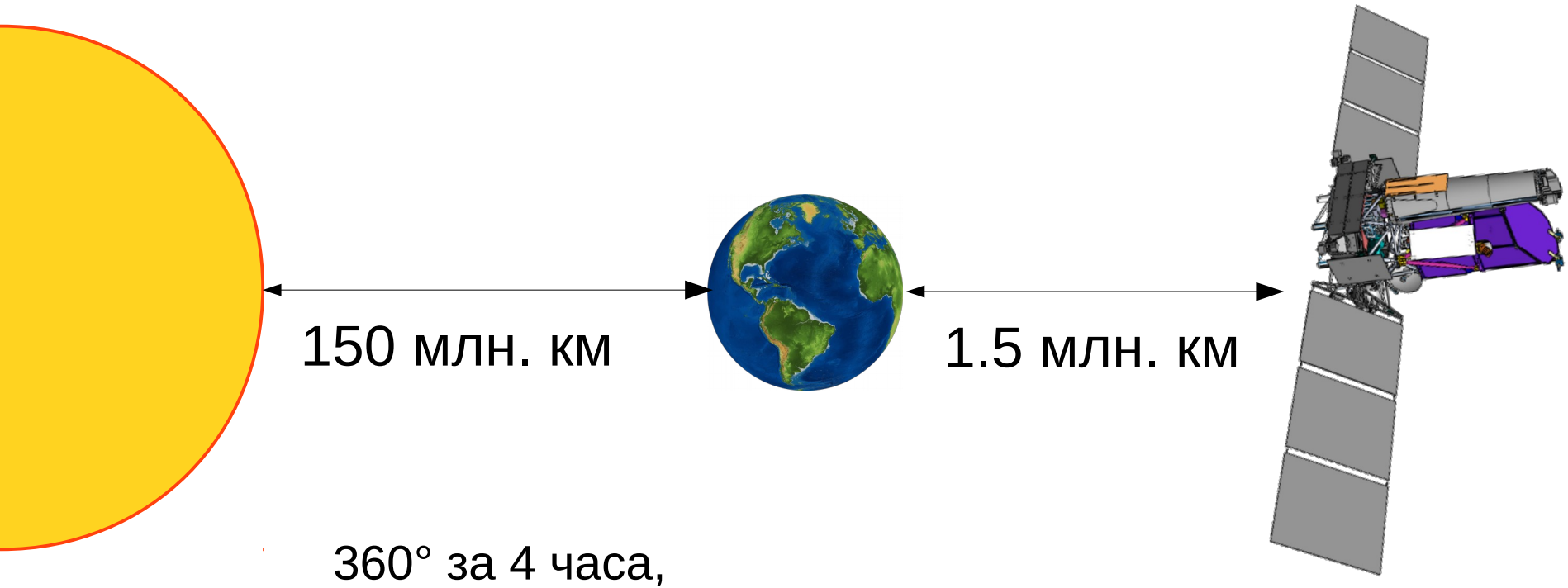
# Спектр-РГ




360° за 4 часа,
1° за 40 секунд

Смещение – 1° за день

# Спектр-РГ

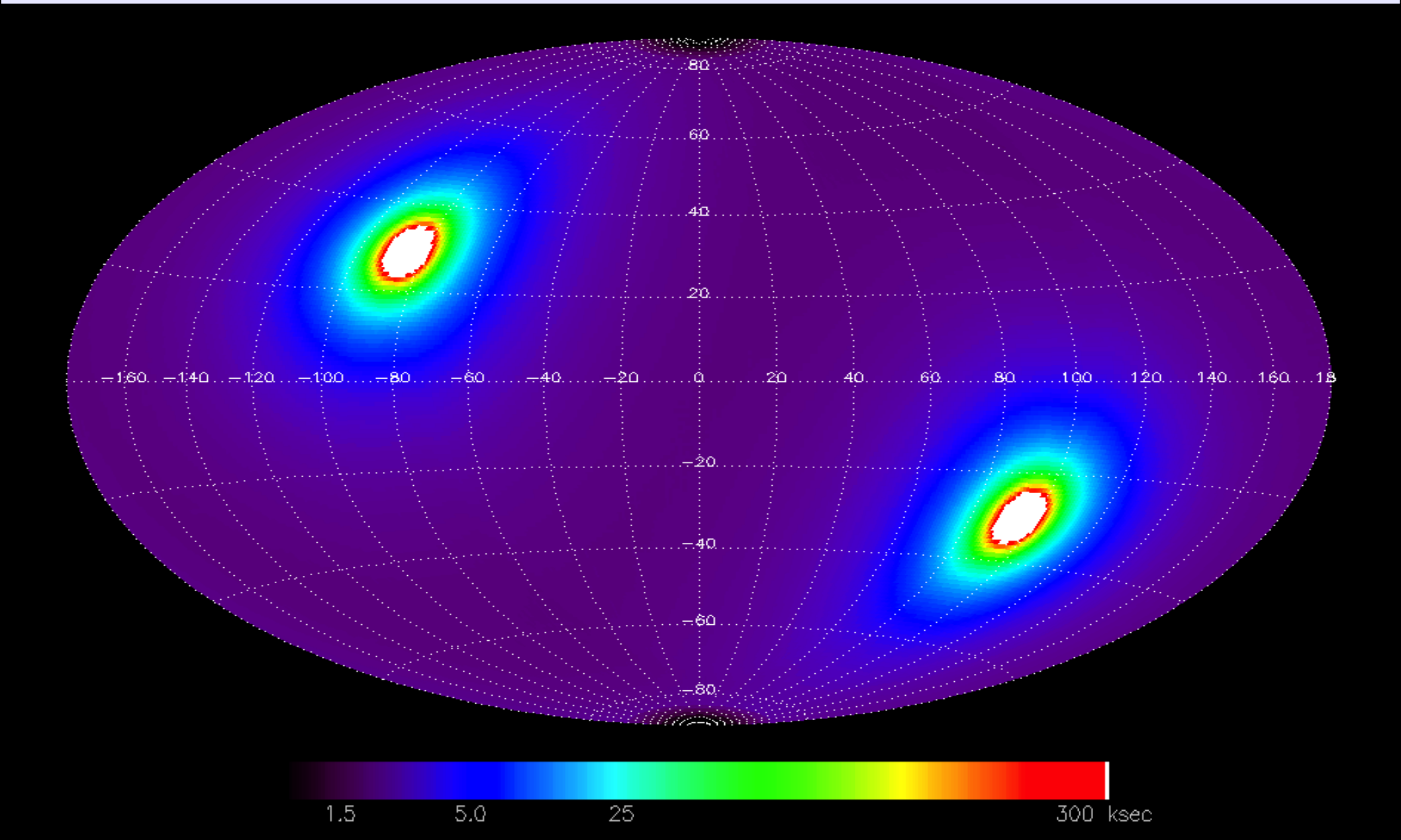



360° за 4 часа,
1° за 40 секунд

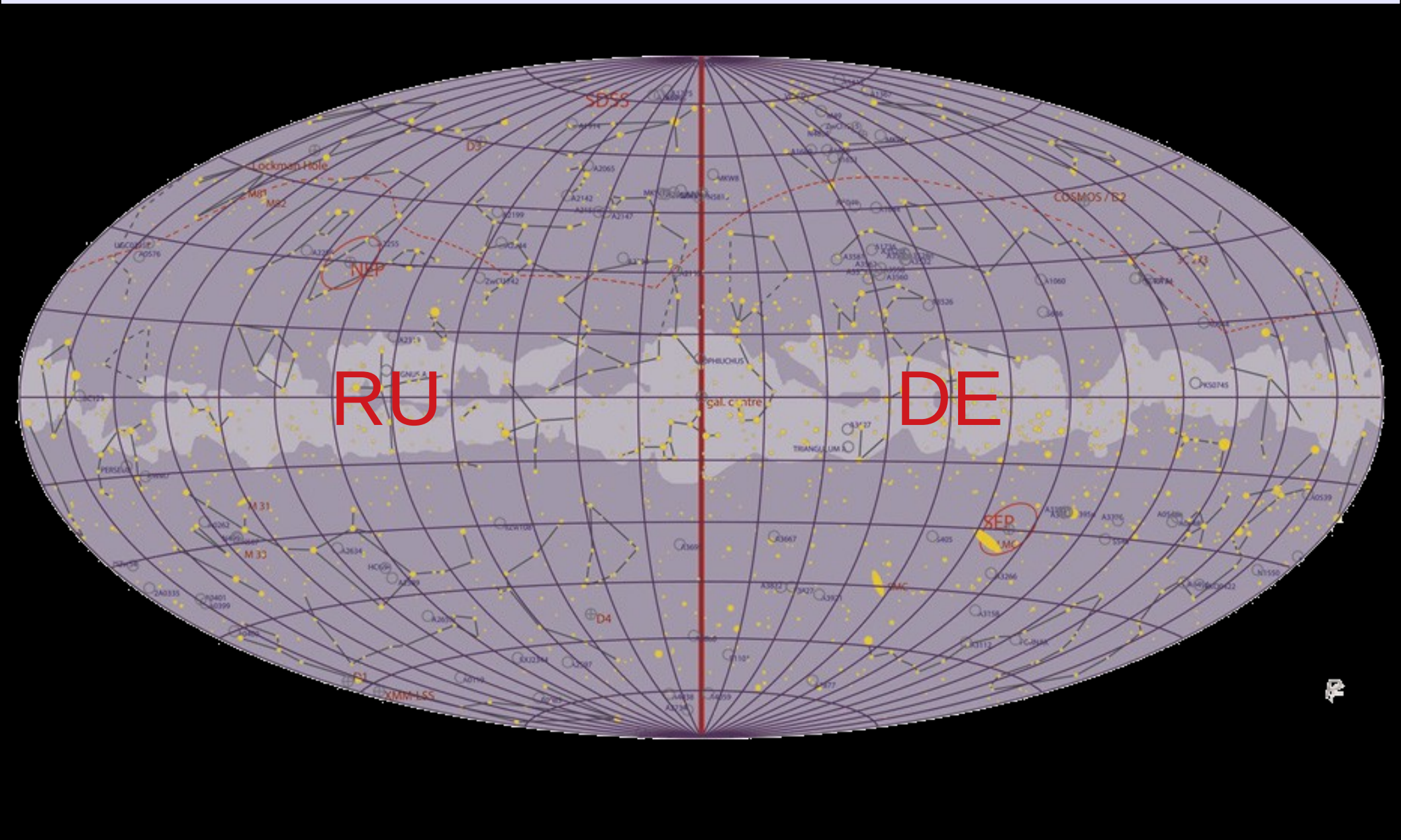
Смещение – 1° за день

