

Современное состояние и развитие астрономических методов исследования



Сурдин В. Г. ГАИШ МГУ



Чего мы хотим от оптики?

- ▶ Различить
мелкие детали

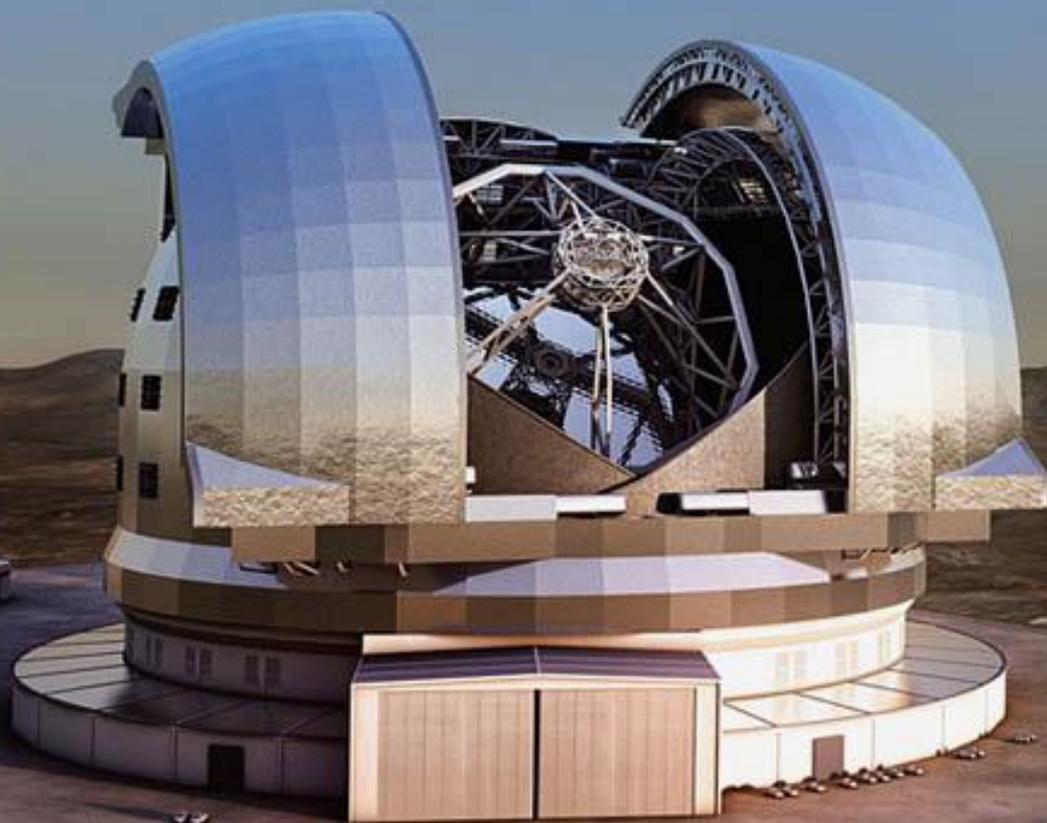


- ▶ Заметить
тусклые объекты

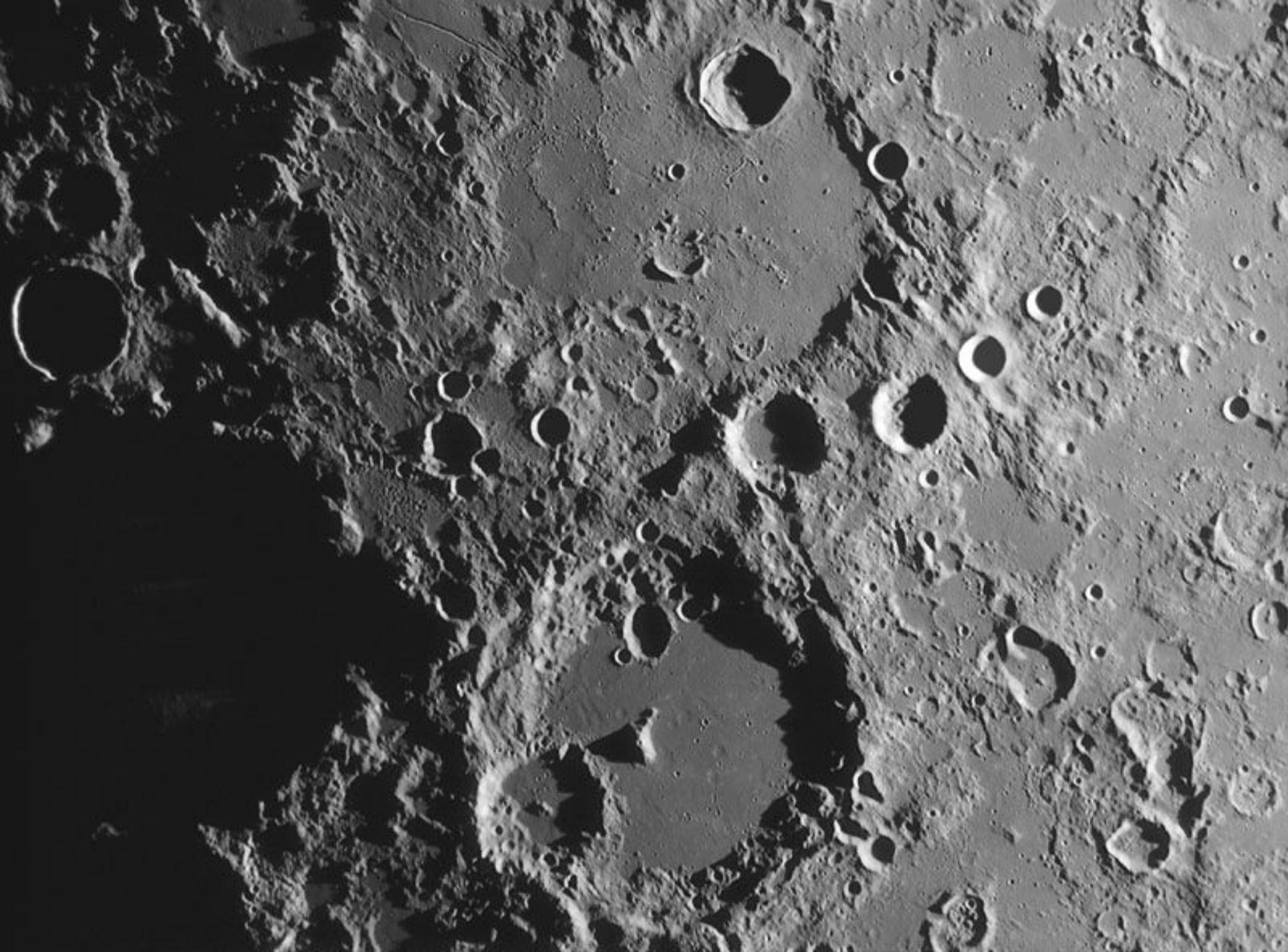


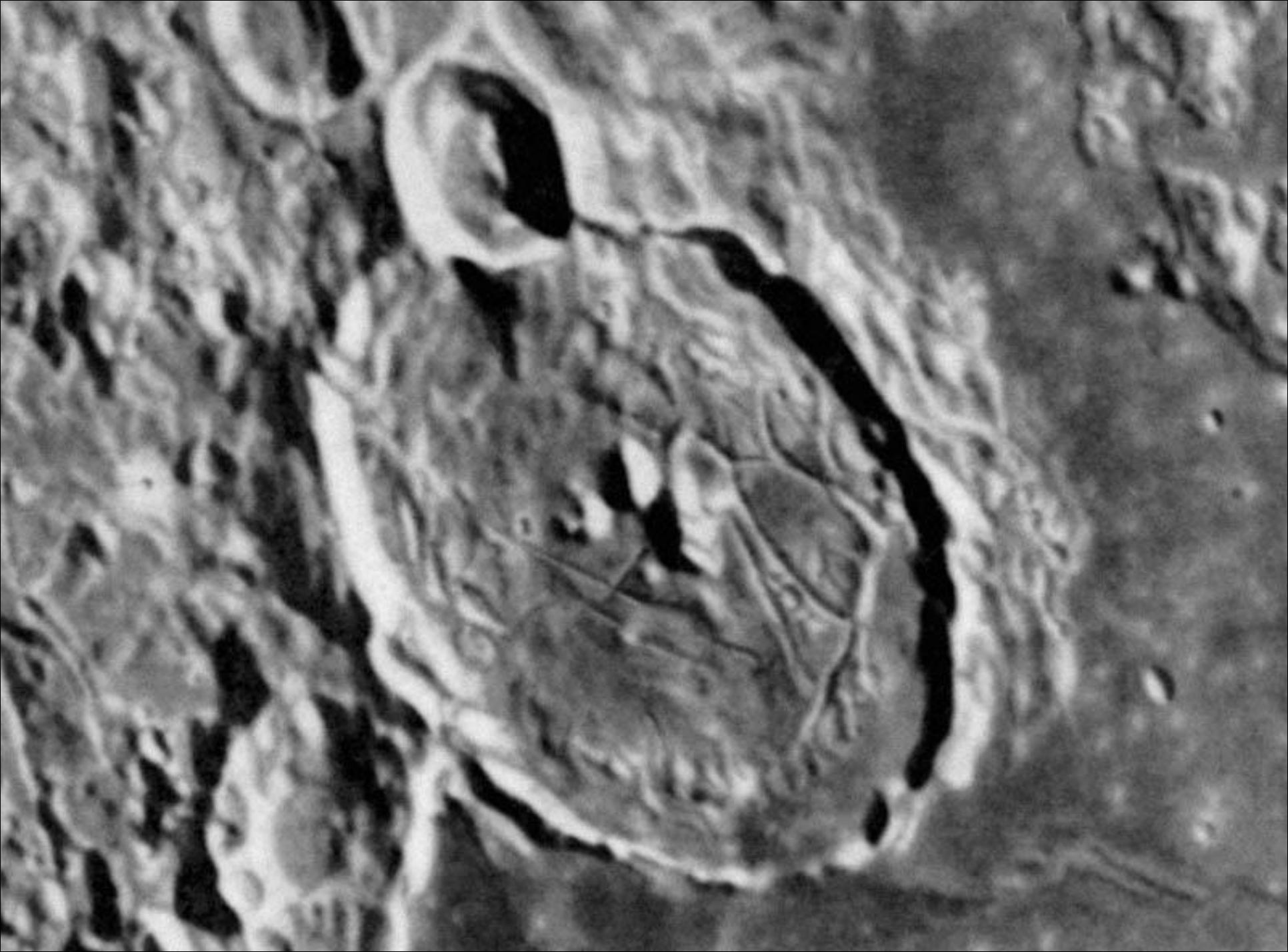
Чего мы хотим от телескопа?

