

**Часть 3. Астрономические  
наблюдения. Методы и  
инструменты. Особенности в  
различных диапазонах ЭМ  
волн.**

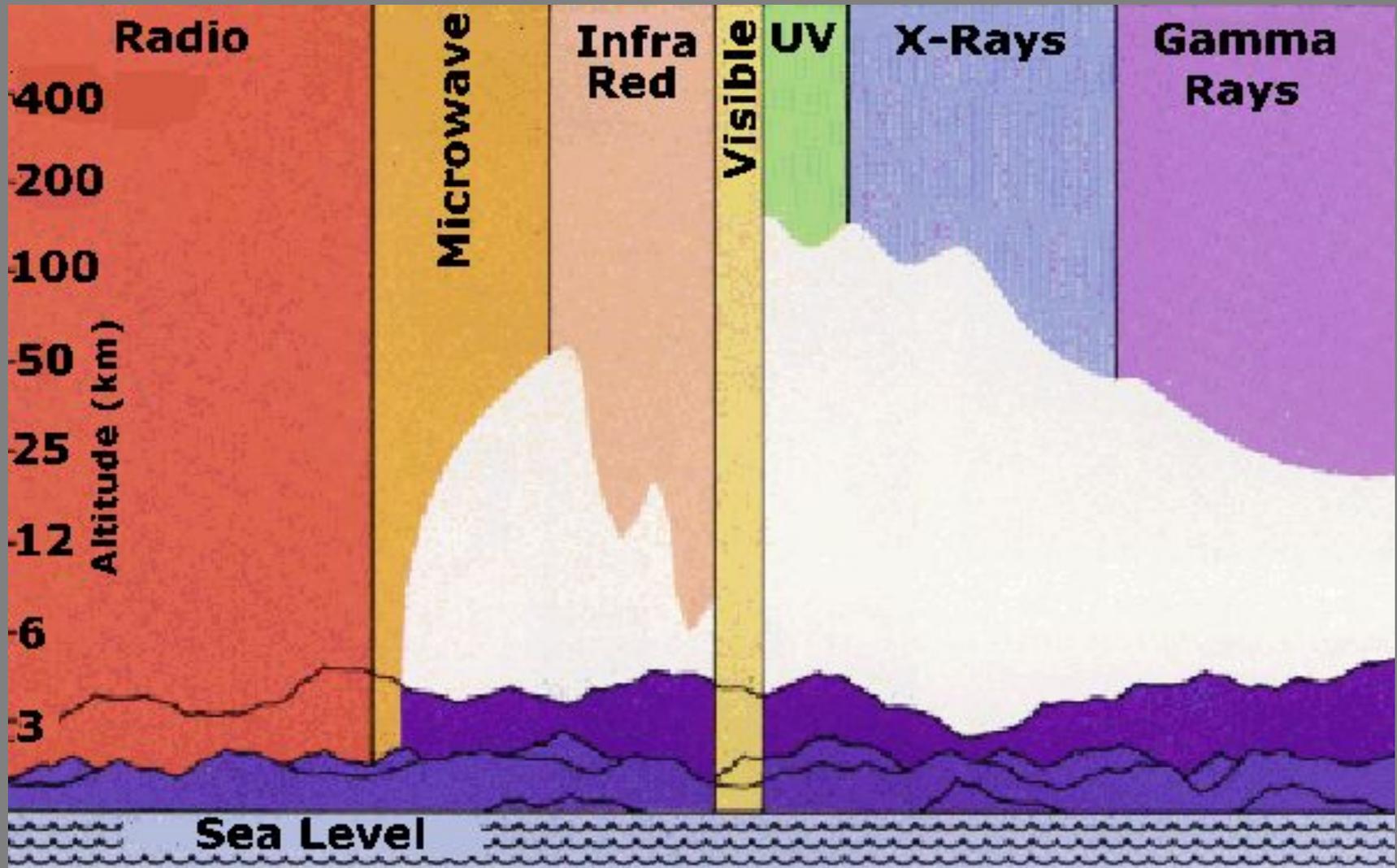
# Две важнейшие задачи наблюдений:

- Получить как можно более резкое изображение наблюдаемого объекта и записать его в цифровом формате (*требуется высокая разрешающая способность инструмента*)
- Измерить световую энергию, приходящую в выбранном диапазоне длин волн (*требуется большая площадь объектива и высокая квантовая чувствительность детектора*).

# Что ограничивает точность угломерных измерений?

Требуется высокое угловое разрешение телескопа. Его ограничивает:

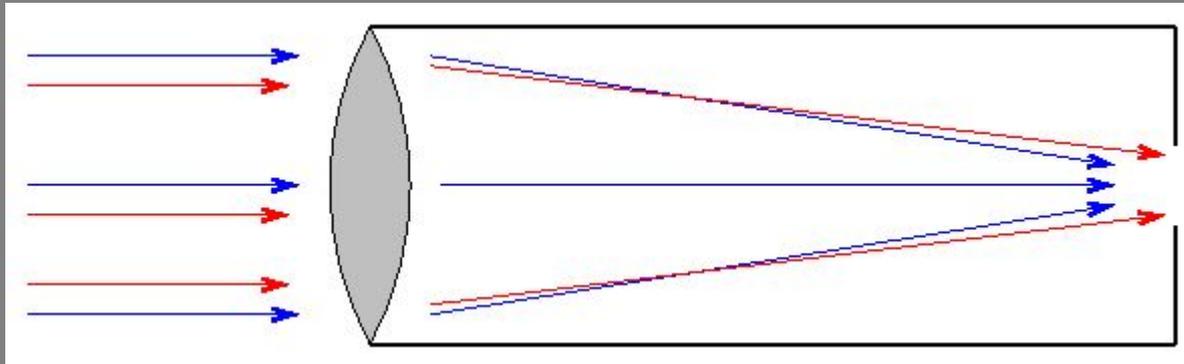
- Дифракция света на краях объектива (радиоантенны).
- Атмосферная турбулентность
- Качество изготовления объектива



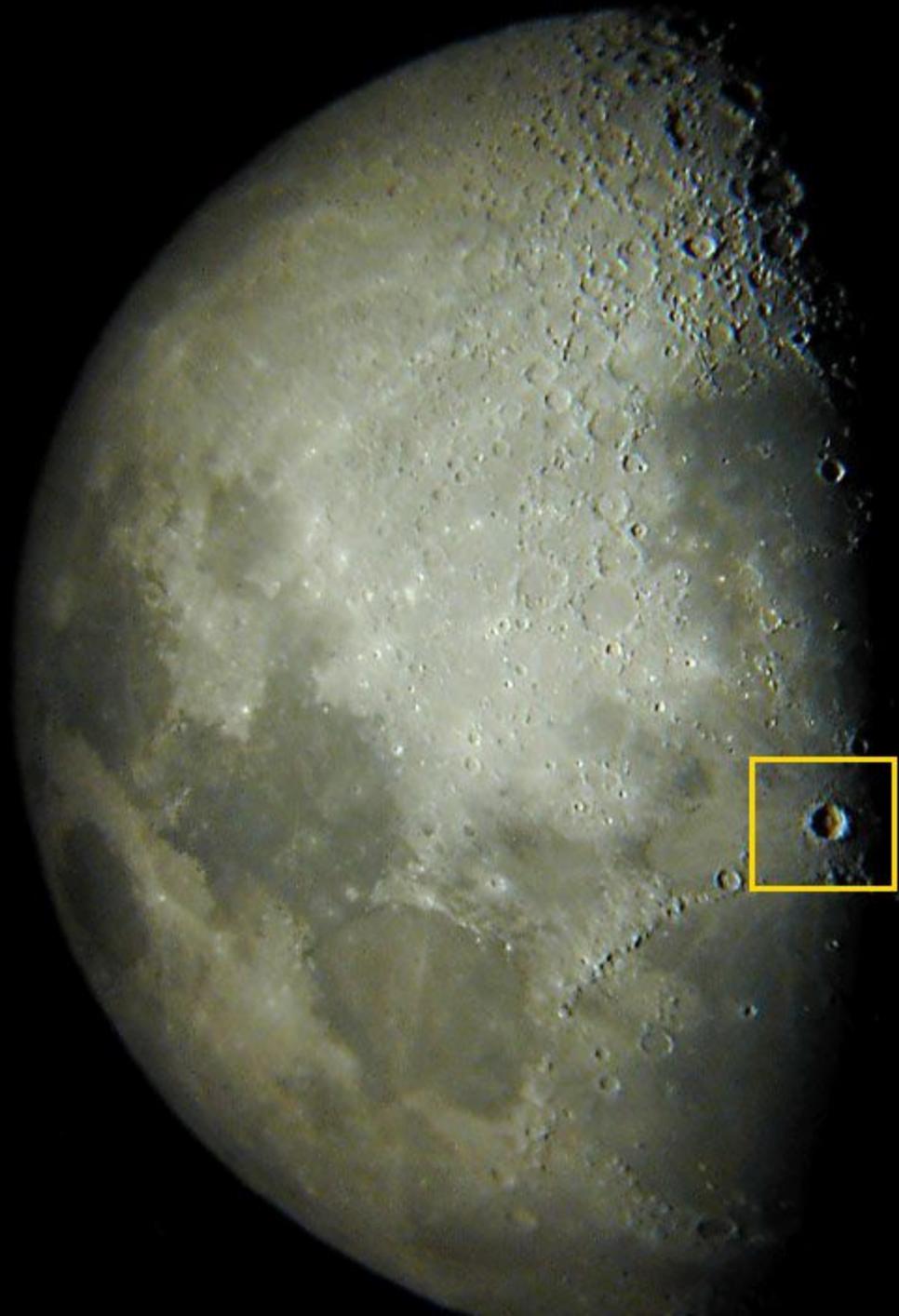
Есть два типа наземных телескопов



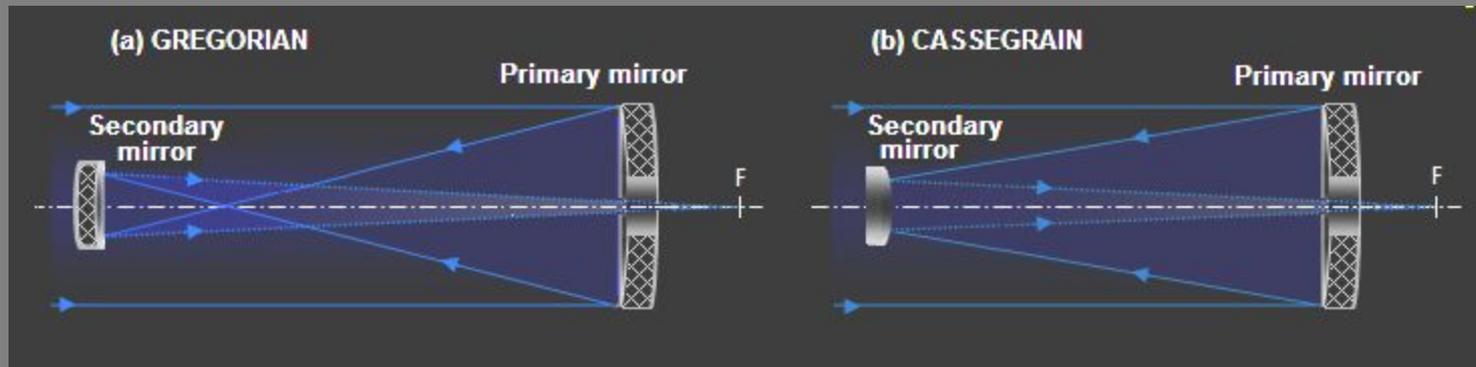
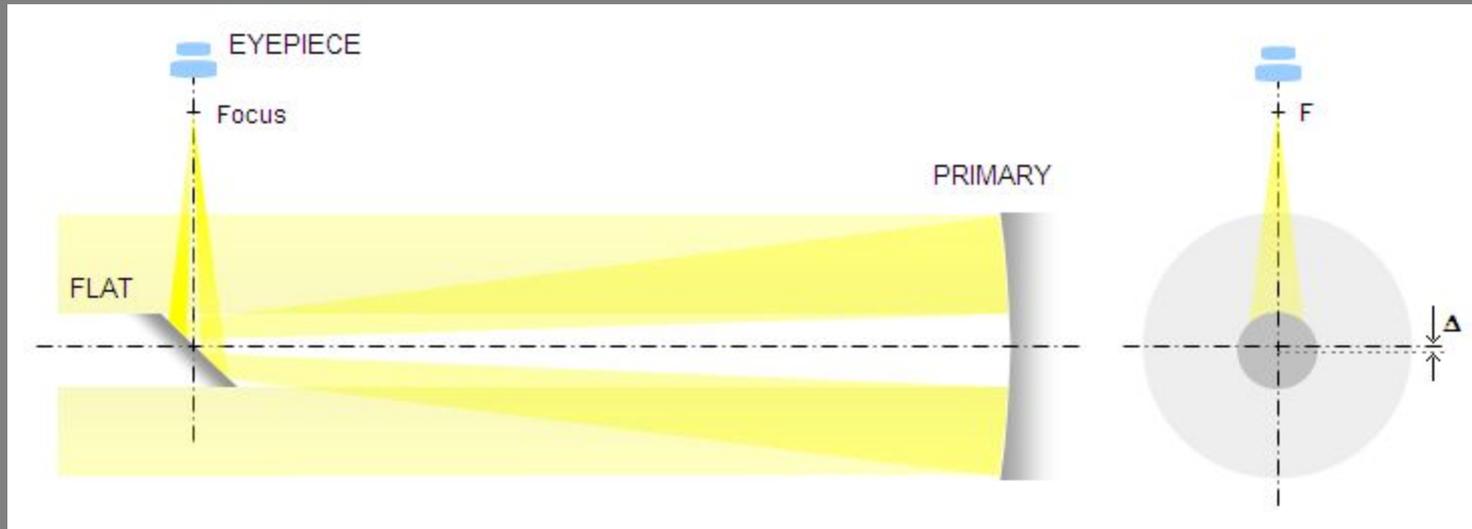
# Рефракторы: хроматическая абберация



\*



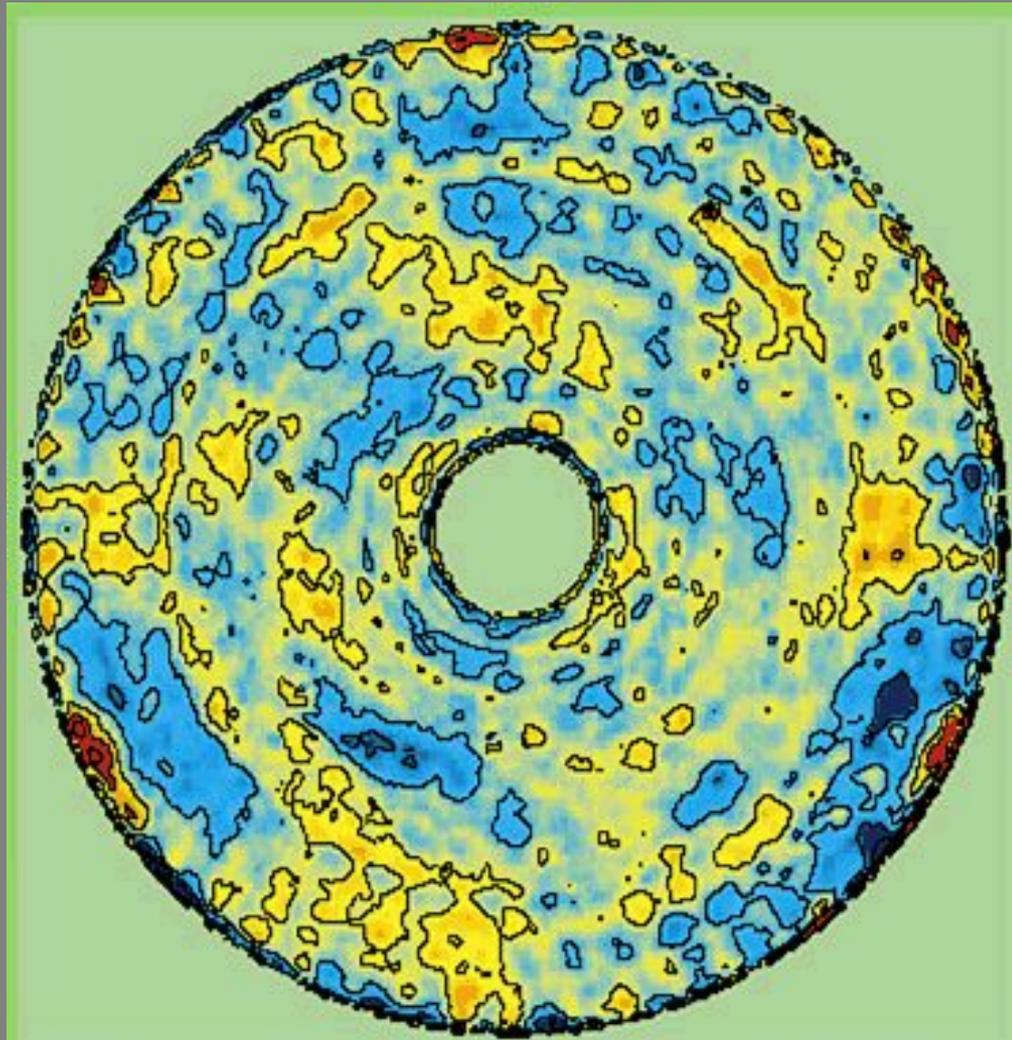
# РЕФЛЕКТОРЫ



**Требуется высокое угловое разрешение телескопа. Его ограничивает:**

- Дифракция света на краях объектива (радиоантенны).**
- Атмосферная турбулентность**
- Качество изготовления объектива**