4 обзора неба за 4 года – >24 посещения каждого объекта

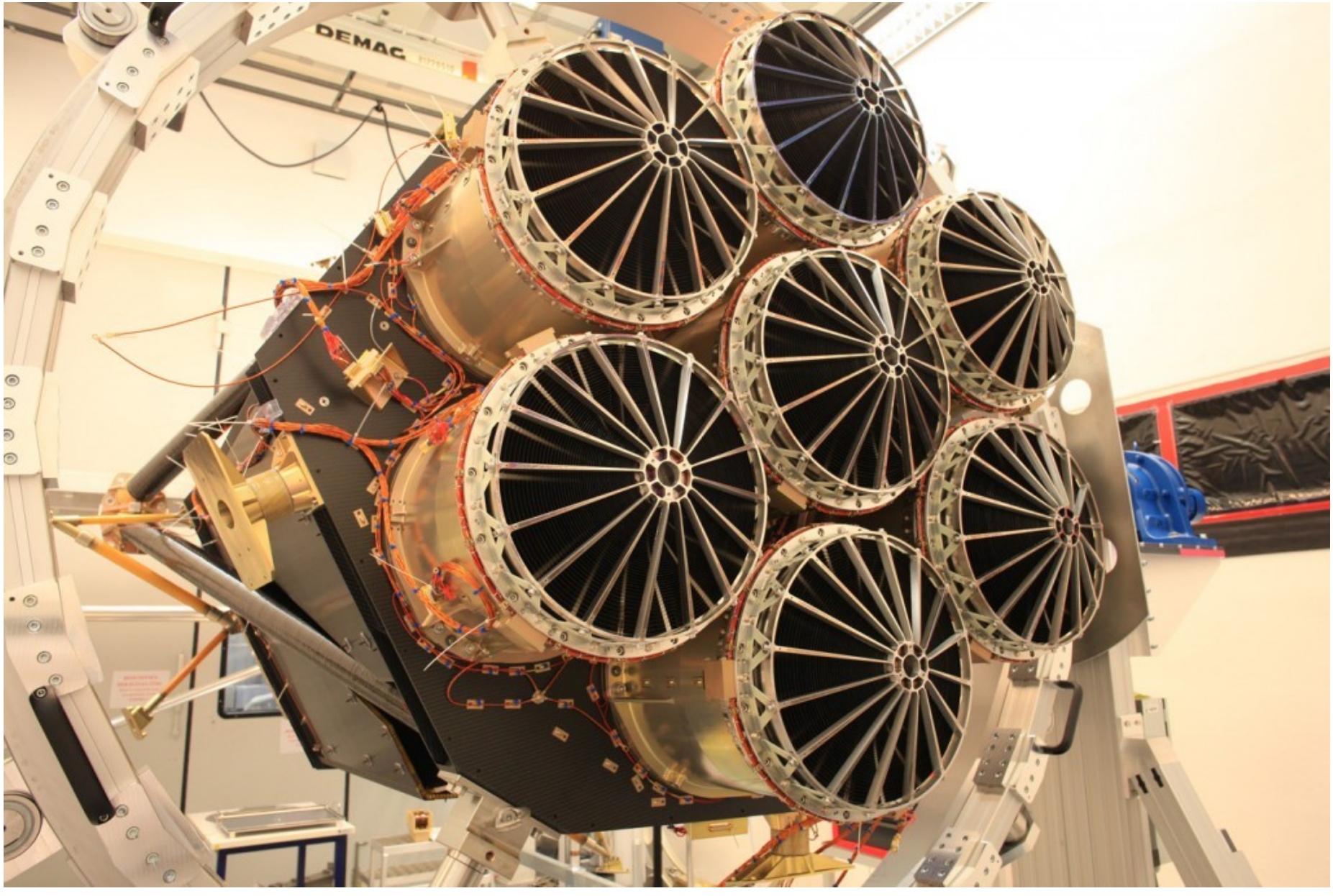
# Спектр-РГ


80
60
40
20
−160
−140
−120
−100
−80
−60
−40
−20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
18
−20
−40
−60
−80
1.5
5.0
25
300 ksec