**Каждое мгновение
контролировать всё небо!**

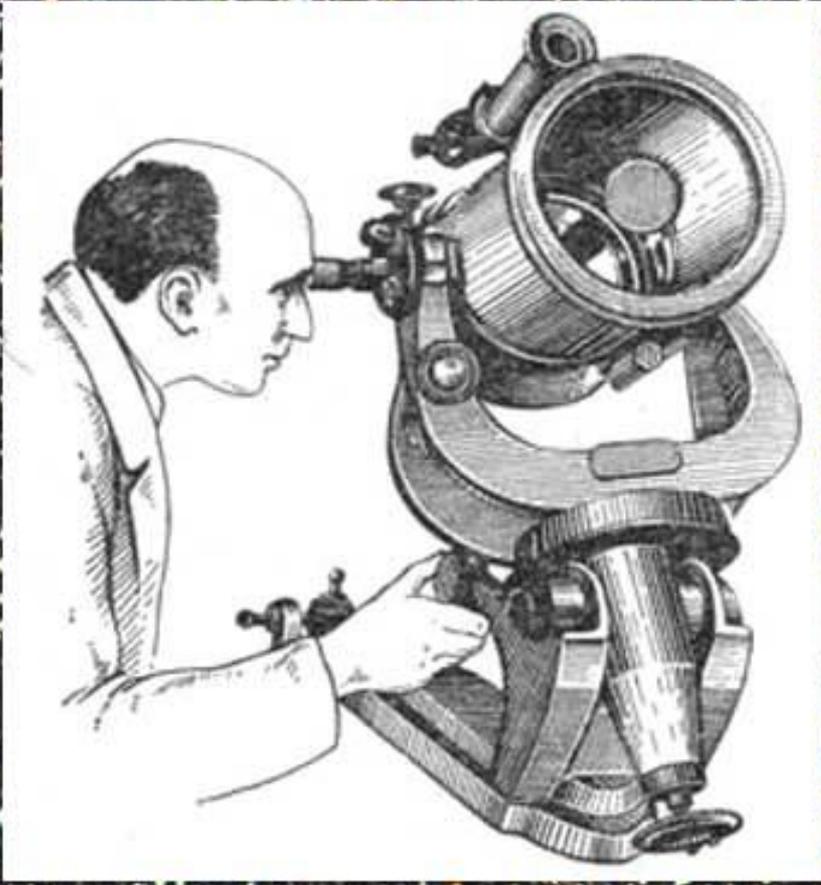


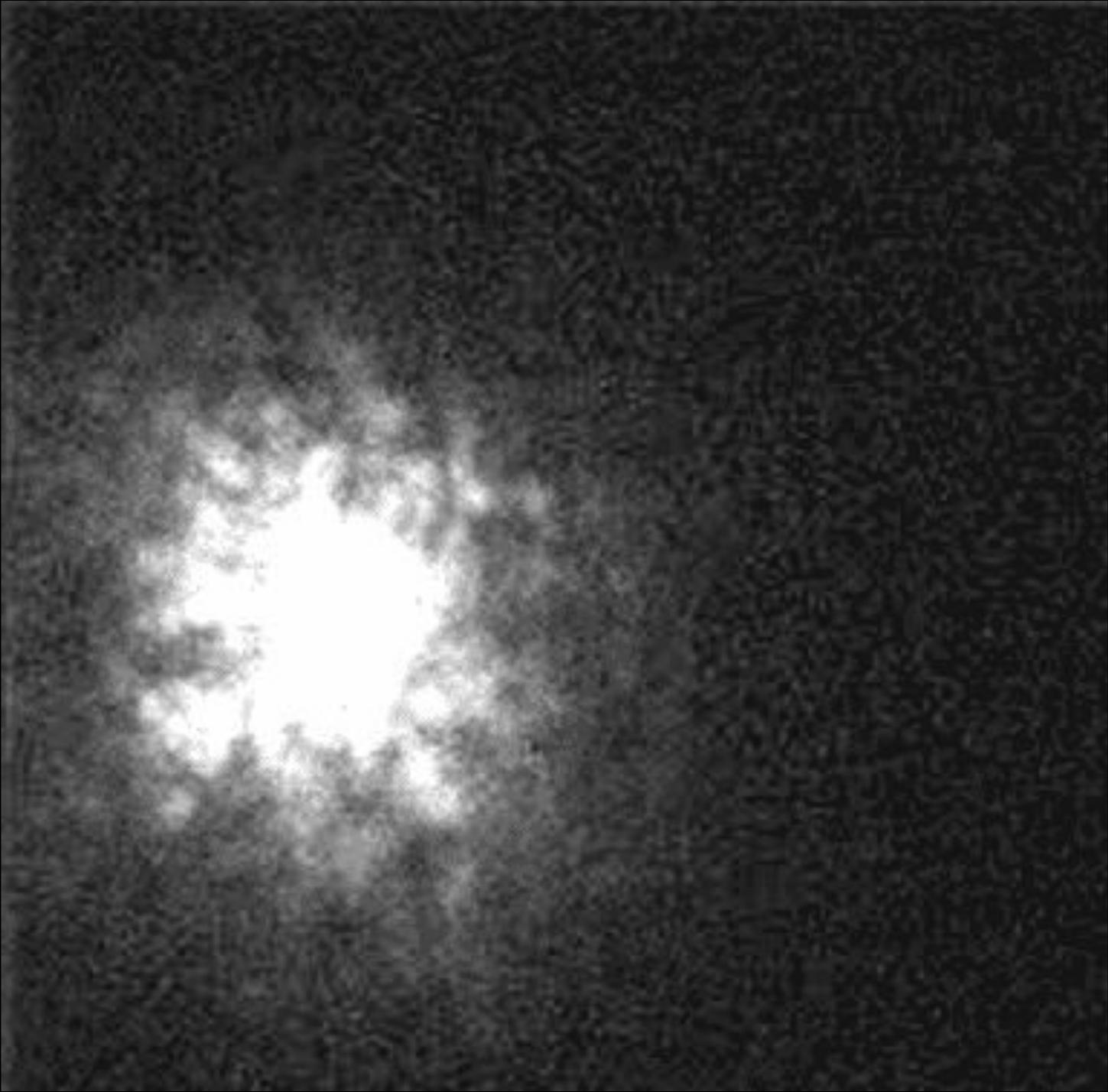














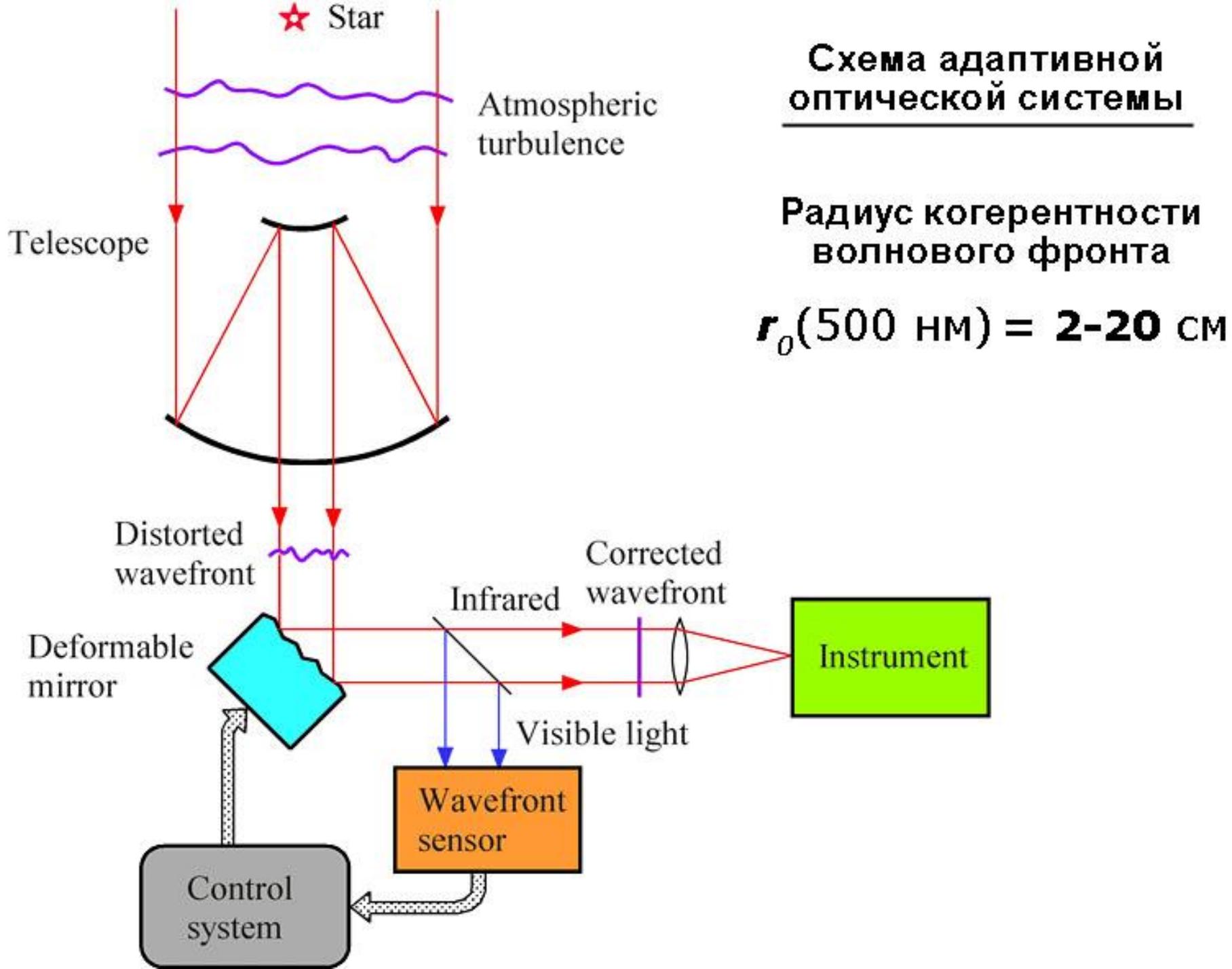


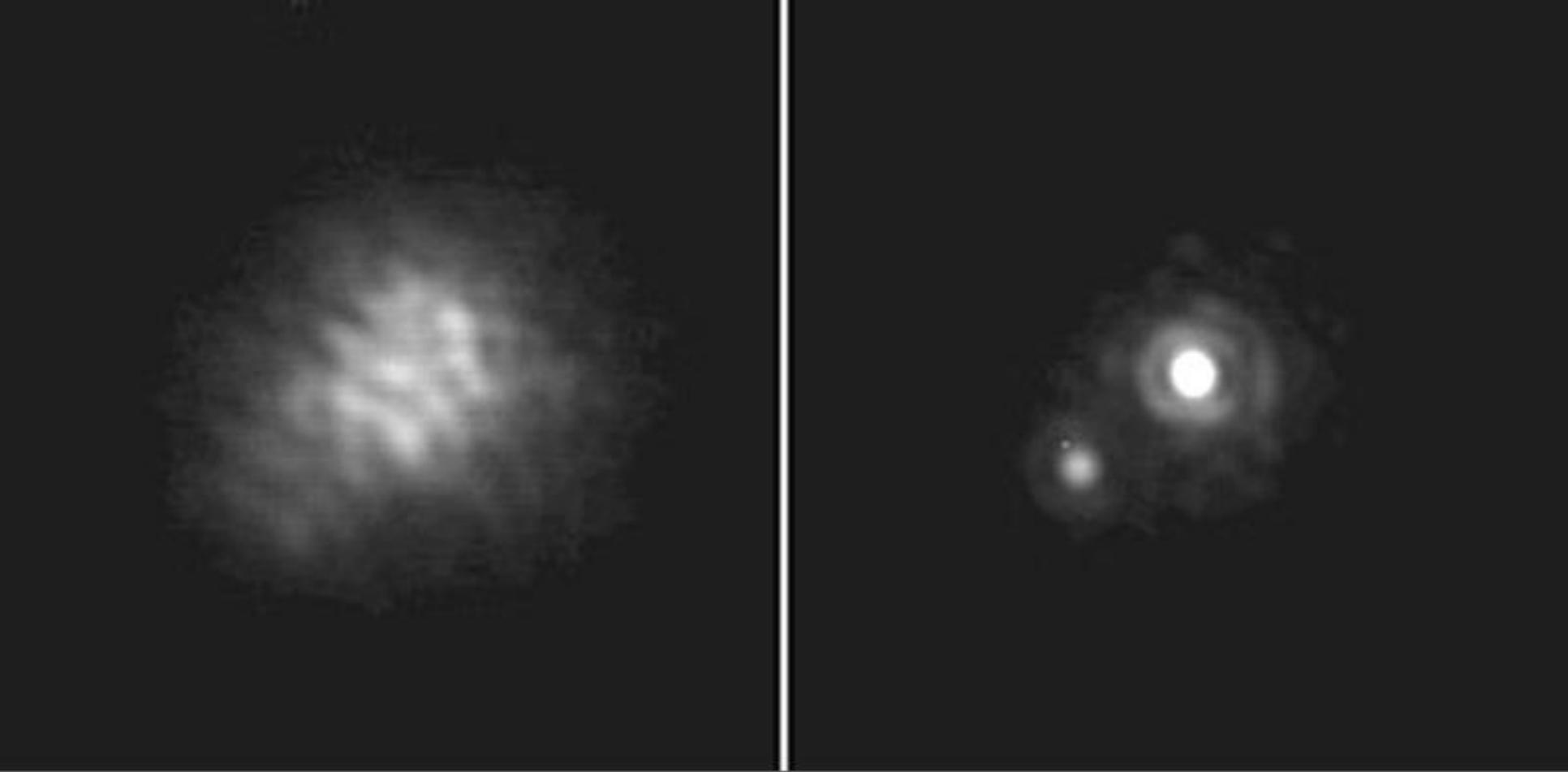
Мауна-Кеа, о.Гавайи, 4130 м







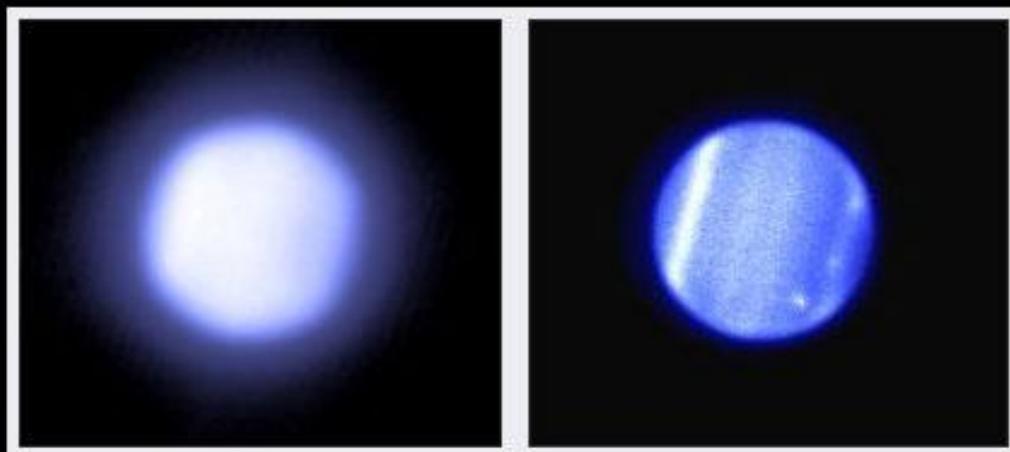




**Изображение двойной звезды,
исправленное адаптивной оптикой
телескопа “Субару” (Япония)**

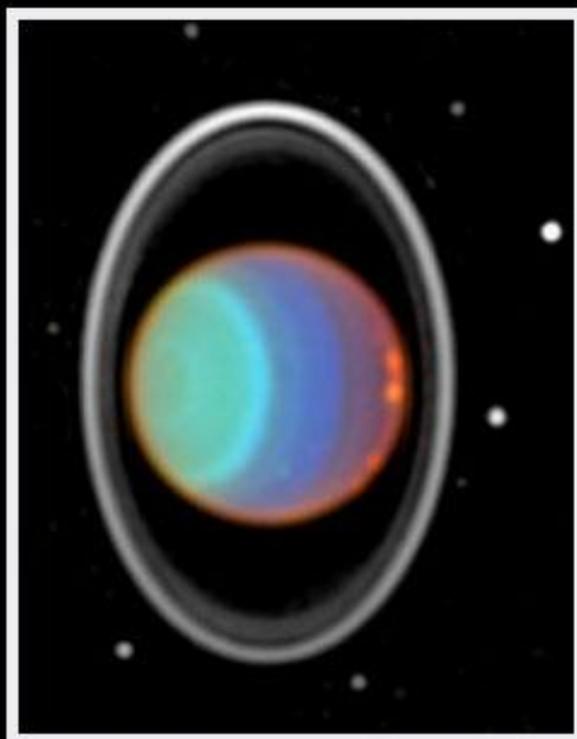
Планета Уран

До включения



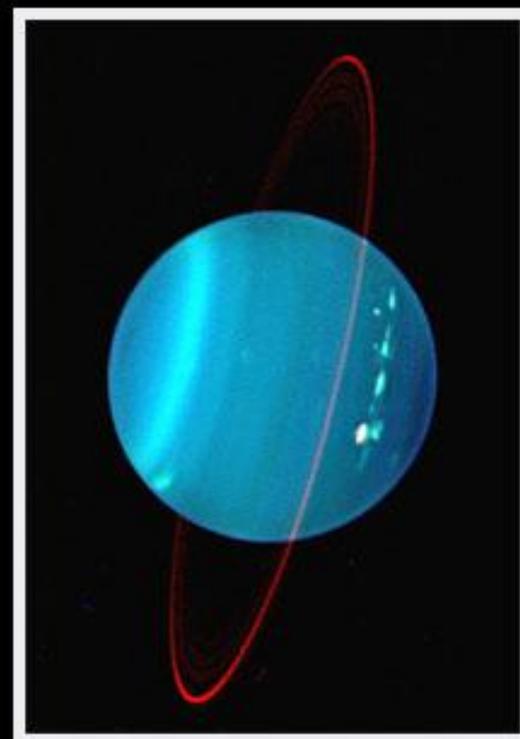
После включения

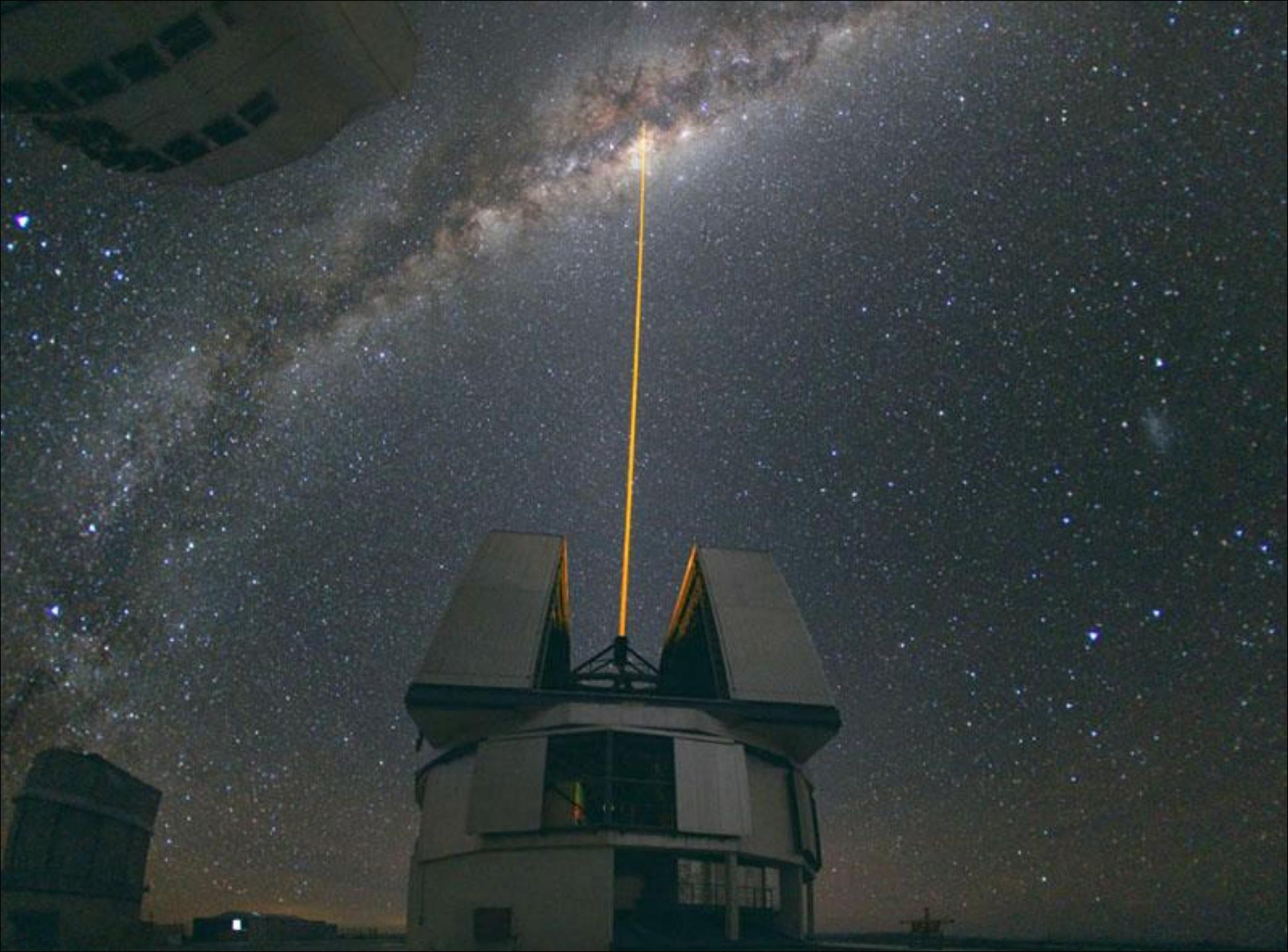
Система адаптивной оптики



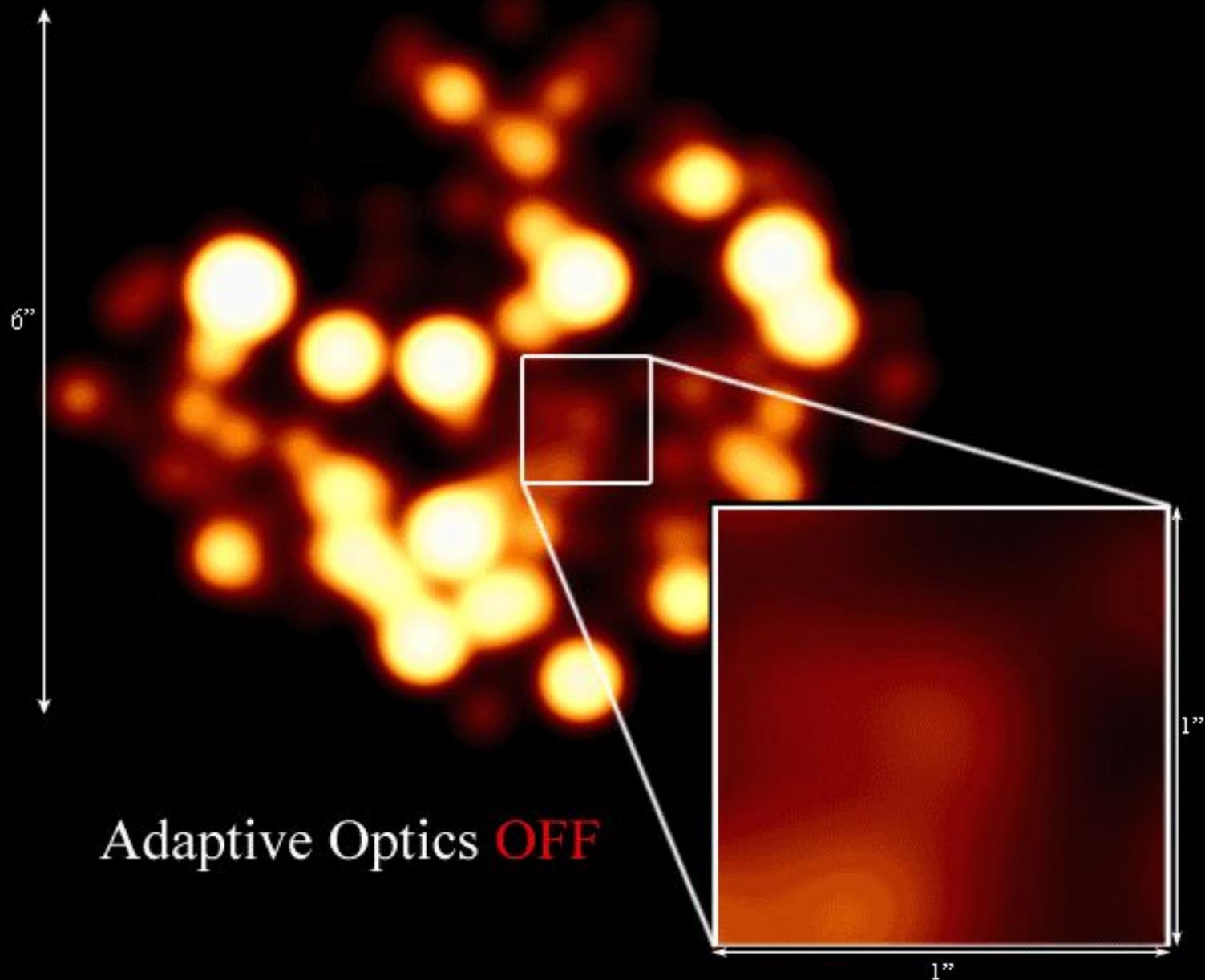
Космический
телескоп
“Хаббл”

Наземный
телескоп
“Кек” (10 м)
с системой
АО

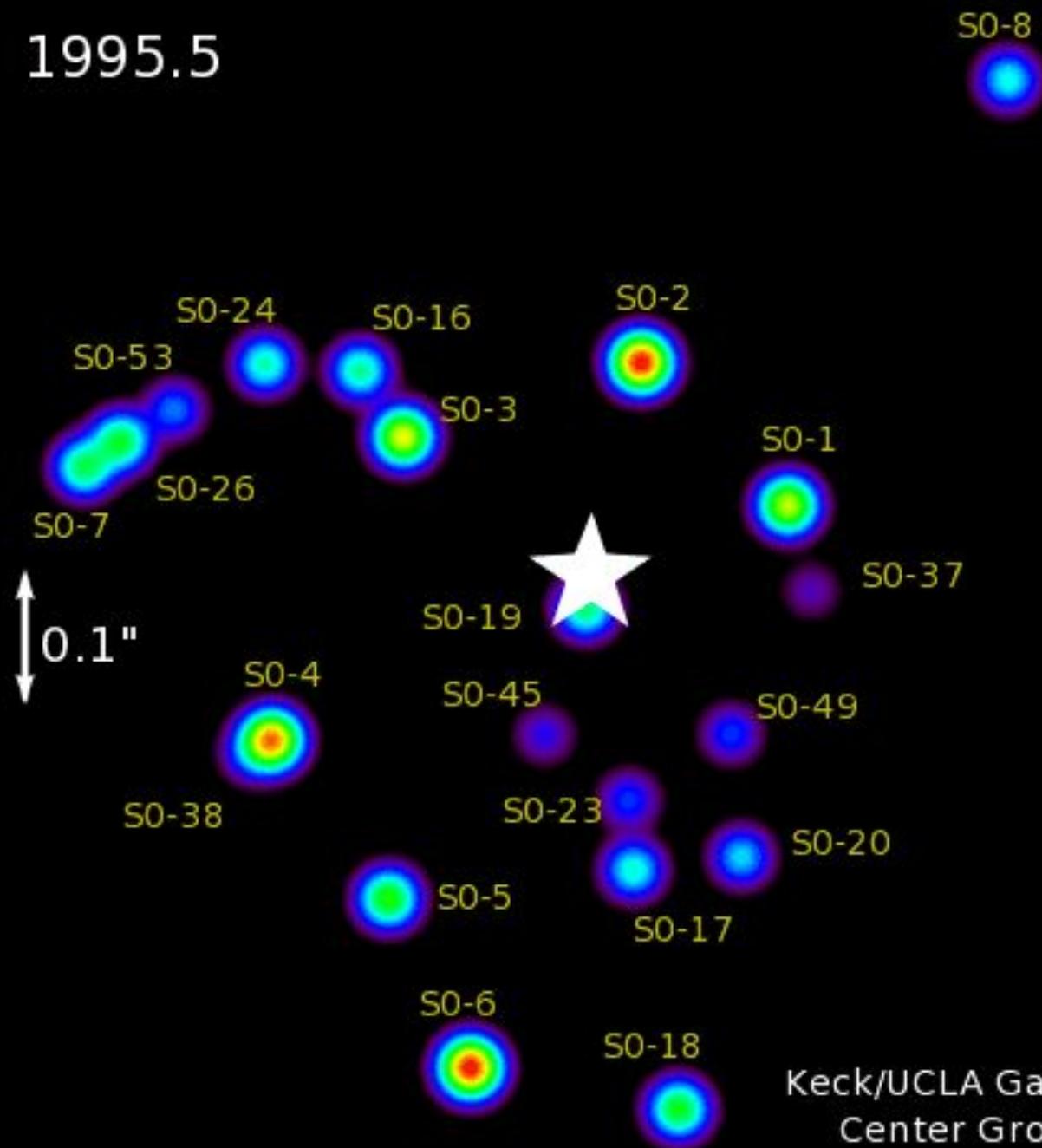




The Galactic Center at 2.2 microns

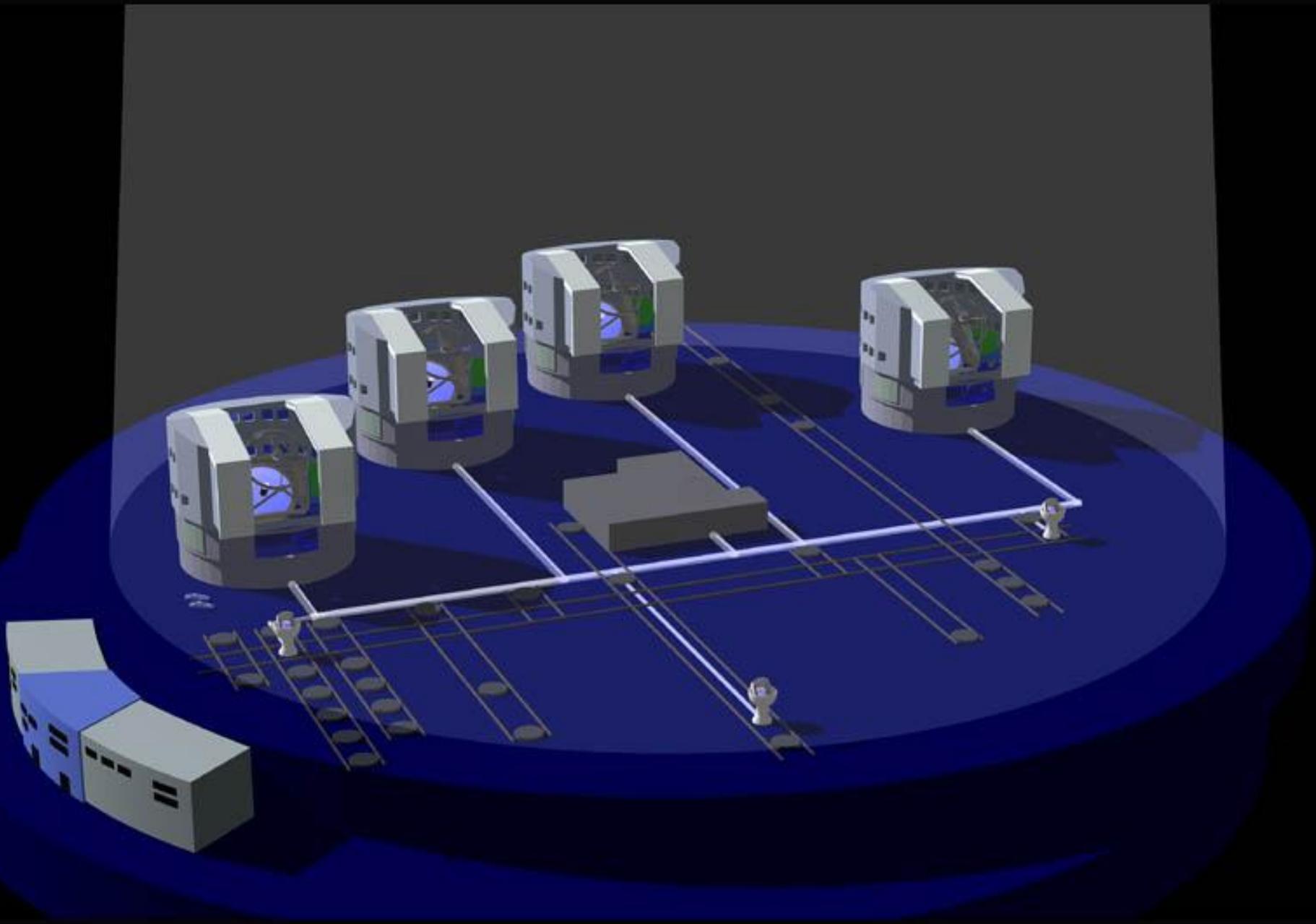


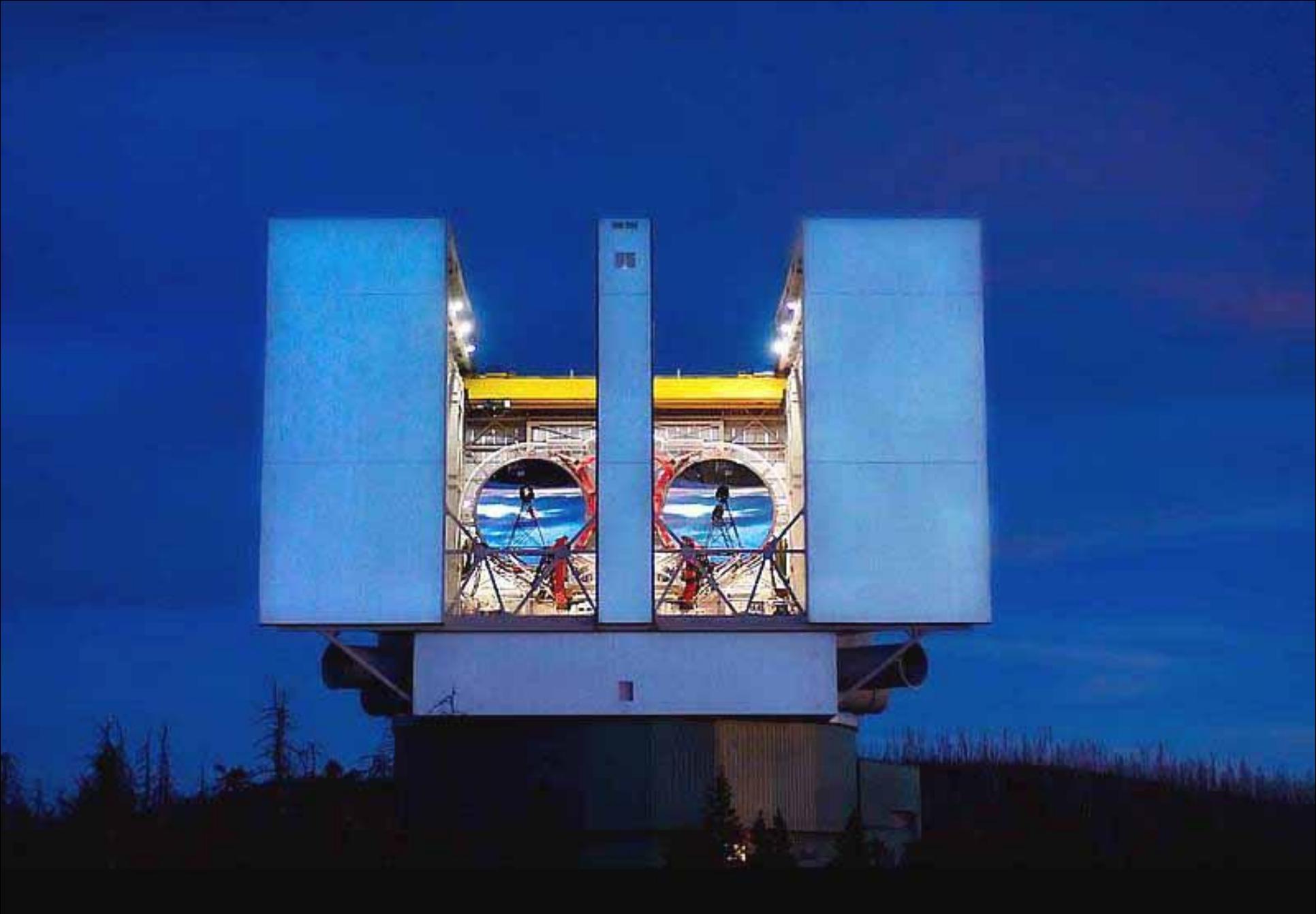
1995.5



Keck/UCLA Galactic
Center Group







Large Binocular Telescope 2 x 8,4 m

Маунт Грэхем, Аризона



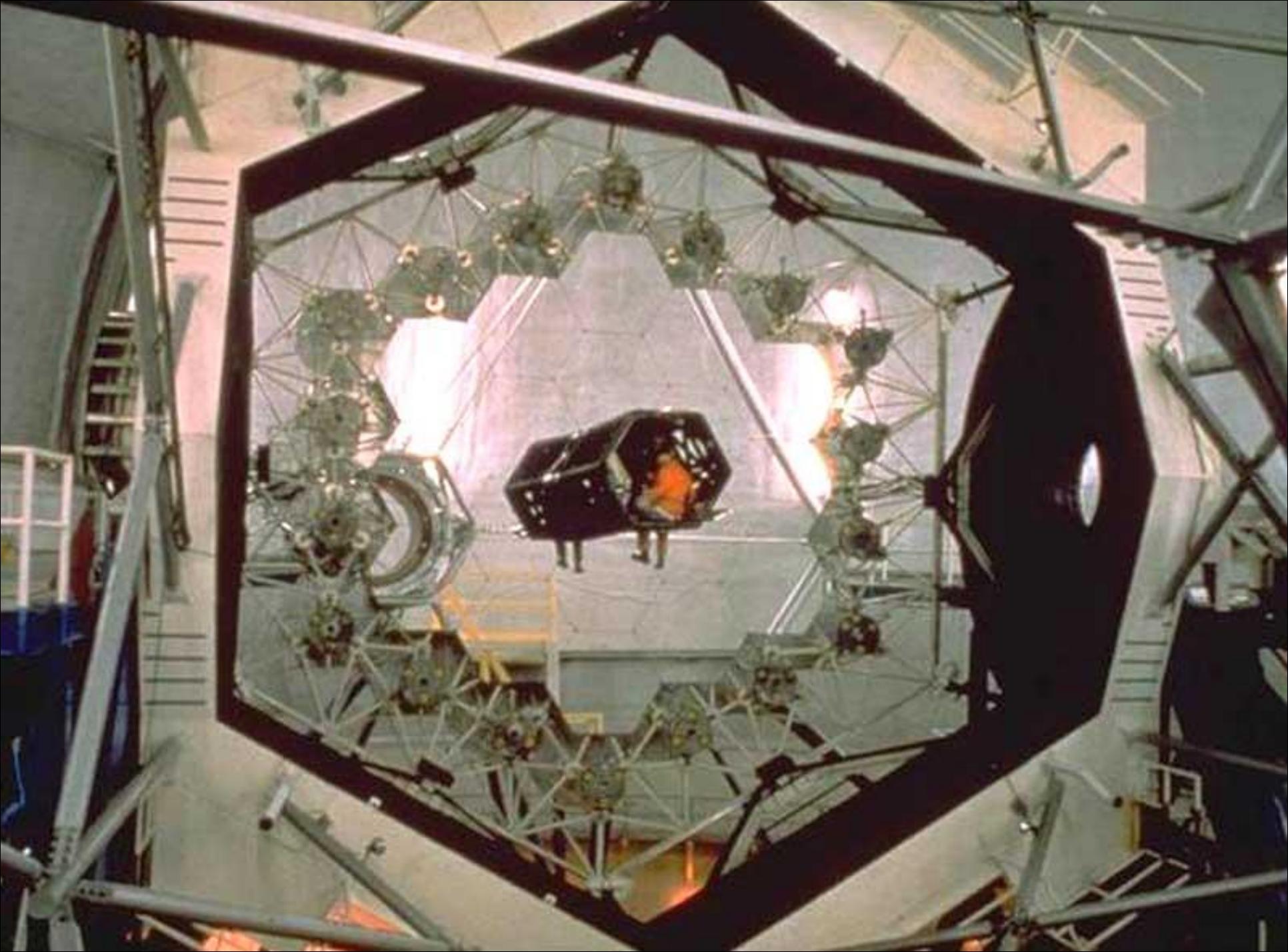
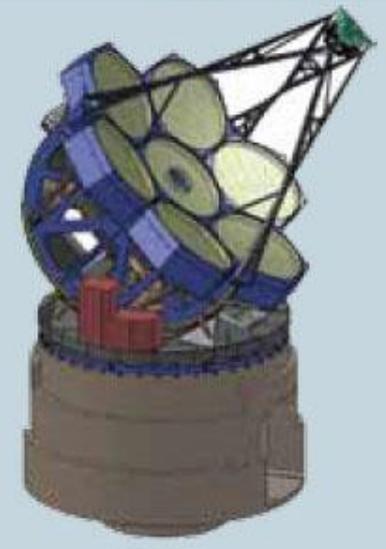
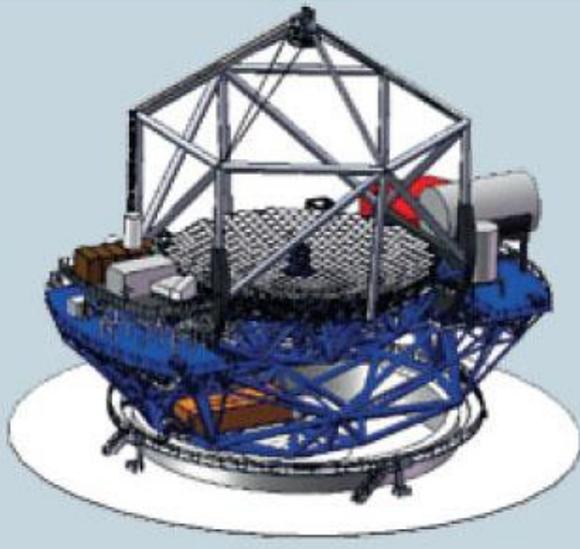
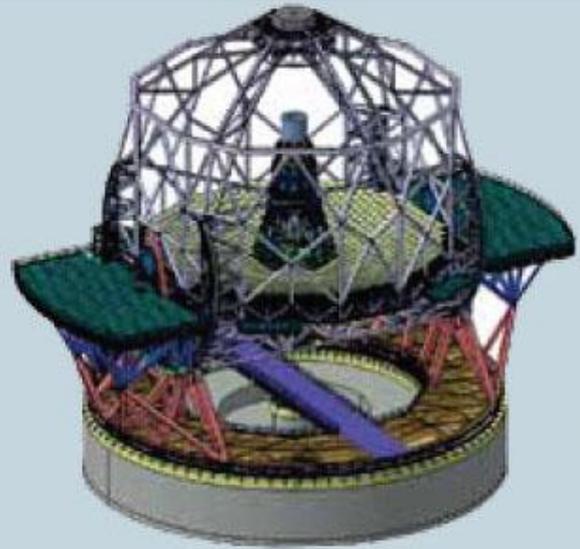




Table 1: The giant telescopes 2012

| | E-ELT | TMT | GMT |
|--|-------|-----|-----|
|--|-------|-----|-----|

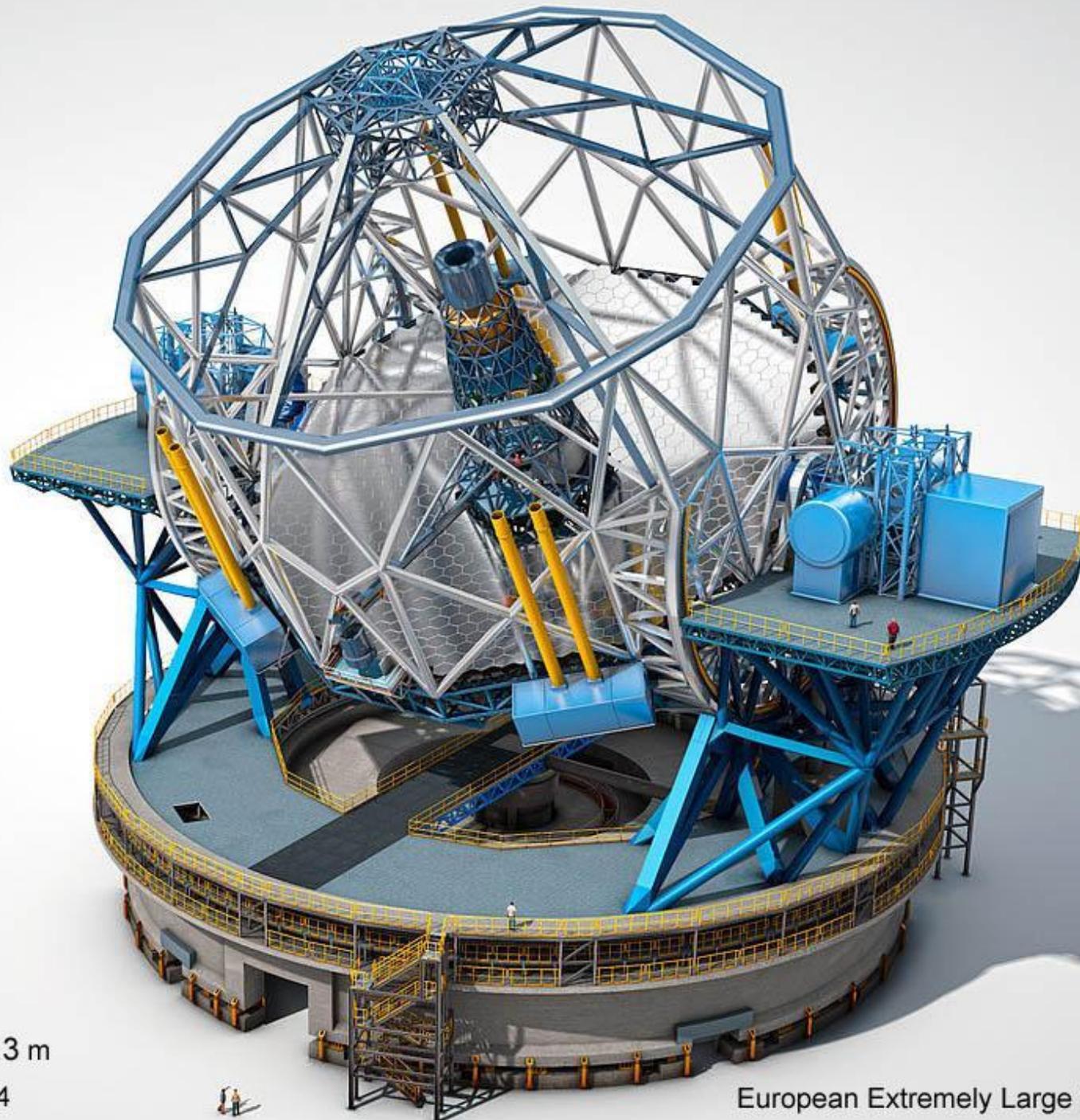


| | | | |
|----------------------|---|--|--|
| aperture | 39m filled aperture | 30m filled aperture | 25.4m unfilled aperture |
| primary | 798 × 1.4m segments | 492 × 1.4m segments | 7 × 8.4m BSG |
| site | Cerro Armazones, Chile | Mauna Kea, Hawaii | Las Campanas, Chile |
| field of view | 10 arcminutes | 15–20 arcminutes | 20 arcminutes |
| wavelength | 0.31–28 μ m | 0.31–28 μ m | 0.35–14 μ m |
| optics | fully adaptive, five-mirror system; six laser guide stars; f/0.93 primary; final focal ratio f/17.5 | three-mirror system, f/1 primary; final focal ratio f/15; seeing-limited and adaptive optics modes | f/0.7 primary with Gregorian f/8.2 final focus; adaptive secondary |
| first light | 2021/2022 | 2021 | 2019–2022 |