# Карта зеркала телескопа SUBARU



The surface error on the primary mirror (the error is 0.000014 mm)

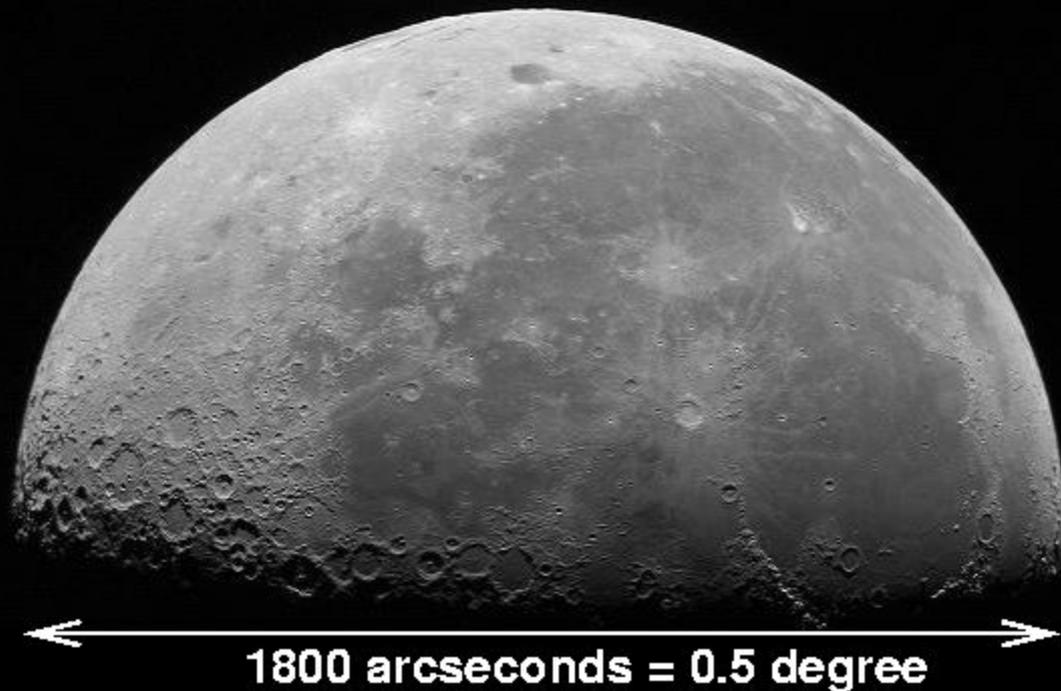
# Проблема углового разрешения

- Дифракционное изображение

$$\theta_d \sim \lambda/D$$

- Турбулентность атмосферы

$$\beta_{\text{atm}} \gg \theta_d$$



Одна угловая секунда:  
Это размер 10-копеечной  
монеты с расстояния  
3 километра



Диаметры изображений слабых  
звезд: 0.5 – 2 угловых секунды



# Три пути повышения разрешающей способности

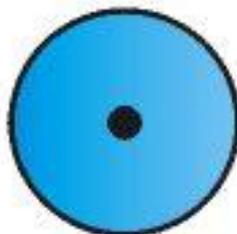
- Создание космических обсерваторий
- Использование техники интерференционных наблюдений
- Использование адаптивной оптики

# Самые большие зеркала

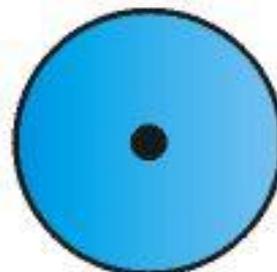
## WORLD'S LARGEST OPTICAL TELESCOPES



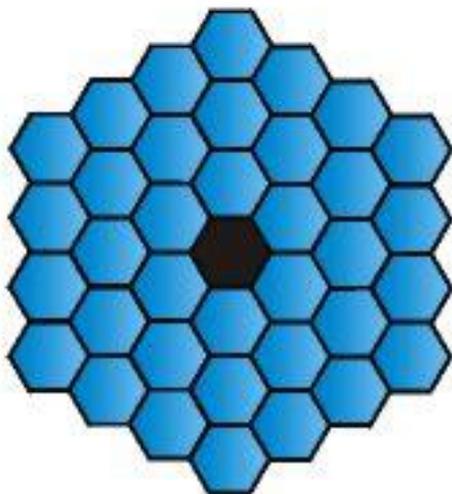
Herschel 4.2m



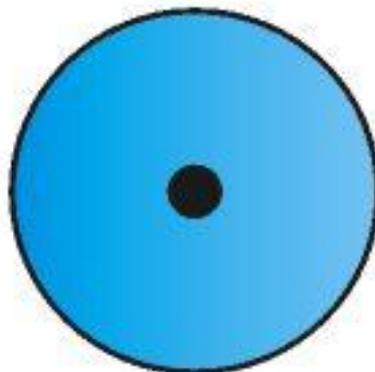
Palomar 5m



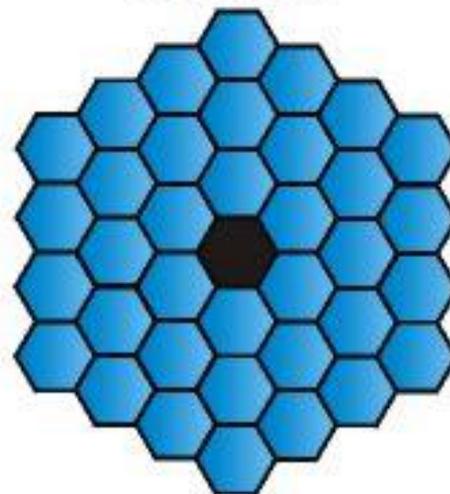
Russian 6m



Keck I 10m



VLT 8.2m



Keck II 10m

Central mirror holes not shown to scale  
© W.M. Keck Observatory

**Бессмысленно устанавливать большой телескоп  
в местах с плохим изображением!**



**6-м САО РАН**

LBT 2x8.4m  
Arizona, USA



**Канарские острова**

**10.4 м**

**Gran Telescopio CANARIAS (GTC)**

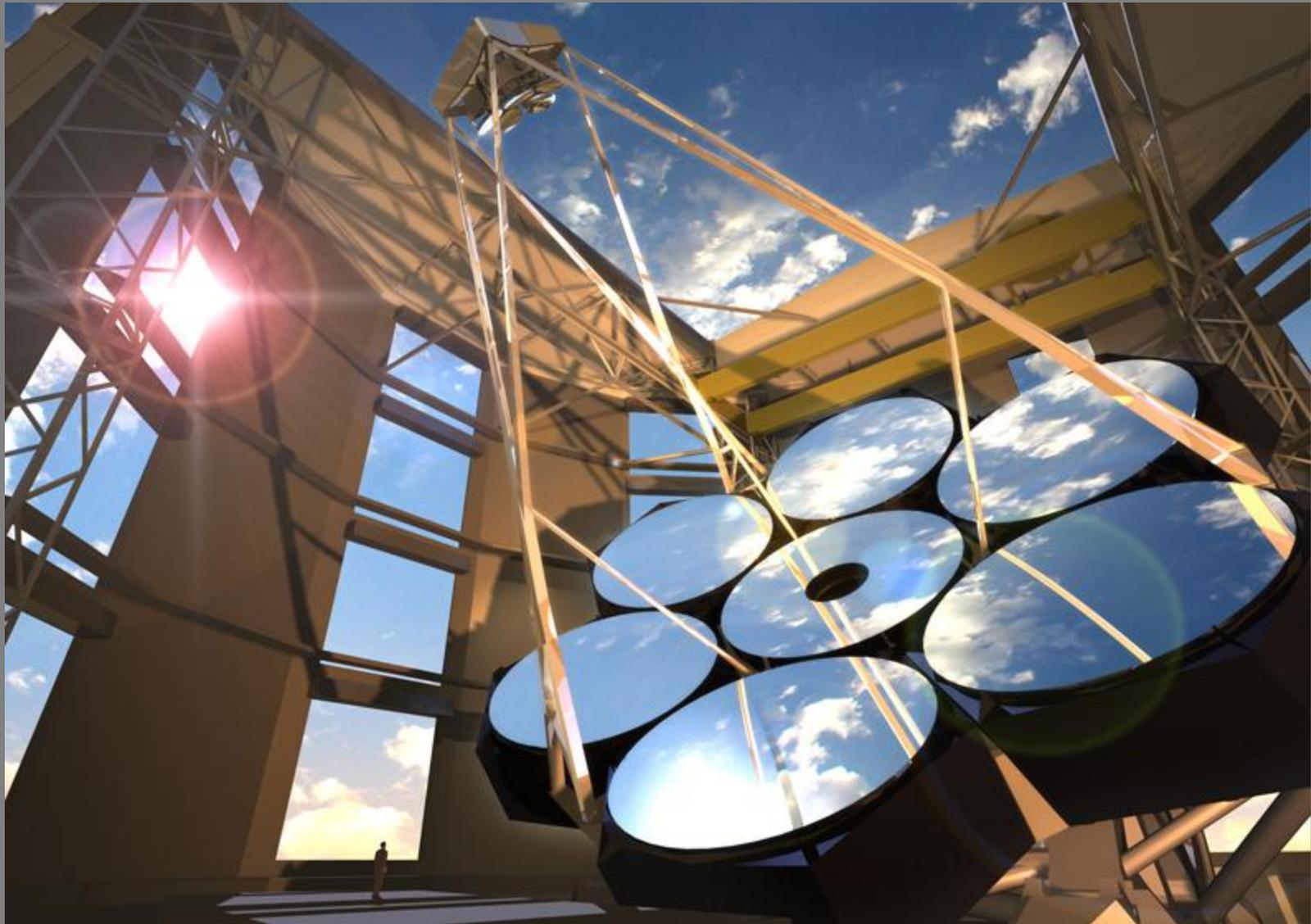
**36 сегментов.**





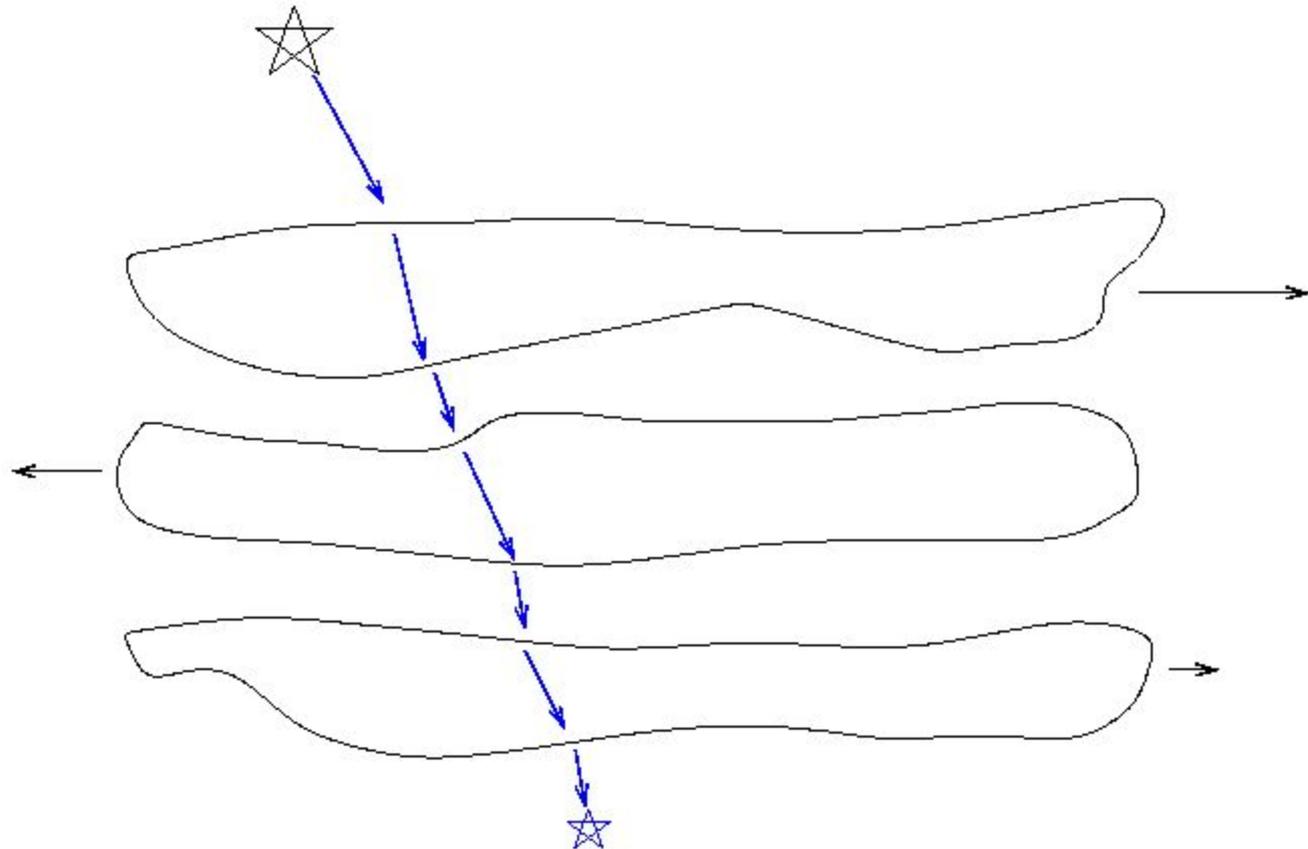
4x 8 м (Европейская  
Южная Обсерватория,  
Чили)