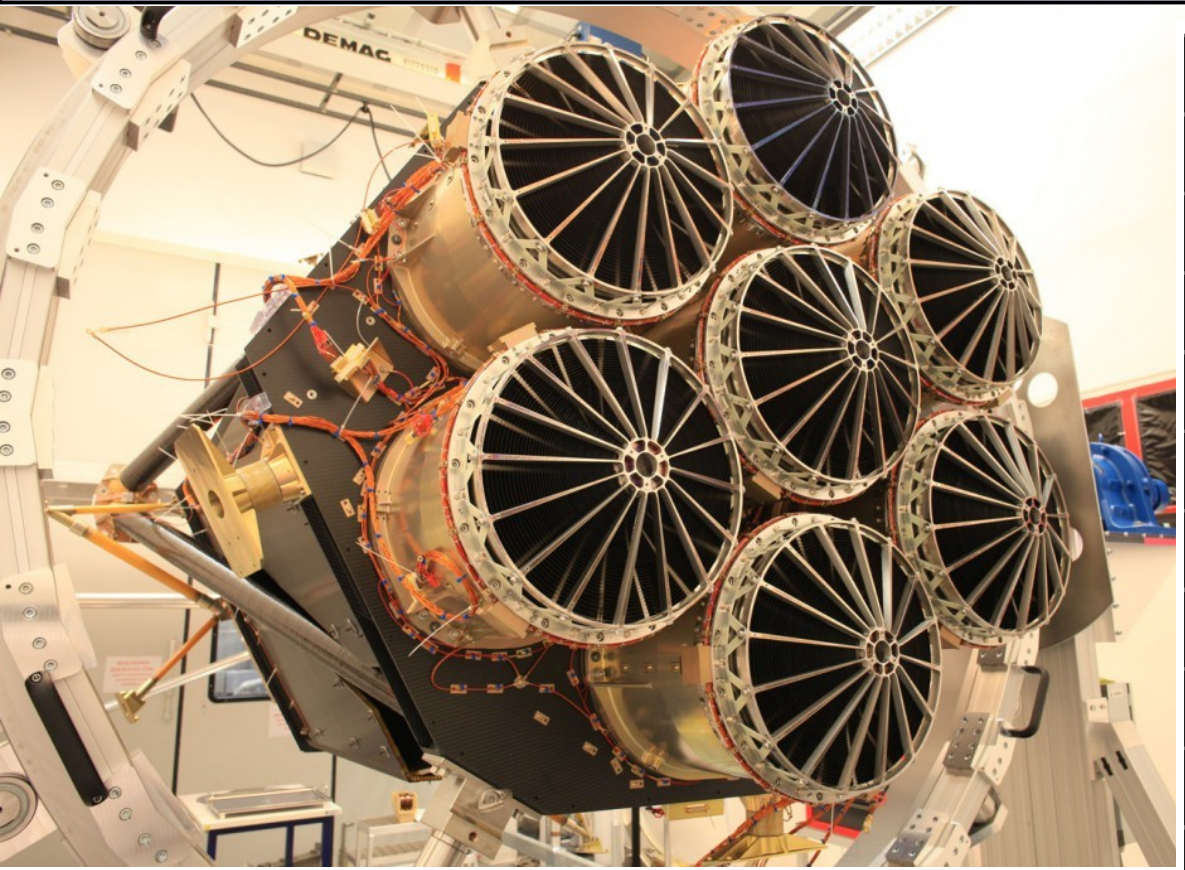
# Спектр-РГ



# eROSITA

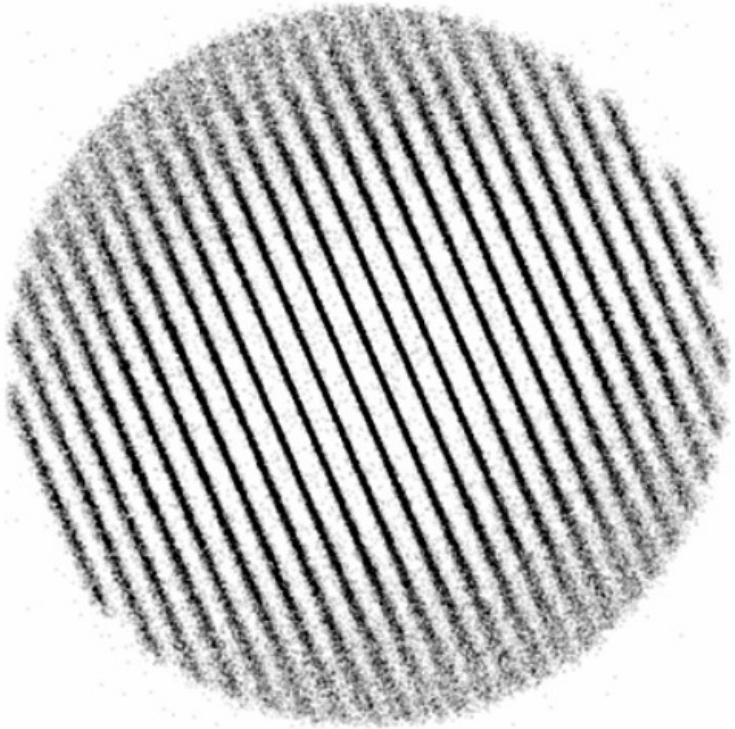


# eROSITA



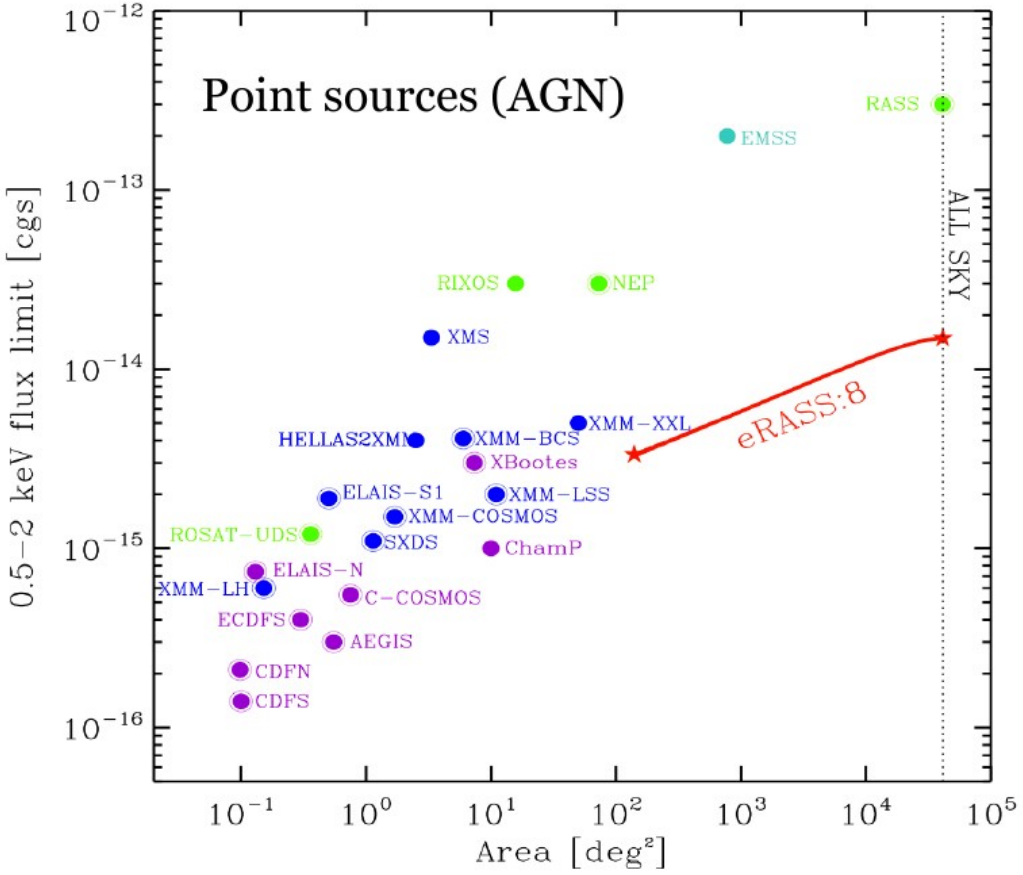

| | |
|---|---|
| Mirror Modules | 7 |
| Mirror shells per module | 54 |
| Energy range | ~0.2-10 keV |
| Outer diameter | 358 mm |
| Inner diameter | 76 mm |
| Length of shells | 300 mm |
| Angular resolution (HEW@ 1.5 keV) | < 15" on axis |
| Grazing angles | 20' < α < 96' |
| Wall thickness | 0.25 - 0.54 mm |
| Micro-roughness | < 0.5 nm RMS |
| Mirror coating | Au (>50 nm) |
| Focal length | 1.6 m |
| Weight (one module, incl. baffle) | <50 kg |
| Material of shell | Nickel |

# eROSITA

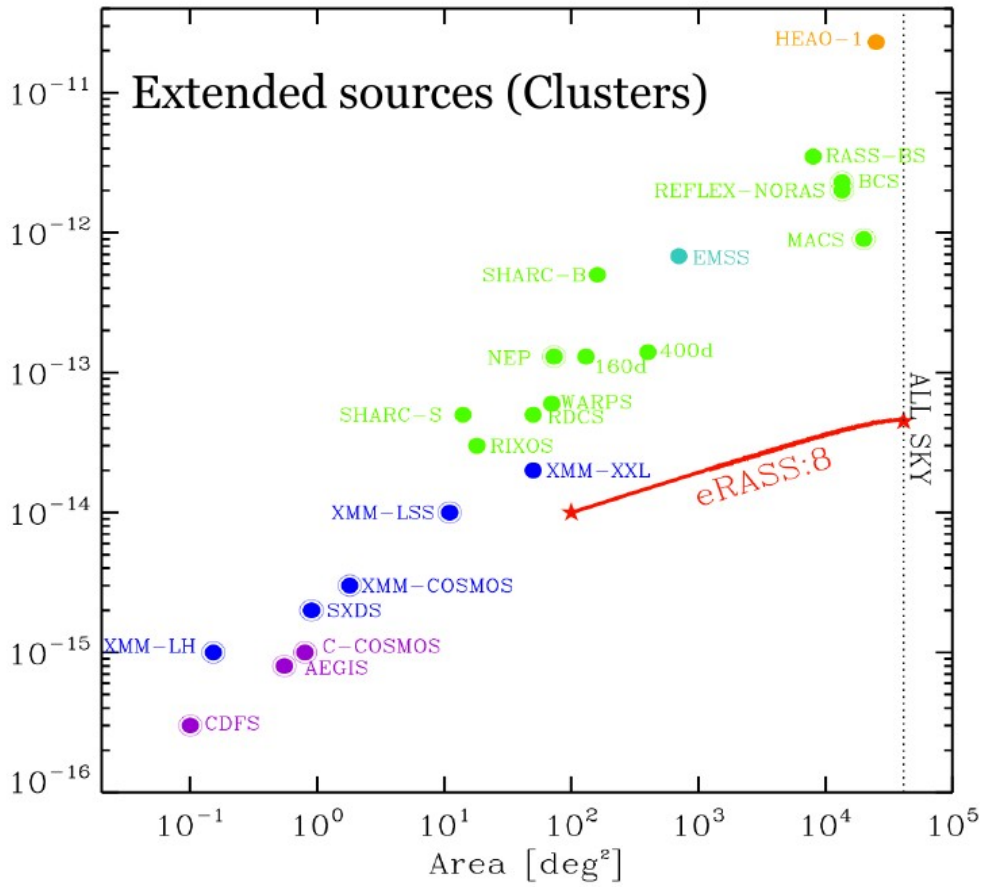


“Один день из жизни яркого источника”
- глазами eROSITA

# eROSITA




All sky: $10^{-14}$ (0.5-2 keV)
$2\times10^{-13}$ (2-10 keV) [erg/cm$^2$/s]