European Extremely Large Telescope
ESO

Thirty Meter Telescope
Калтех, Калифорнийский ун-т, Канада, Япония, Китай, Индия

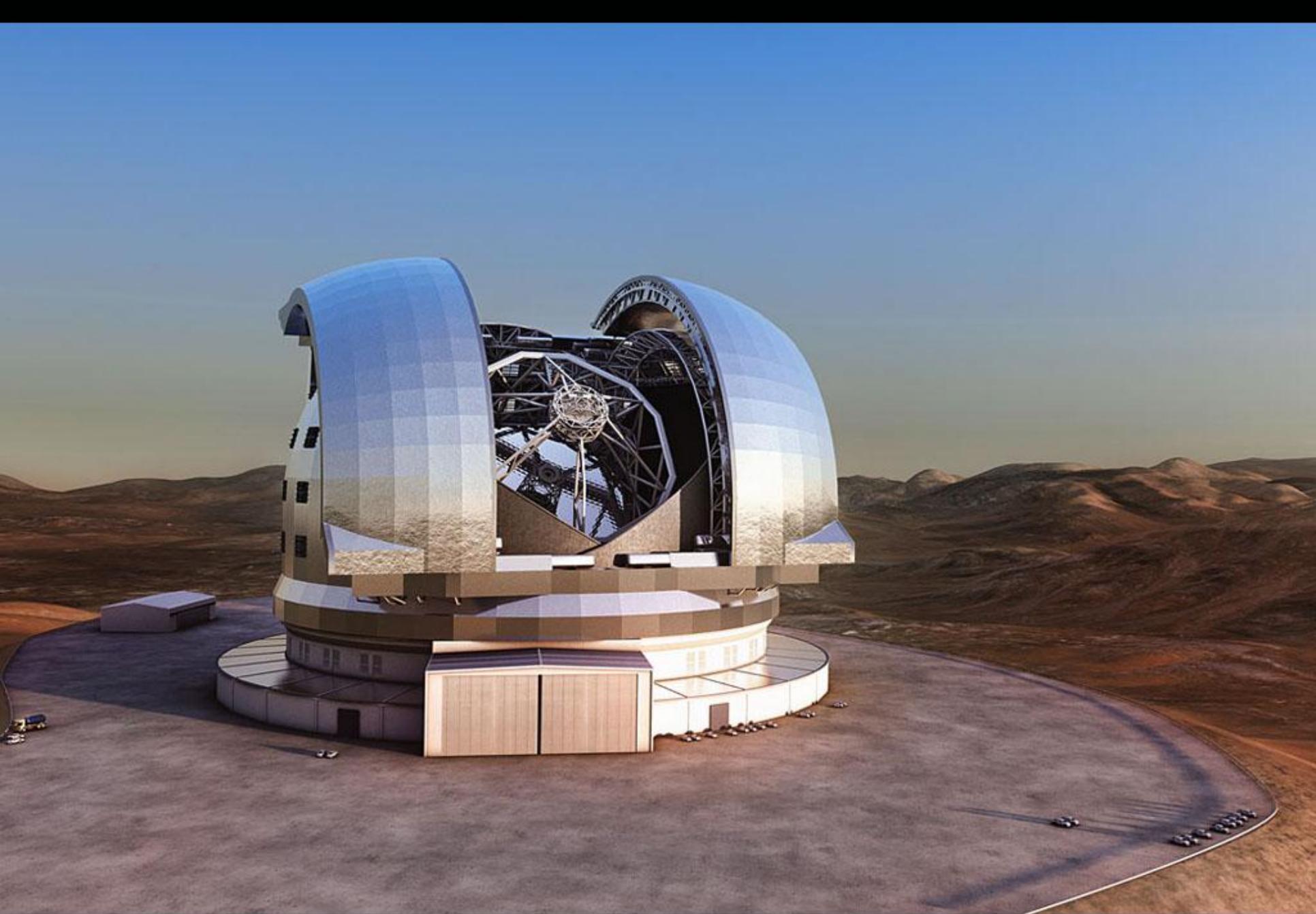
Giant Magellan Telescope
Ин-т Карнеги, Гарвард/Смитс. ун-ты Техаса, Аризоны, Чикаго, Австралия, Корея



Diameter 39.3 m

First light 2024

European Extremely Large Telescope (E-ELT)





Thirty Meter Telescope (TMT)
Caltech, Univ of California
and Canadian Universities
492, 1.45 meter segments
AO at 2μ 0.007"

30 m
Mauna Kea

Телескопы-роботы

1. Быстро реагировать на конкретные события (МАСТЕР, МГУ)
Много небольших телескопов на разных географических долготах.
2. Делать быстрые обзоры неба (Pan-STARRS, Гавайи)
Телескопы среднего размера с большим полем зрения (3°), способные за неделю сфотографировать всё доступное небо.



LSST - Large Synoptic Survey Telescope (> 2018 г.)

$D = 8,4 \text{ м}$

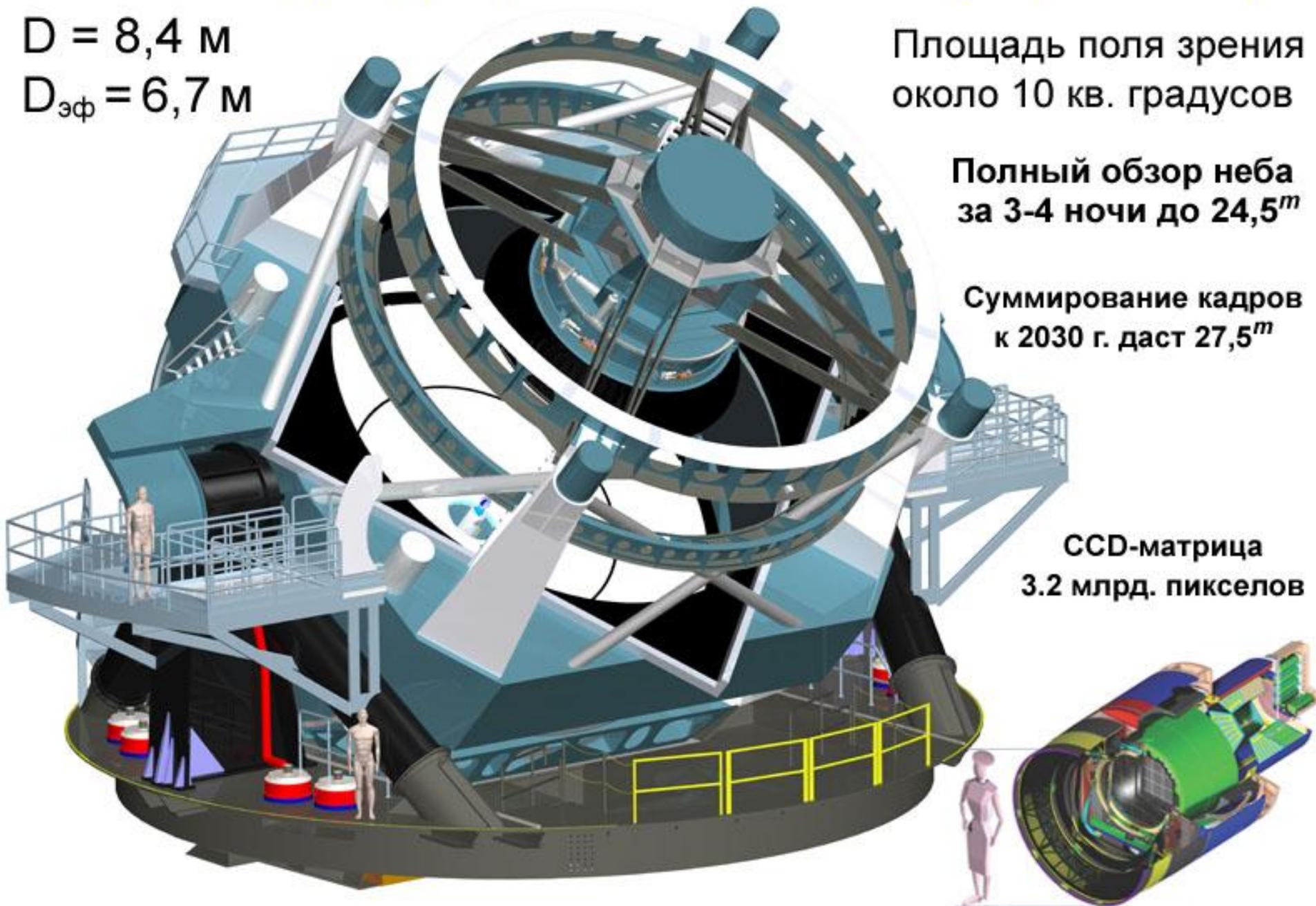
$D_{\text{эф}} = 6,7 \text{ м}$

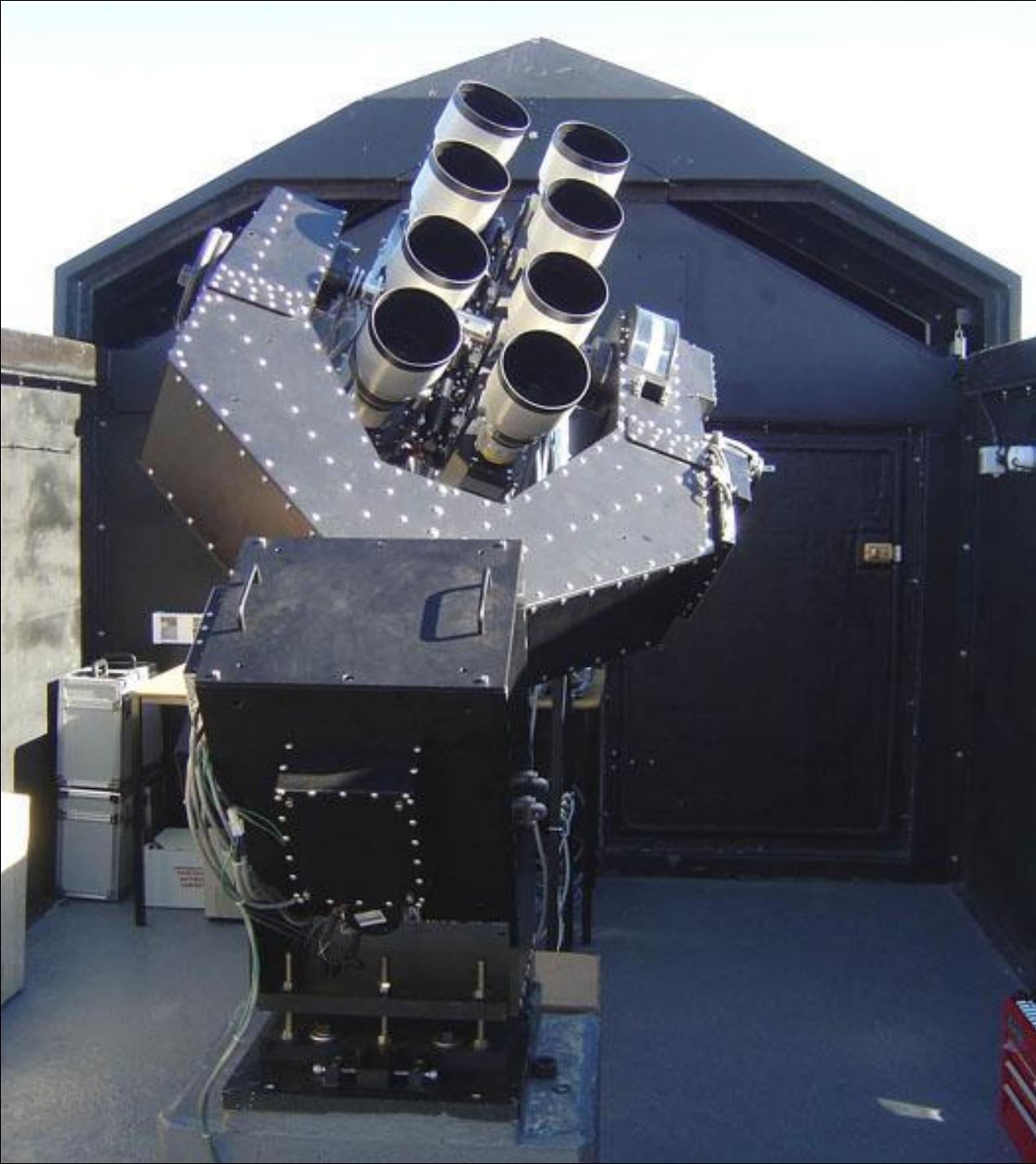
Площадь поля зрения
около 10 кв. градусов

Полный обзор неба
за 3-4 ночи до $24,5^m$

Суммирование кадров
к 2030 г. даст $27,5^m$

CCD-матрица
3.2 млрд. пикселей





**8-объективный
фотометрический
комплекс проекта
WASP**

Wide Angle Search for Planets

Такие инструменты
установлены на
о. Ла-Пальма (Канары)
и в Южно-африканской
астрон. обсерватории
близ Сазерленда.

Это совместный проект
нескольких британских
университетов и испанского
Астрофизического института
на Канарских островах.