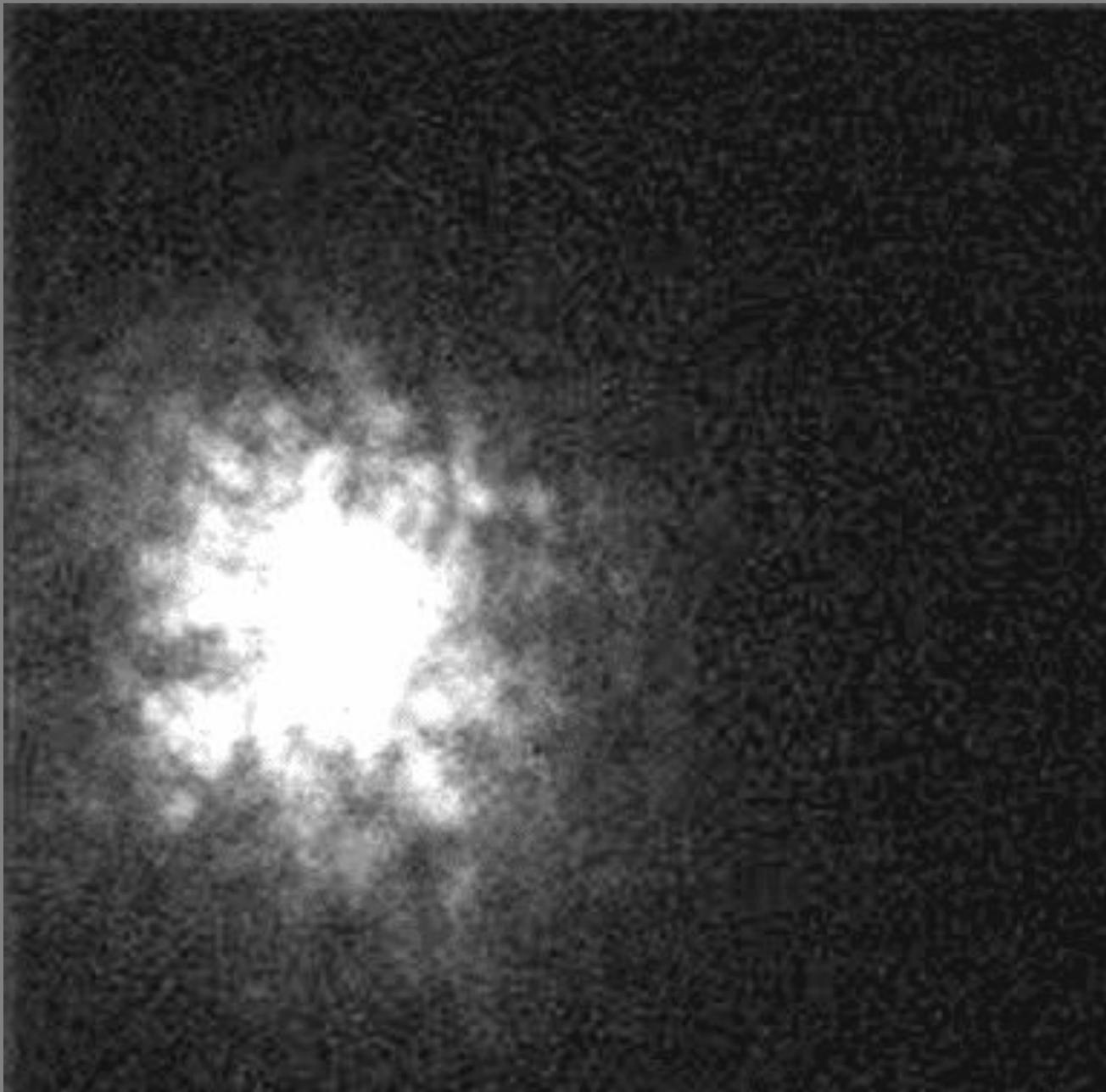
The VLT Array on the Paranal Mountain



**Giant Magellan Telescope 7x8.4m ([www.gmto.org](http://www.gmto.org))**

# Атмосферные искажения

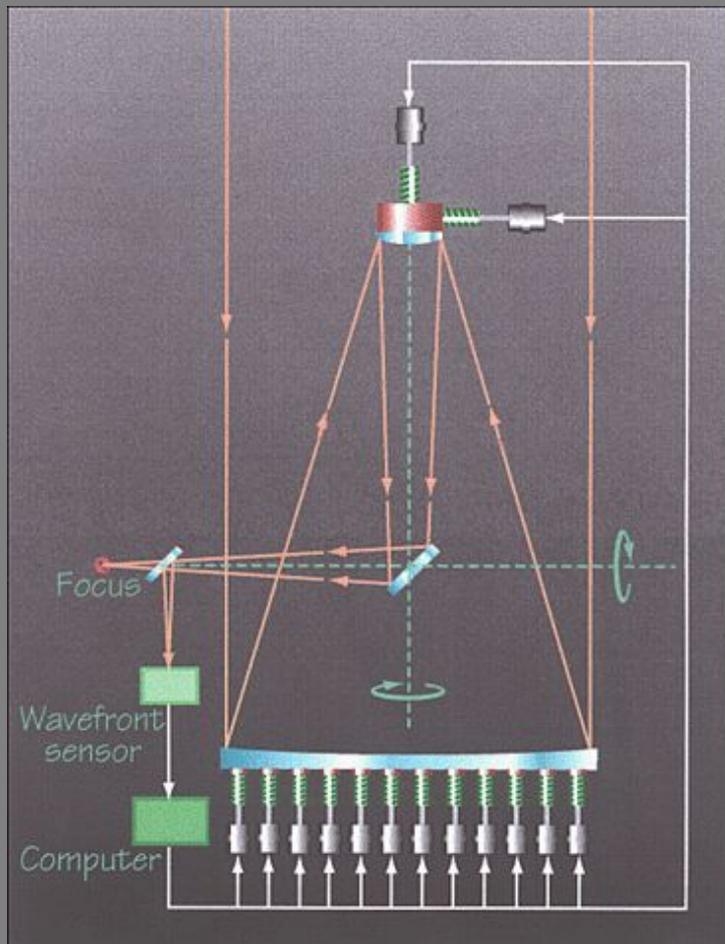




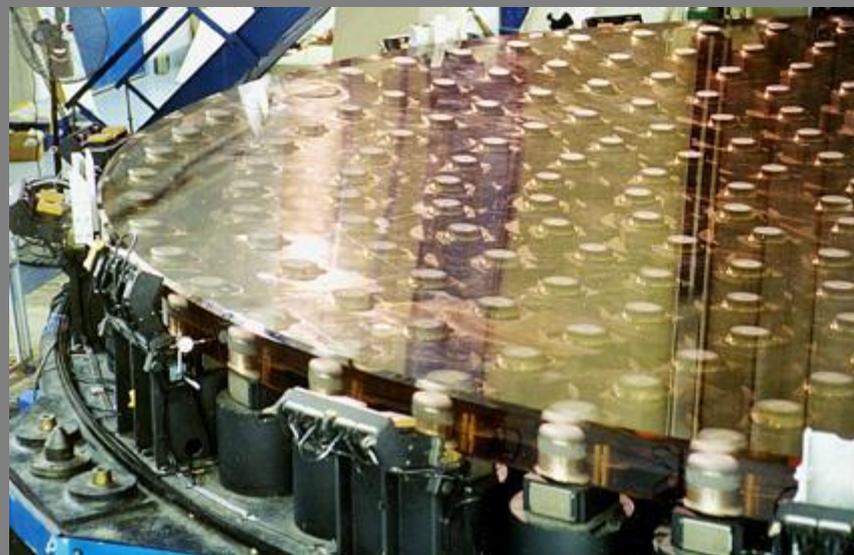
# Активная и адаптивная оптика

- Активная оптика устраняет НЧ ( $<1$  Гц) искажения ВФ путем корректировки формы главного зеркала
- Адаптивная оптика – устранение ВЧ искажений ВФ из-за атмосферной турбулентности путем подстройки формы дополнительных зеркал

# Активные зеркала

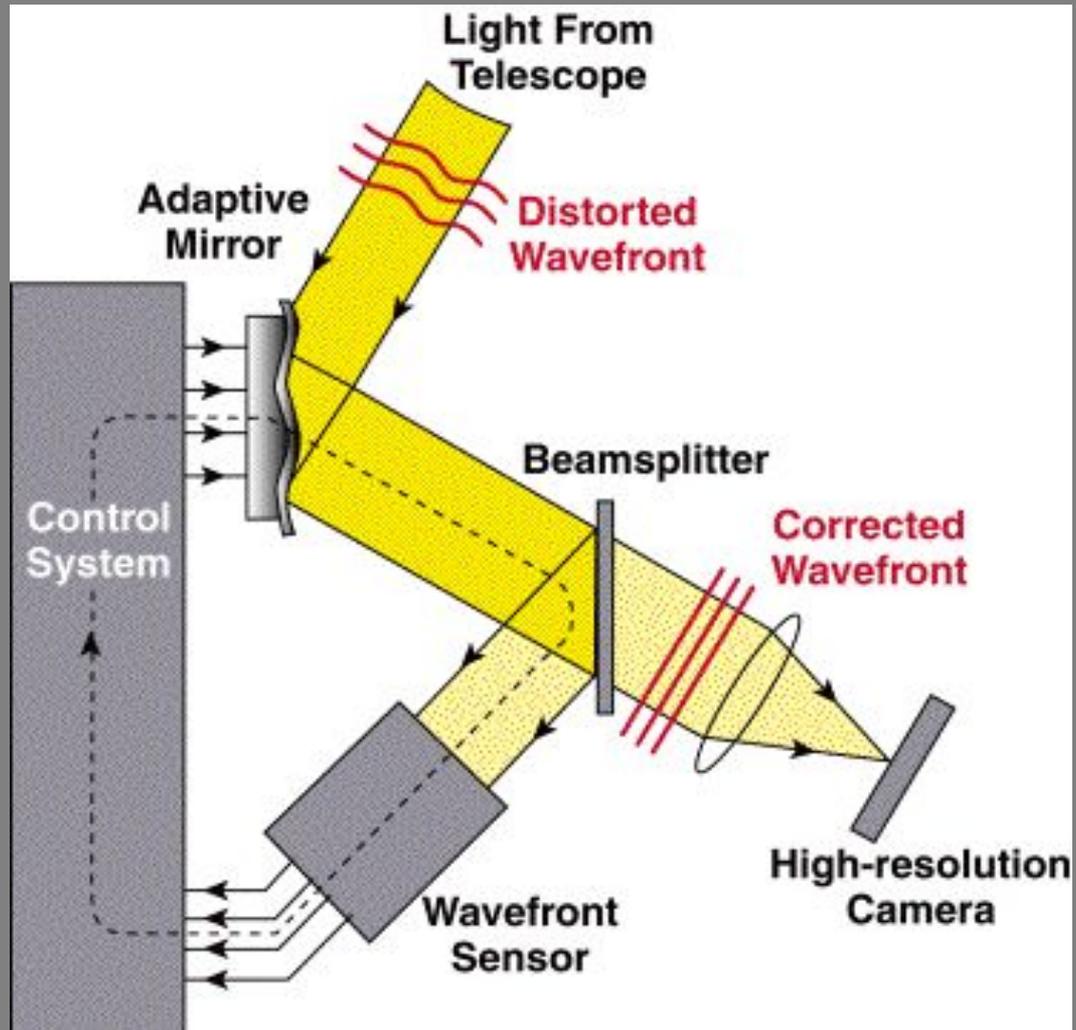


VLT

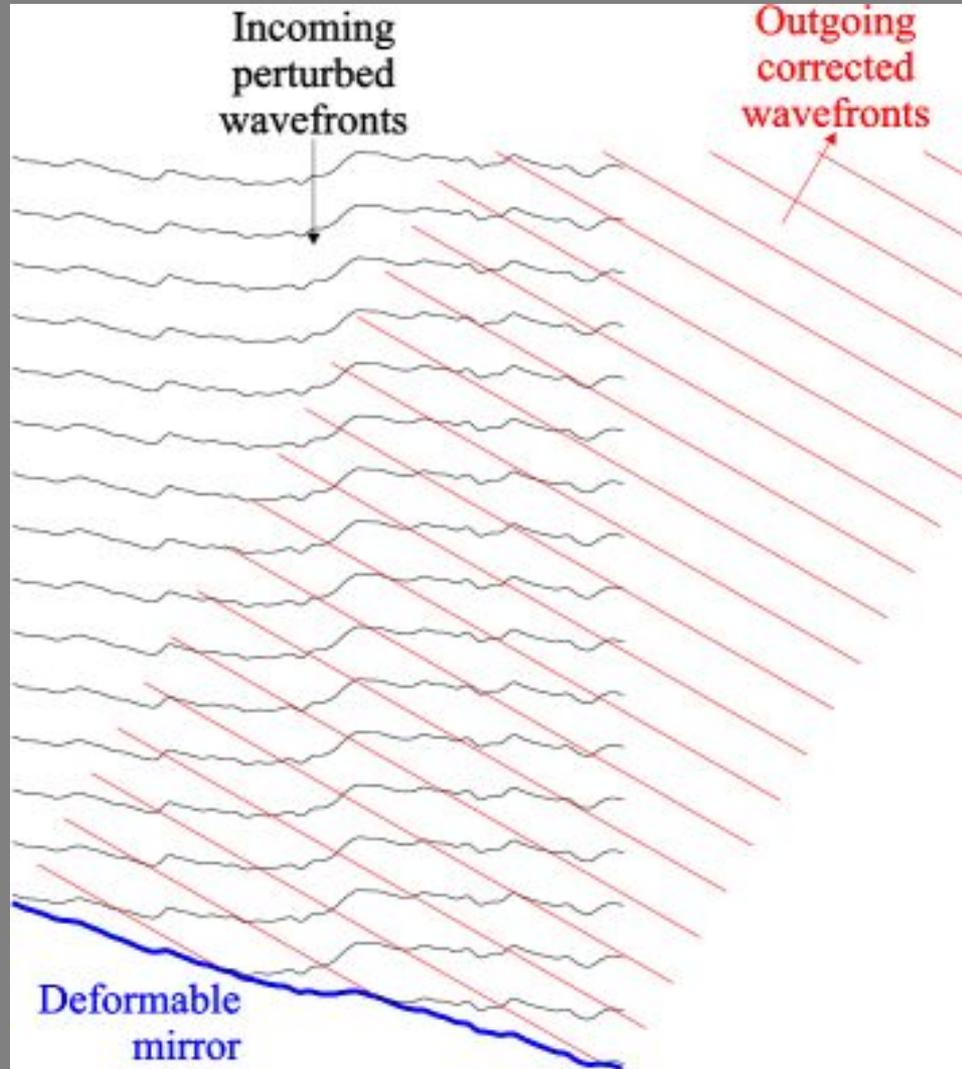


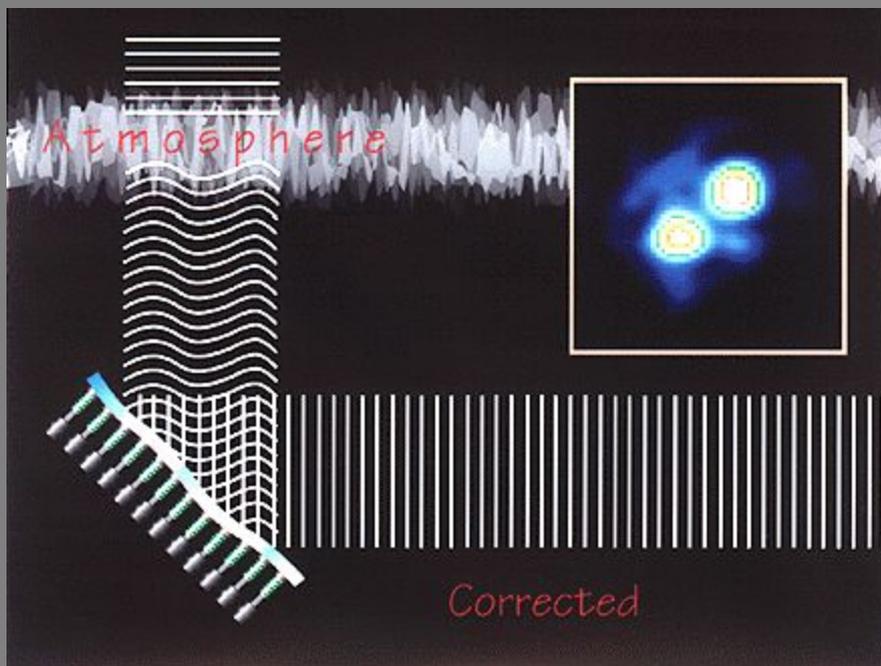
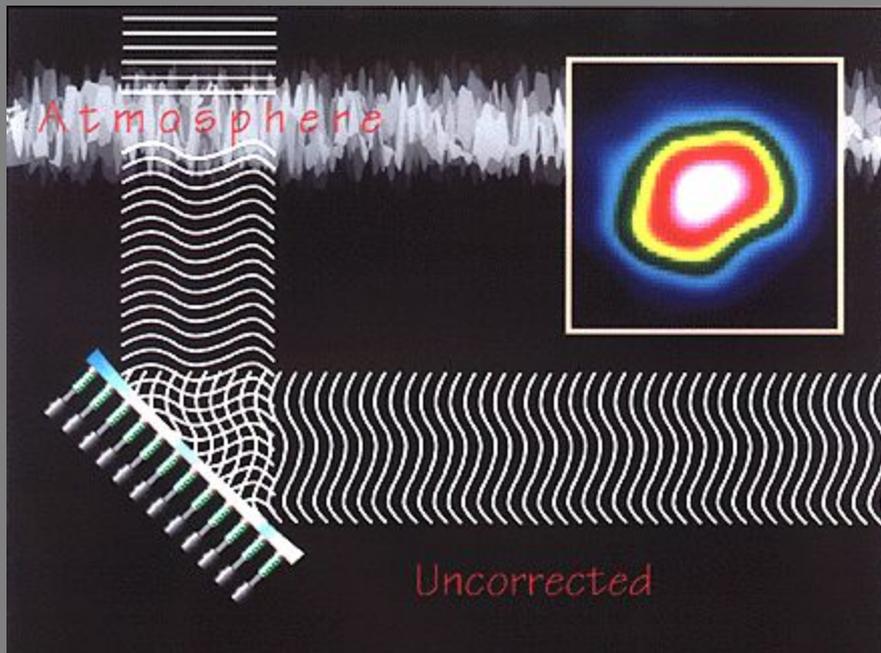
SUBARU