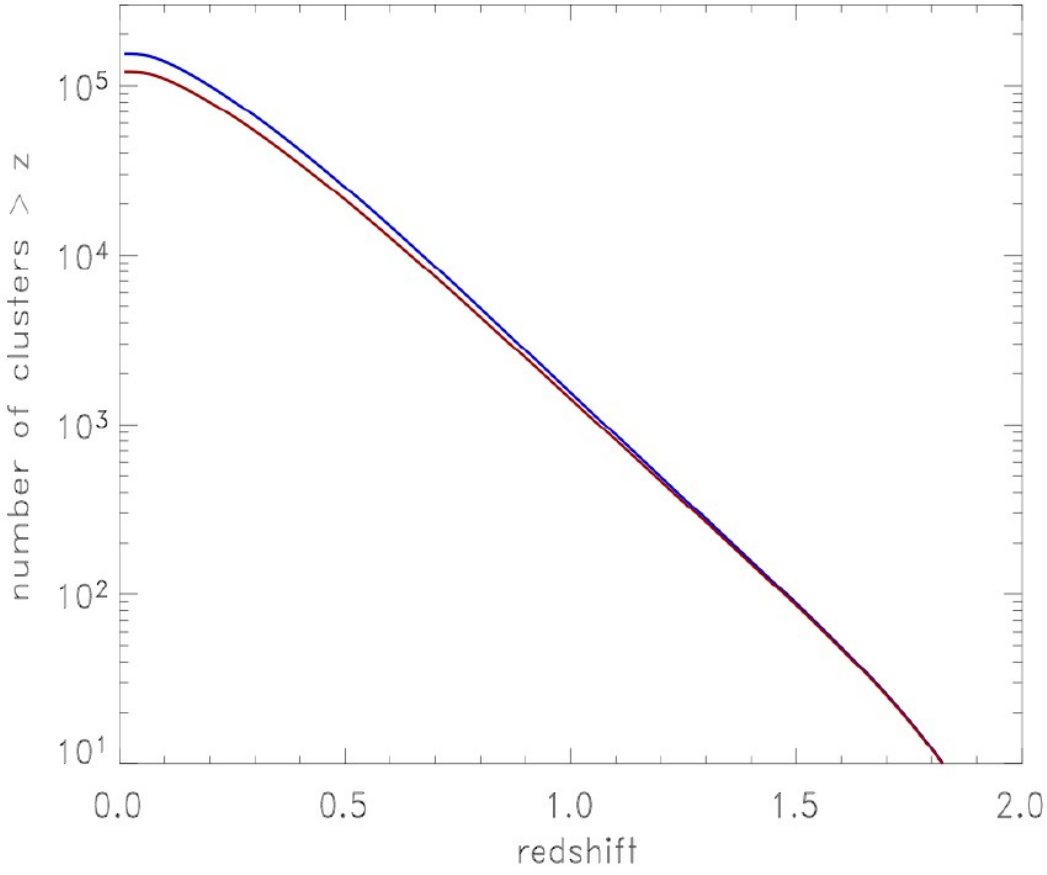

All sky: 3.4 x $10^{-14}$ (0.5-2 keV)

Merloni et al. 2012

В 30 раз чувствительнее обзора ROSAT

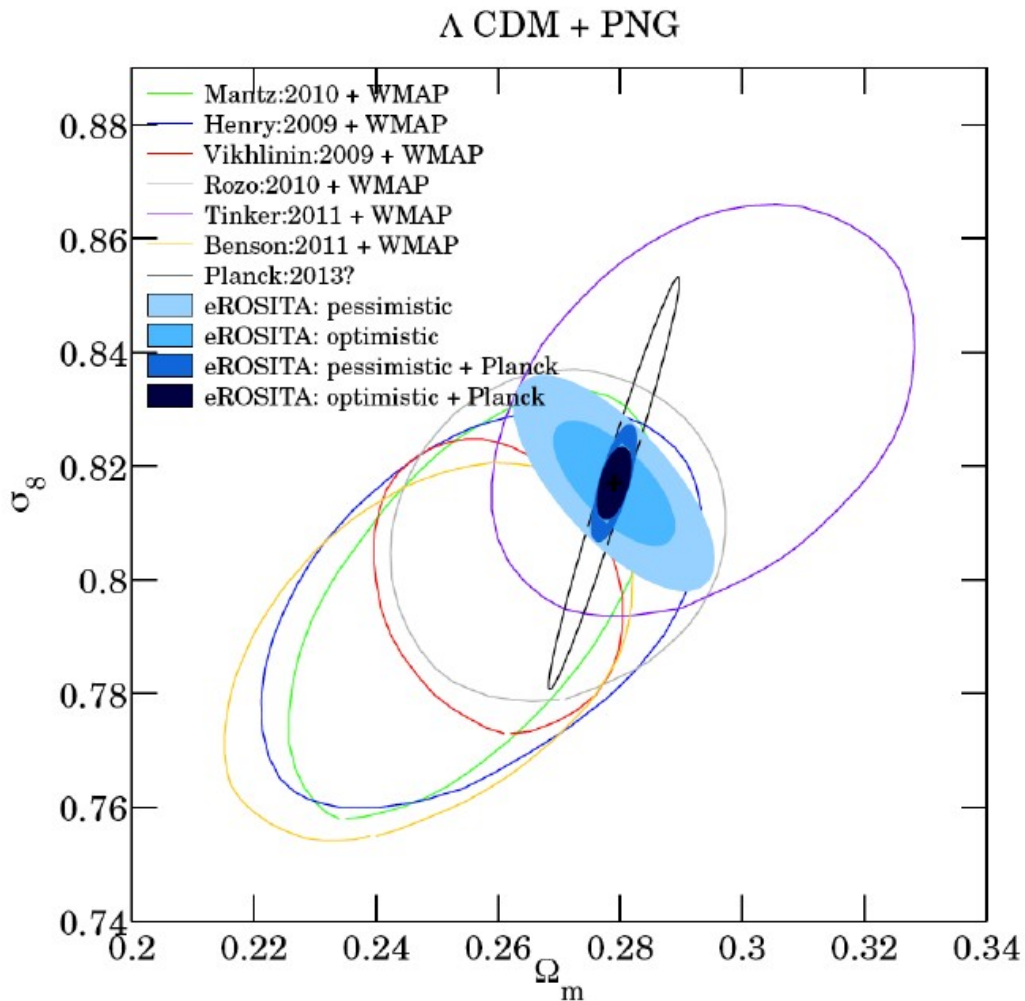
# eROSITA

Около 100 тысяч скоплений галактик до z=1.5-2
все(!) массивные скопления галактик с M~$10^{15}$ Msun



# eROSITA

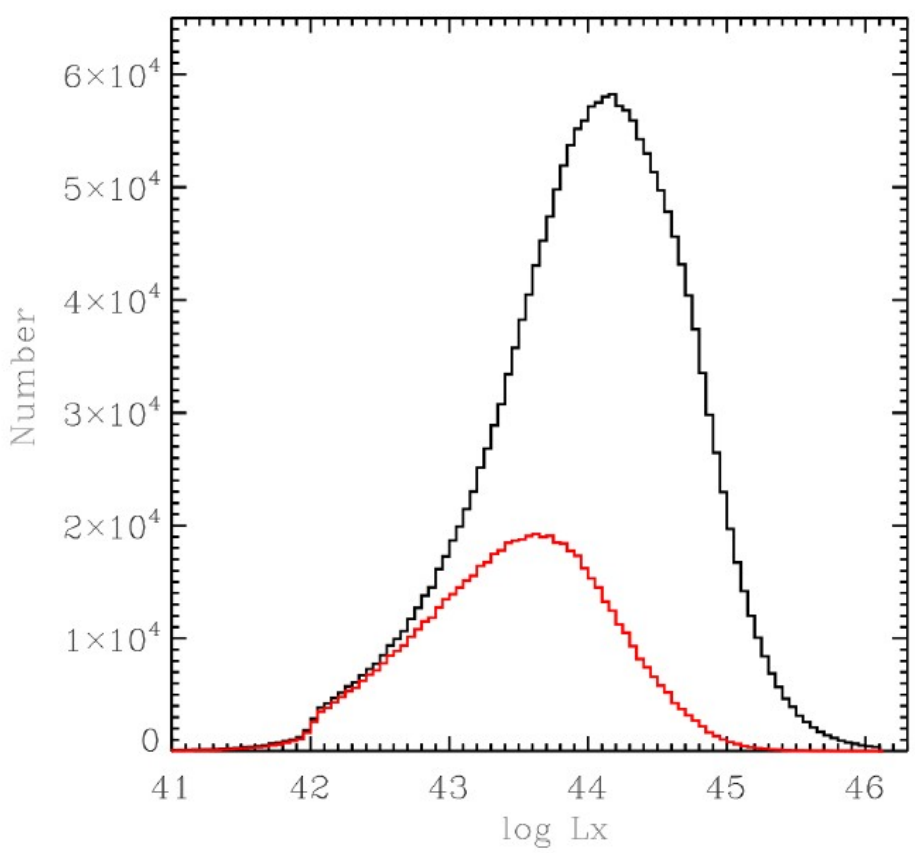
Около 100 тысяч скоплений галактик до z=1.5-2
все(!) массивные скопления галактик с M~3x$10^{14}$ Msun