Телескоп квалифицированного астронома-любителя

Лучшие снимки
доцифровой эпохи



Любительский

Современный любительский
цифровой снимок



Телескоп Celestron 14"
CCD камера
Выбраны лучшие кадры
из 4800 экспозиций

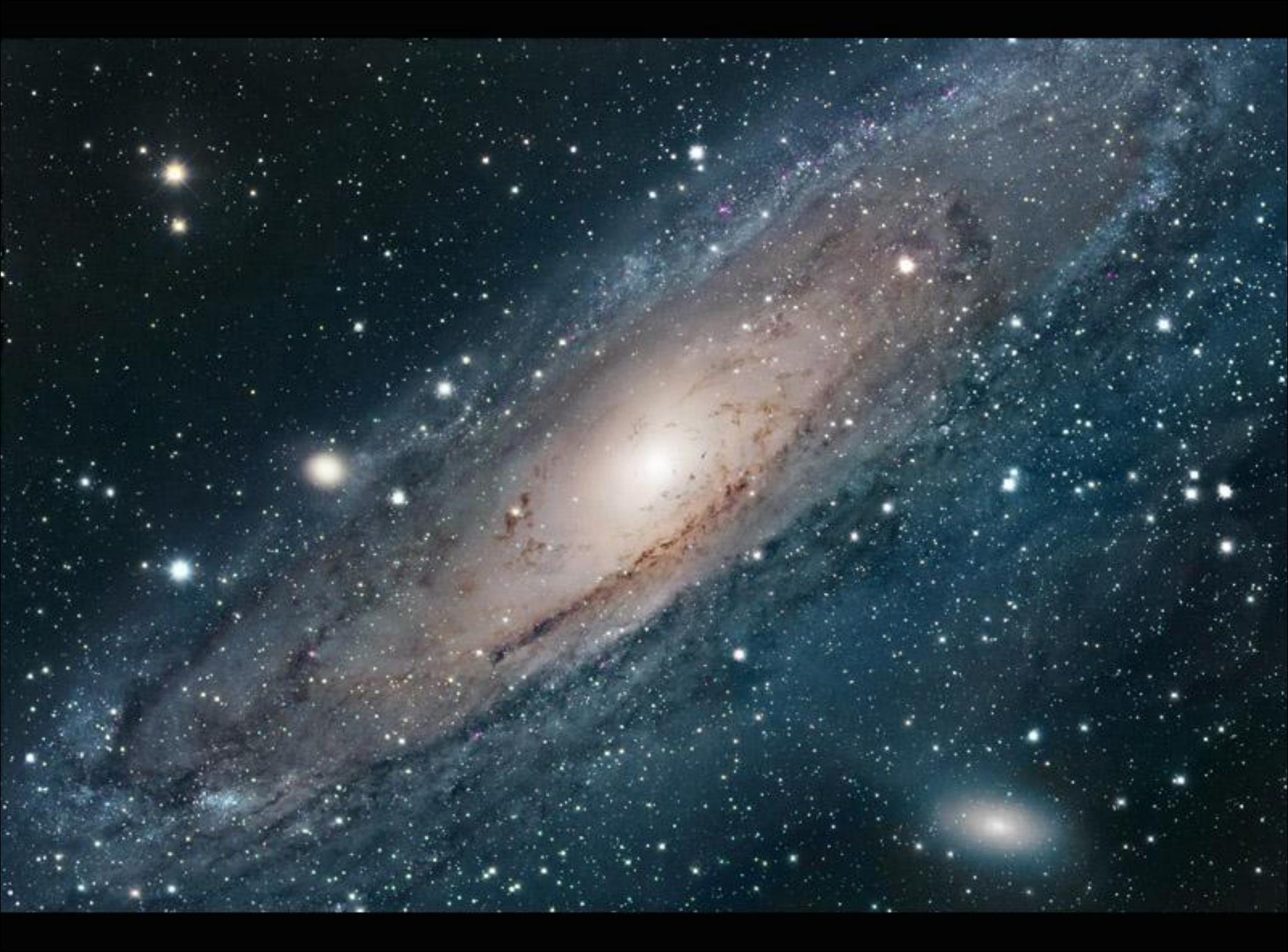
14 March, 2011
05:07 UT

B. Combs
Buena Vista, GA USA

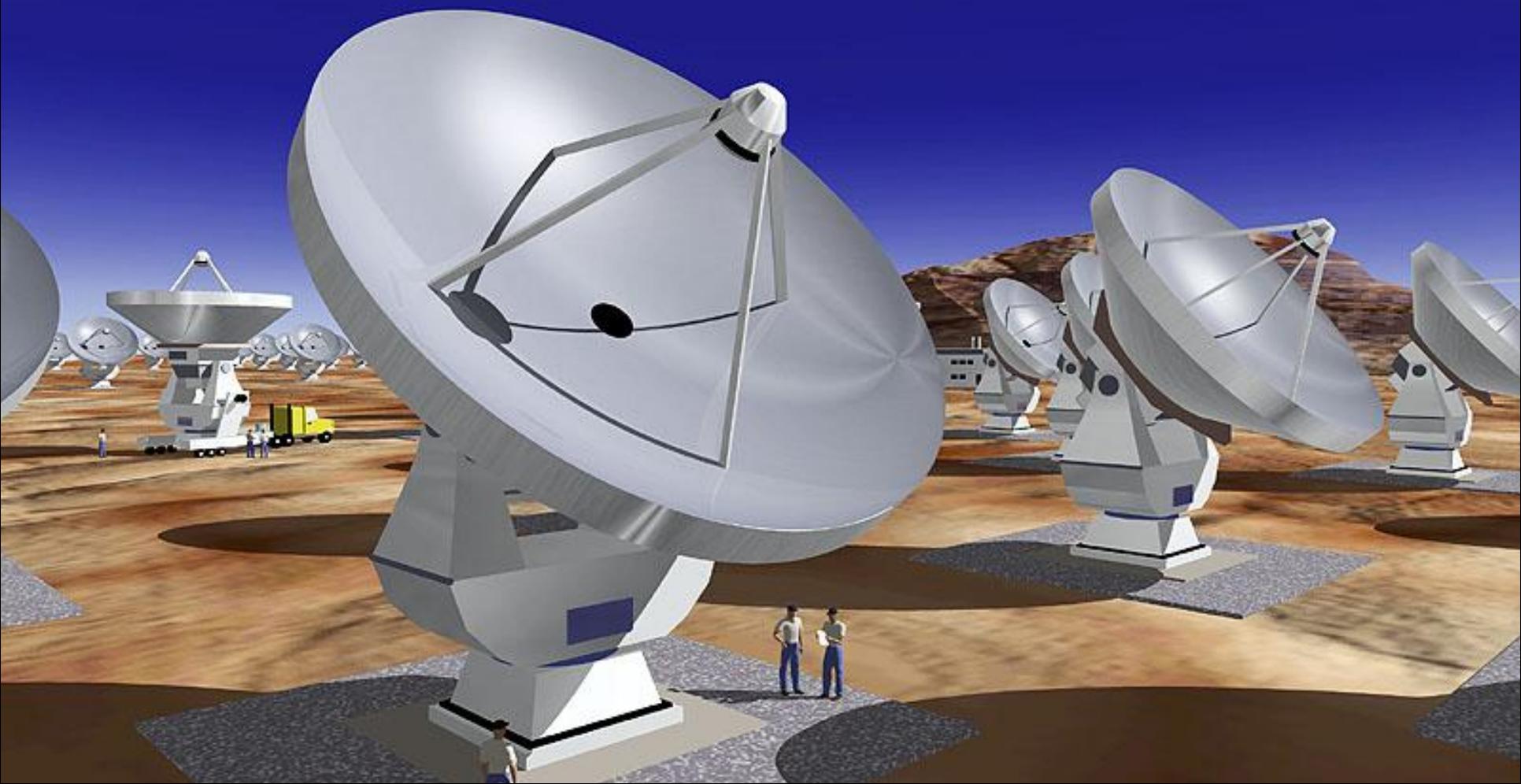


Профессиональный

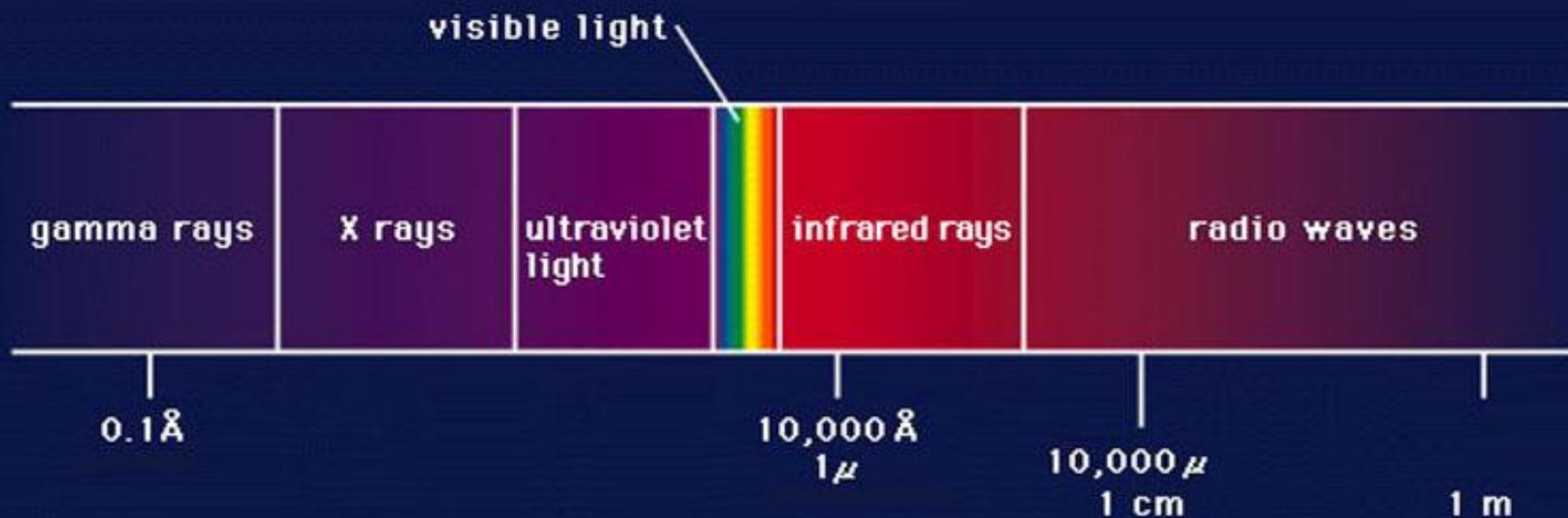
Saturn - Nordic Optical Telescope



Неоптическая Астрономия

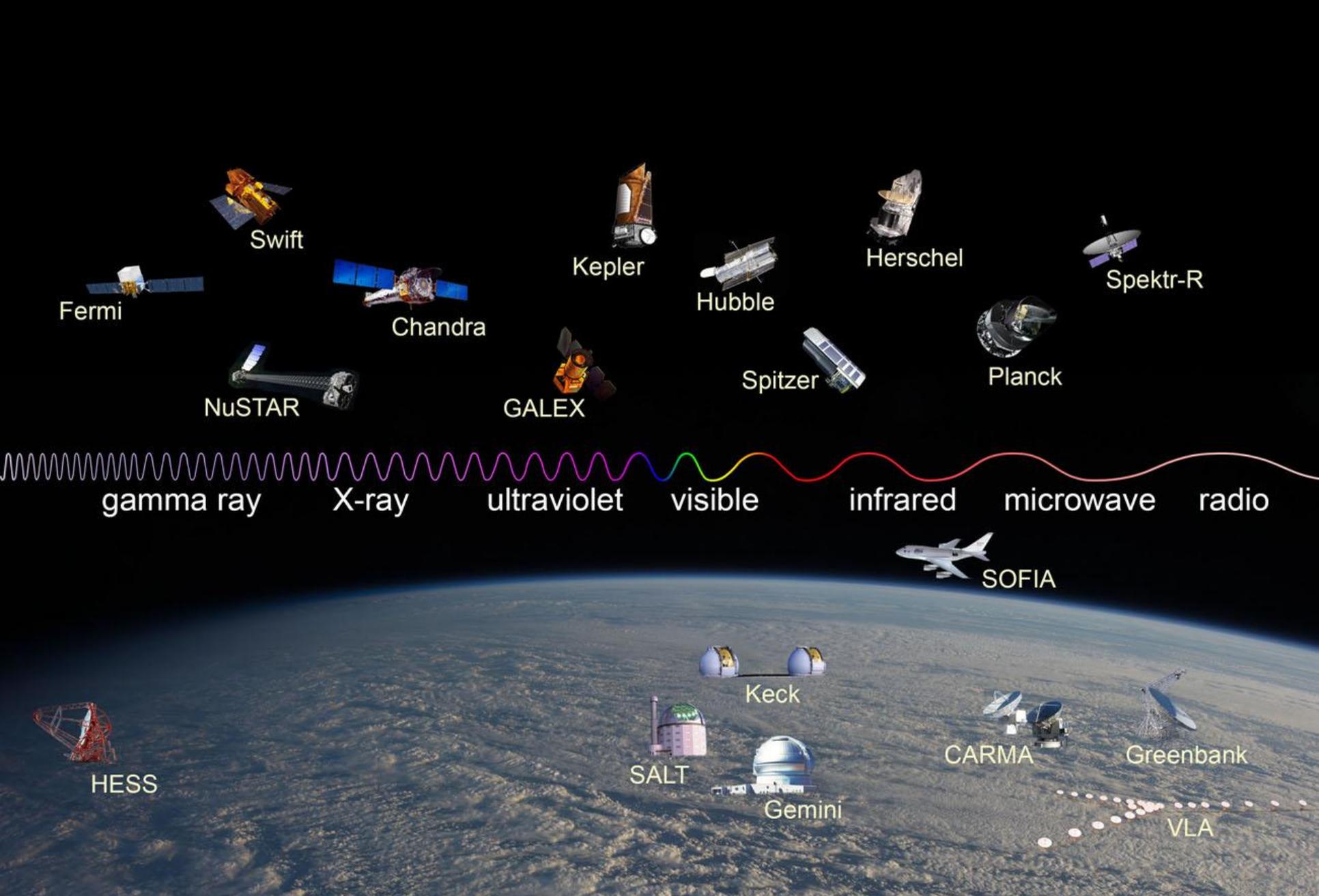


Электромагнитный спектр

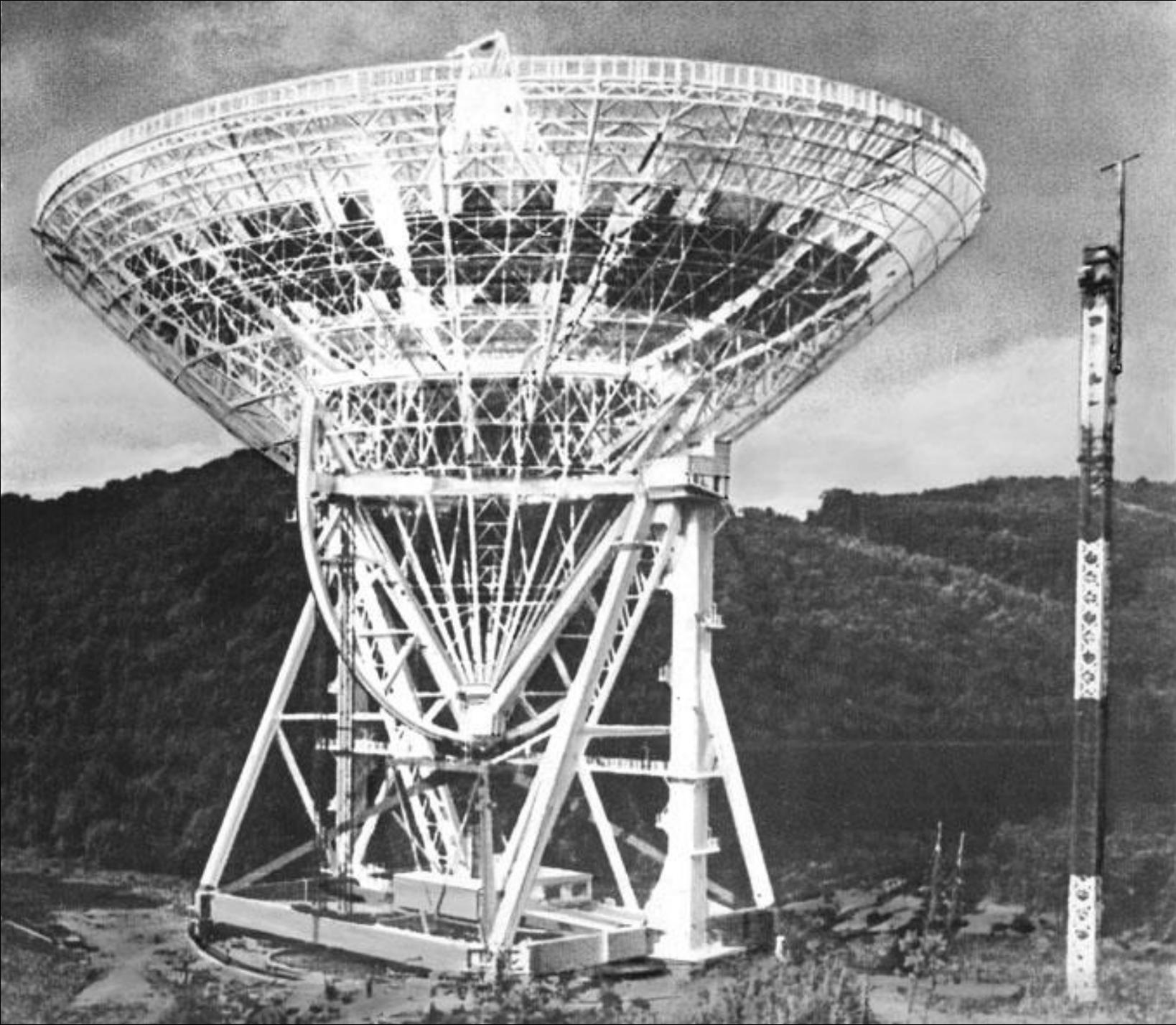


Видимый свет (3500-7000 Å) = 1 октава

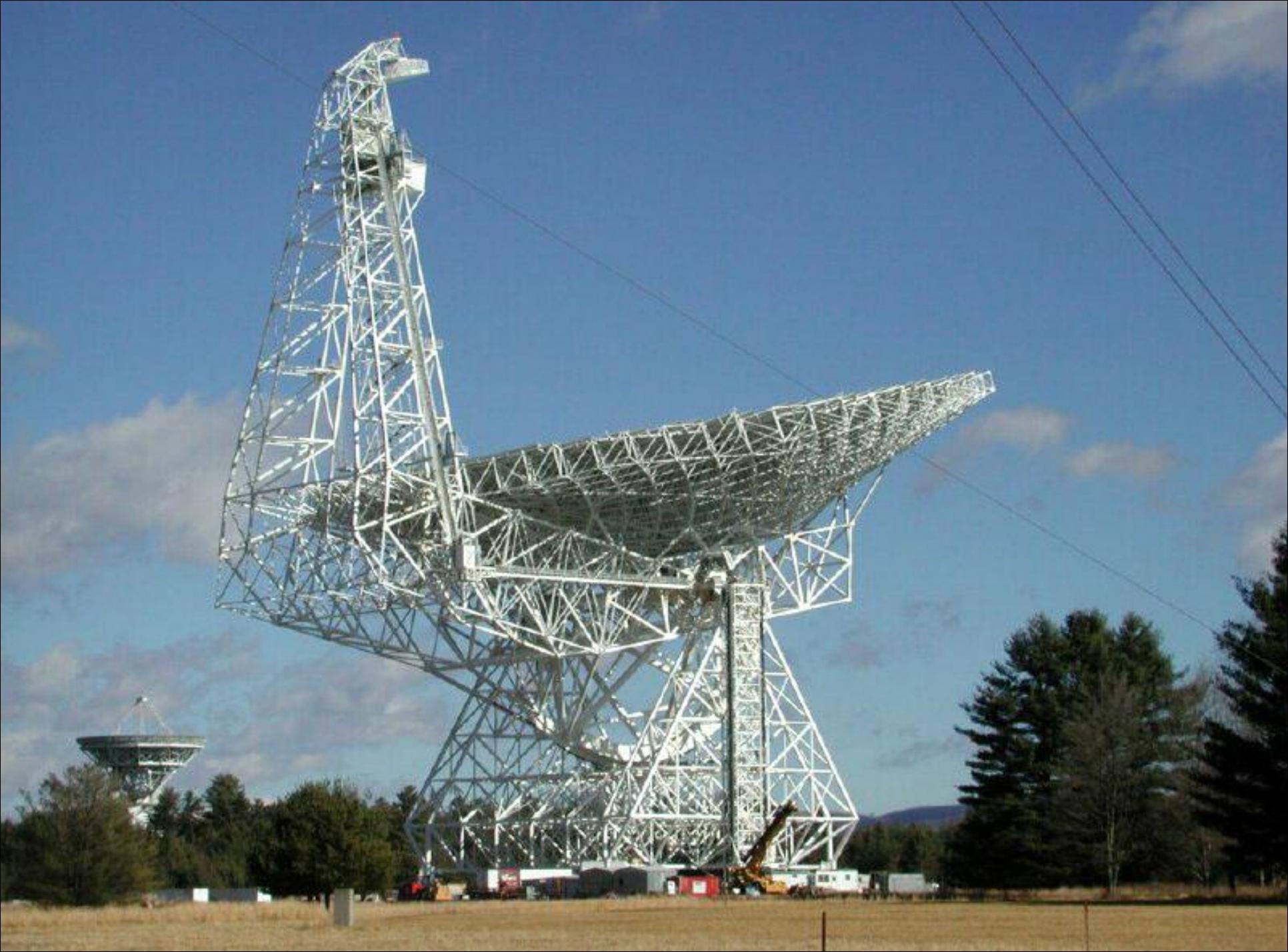
От гамма (0,1Å) до радио (10 м) = 40 октав







100-м
Германия



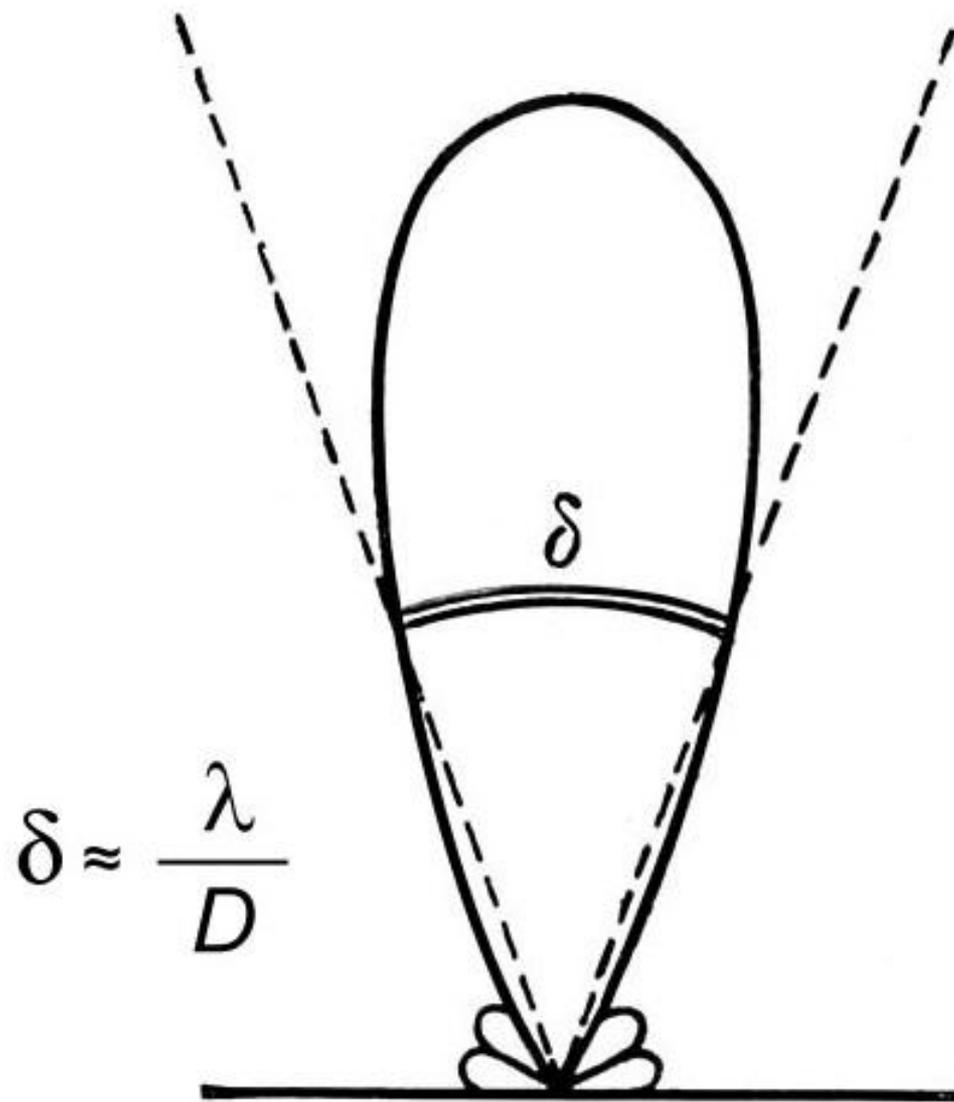
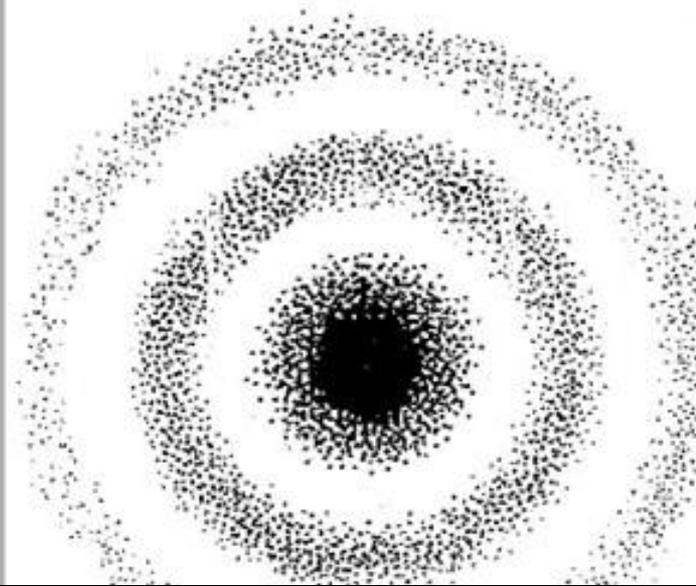
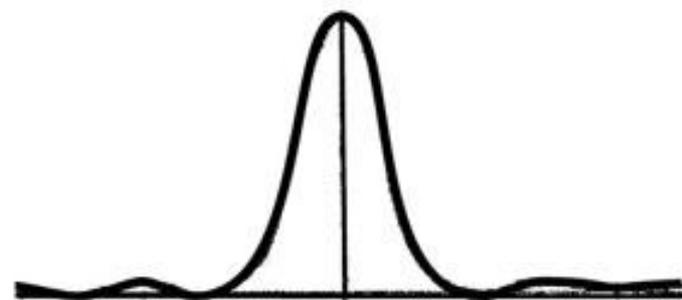


Диаграмма
направленности
параболической
антенны

Функция рассеяния
точки (ФРТ, PSF)
круглой апертуры

диск Эри
кольца Эри







新华网
WWW.NEWS.CN

FAST (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope) 500 m China 2016

Самый крупный радиотелескоп РАТАН-600

РАдиоТелескоп Академии Наук



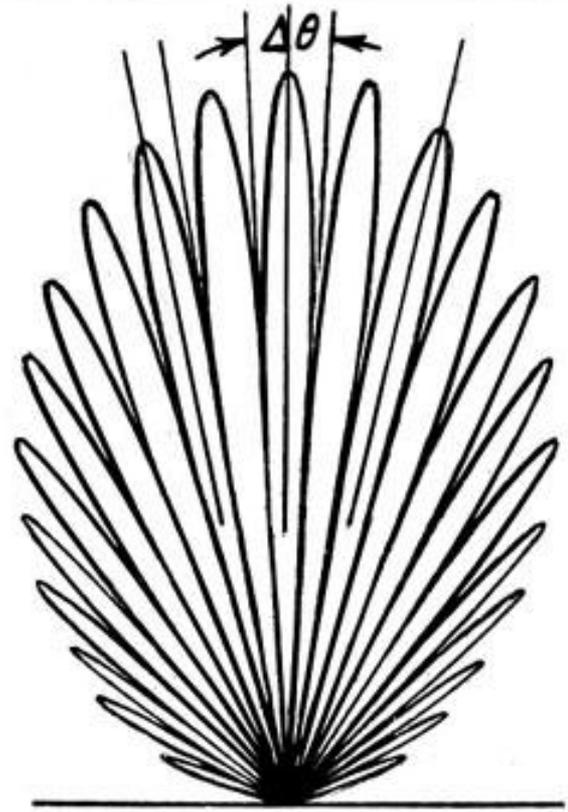
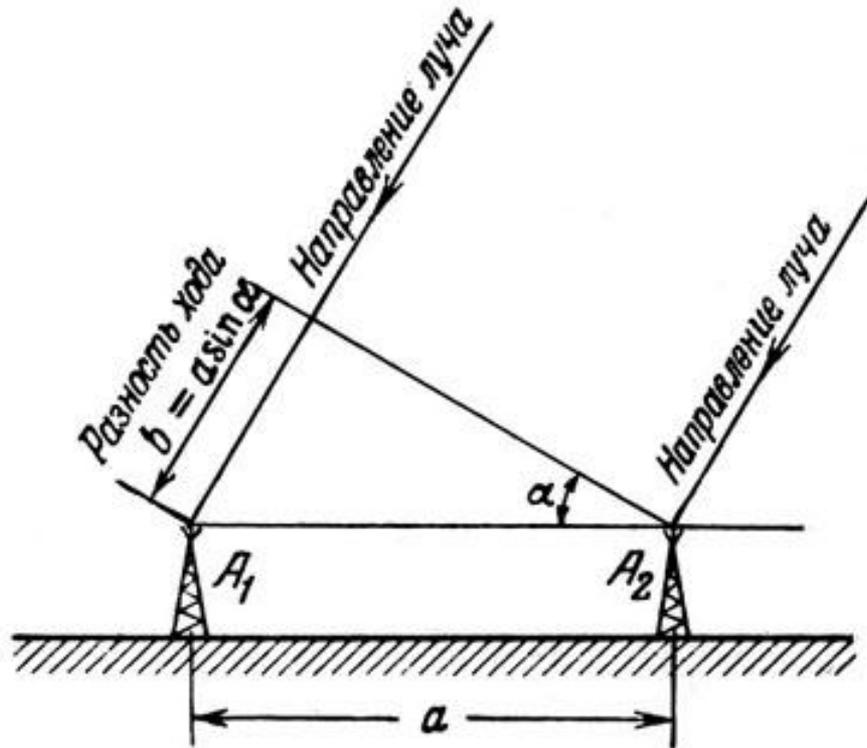
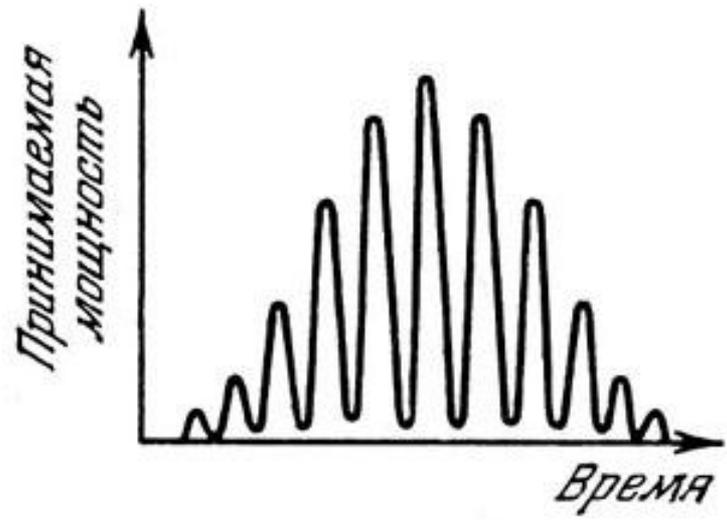
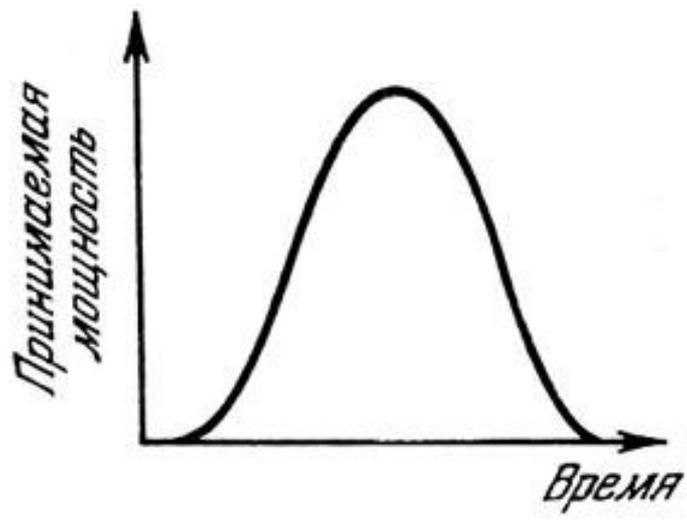
*Обсерватория «Зеленчукская», Северный Кавказ,
Карачаево-Черкесия, Россия.*

1974 г





ДКР-1000 Пущино-на-Оке
Крест из двух параболических цилиндров
2 x 1000 x 40 м



Система апертурного синтеза
6 антенн диаметром 22 м
могут удаляться на 3 км



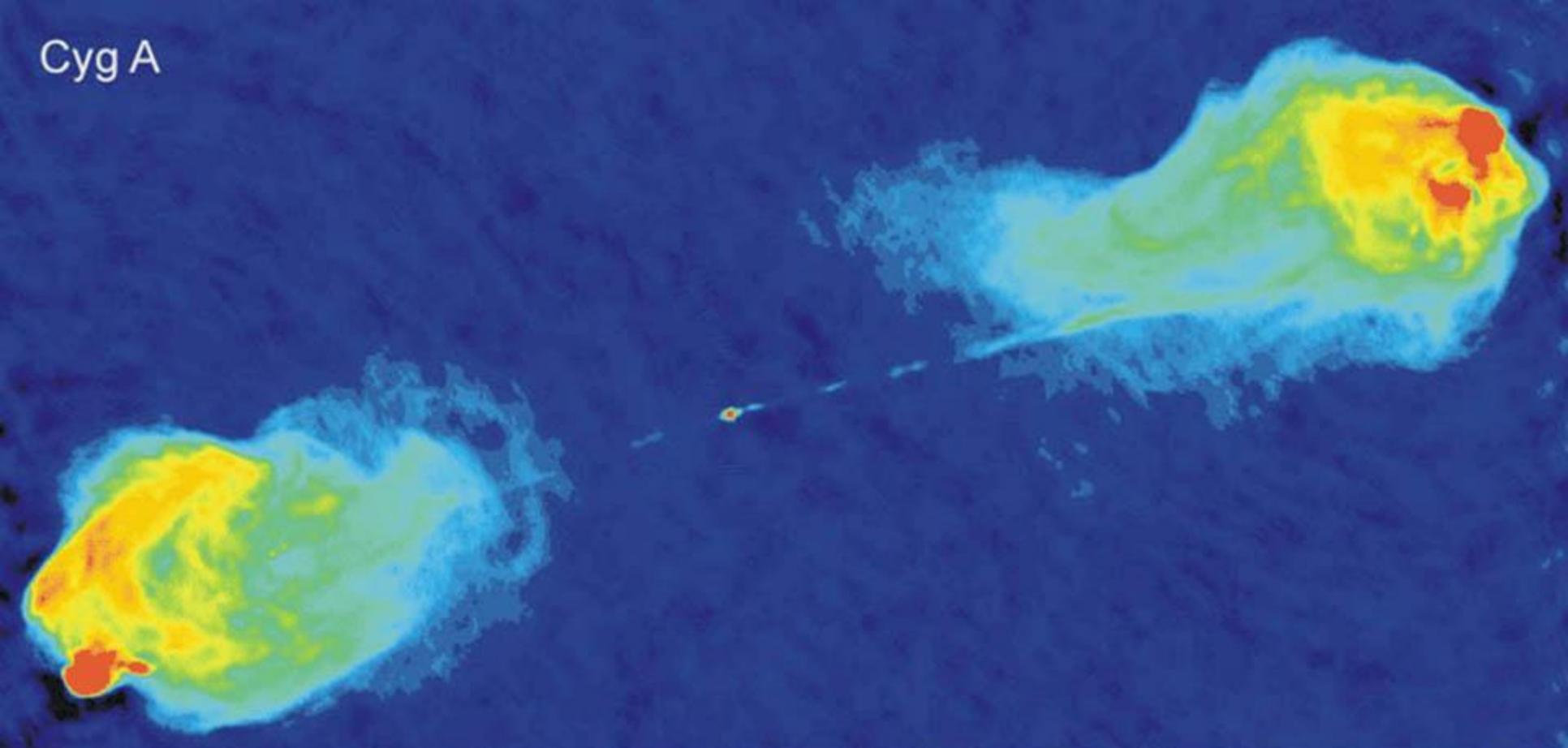
Наррабри, Австралия

ATCA – Australia Telescope Compact Array



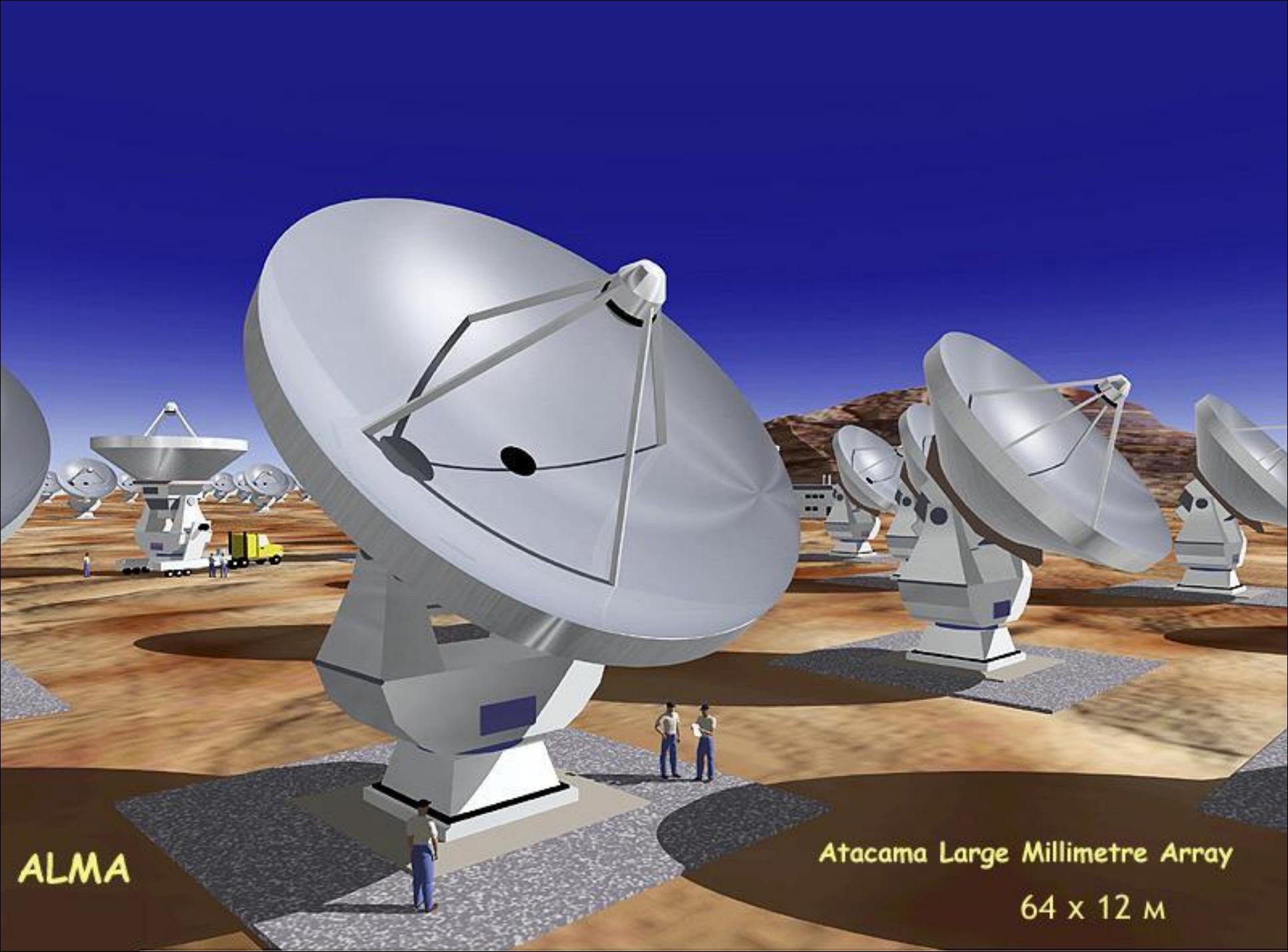
VLA - 27 антенн диаметром 25 м, 3 плеча (Y) по 22,4 км