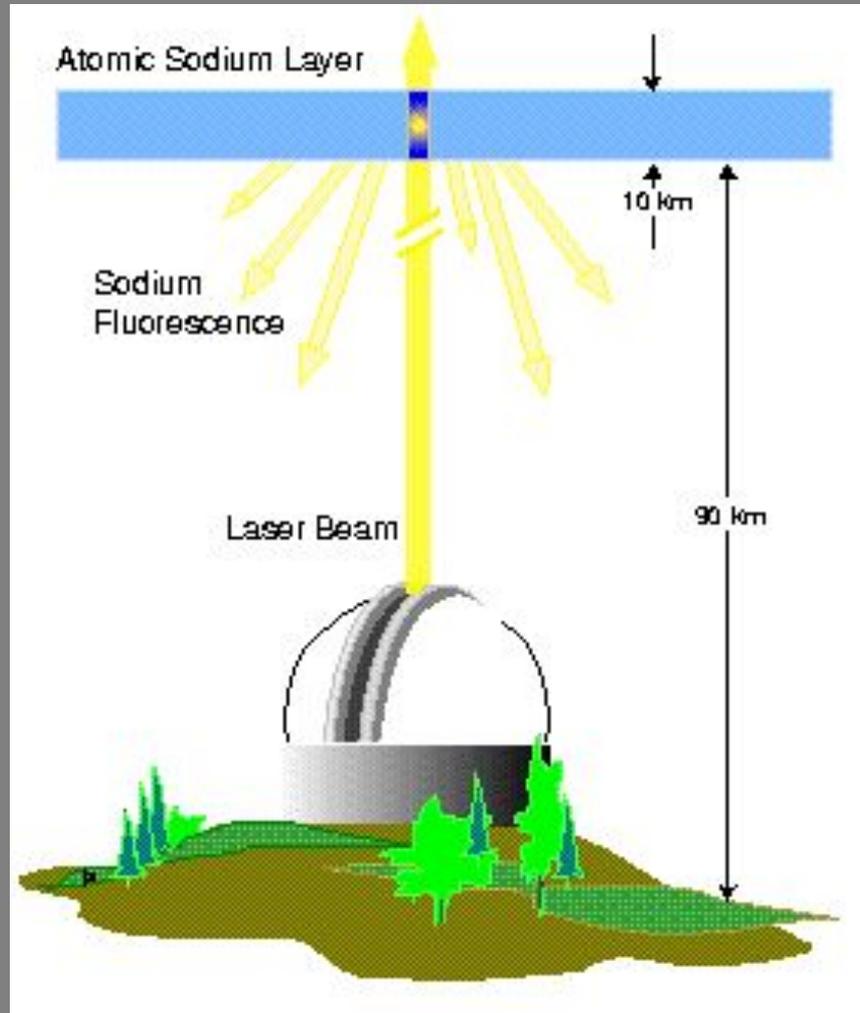
# Схема адаптивной оптики



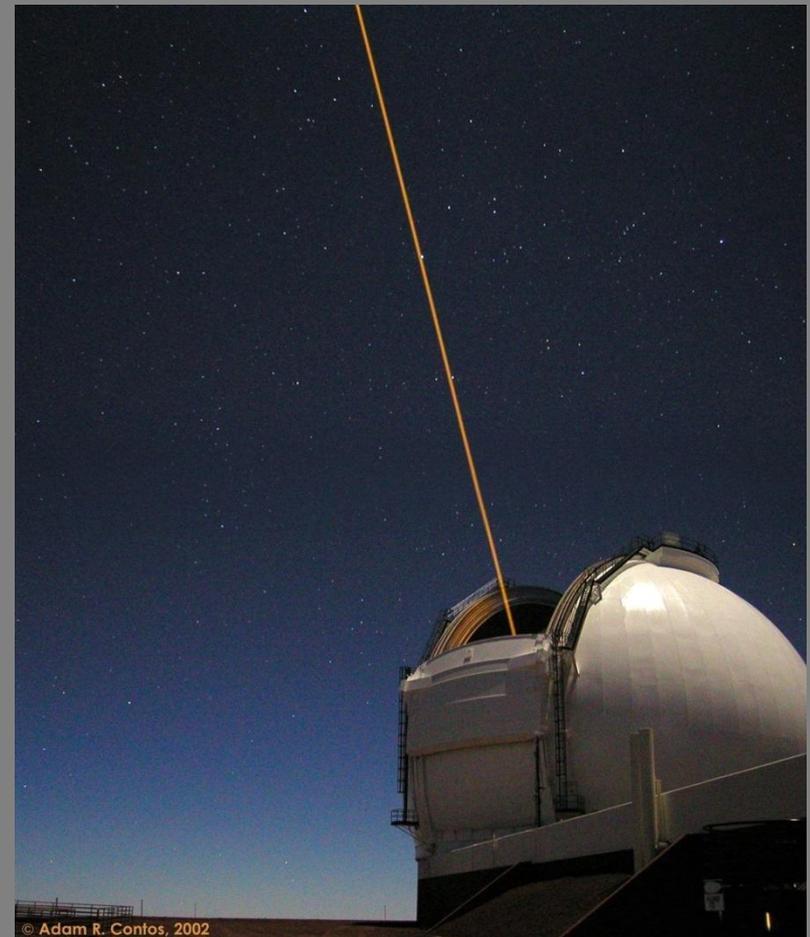
# Работа адаптивного зеркала



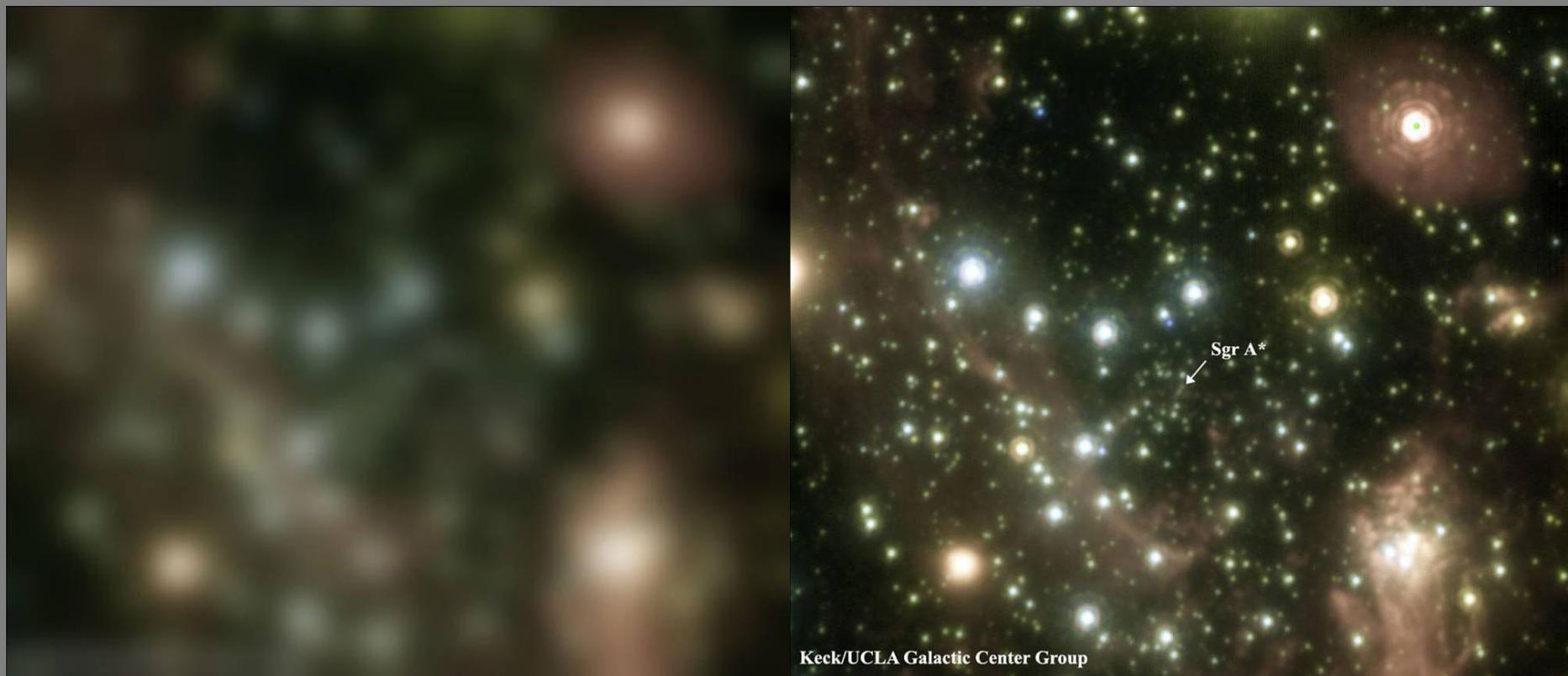




## Искусственная звезда (телескоп Кек)



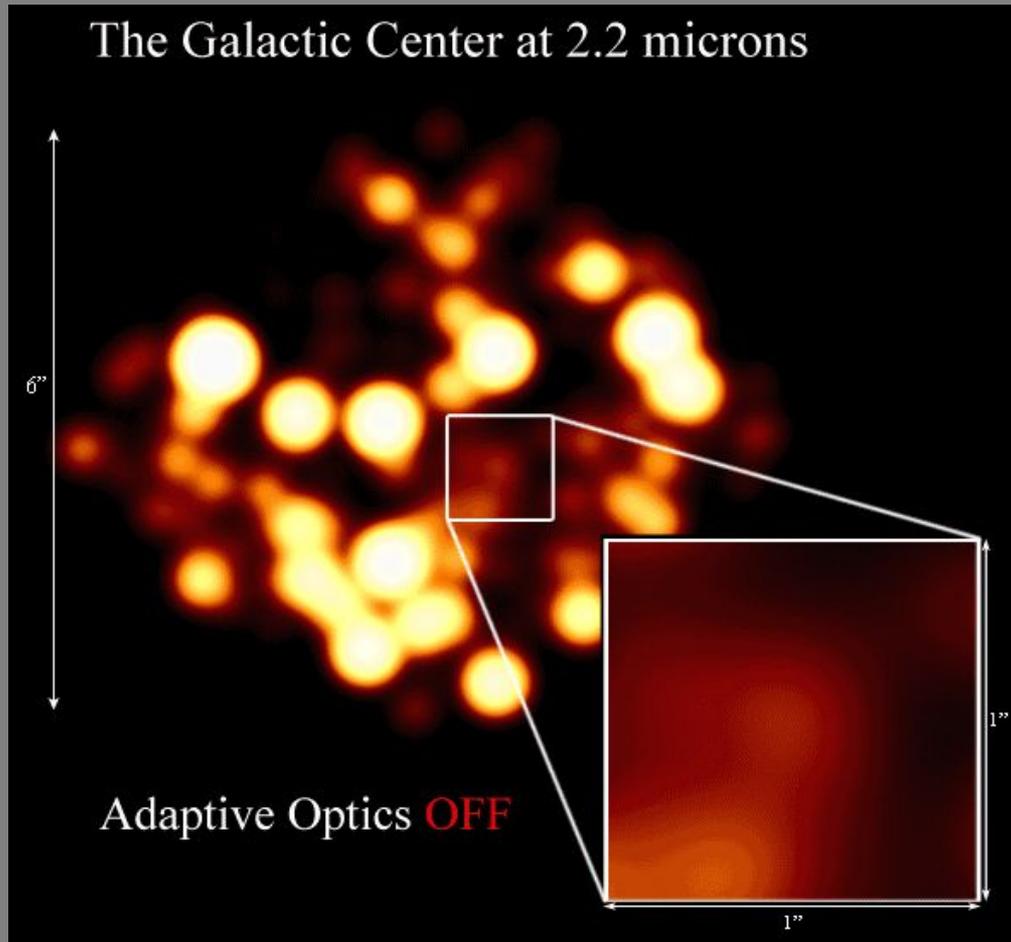
# Центр Галактики



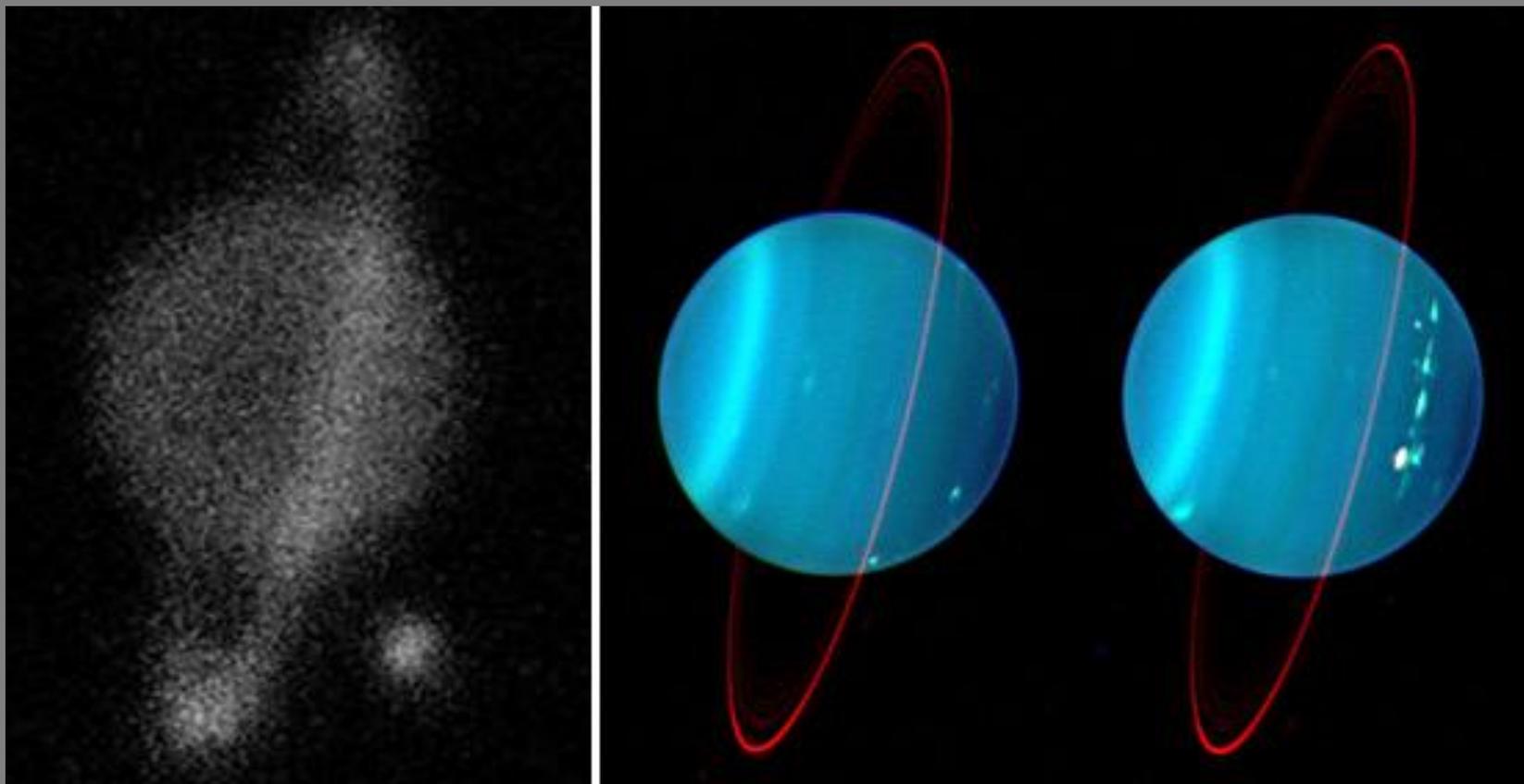
(Т-п им. Кека, ближний ИК)