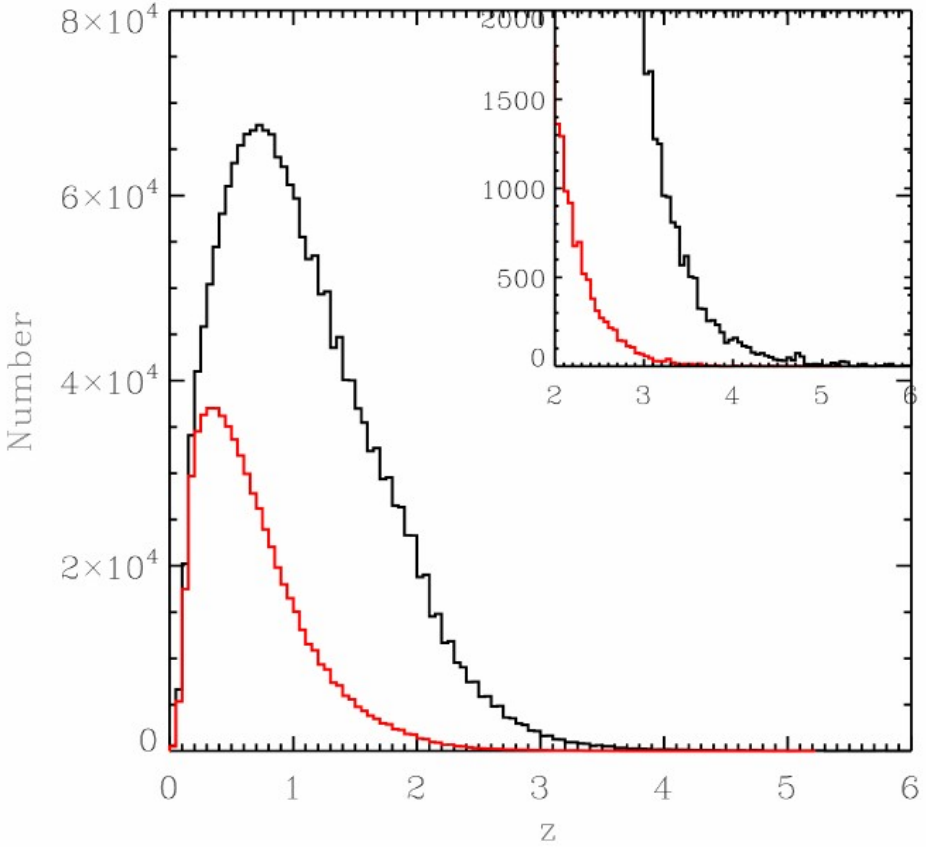


# eROSITA

Около 100 тысяч скоплений галактик до z=1.5-2
все(!) массивные скопления галактик с M~3x10$^{14}$ Msun

Три миллиона АЯГ
БАО на z~1 (!)



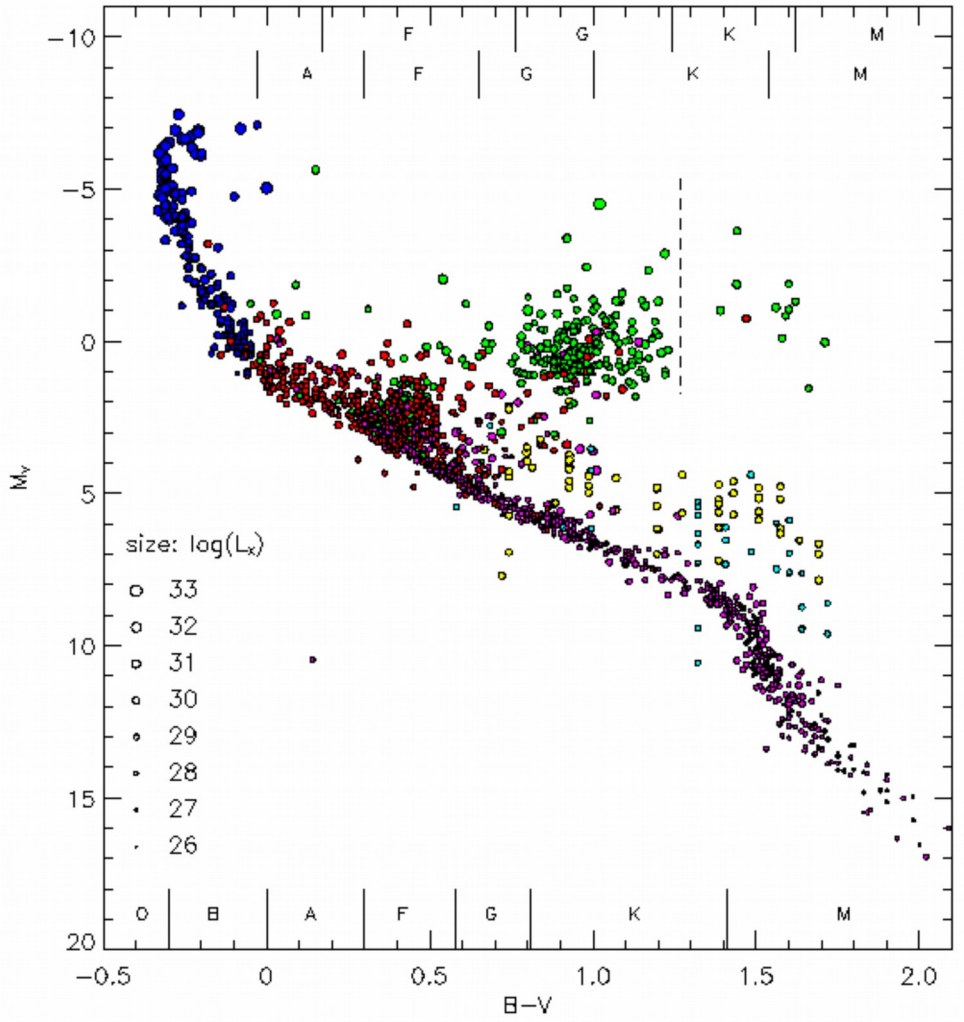



# eROSITA

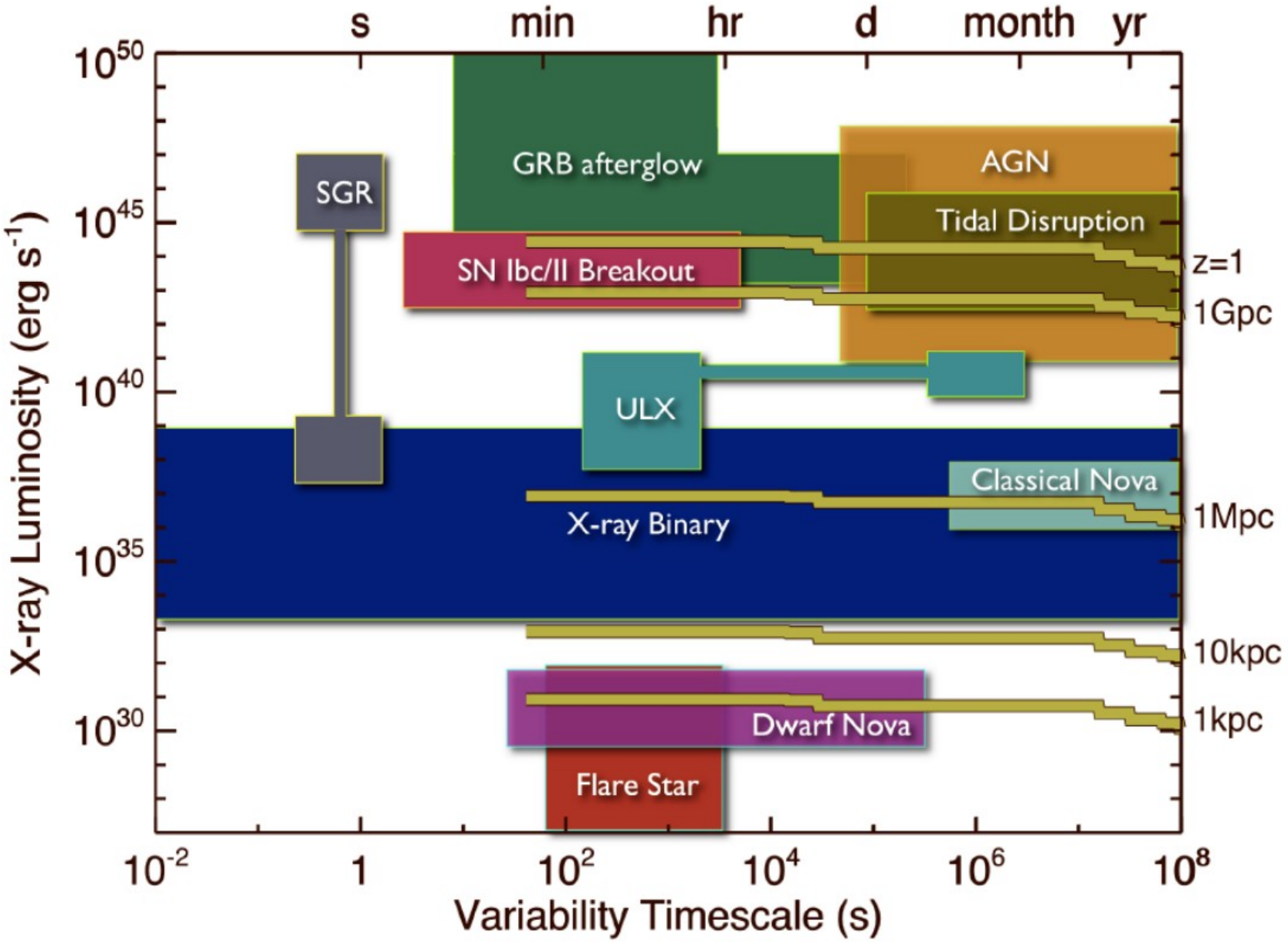
Около 100 тысяч скоплений галактик до z=1.5-2
все(!) массивные скопления галактик с M~3x$10^{14}$ Msun