Cyg A



VLA





ALMA

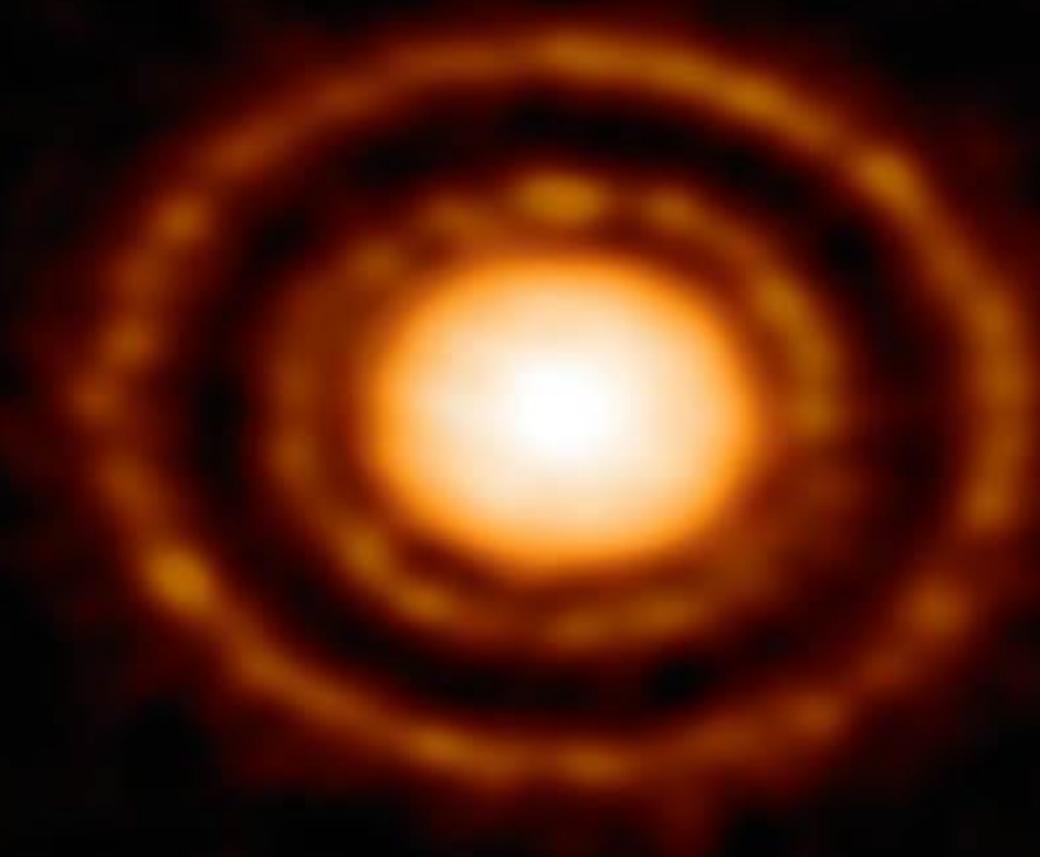
Atacama Large Millimetre Array
64 x 12 M



ALMA 1 mm continuum image of the disk surrounding HL Tau.
The disk is 0.8 arcsec in radius, corresponding to about 100 AU

ALMA Partnership et al. (2015)

Протопланетный диск у звезды типа Т Тау,
проходящей стадию гравитационного сжатия



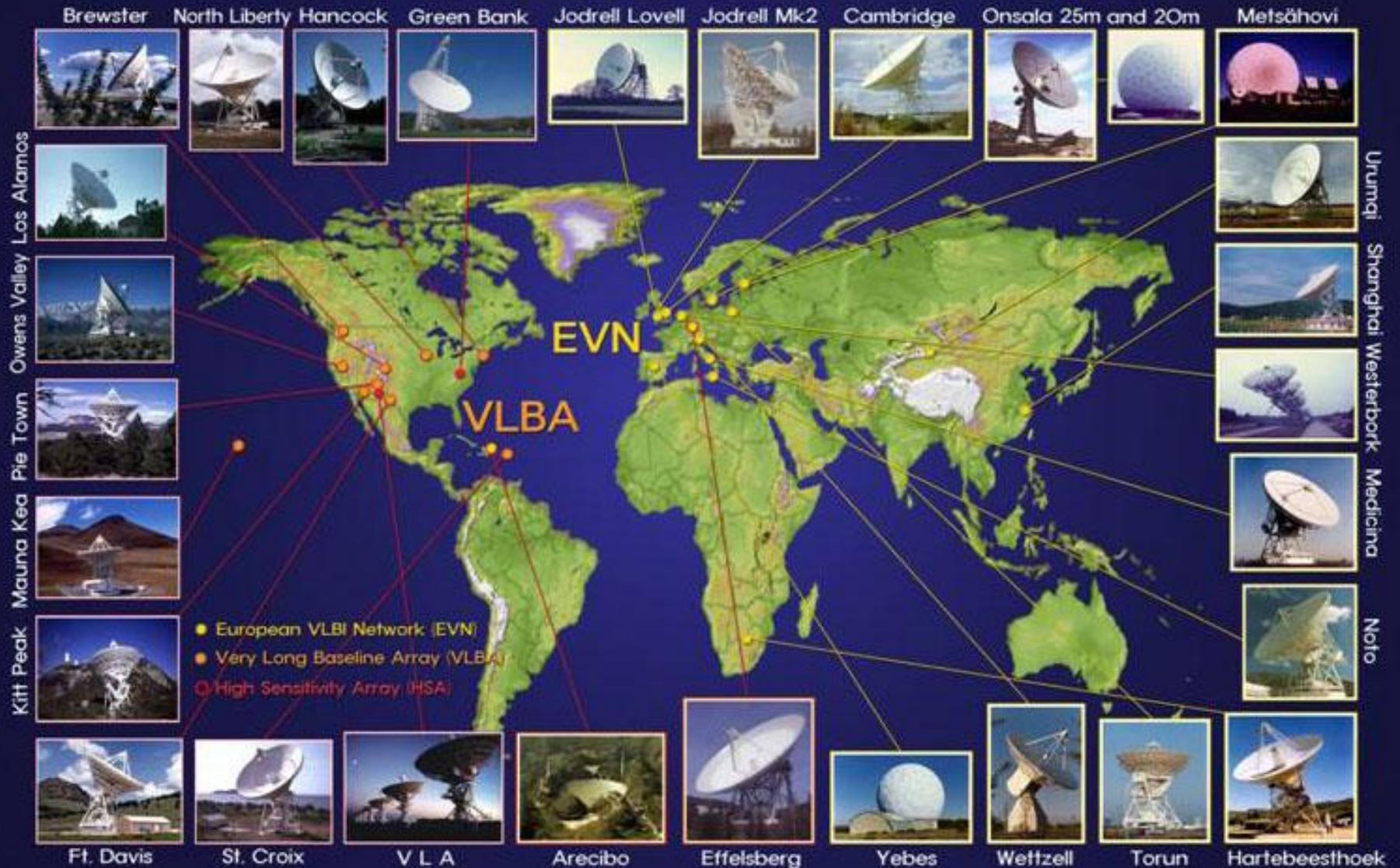
AS 209

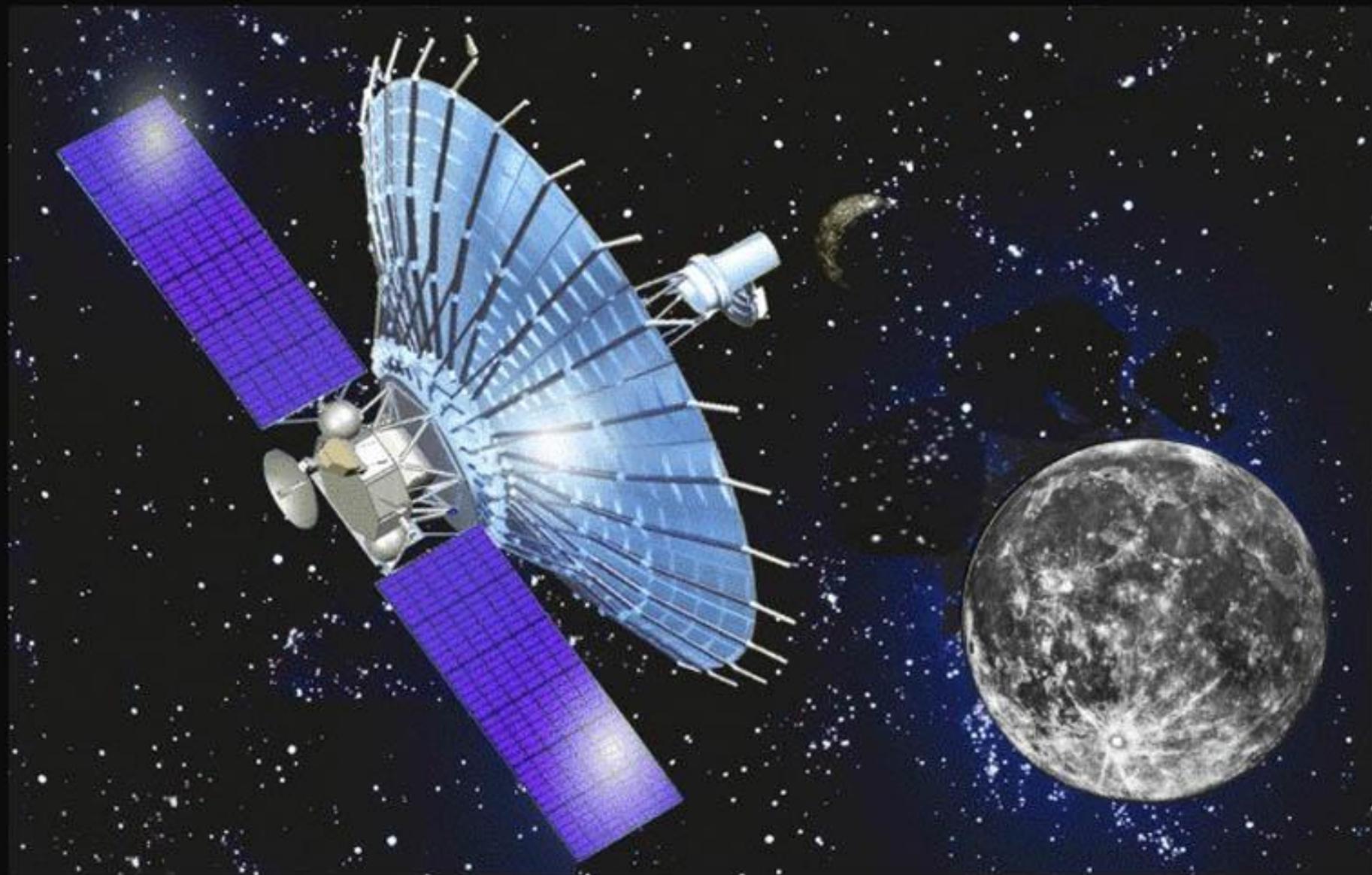
100 AU



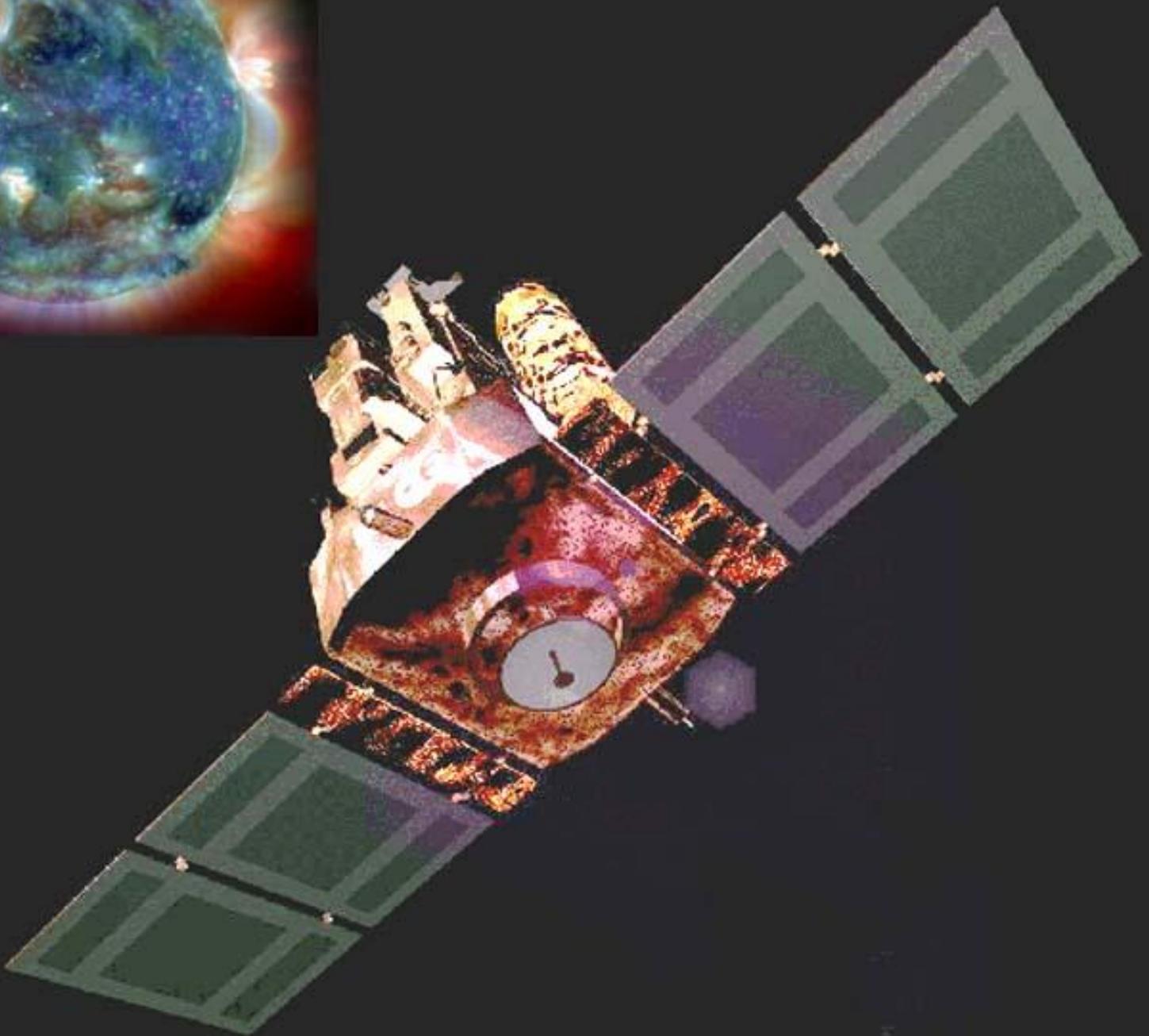
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ D. Fedele et al. 2018

The Global VLBI - Array

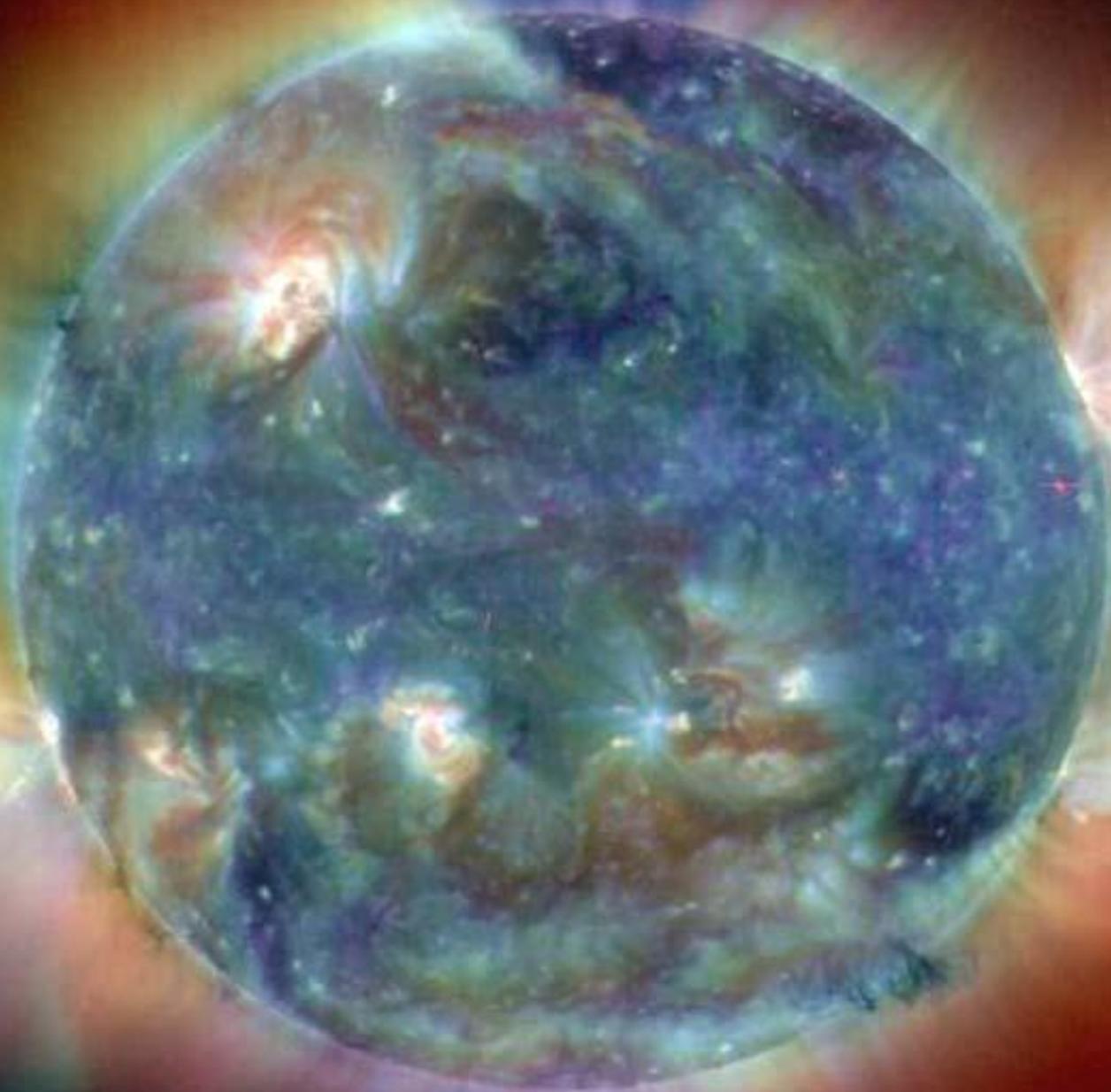




РадиоАстрон 2011 г.