\*

# Галактический центр



# Уран



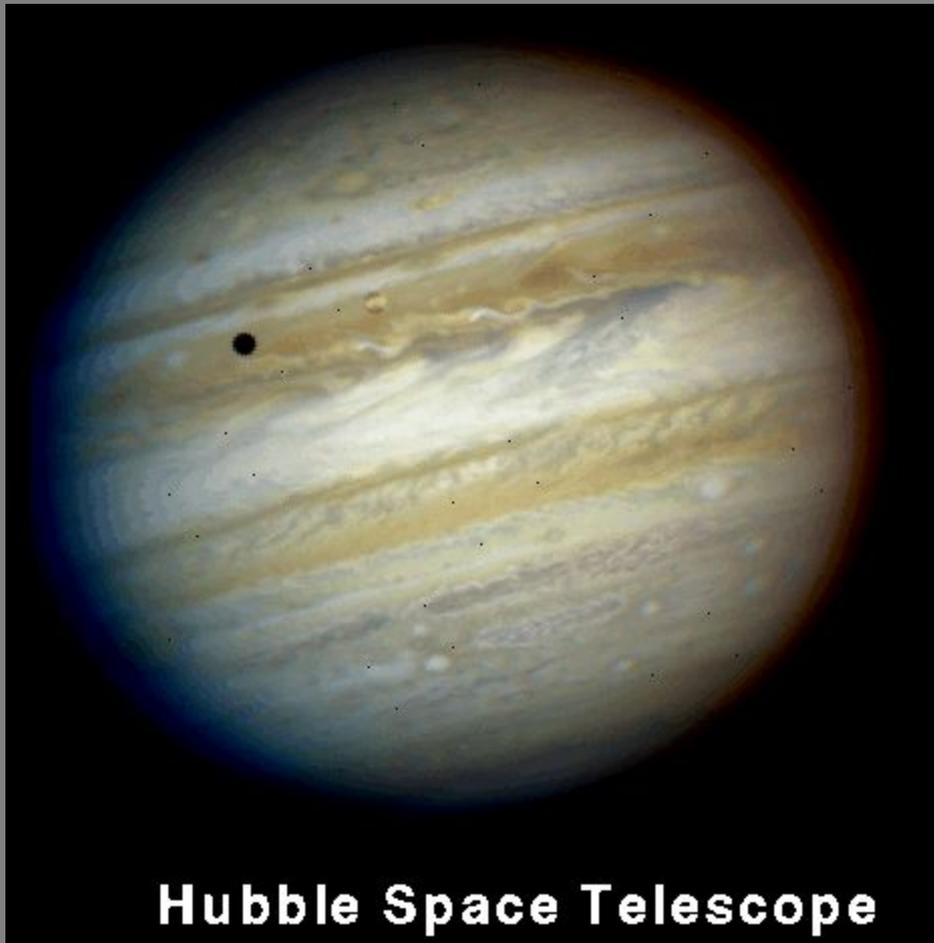
(Т-п им. Кека, ближний ИК)



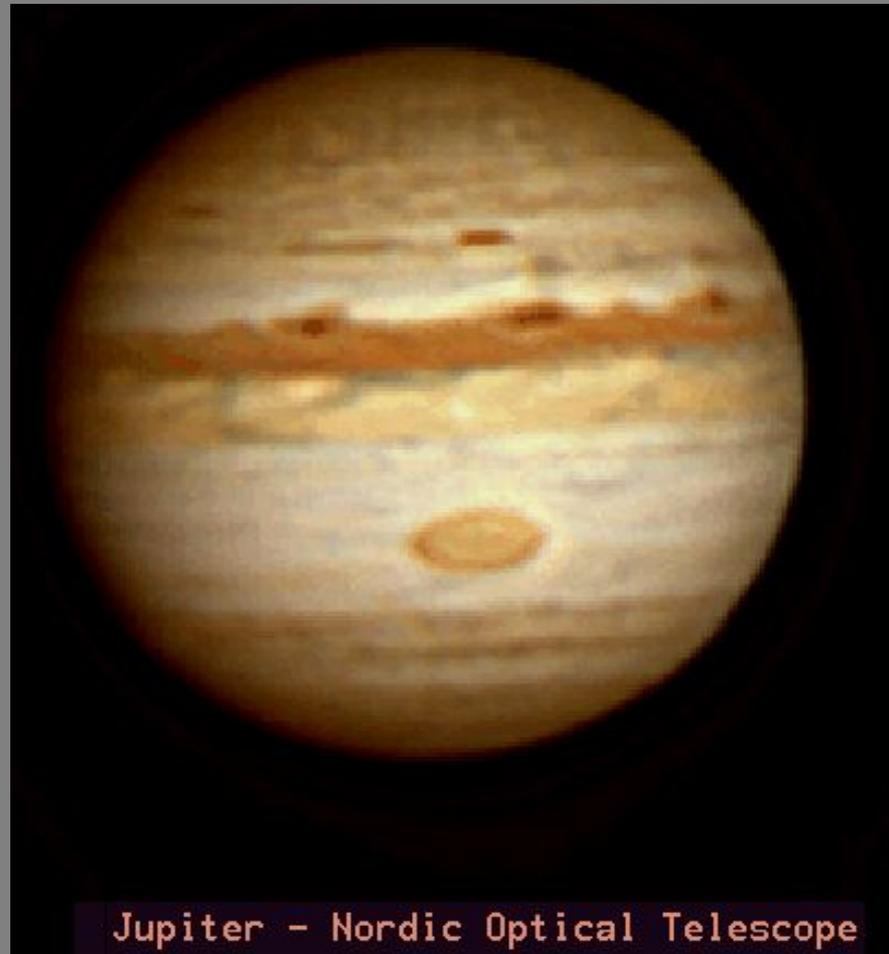
**HST (Космический телескоп Хаббл)**

\*





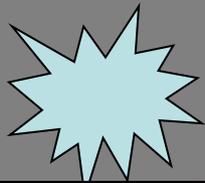
2.4-м



2.1-м

# РАДИОАСТРОНОМИЯ

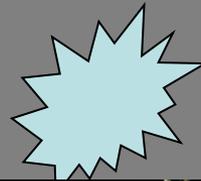
# Три «радио-Солнца» на небе!!



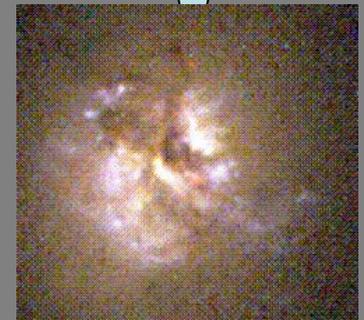
**Наше Солнце**



**Радиоисточник  
Кассиопея А**



**Радиоисточник  
Лебедь А**



# Радиотелескопы



**Аресибо 300м**



**VLA**



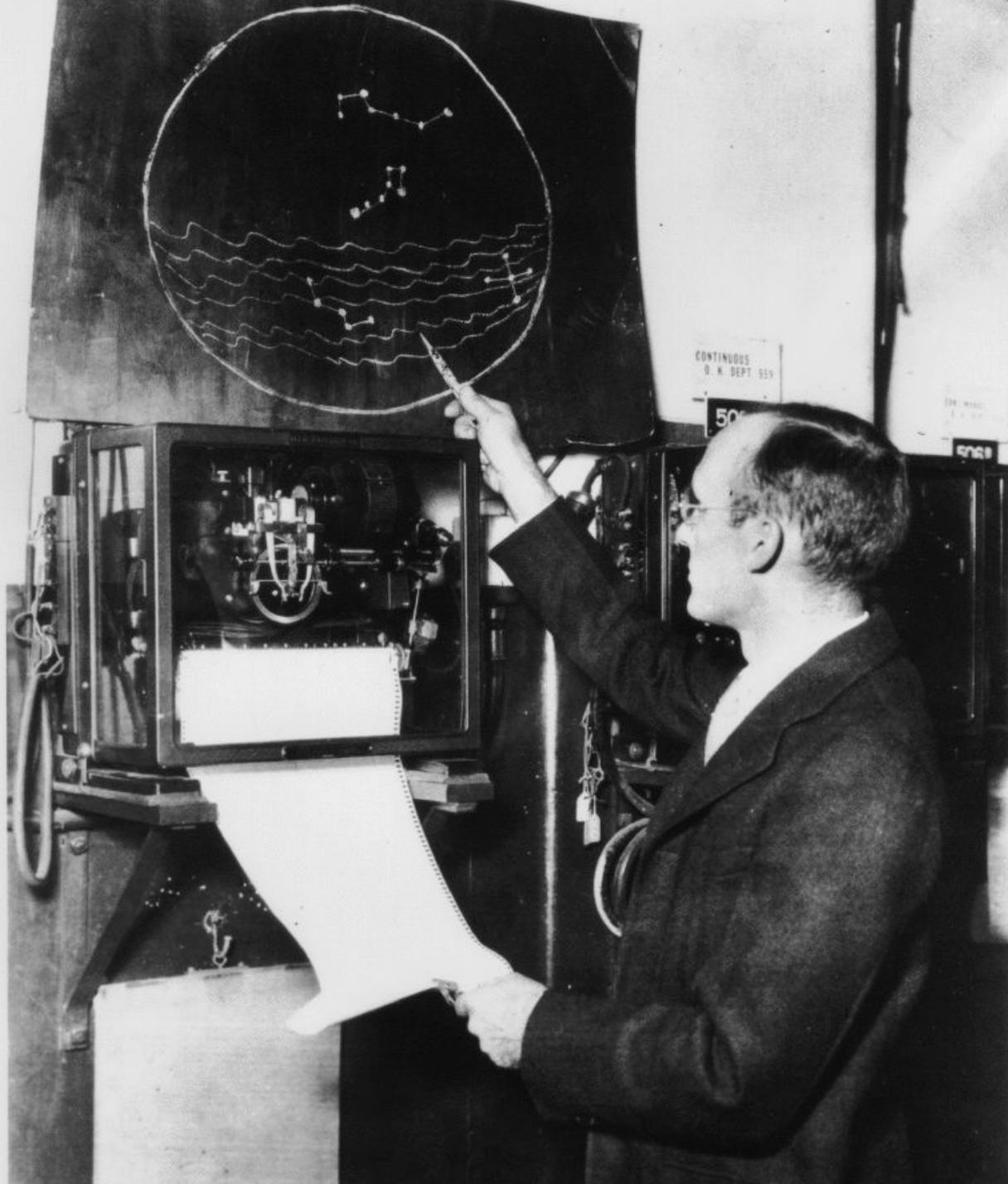
**NRAO 140ft**

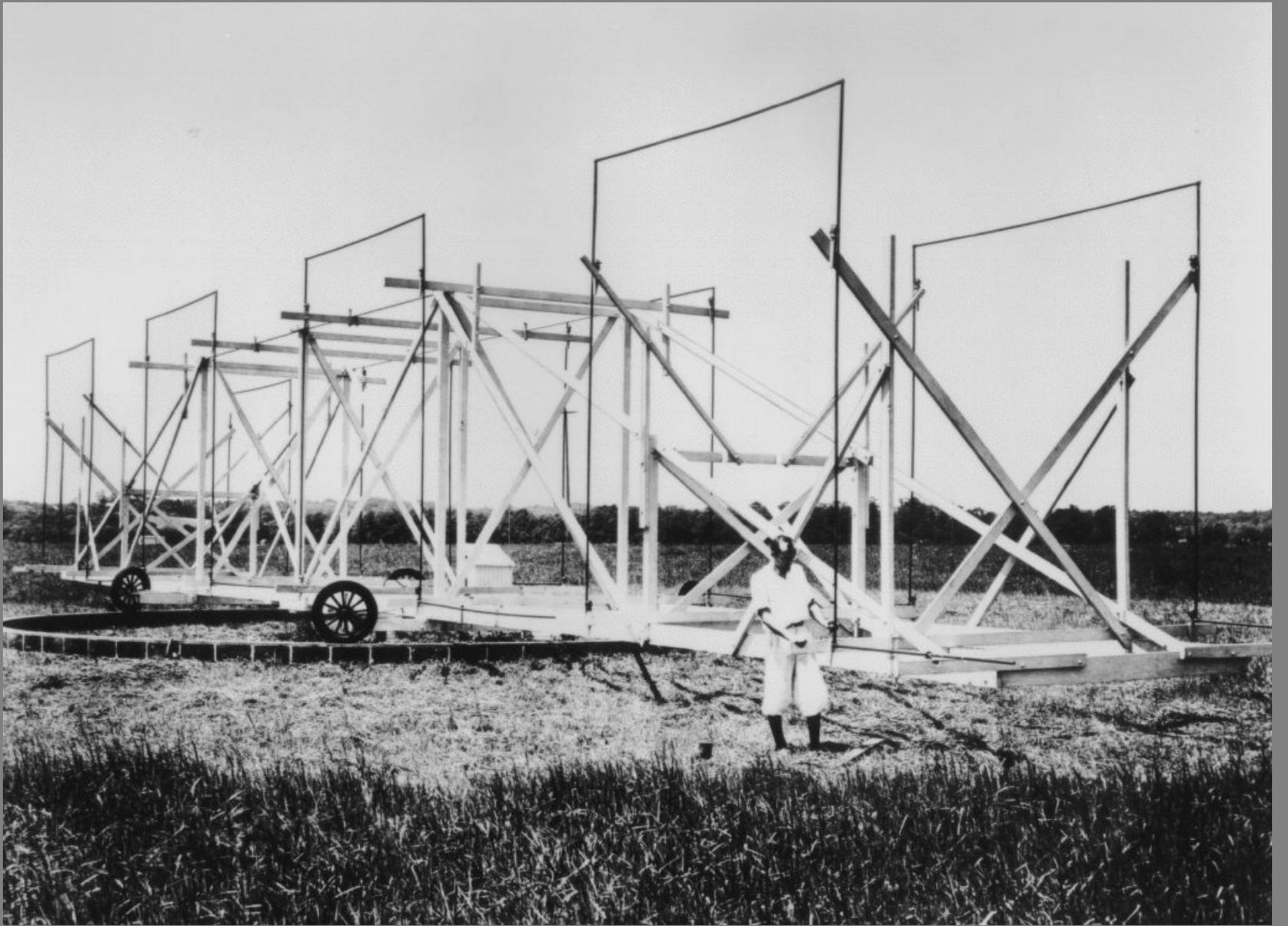


**РАТАН-600**

\*

1932г.  
Карл Янский  
Первое  
обнаружение  
космического  
Радиоизлучения  
( $\lambda$  14.5 м)



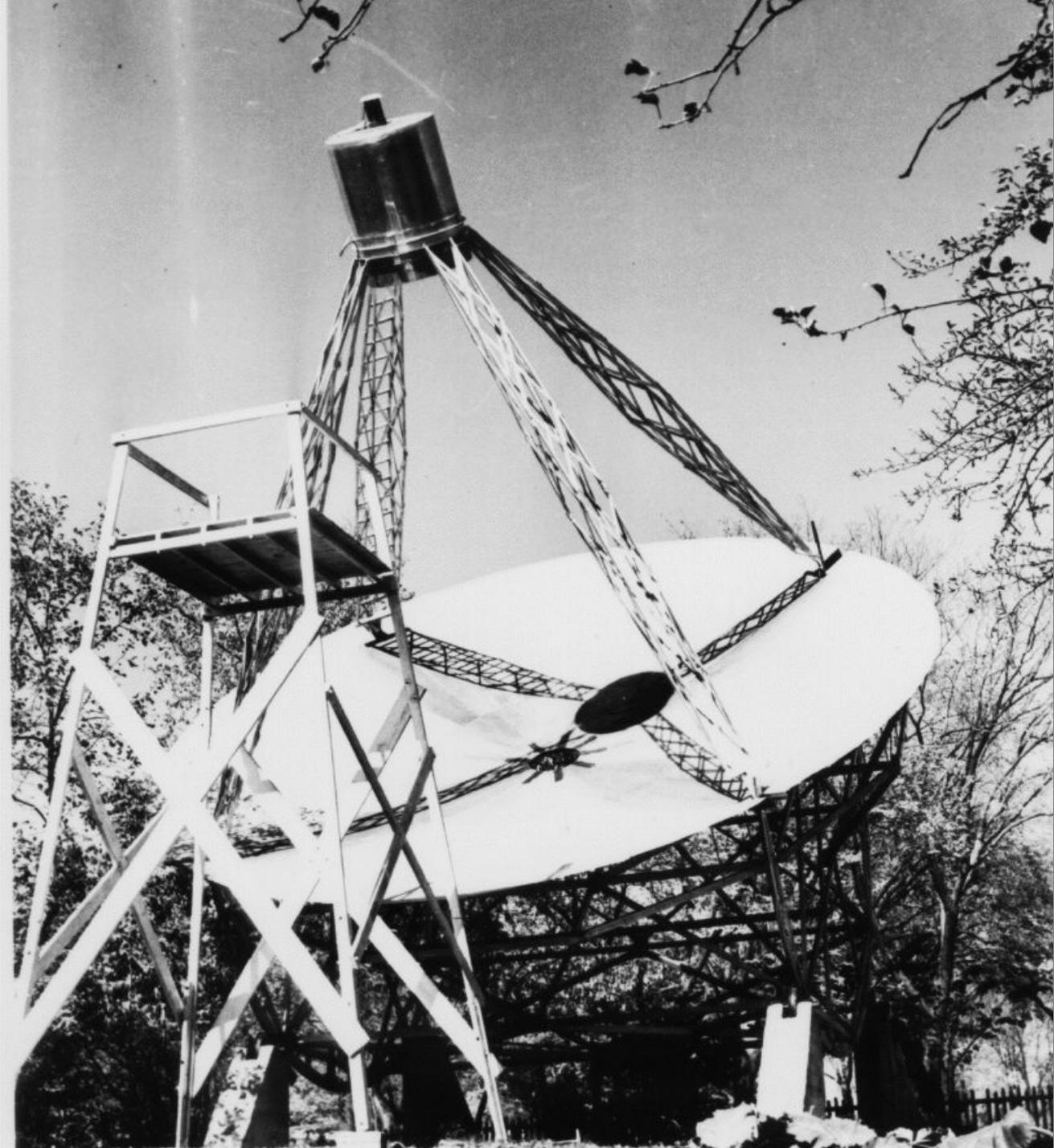


• 1943 г.