Три миллиона АЯГ
БАО на z~1 (!)

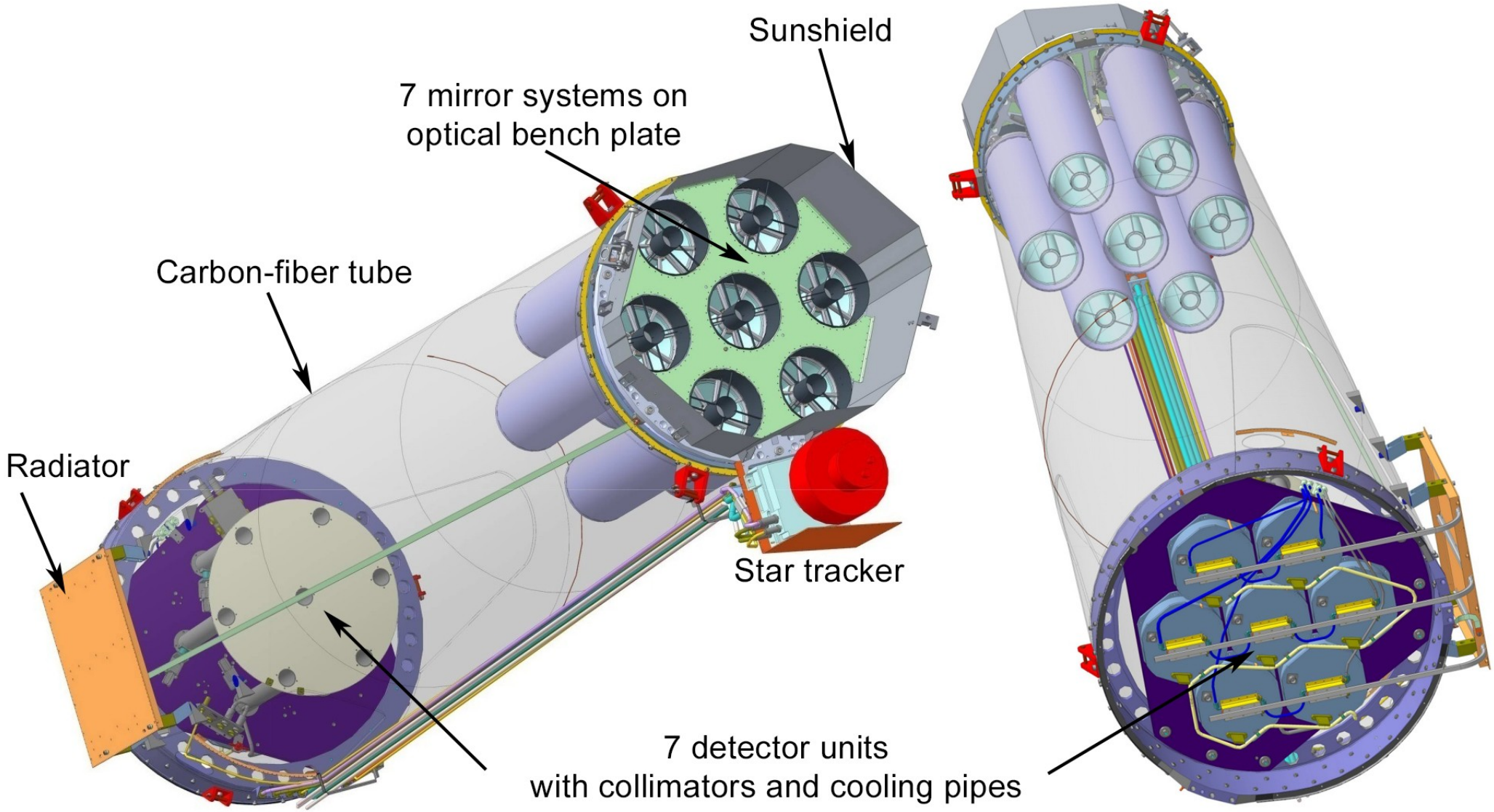
500 тысяч звезд



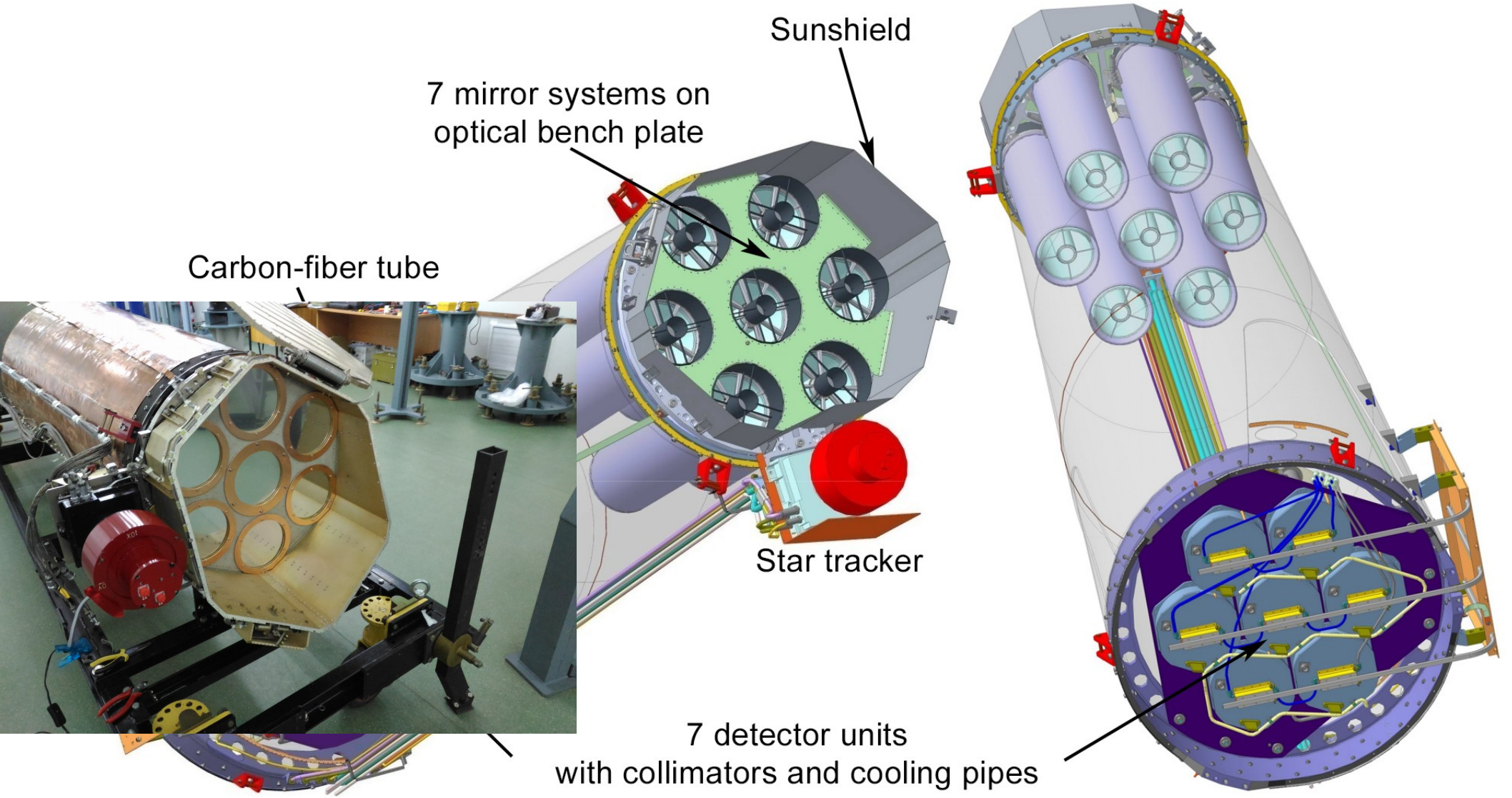
# eROSITA


s
min
hr
d
month
yr
$10^{50}$
$10^{45}$
$10^{40}$
$10^{35}$
$10^{30}$
X-ray Luminosity (erg $s^{-1}$)
GRB afterglow
AGN
SGR
Tidal Disruption
SN Ibc/II Breakout
z=1
1Gpc
ULX
Classical Nova
X-ray Binary
1Mpc
10kpc
Dwarf Nova
1kpc
Flare Star
$10^{-2}$
1
$10^{2}$
$10^{4}$
$10^{6}$