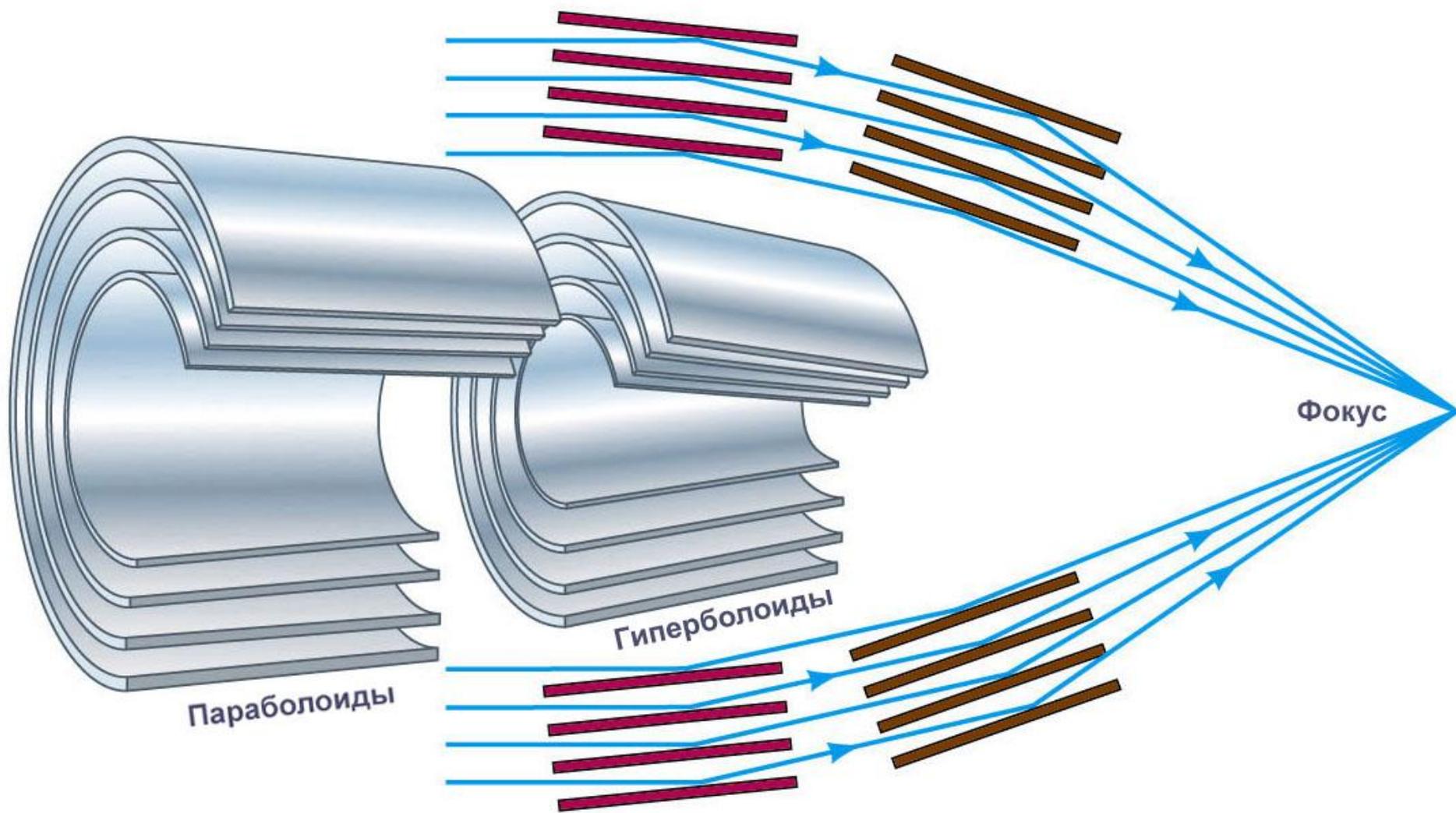
SOHO

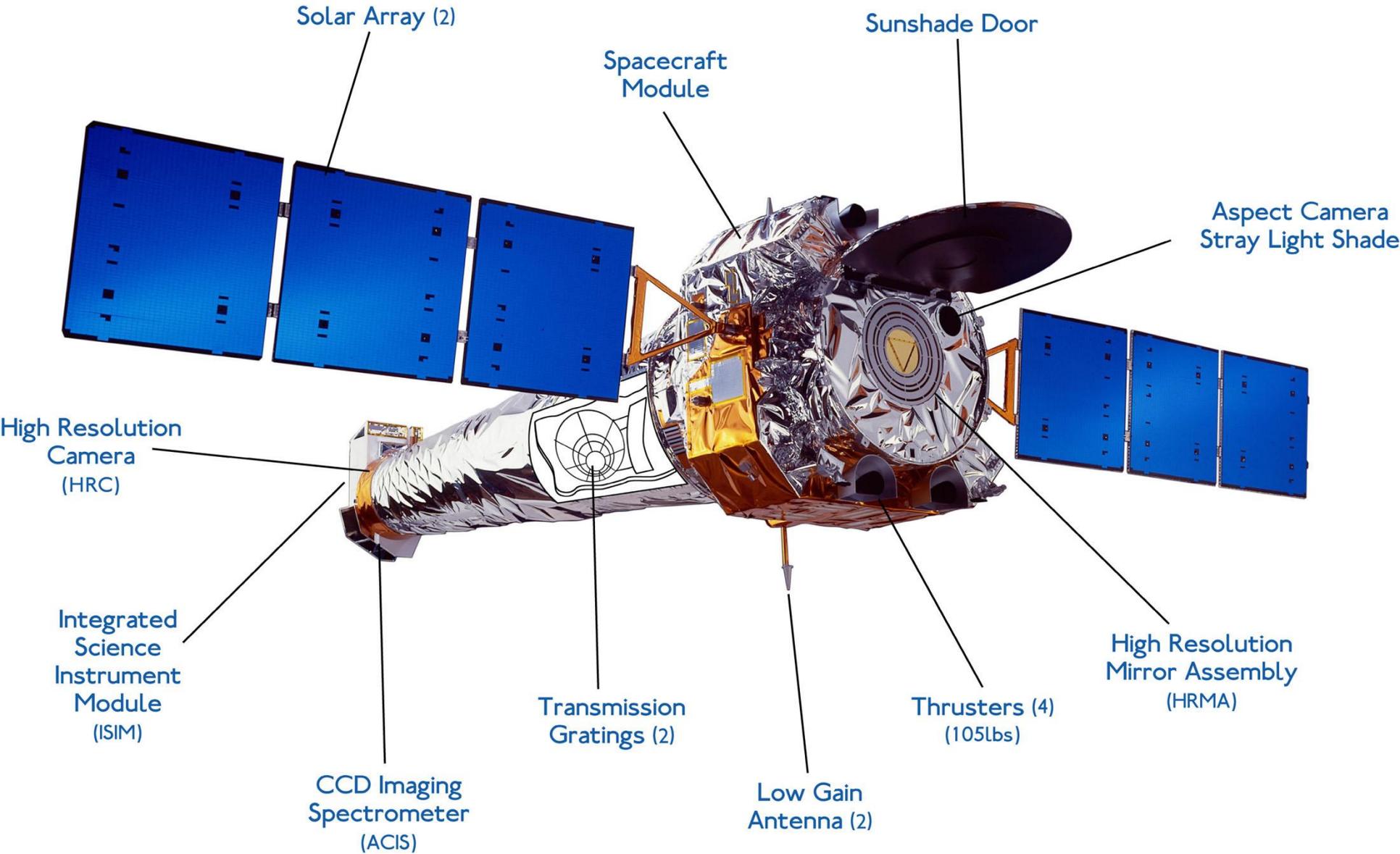


Принцип скользящего удара используется при пускании камнем "блинчиков" на воде

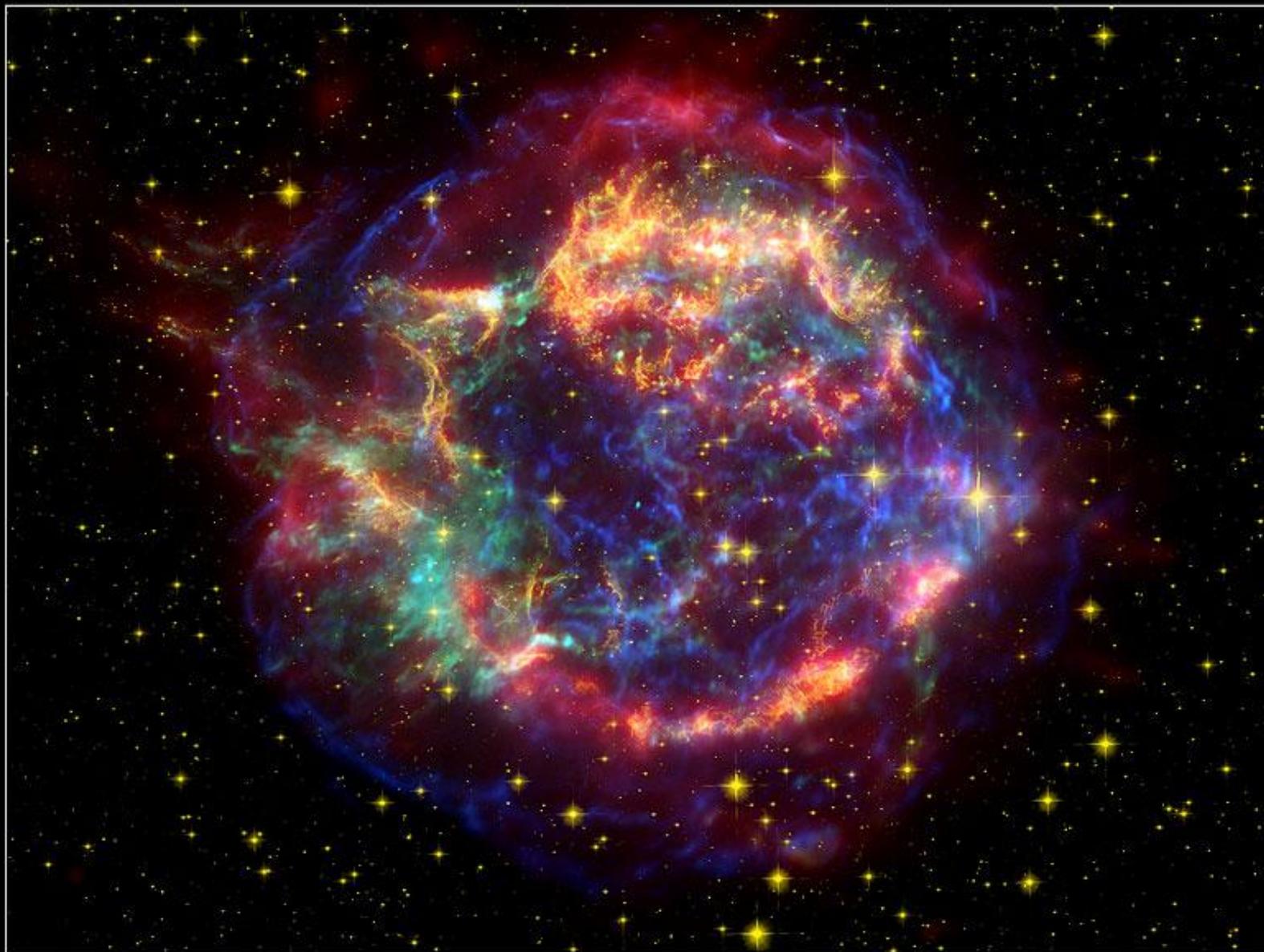


Вложенные зеркала рентгеновского телескопа





Chandra (NASA), 1999 -..., X-ray 0,1-10 keV ; D = 1,2 m ; F = 10 m



Cassiopeia A Supernova Remnant

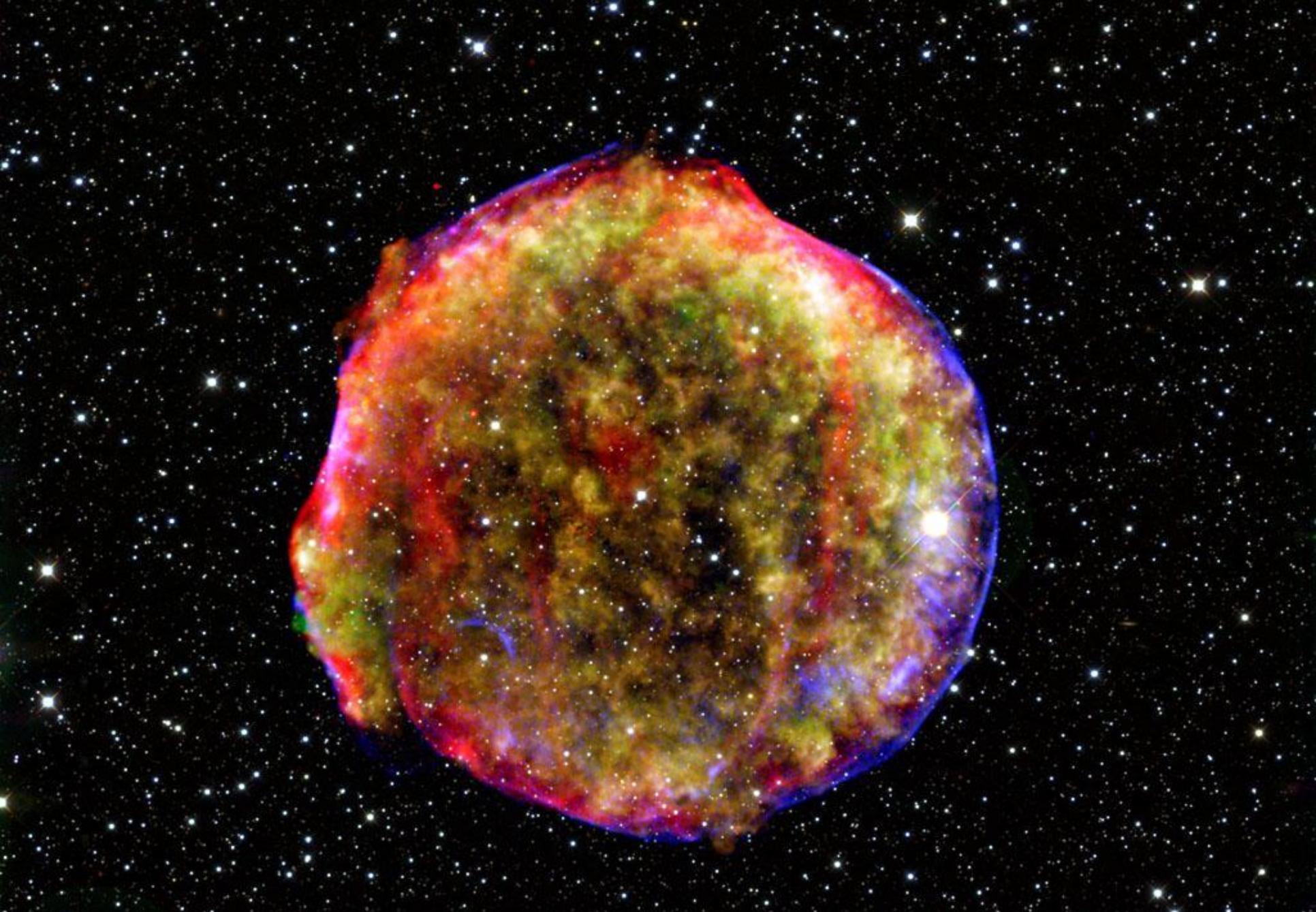
NASA / JPL-Caltech / O. Krause (Steward Observatory)

ssc2005-14c

Spitzer Space Telescope • MIPS

Hubble Space Telescope • ACS

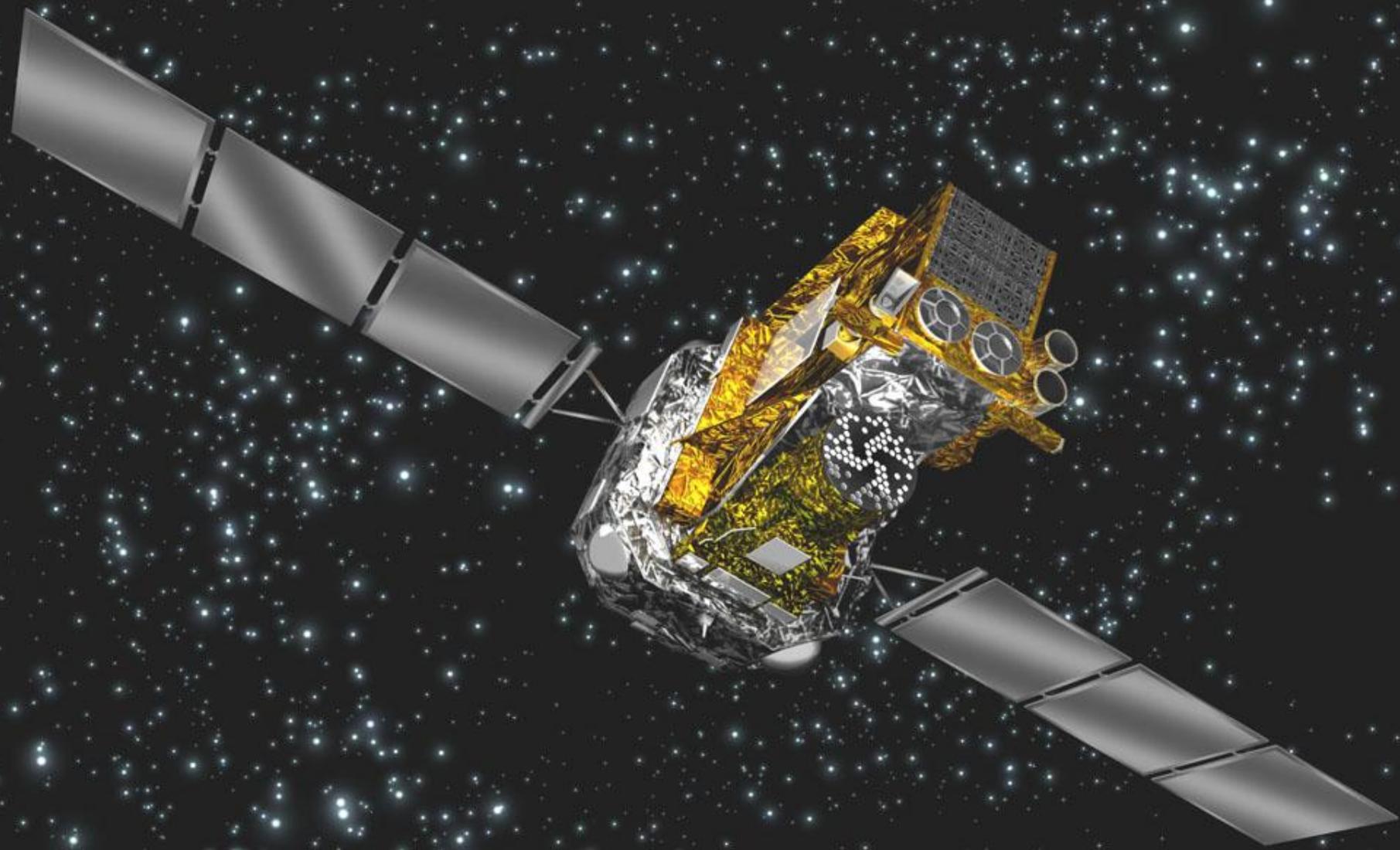
Chandra X-Ray Observatory



Сверхновая Тихо Браге 1572 г.

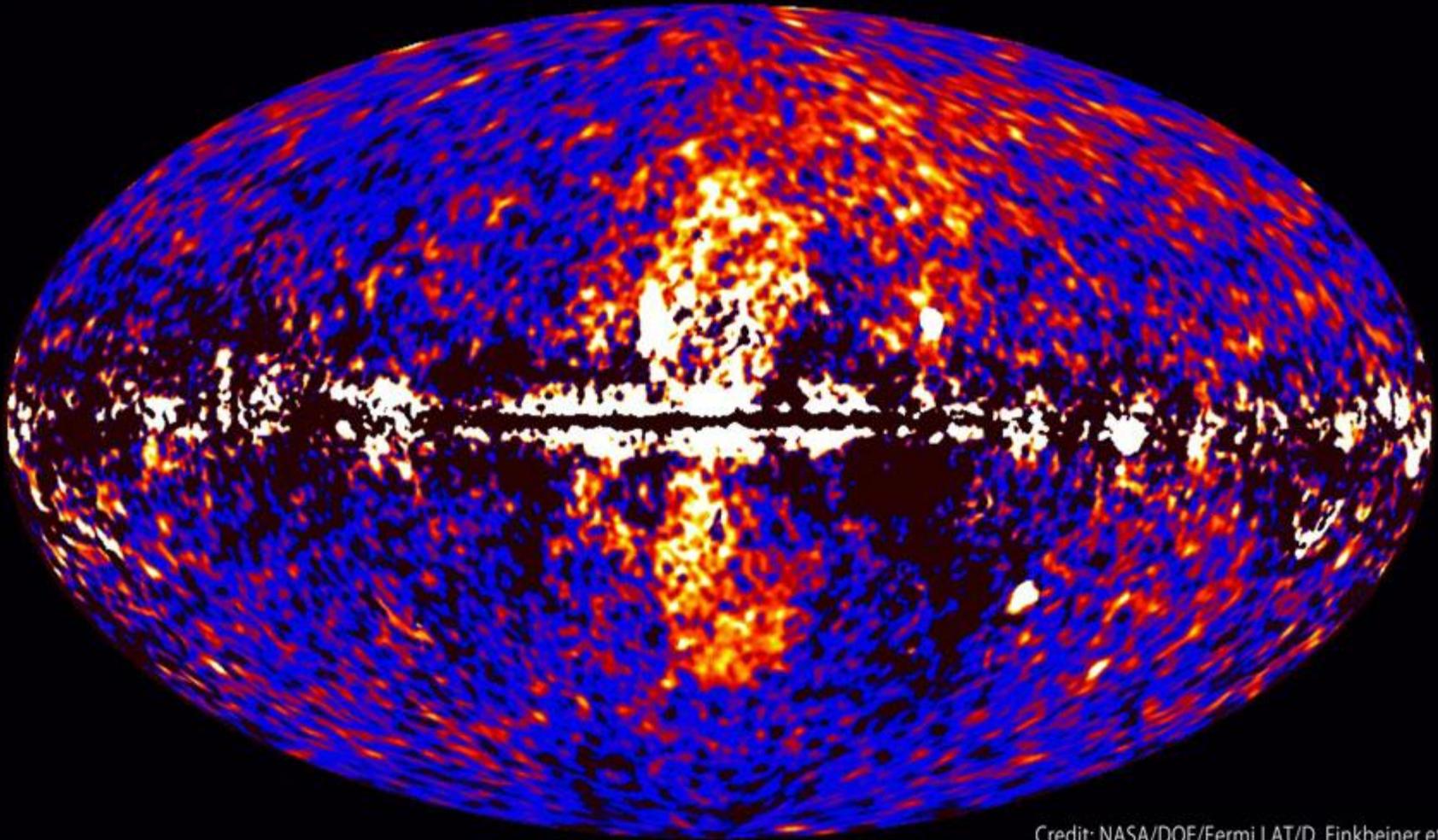
ИК + оптика + рентген

Coded mask



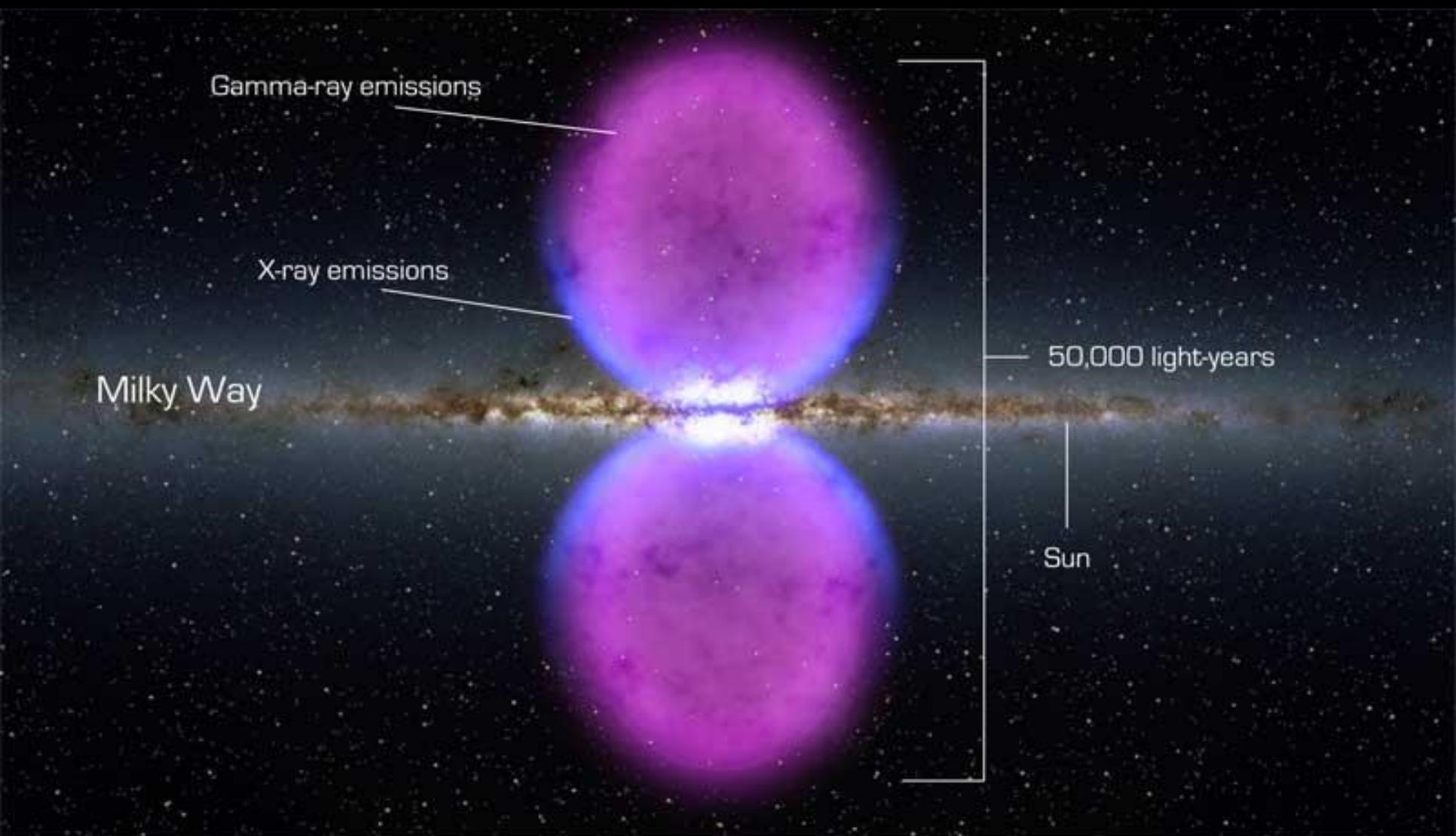
INTEGRAL (ESA/NASA/RKA), 2002-... X-ray, Gamma 3 keV - 1 MeV

Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles

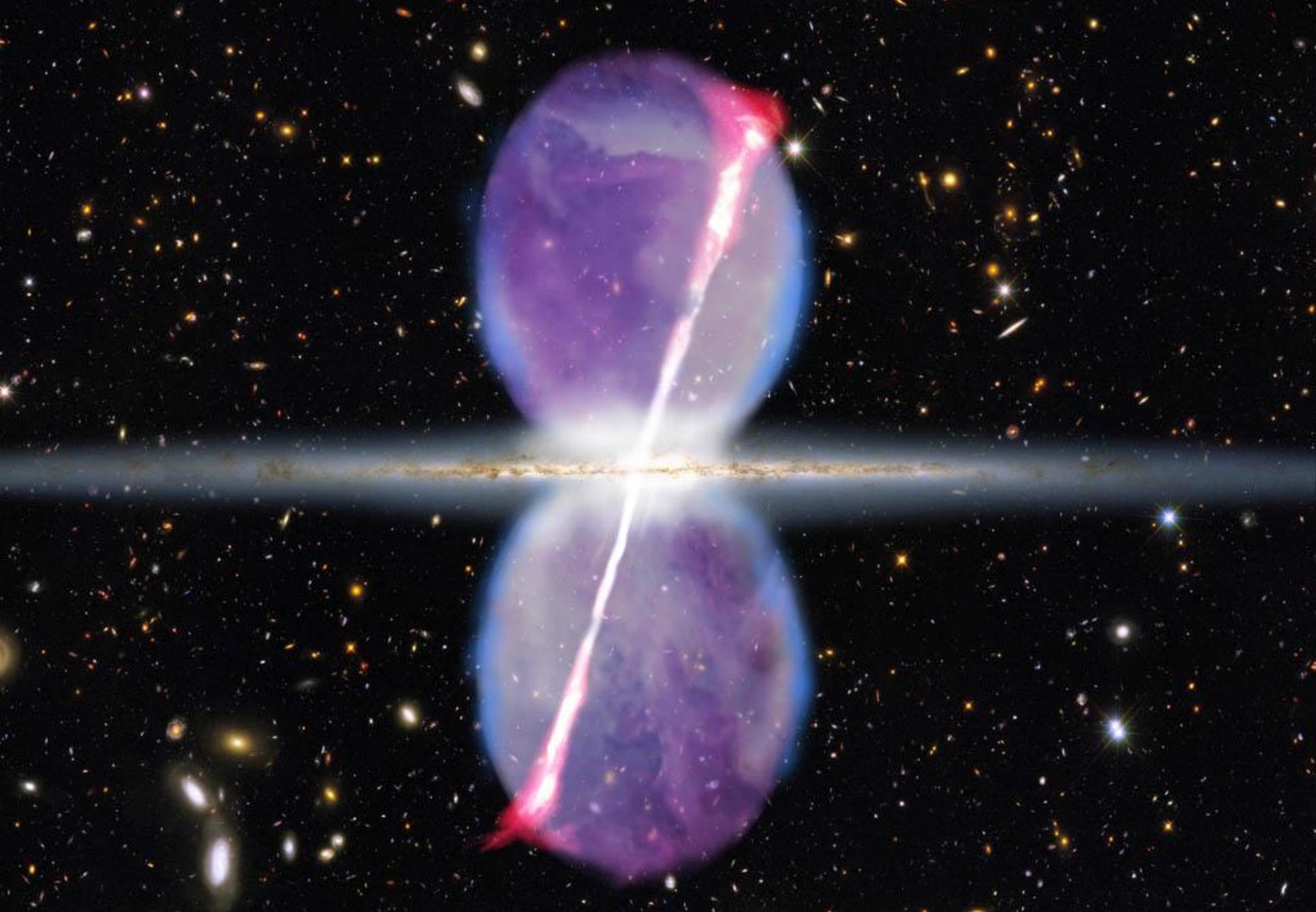


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.

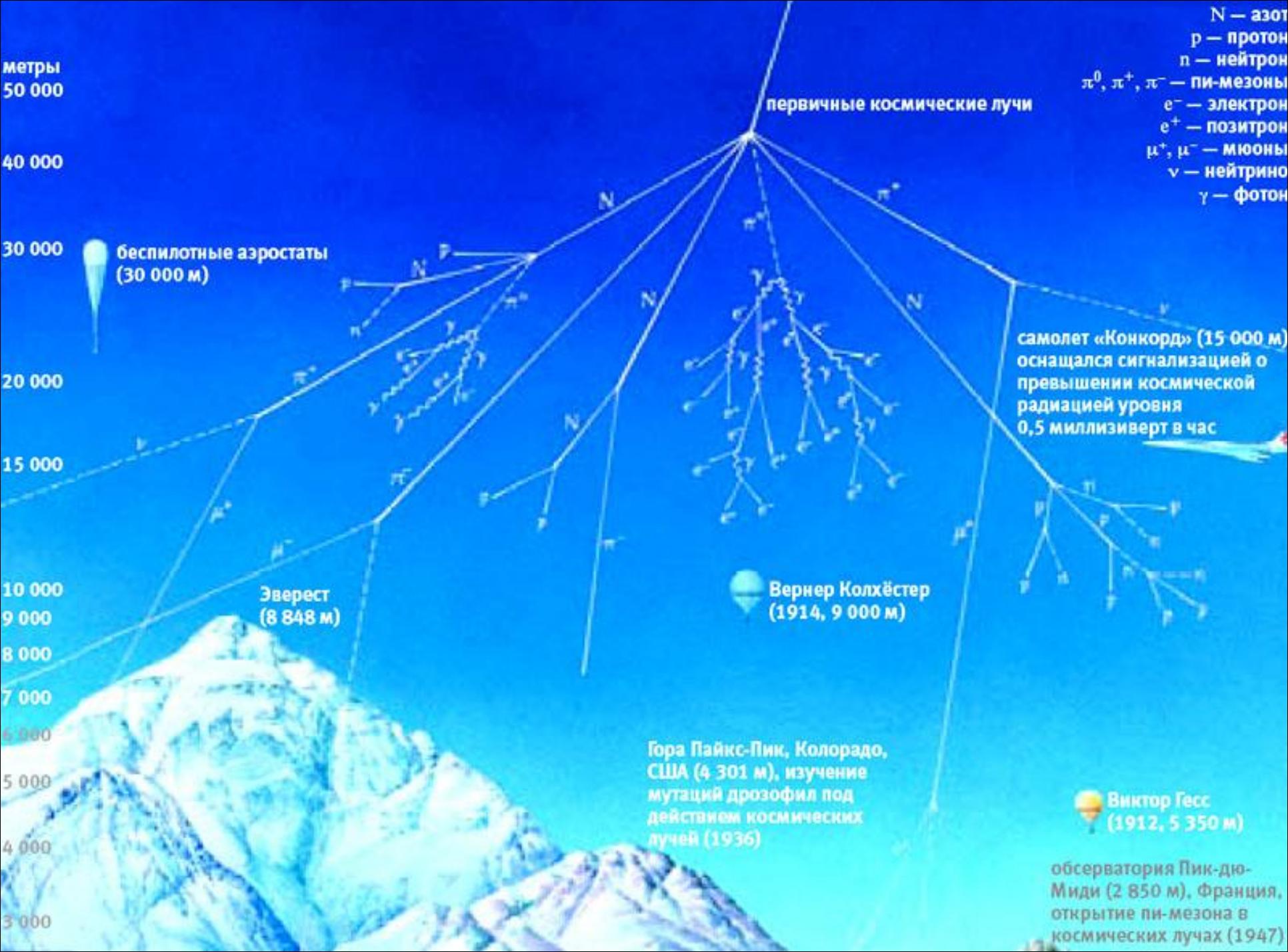
Гамма-лепестки над Млечным Путем (над центром Галактики?)