Грот Ребер (радиоловитель)

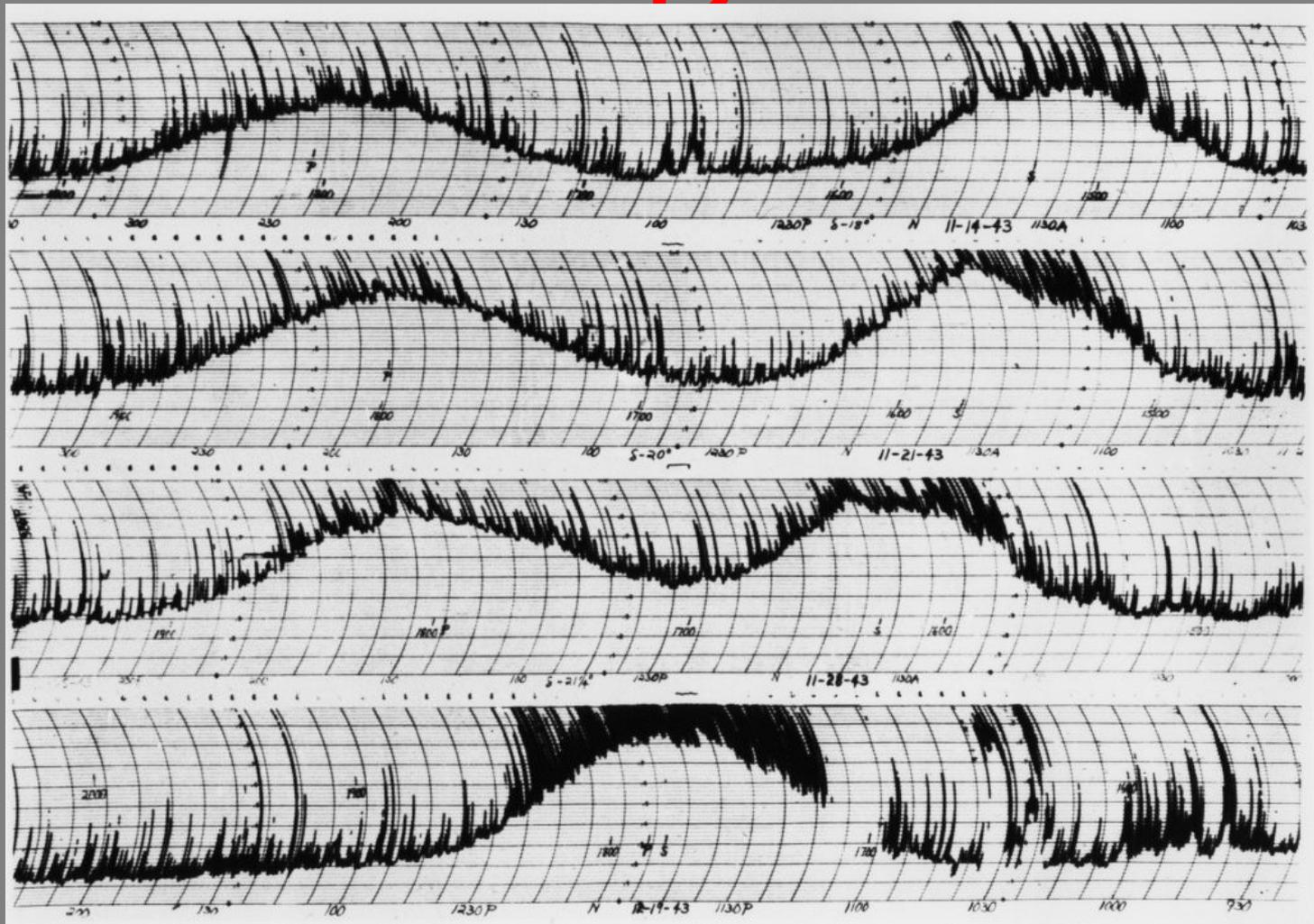
Первое посторение радиокарты неба

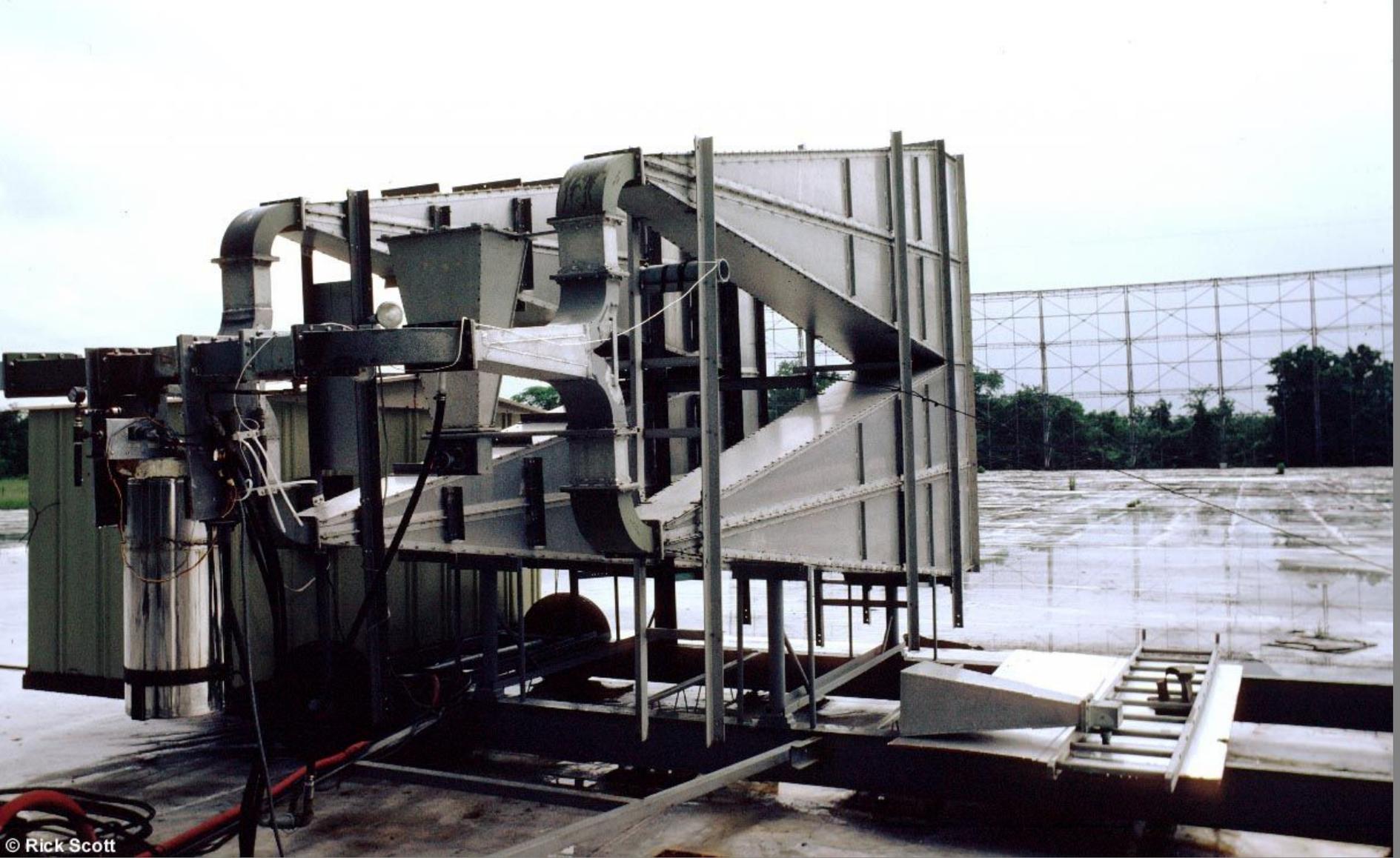




# Запись космического радиоизлучения (1943 г., Ребер)

$\lambda=1.9\text{м}$





**Радиотелескоп «Большое ухо» (Огайо, США, 1965)  
Обнаружил около 20 тыс. радиоисточников на небе.**



**100-м антенна  
радиотелескопа  
Green Bank (США)**



**100-м антенна  
радиотелескопа  
Effelsberg  
(Германия)**



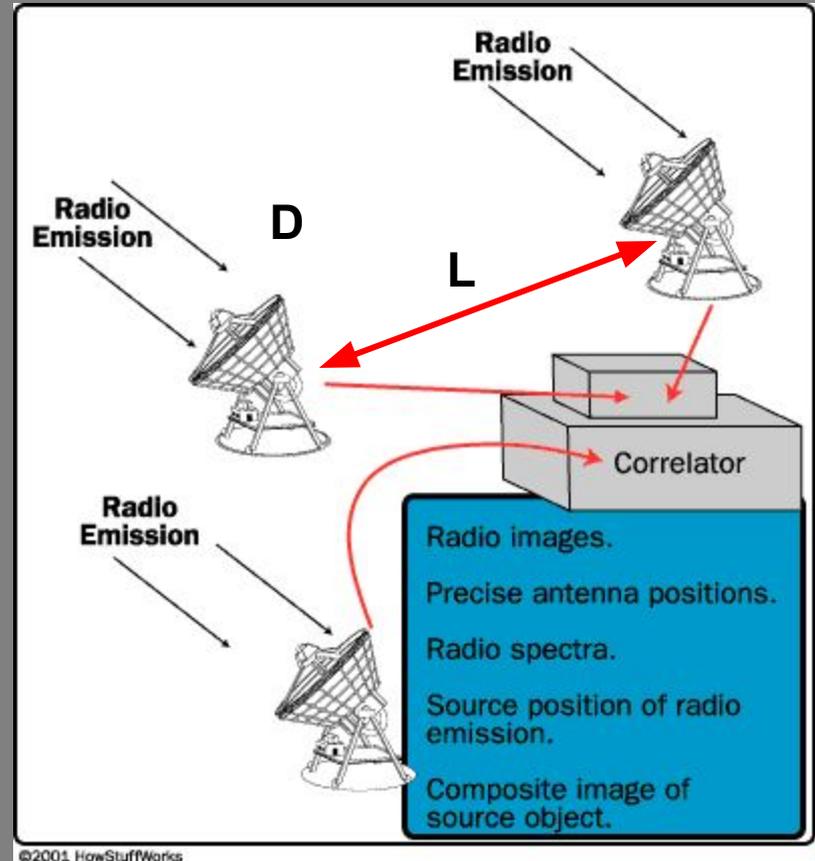
**64-м радиотелескоп  
около г. Калязин  
Тверской обл.**



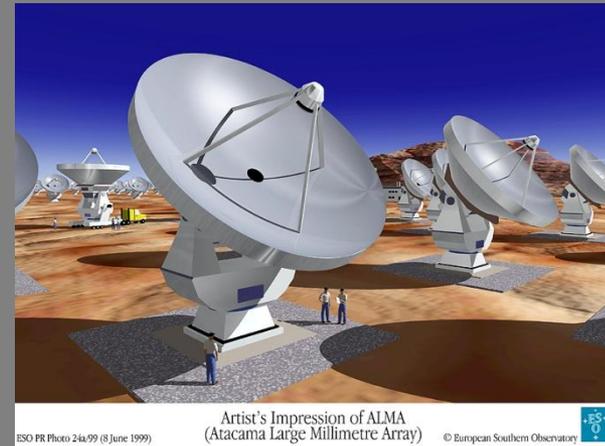
# Радиоинтерферометрия

Разрешение одного телескопа плохое (большая длина волны!)

- $\Theta_D \sim \lambda/D$
- Решение - интерферометры
- $\Theta_I \sim \lambda/L \ll \Theta_D$



# Радиоинтерферометры



# Радиоастрон

Запуск: 2011 г.

- Антенна 10м
- Апогей орбиты-  
350 тыс.км
- Угл. разрешение-  
5-8 микросекунд

(толщина человеческого волоса  
с расстояния 1000 км!)



# Рентгеновская и гамма-астрономия

- Только из космоса
- Источники: горячая тепловая плазма  $T > 10^6 \text{K}$  + нетепловые процессы с релятивистскими частицами (синхротронное излучение в сильных магнитных полях, обратное Комptonовское рассеяние на релятивистских электронах ...)
- Первые эксперименты в 1960х с аэростатов (Солнце, яркие галактические источники - Sco X-1)
- Первый специализированный спутник УХУРУ (1972) – карта неба (галактические и внегалактические X-источники, горячий газ в скоплениях галактик). Рентгеновский телескоп Einstein (1979).
- НР по физике 2002 г (Р. Джиаккони)

# НЕМНОГО ИСТОРИИ...

ФАУ-2, 1946-1949гг



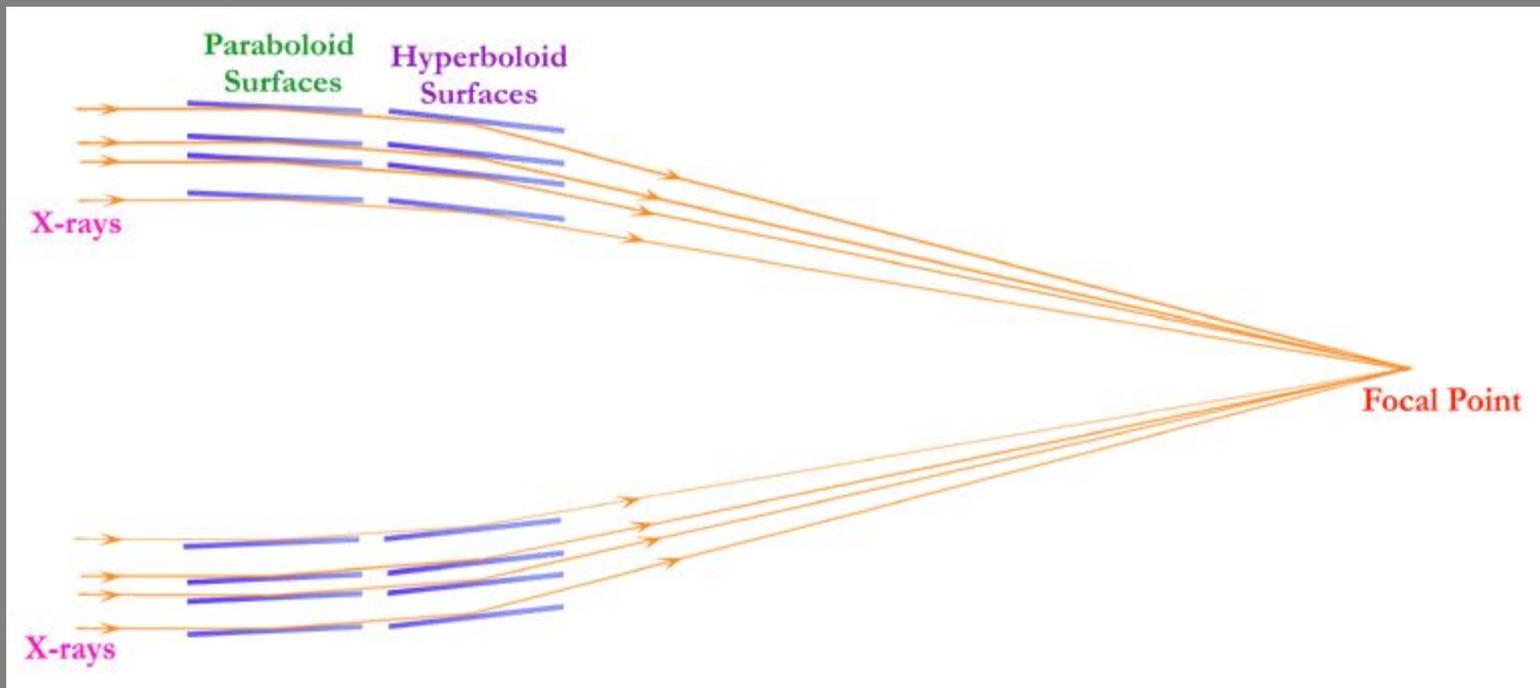
UHURU, 1970-1973гг  
2-20 КэВ  
Первый обзор неба