$10^{8}$
Variability Timescale (s)

# ART-XC

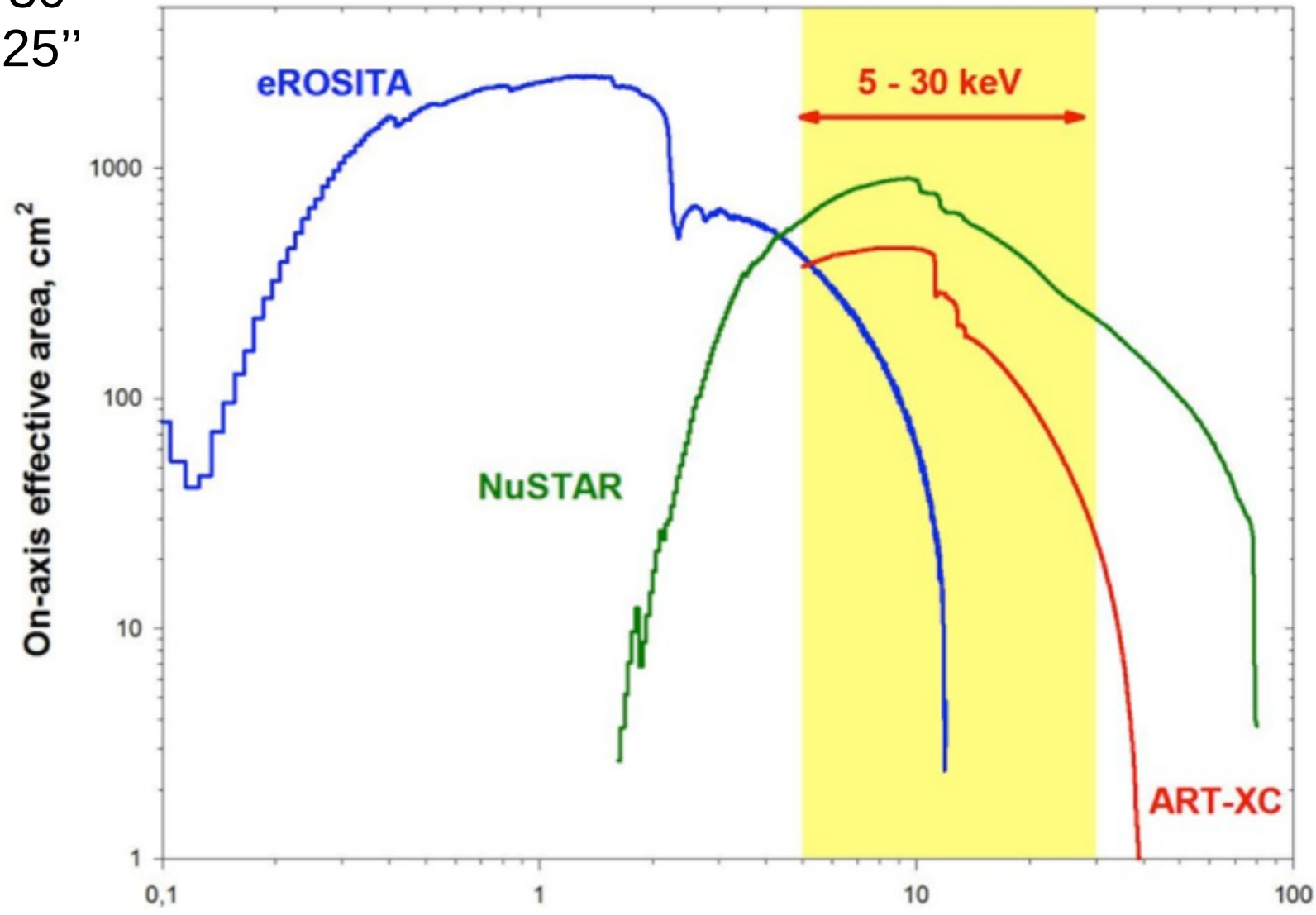

Sunshield
7 mirror systems on
optical bench plate
Carbon-fiber tube
Radiator
Star tracker
7 detector units
with collimators and cooling pipes

# ART-XC

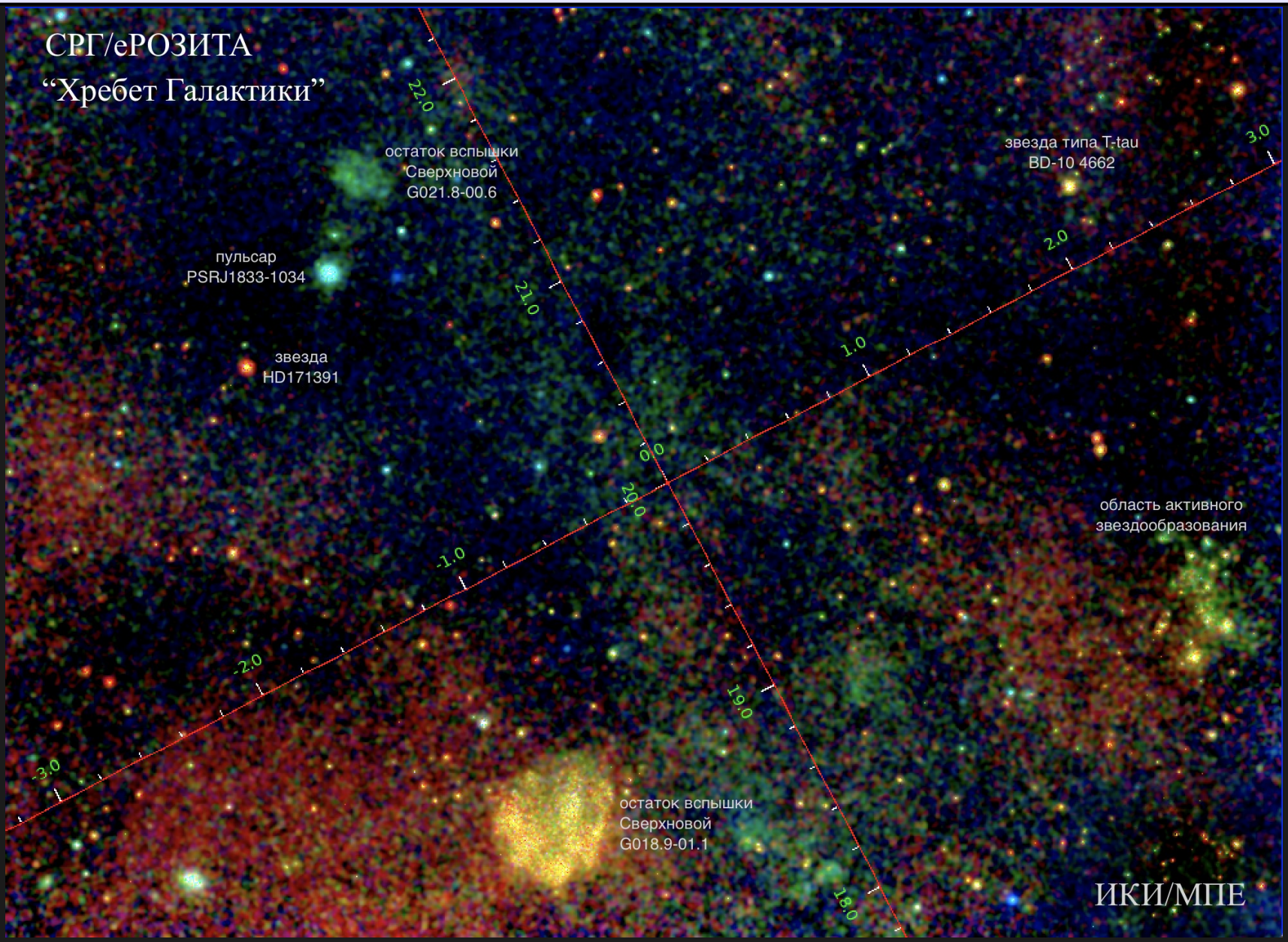

Sunshield
7 mirror systems on
optical bench plate
Carbon-fiber tube
Star tracker
7 detector units
with collimators and cooling pipes