Гамма-пузыри: интерпретация гамма-лепестков

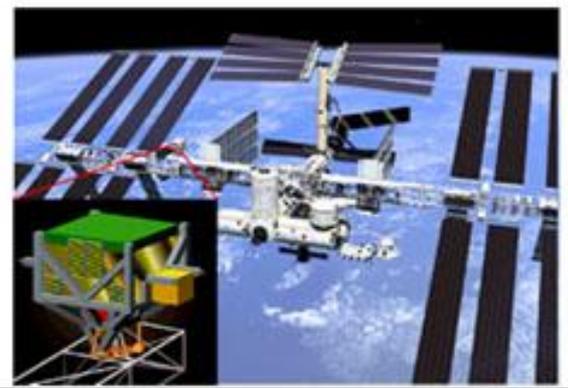


Одна из моделей происхождения гамма-пузырей: джеты из ядра Галактики





Space



50 km

e/γ

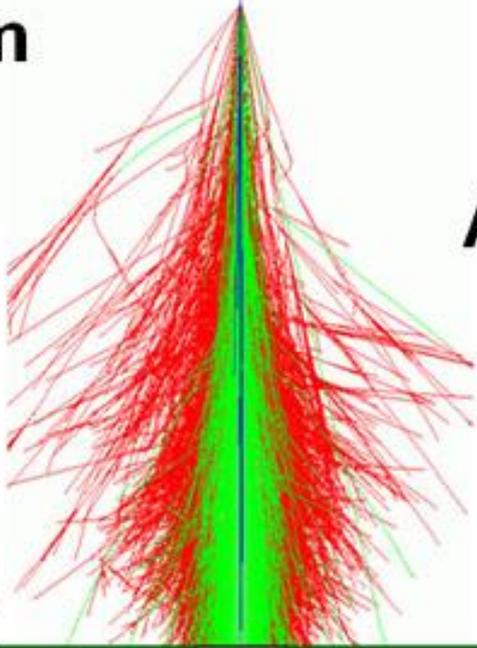
Atmosphere



μ

h

0 km



Underground





Место взаимодействия ~15-20 км

Первичная частица

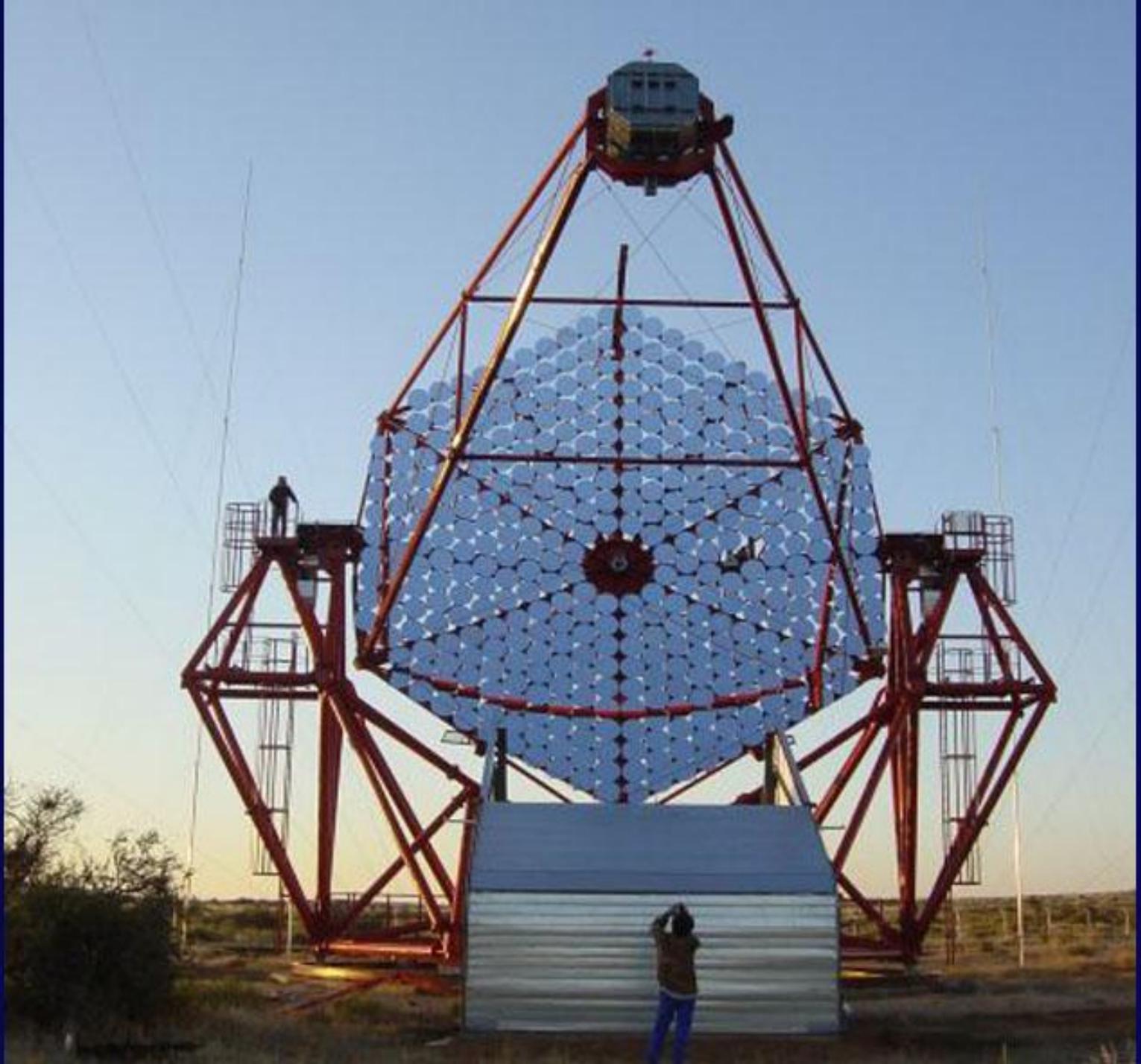
ШАЛ

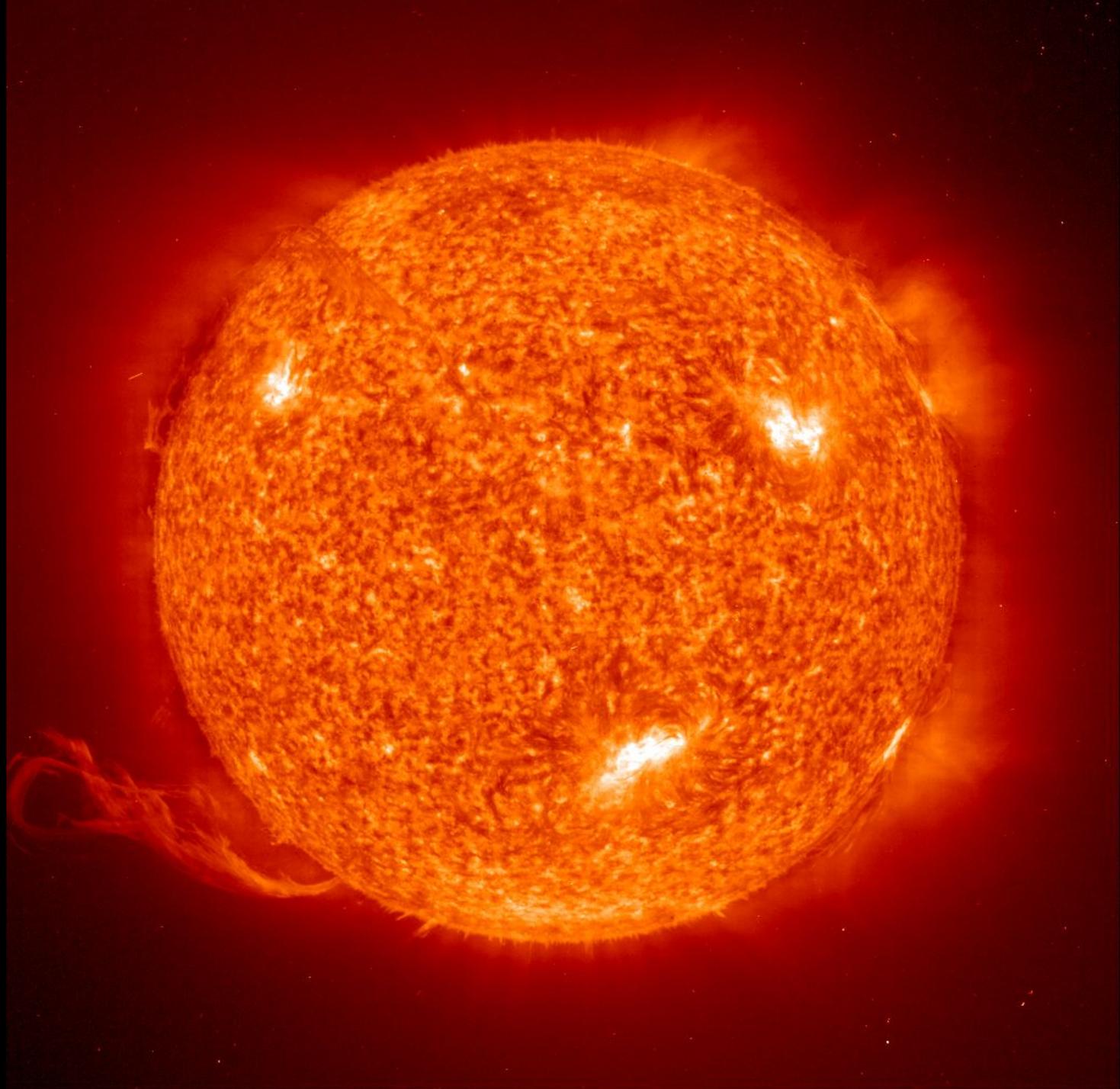
Фронт черенковского излучения

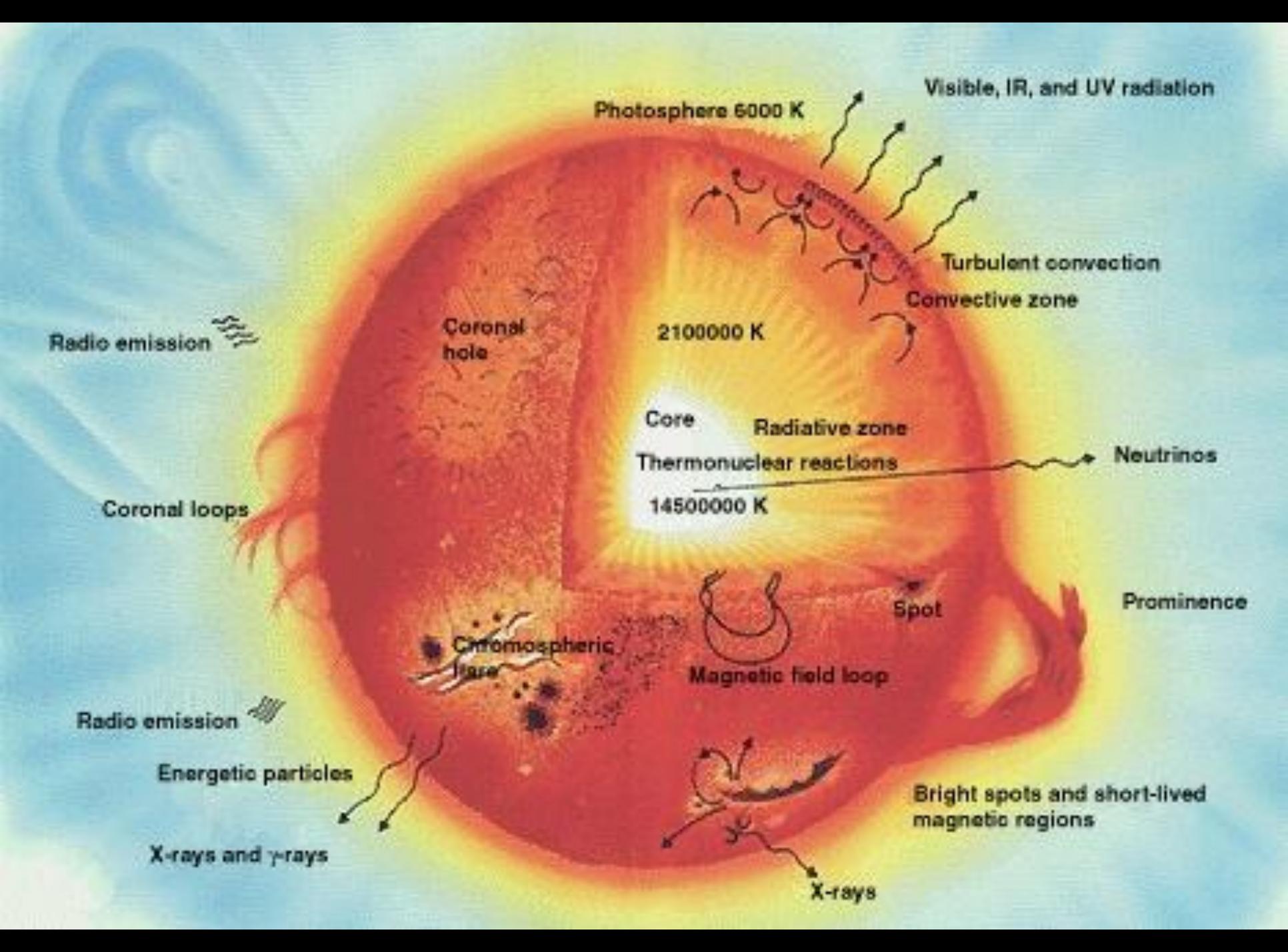
Ультрафиолет

Наземная установка – коллектор света









Visible, IR, and UV radiation

Photosphere 6000 K

Turbulent convection

Convective zone

Coronal hole

2100000 K

Core

Radiative zone

Thermonuclear reactions

Neutrinos

14500000 K

Radio emission

Coronal loops

Prominence

Spot

Chromospheric flare

Magnetic field loop

Radio emission

Energetic particles

X-rays and γ -rays

Bright spots and short-lived magnetic regions

X-rays

Садберийская нейтринная обсерватория
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

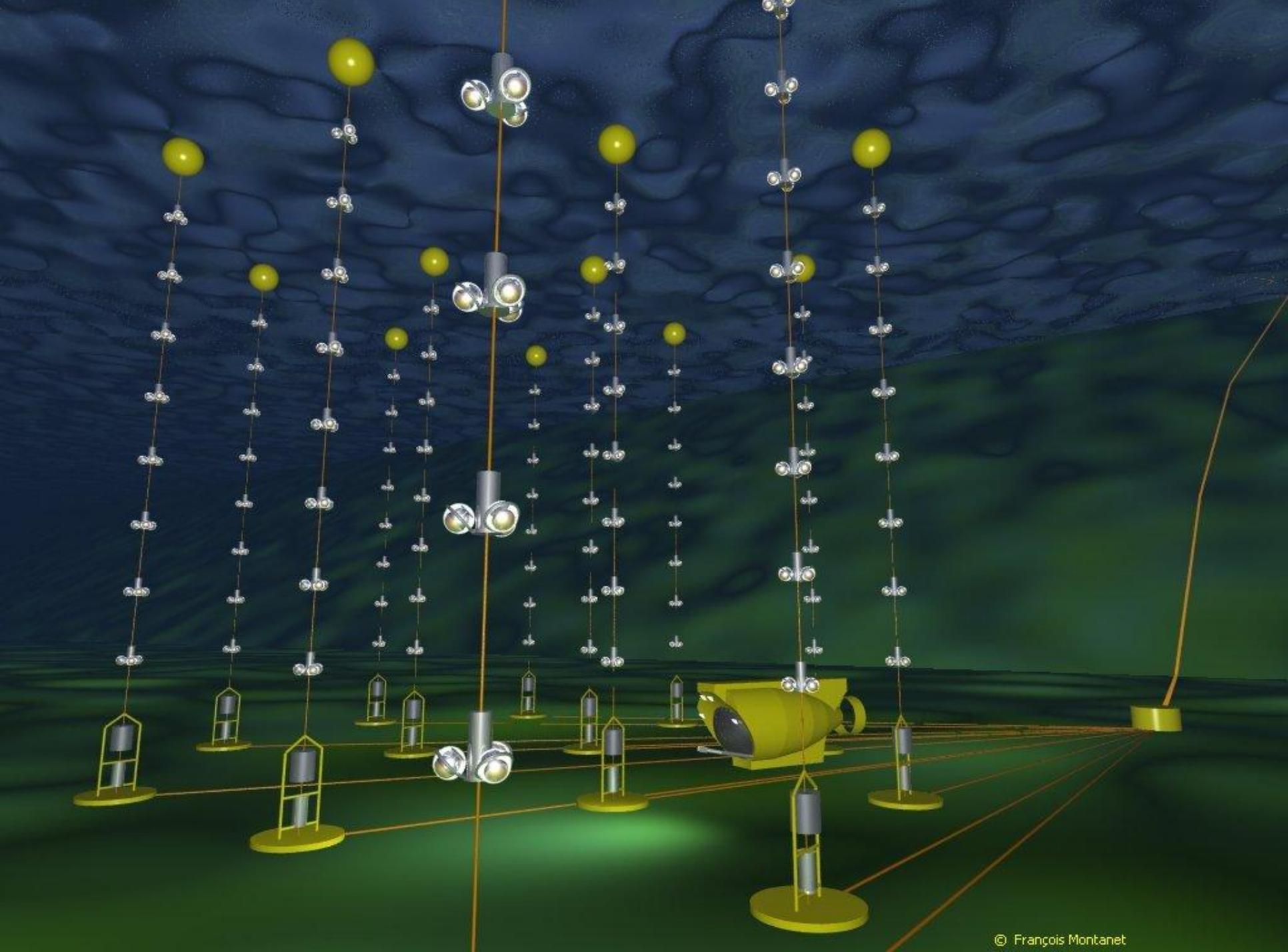
1000 тонн тяжелой воды (D_2O) в
прозрачном акриловом (плексигласовом)
шаре диаметром 12 м, окруженном
9600 ФЭУ на геодезической сфере,
диаметром 18 м, погруженной в
резервуар с чистой водой
на глубине 2 км.

В 2002 г. здесь решена проблема
солнечного нейтрино -
зарегистрированы все три типа нейтрино
(ν_e ν_μ ν_τ) в таком общем количестве,
сколько ν_e должно рождаться на Солнце

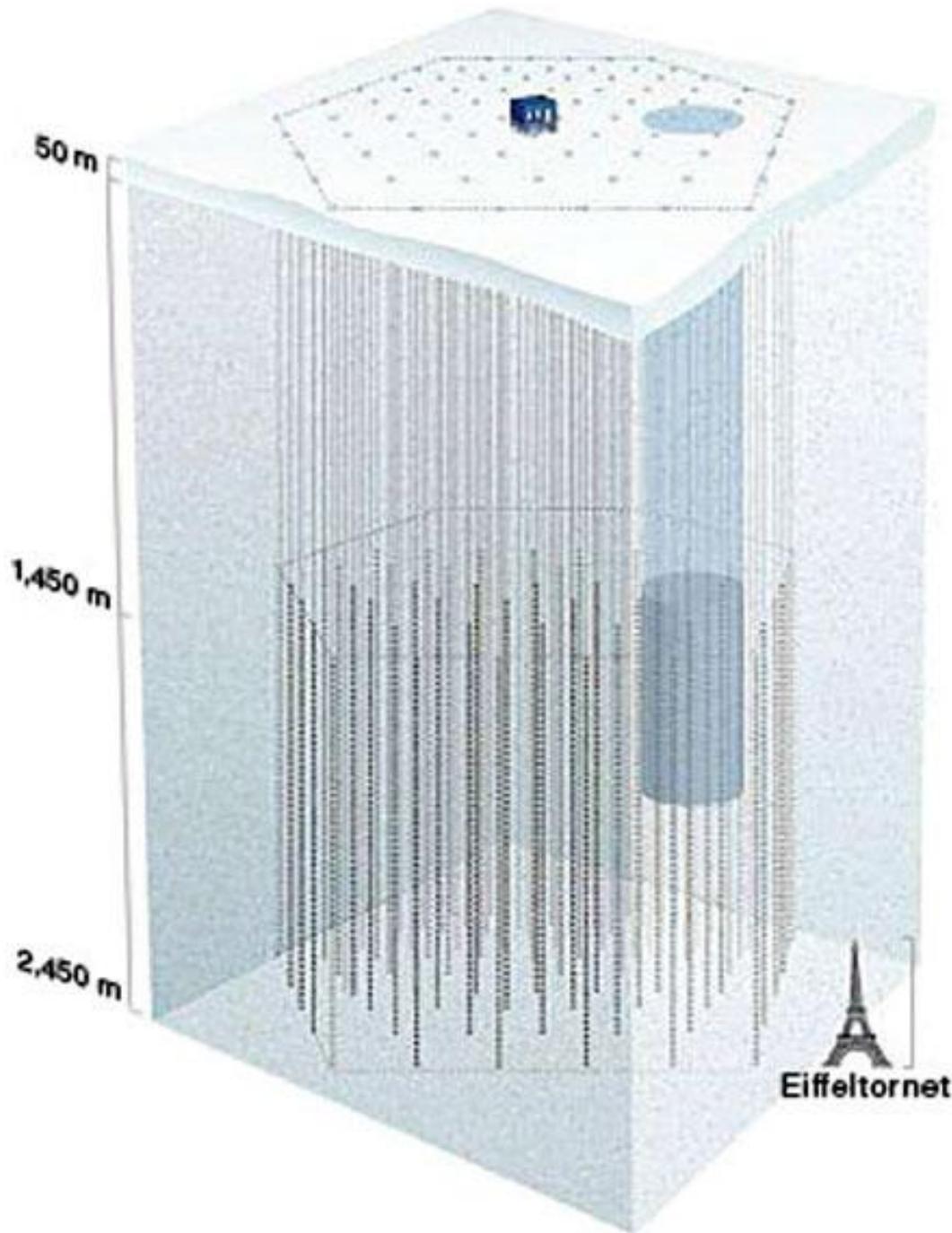
Тем самым доказано, что:

- модель Солнца верна
- нейтрино имеет массу покоя
- происходят осцилляции нейтрино



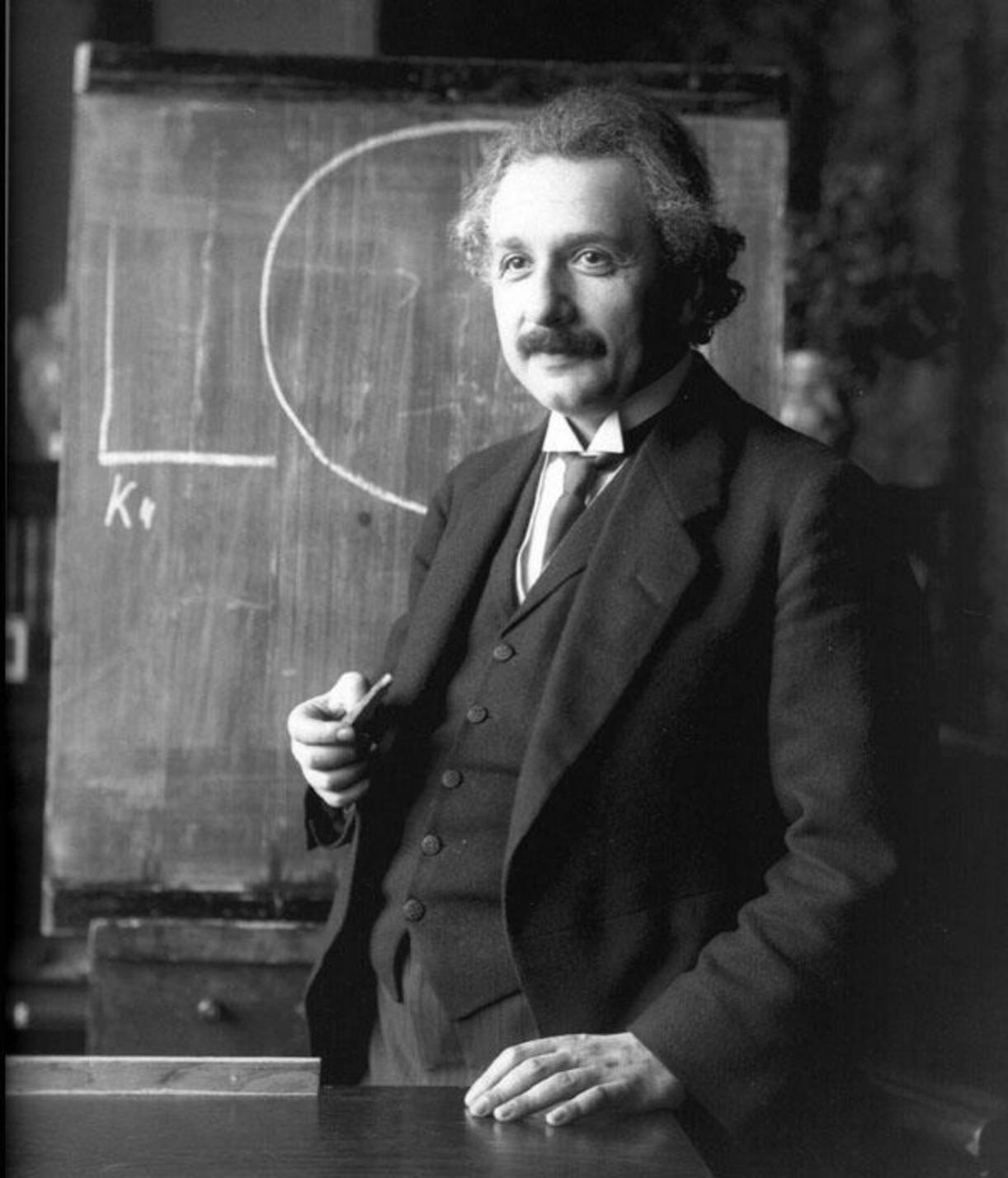
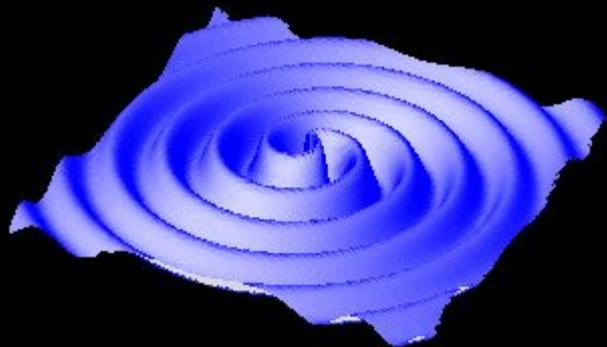
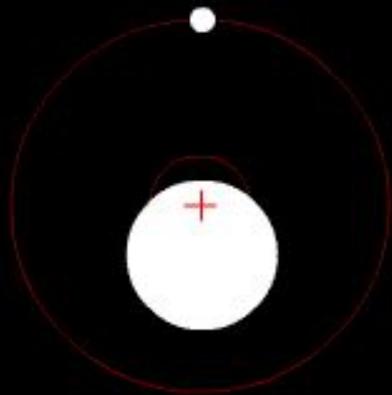