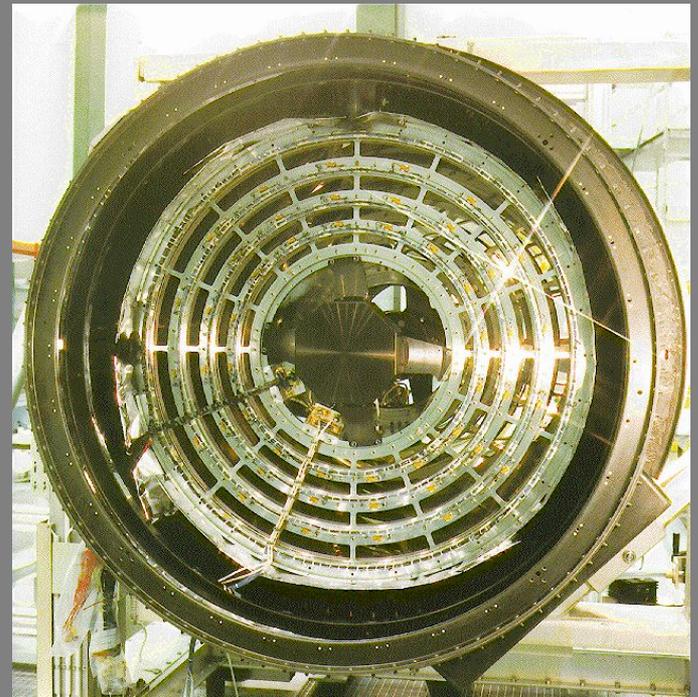
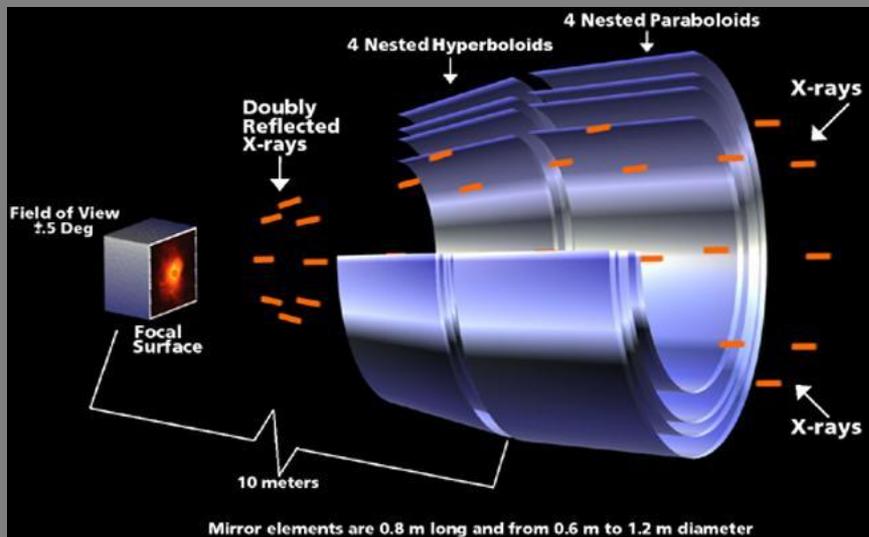


# Рентгеновские телескопы косого падения

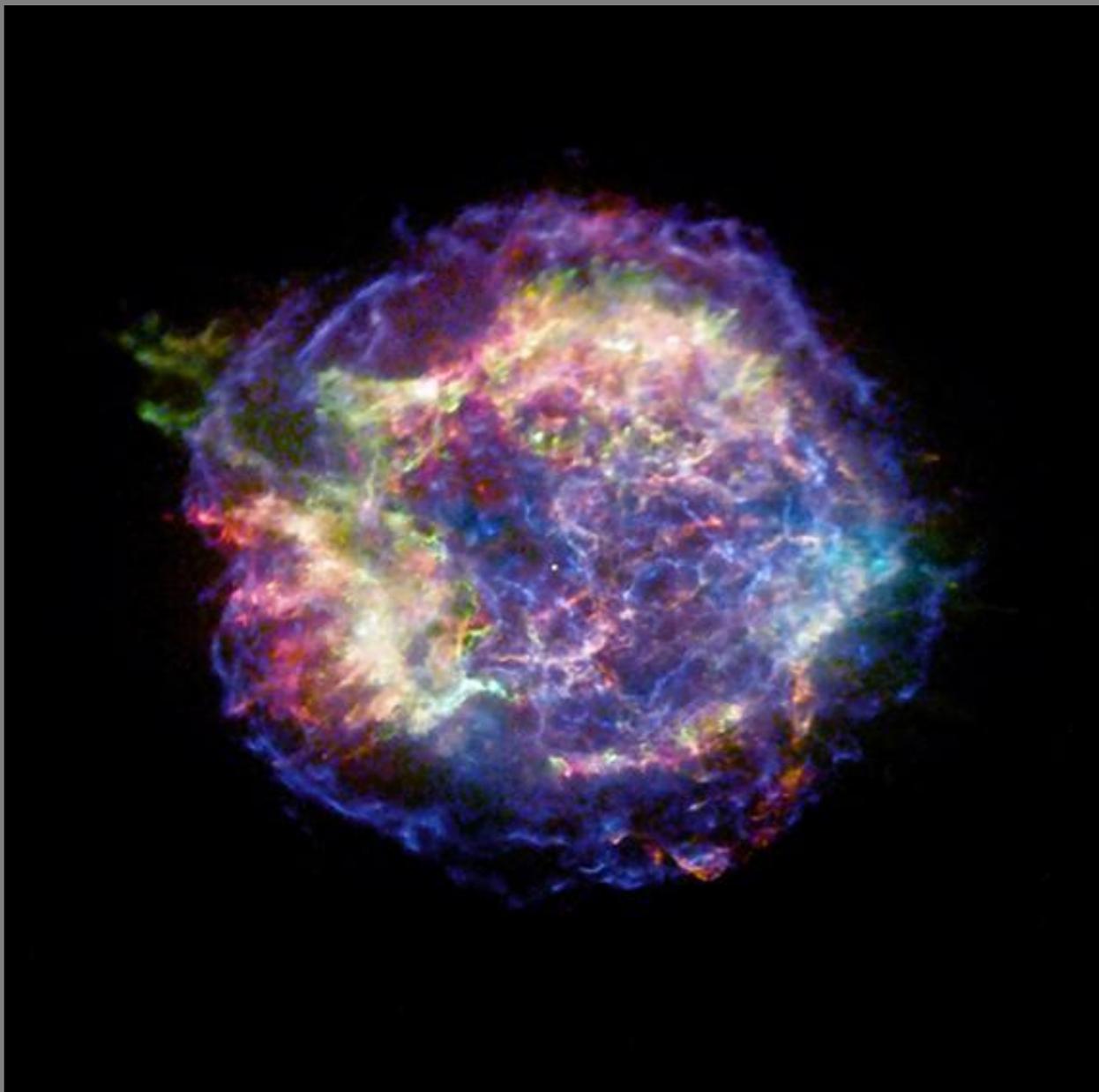
Принцип работы: фокусировка лучей при косом падении на металлы

Главный недостаток: длинный фокус (10-ки м) +  
малая эффективная площадь





**Угловое разрешение современных  
рентгеновских телескопов (Chandra)  
1 сек. дуги**

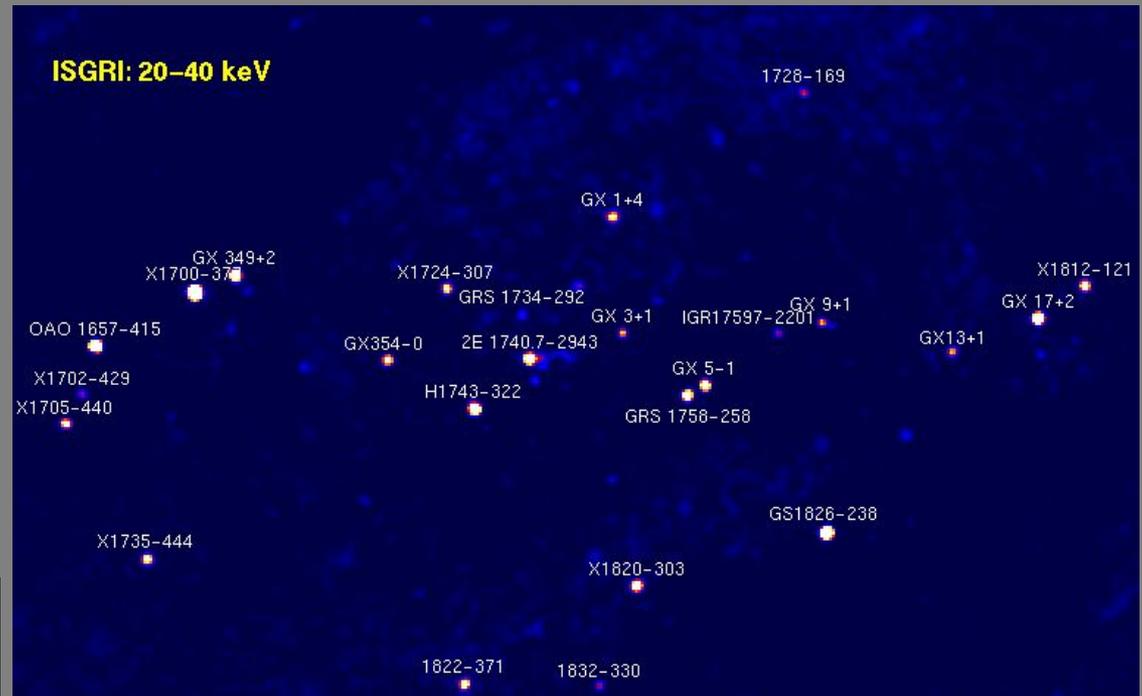
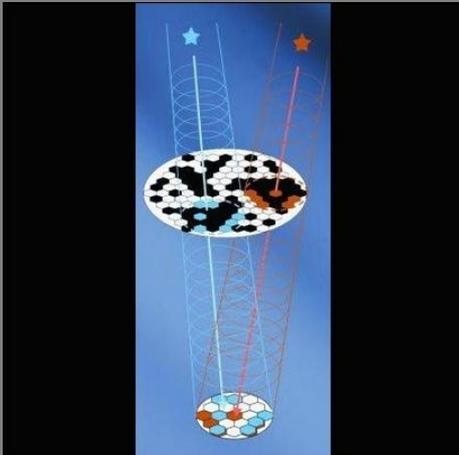


**Cas A –  
остаток SNII  
~300 лет**

**В центре –  
горячая нейт-  
ронная звезда**

**Ускорение кос-  
мических лучей  
на фронте УВ**

# Гамма-телескопы кодированной апертуры

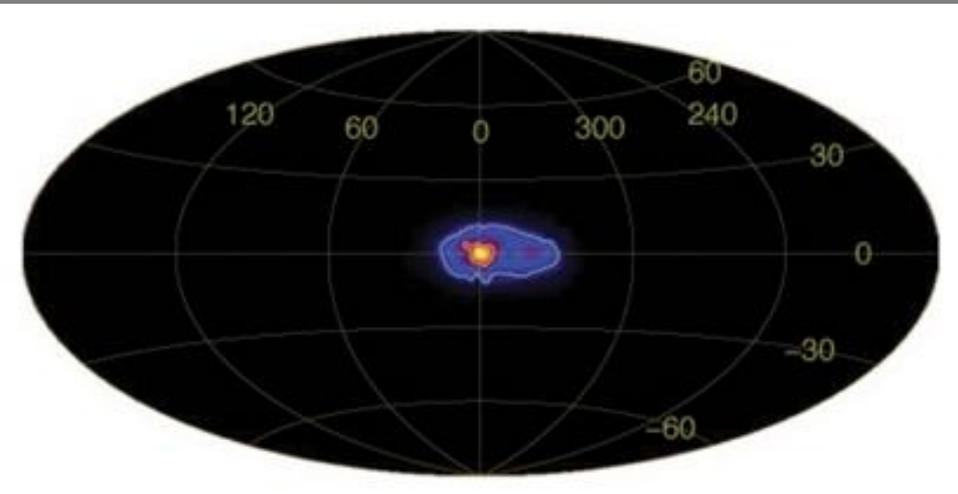


Угловое разрешение ~ 1 градуса  
(20 кэВ-10МэВ)

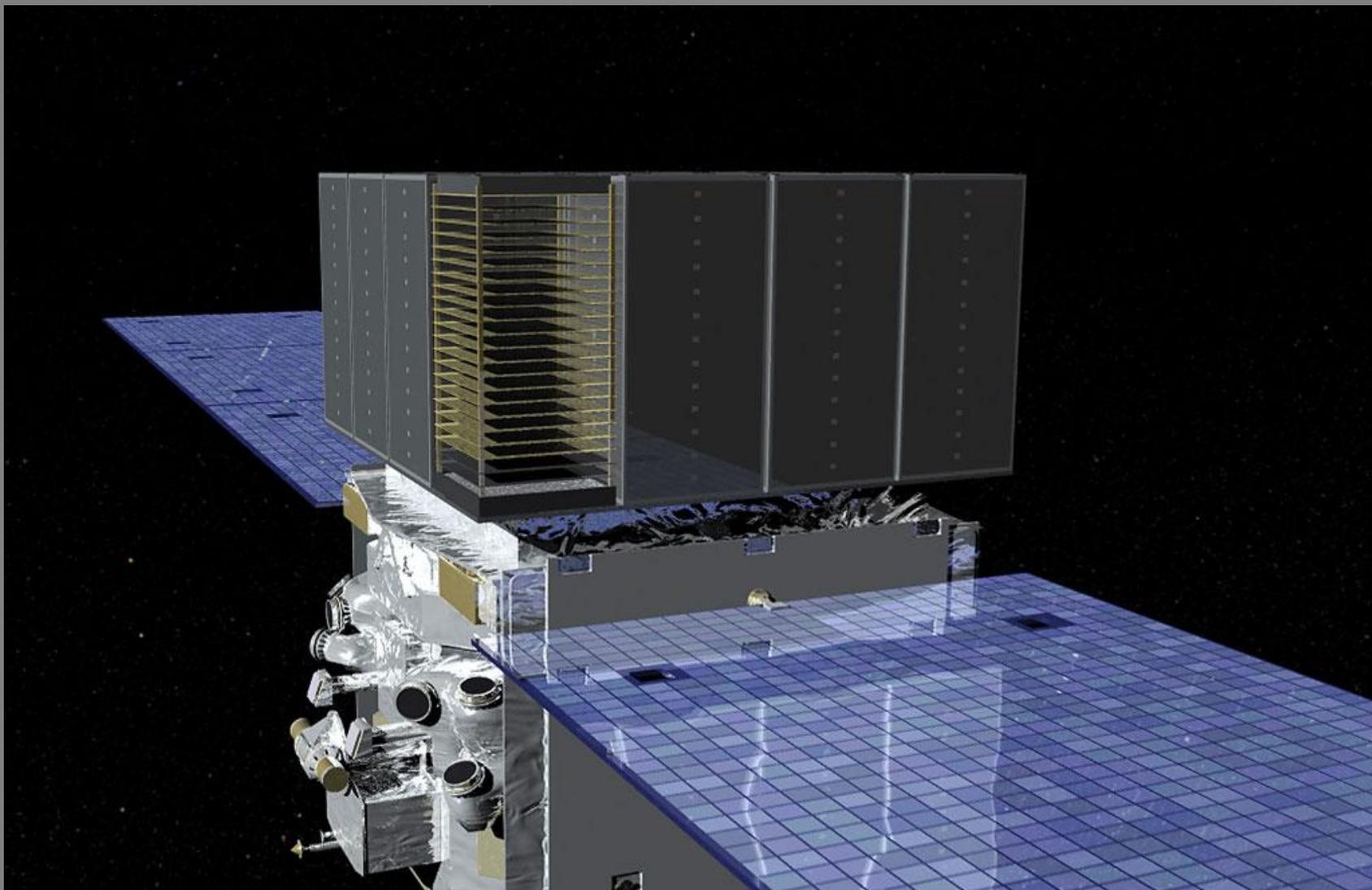
Маска SPI телескопа INTEGRAL  
Детекторы: крист. Ge, CsI, CaTi