# ART-XC

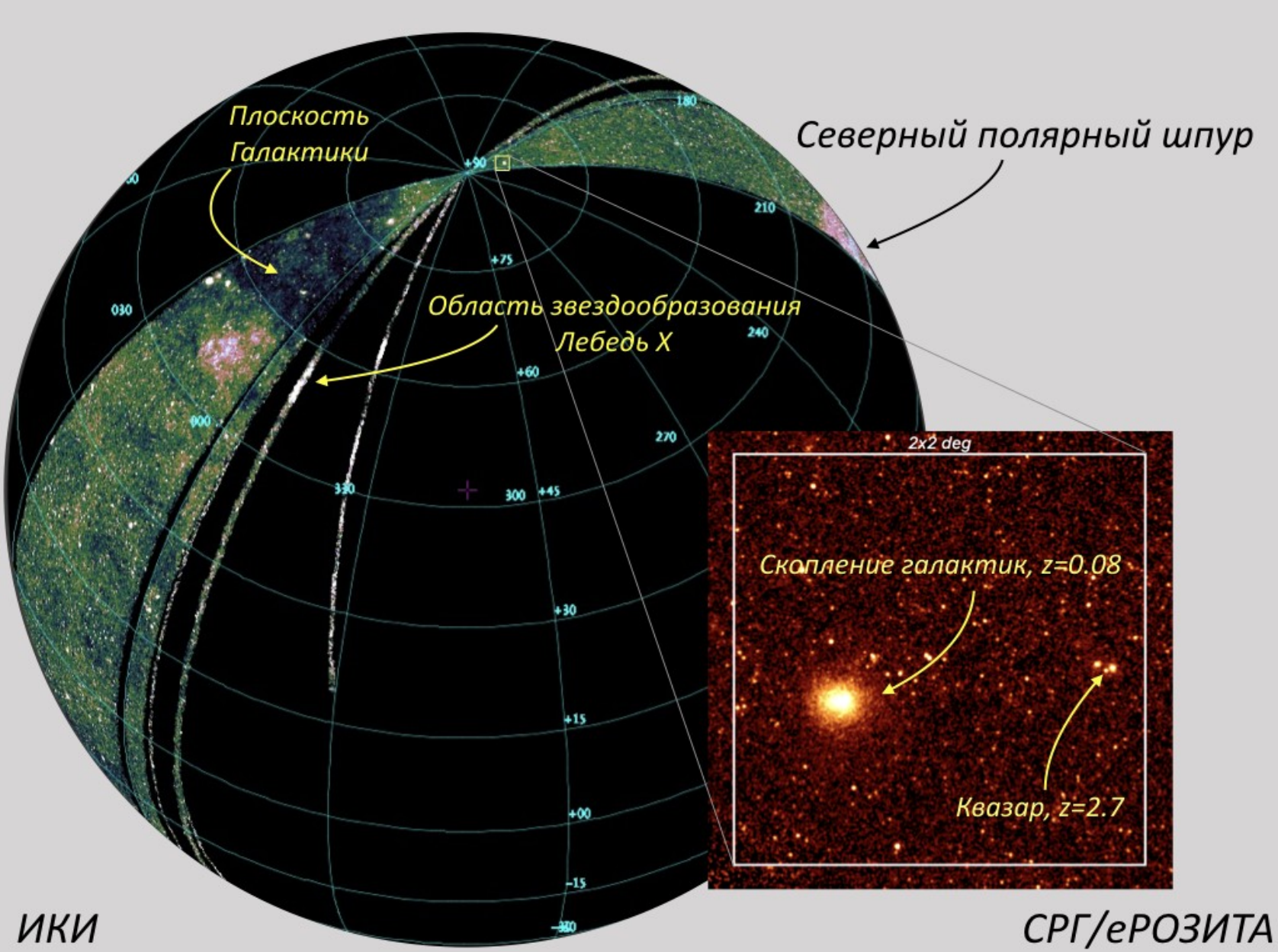
Поле зрения – 30’
Разрешение – 25’’
5-30 кэВ



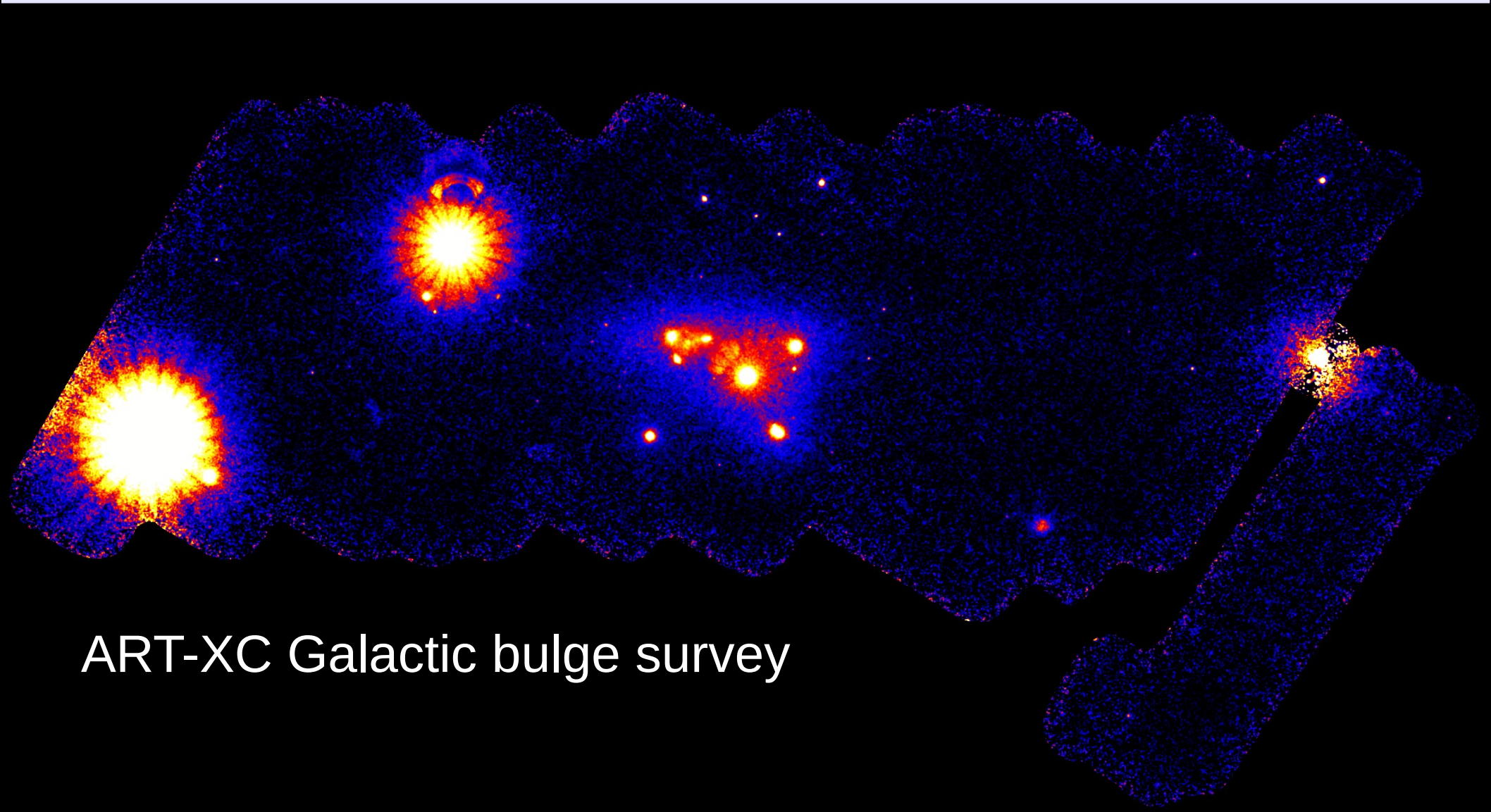
# Начало обзора



# Начало обзора



# Начало обзора



ART-XC Galactic bulge survey

# Предстоящие работы

Калибровка телескопов

Оптимизация ПО для обработки данных

Отбор популяций интересных источников, исследование их свойств

Поиск уникальных источников

Подробное исследование ярких источников

Космология

Звездная эволюция

Строение галактики

...и многое другое

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

Join us in our (data)space conquest!