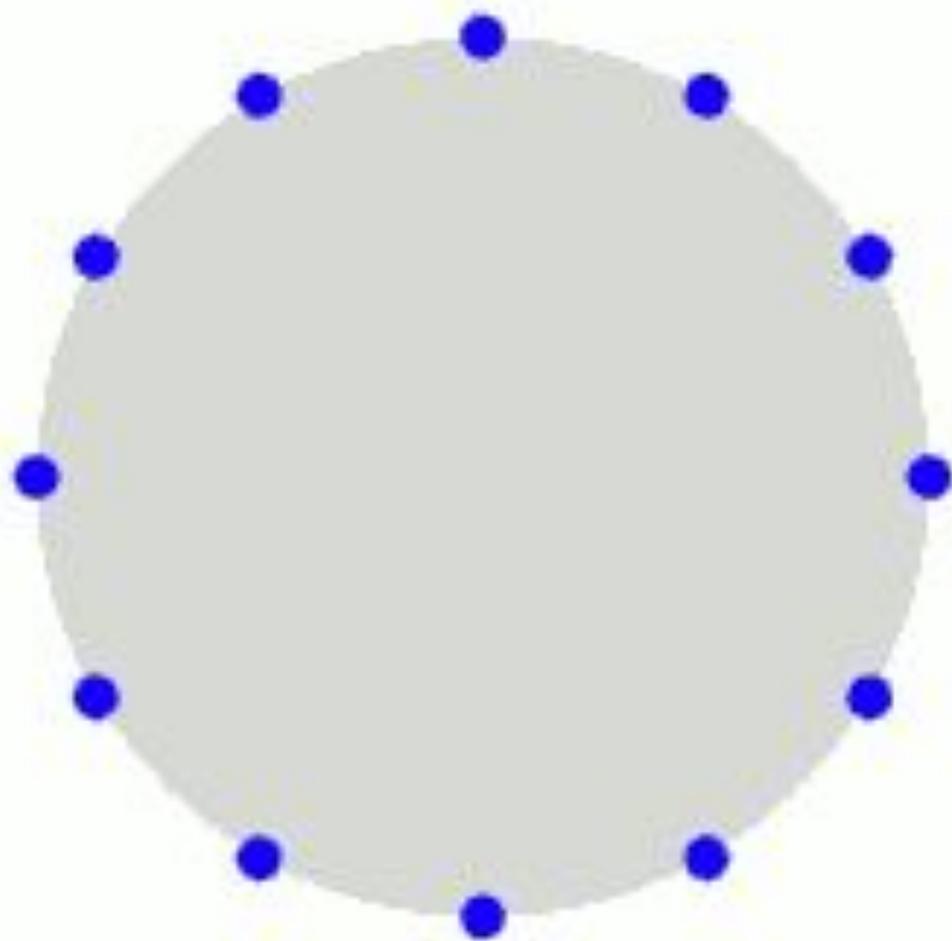
Антарктида Скотт-Амундсен IceCube

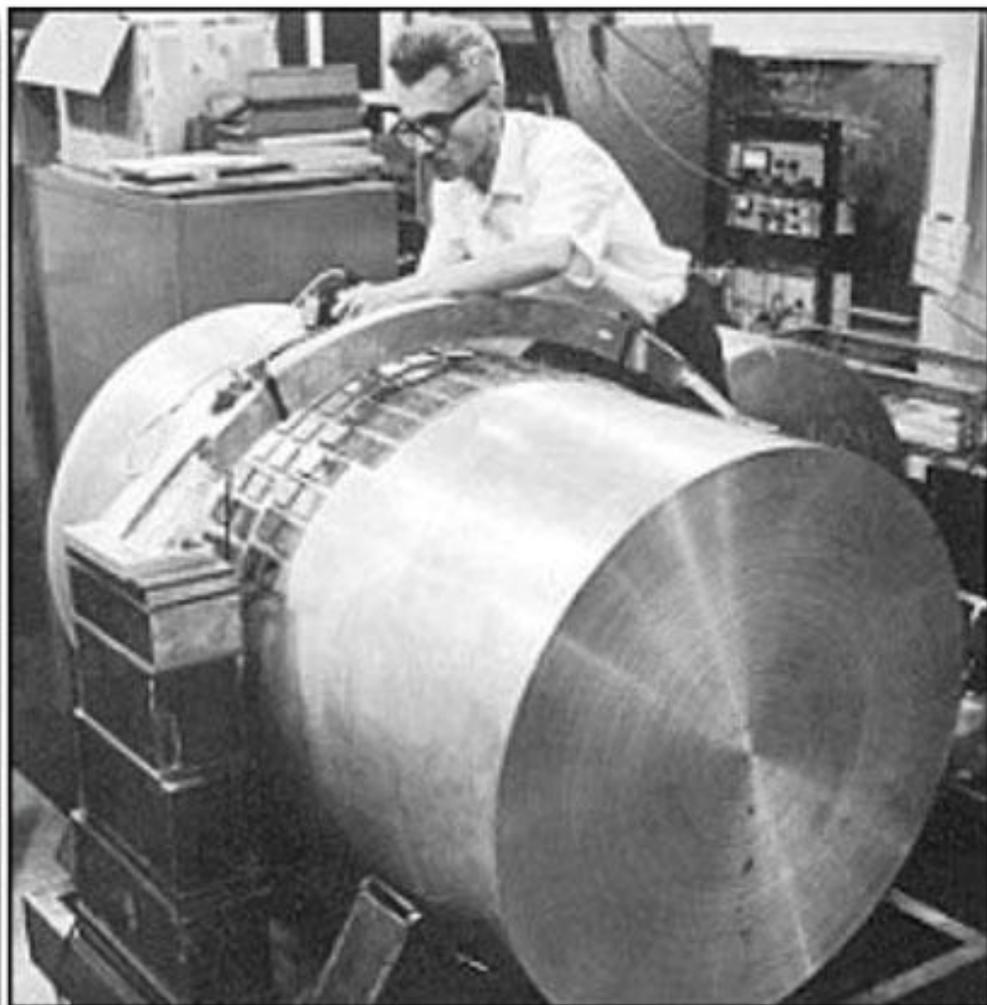


Гравитационные волны

1916 → 2016

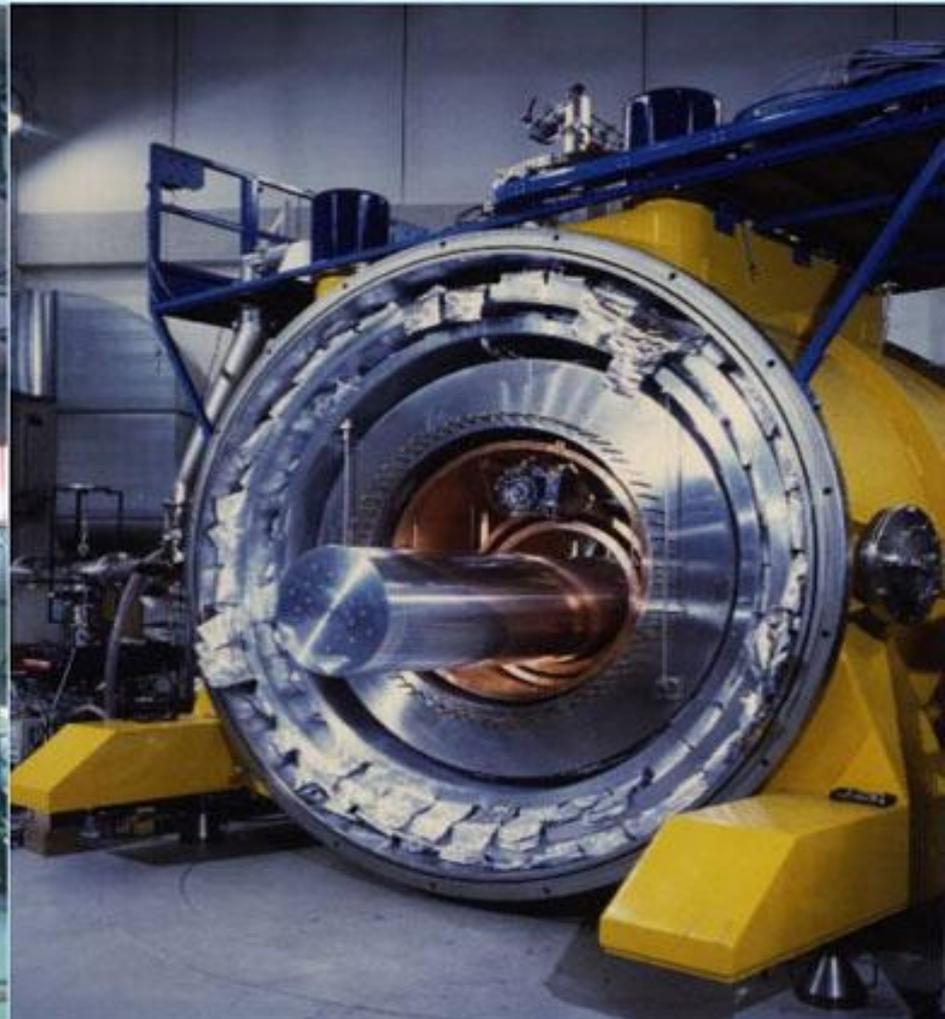






**JOSEPH WEBER WITH
GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR**

детекторы Наutilus (слева) и Аурига

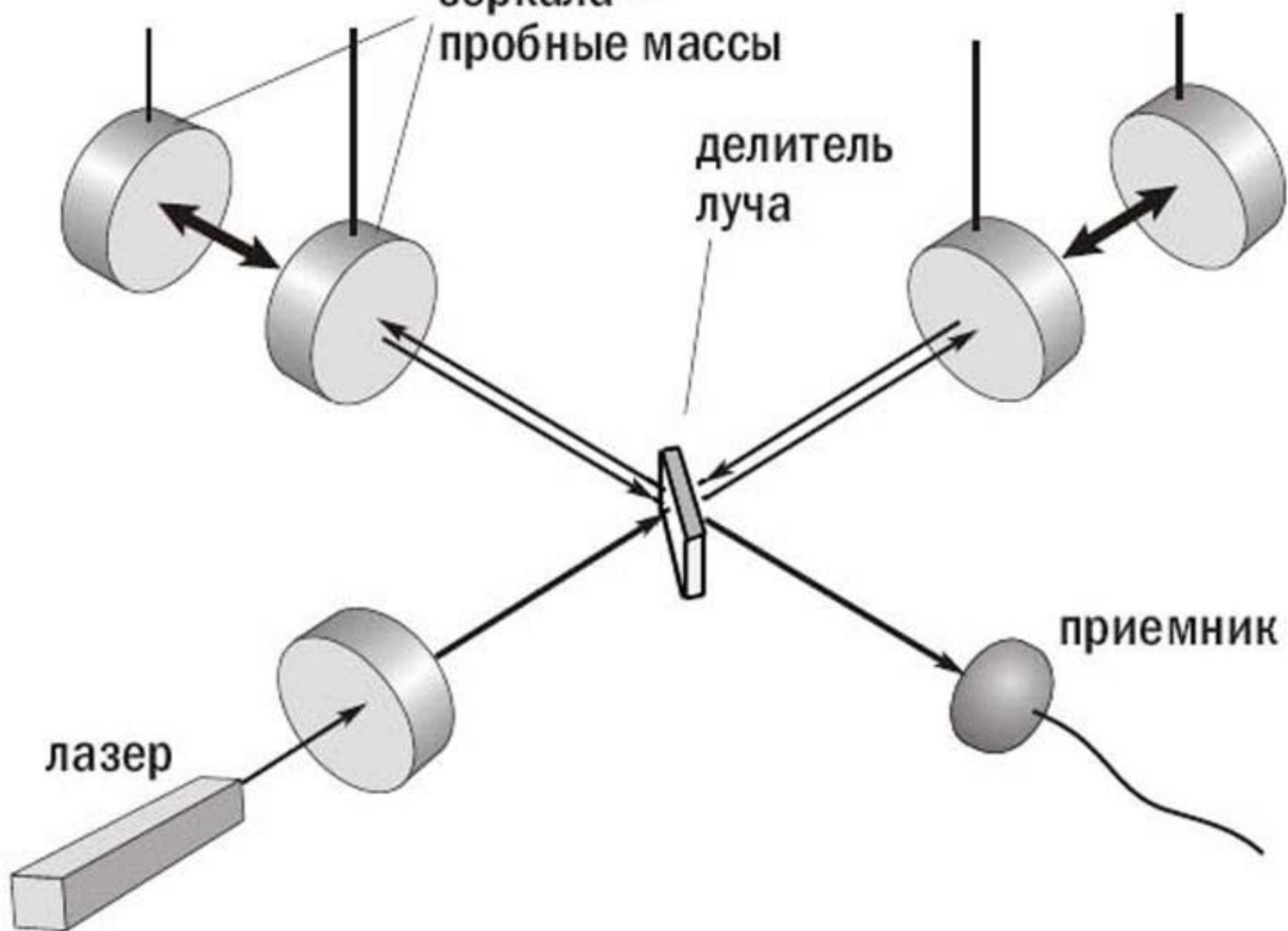


зеркала —
пробные массы

делитель
луча

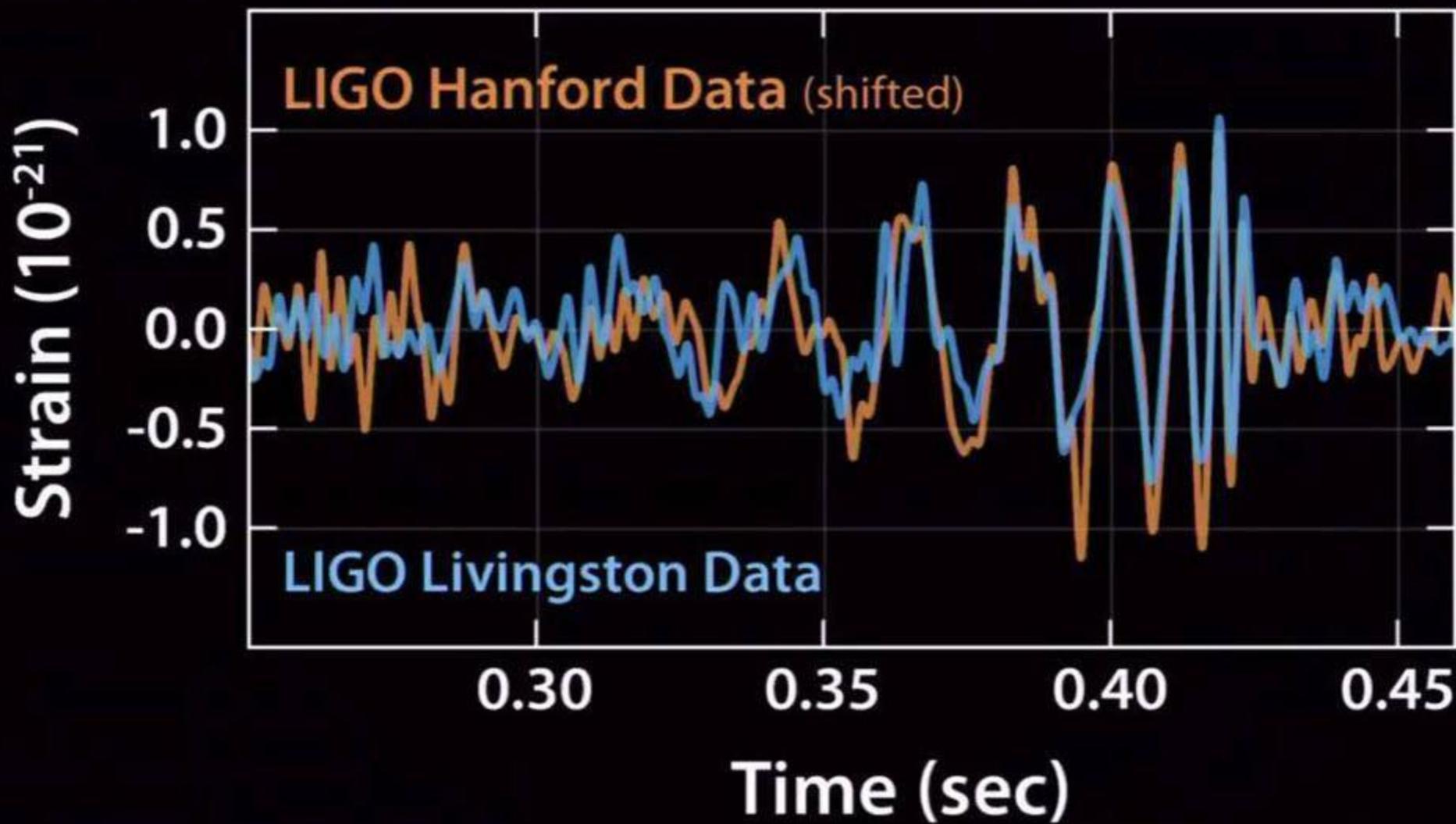
приемник

лазер

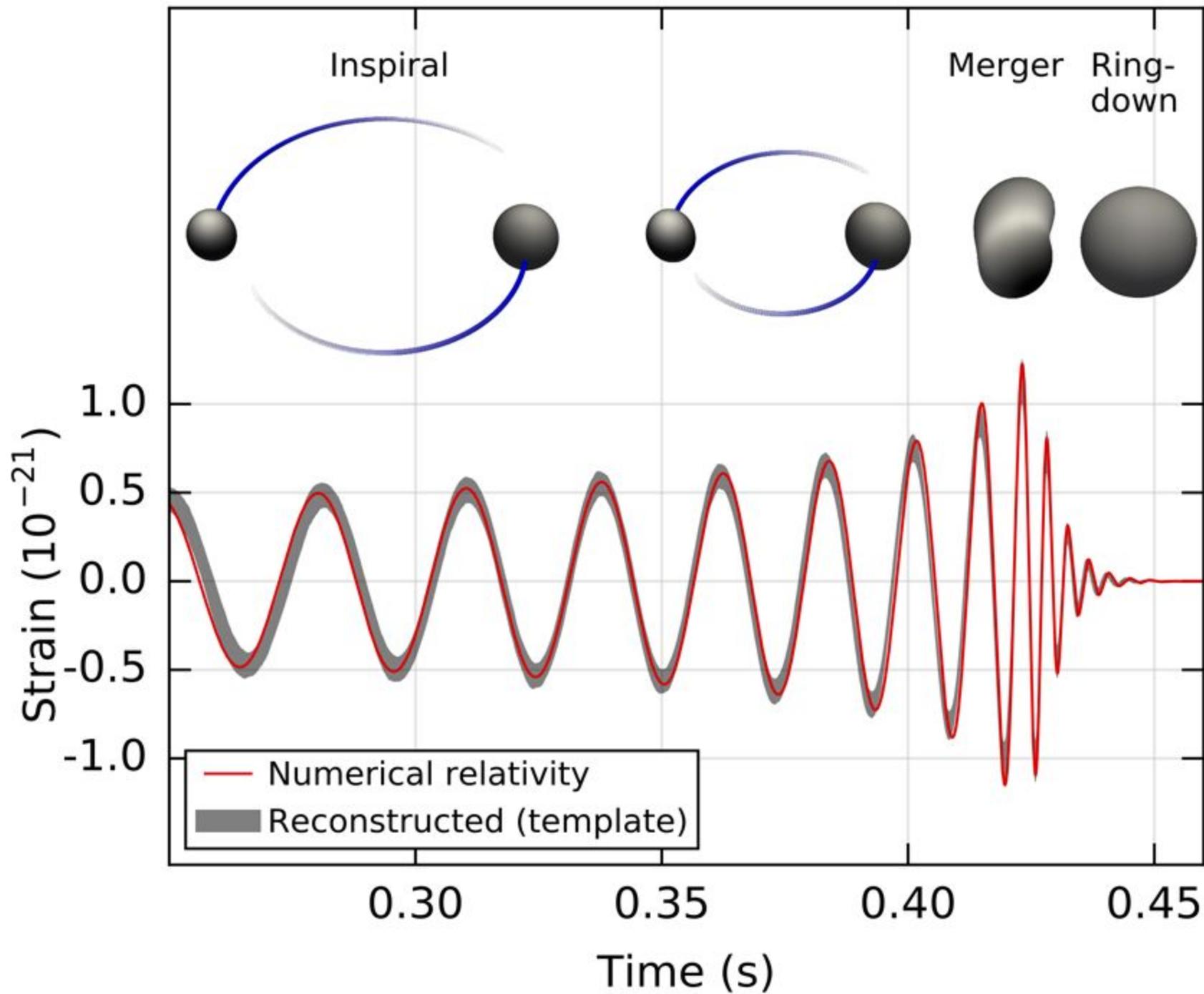


Гравитационный интерферометр на подвесных зеркалах





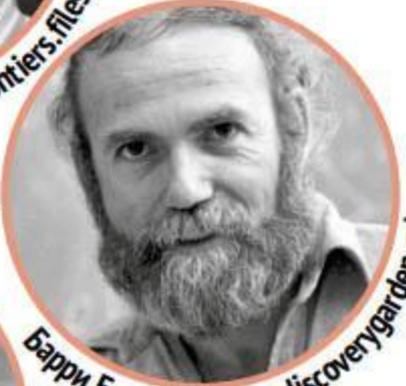
14 September 2015





Райнер Вайс (quantumfrontiers.files.wordpress.com)

1932 г.



Барри Барриш (caltech.discoverygarden.ca)

1936 г.



Кип Торн (iv1.lisimg.com)

1940 г.

Нобелевская премия по физике 2017 г.
За решающий вклад в детектор LIGO
и наблюдение гравитационных волн

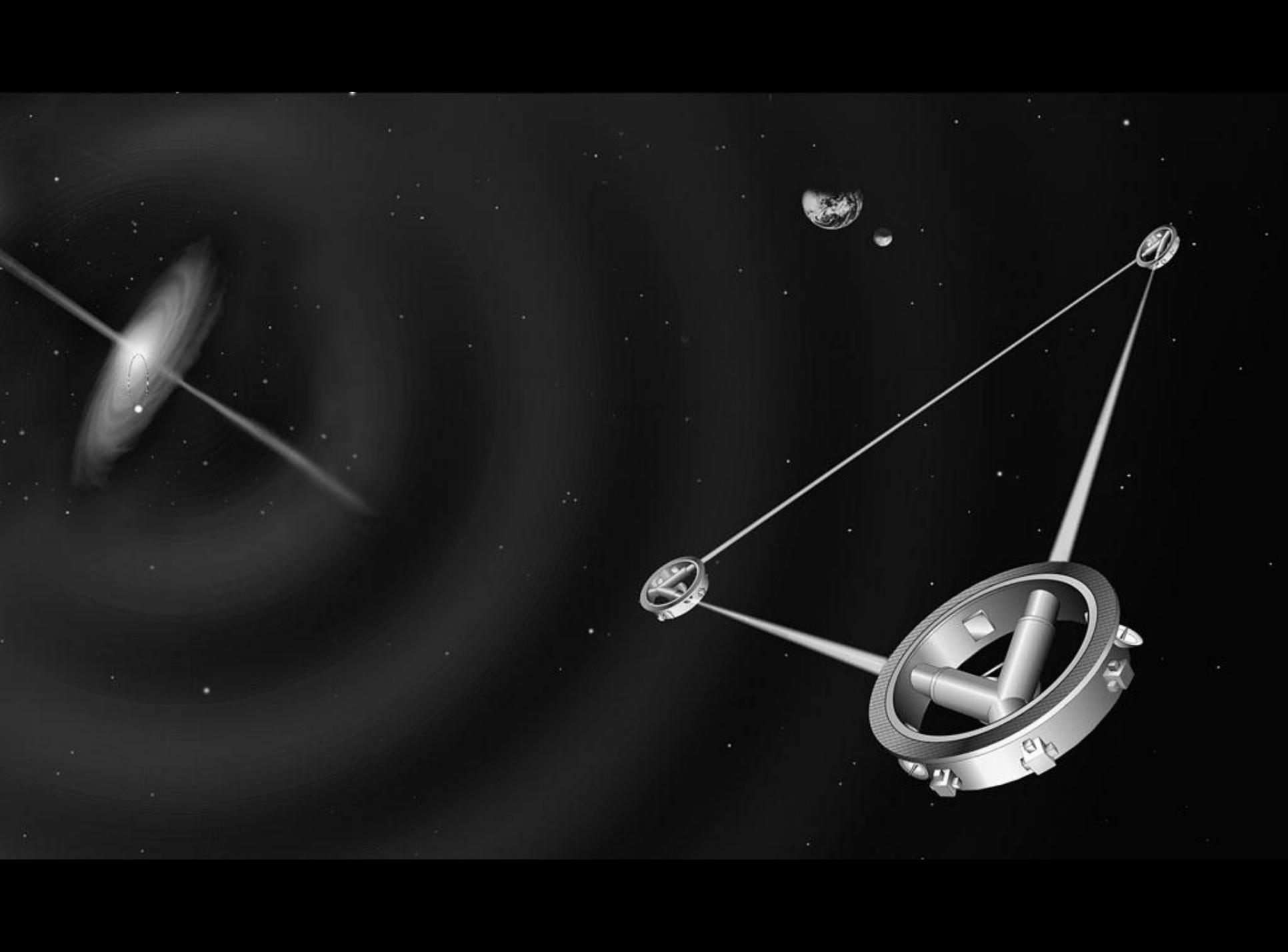
Научные результаты

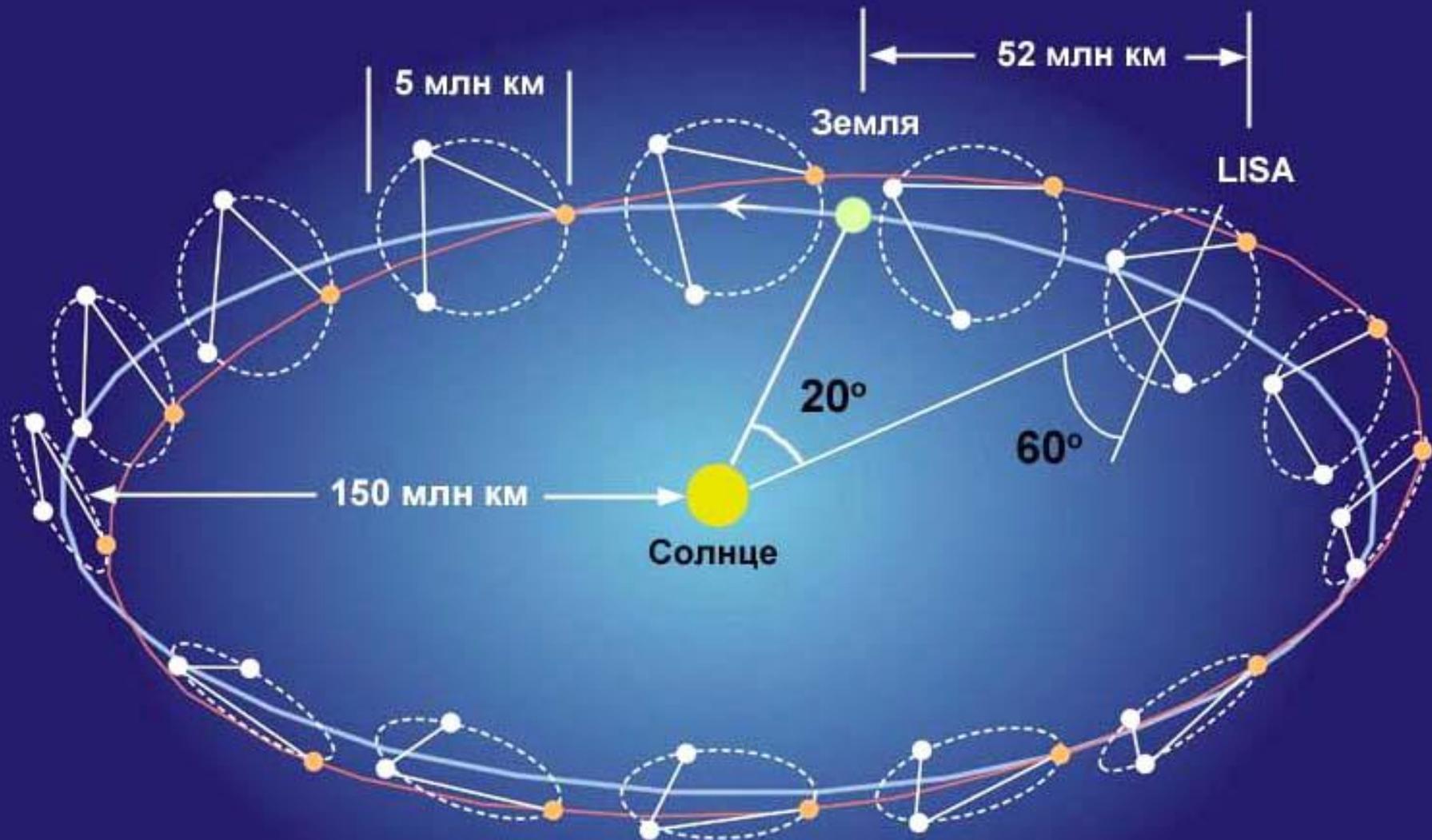
- Прямое обнаружение гравитационных волн.
- Прямое доказательство поперечности гравитационных волн
- Открытие нового способа наблюдения за Вселенной (гравитационно-волновая астрономия).
- Объяснение проблемы гравитационного дальнего действия.
- Прямое доказательство существования чёрных дыр.
- Прямое доказательство существования двойных чёрных дыр.
- Доказательство правильности геометрического подхода к гравитации, на котором базируется ОТО
- Обнаружение самой тяжелой из когда-либо наблюдавшихся чёрных дыр звездных масс.
- Установлен верхний предел массы гравитона (10^{-55} грамм)

Вклад российских ученых

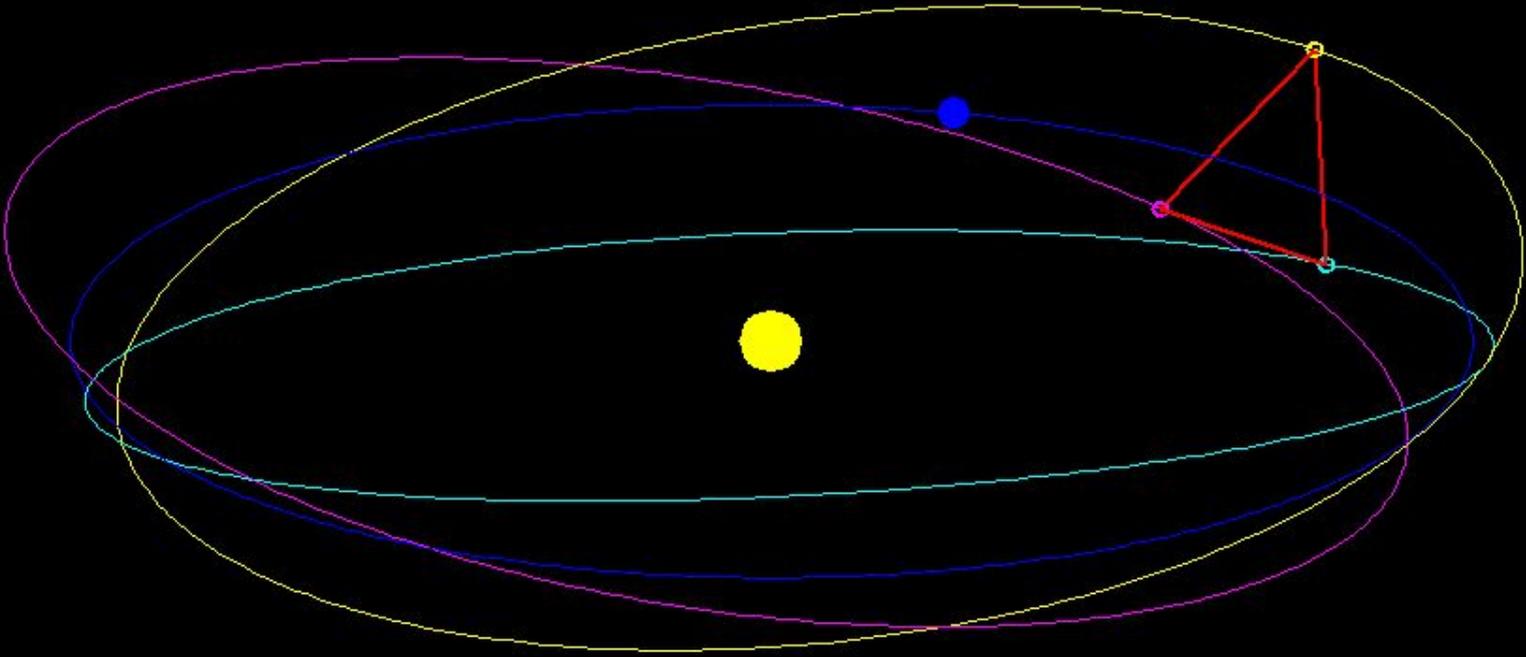
Группа В.Б.Брагинского (МГУ)

Группа А.М.Сергеева (ИПФ РАН, Н.Новгород)





LISA = Laser Interferometer Space Antenna





В начале XXI века астрономия остается в авангарде естествознания. Вместе с физиками астрономы работают над фундаментальными проблемами, способными изменить наше представление о природе. До сих пор не раскрыты тайны «темного вещества», составляющего основную массу галактик, и «темной энергии», ускоряющей расширение Вселенной. Не выяснены механизмы взрывов звезд и активности ядер галактик. Нет общепринятых теорий происхождения планет, галактик и самой Вселенной. Но работа во всех этих направлениях идет в нарастающем темпе, и каждый день приносит удивительные открытия.



НЕБО И ТЕЛЕСКОП



АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

НЕБО И ТЕЛЕСКОП



ISBN 978-5-9221-1496-0



9 785922 114960