# Аннигиляционная линия 511 кэВ ( $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ )

- Из области центра Галактики
- Соответствует  $\sim 10^{43}$  аннигиляций в секунду
- Нерешенная проблема происхождения



# Fermi (NASA) 30 МэВ-300 ГэВ

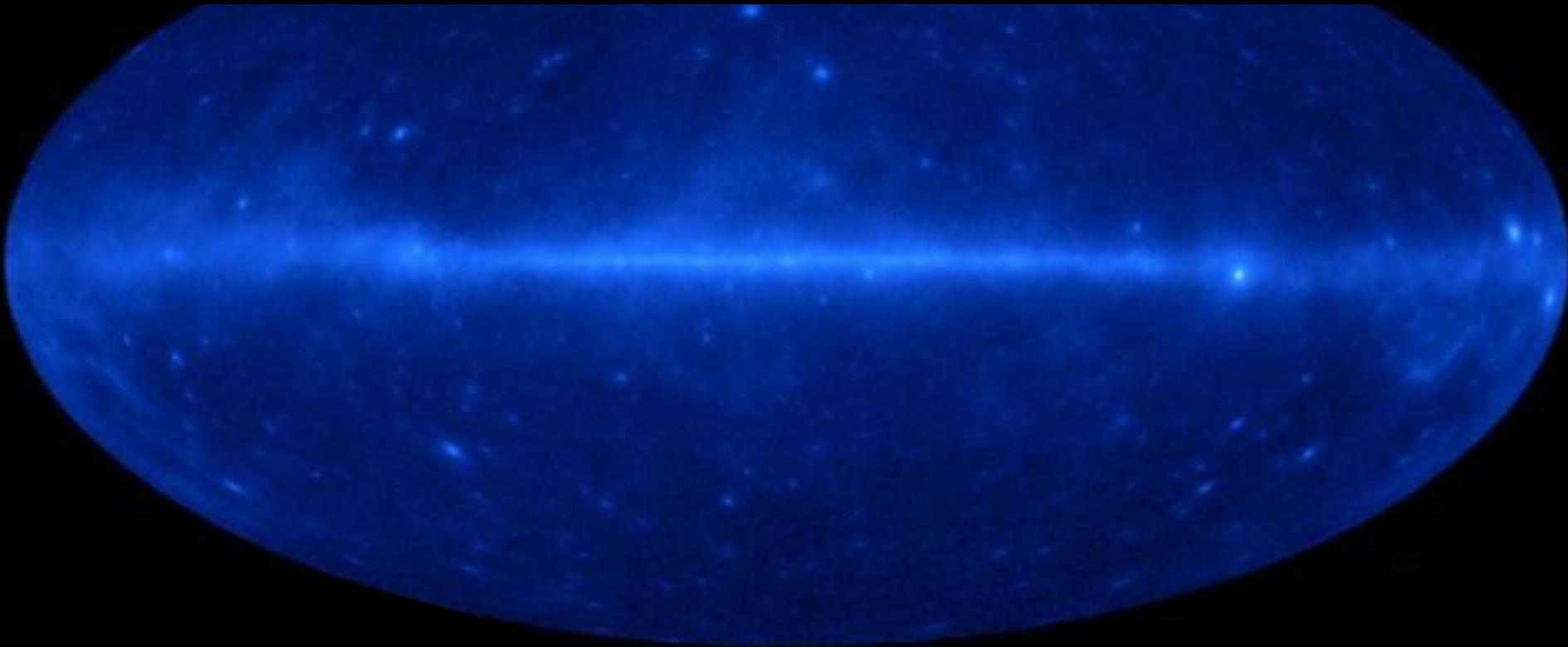


\*



# The Gamma-ray Sky Seen with Fermi LAT

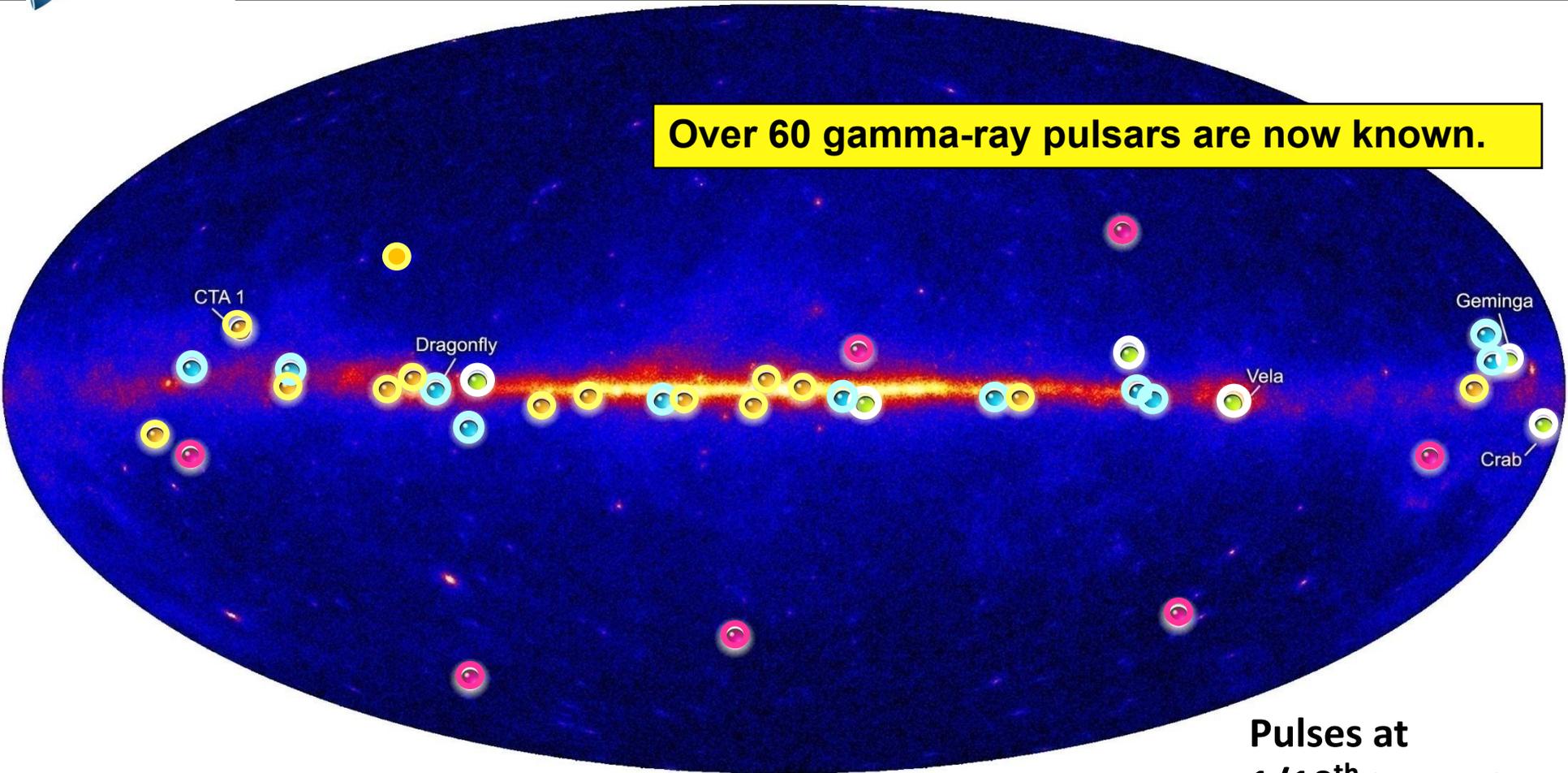
**Galactic diffuse emission comes from cosmic-ray interactions with the interstellar medium**



Sources are seen against a strong diffuse background.  
 $E > 1$  GeV image.

# The Pulsing $\gamma$ -ray Sky

Over 60 gamma-ray pulsars are now known.



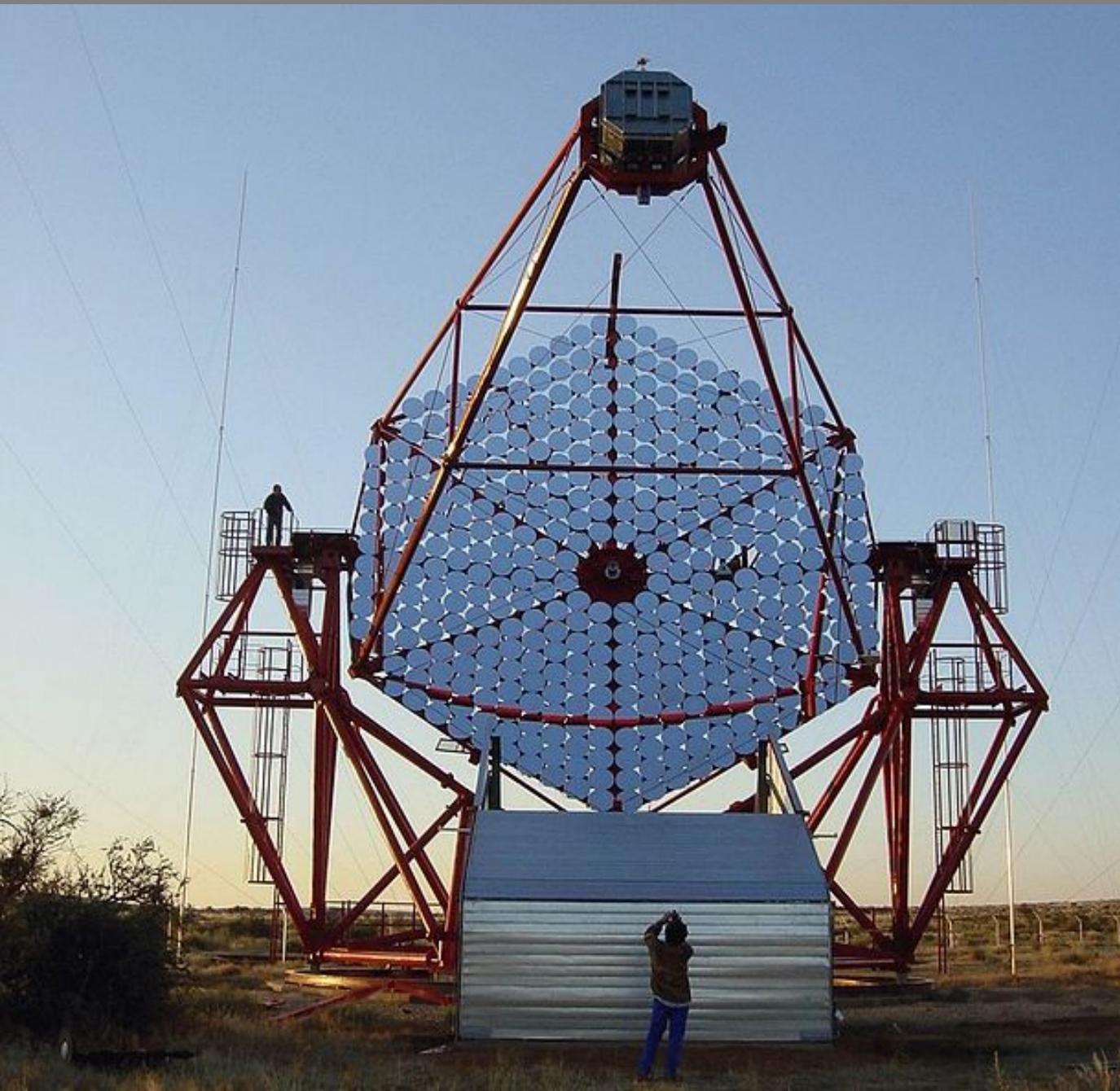
Fermi Pulsar Detections

- New pulsars discovered in a blind search
- Millisecond radio pulsars
- Young radio pulsars
- Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

Pulses at  
 $1/10^{\text{th}}$  true rate

# ТэВ-астрономия

- $E \sim 25 \text{ ГэВ} - 100 \text{ ТэВ}$
- Наземные черенковские телескопы
- Разрешение по энергии  $\Delta E/E \sim 10-35\%$
- Потoki: от 1 до 15 Краб (1 Краб = поток от пульсара в Крабовидной туманности)
- Угловое разрешение: 2 мин. - 3 град.
- Переменность: минуты - годы

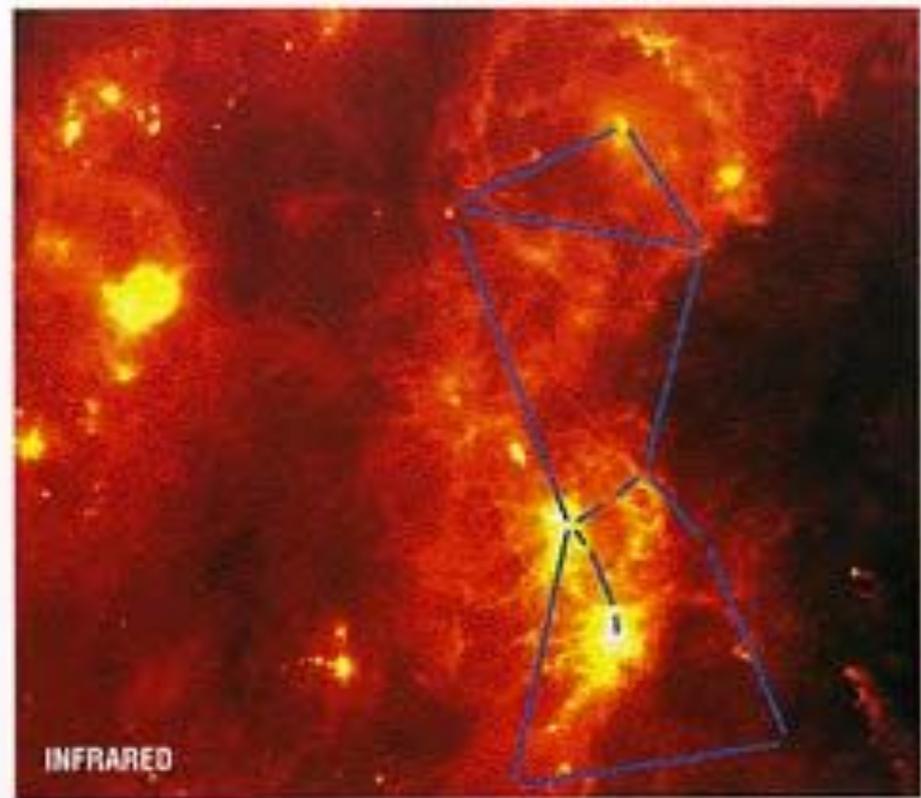


Magic  
Канарские о-ва

**Первый большой  
космический  
ИК телескоп  
IRAS**



Своящиеся КОСМИЧЕСКИЕ ОБЛАКА, не видимые глазом



COBE (FIR)  
Всё ИК небо. 60-120 мкм

