

Современное состояние и развитие астрономических методов исследования



Сурдин В. Г. ГАИШ МГУ



Чего мы хотим от оптики?

- ▶ Различить
мелкие детали

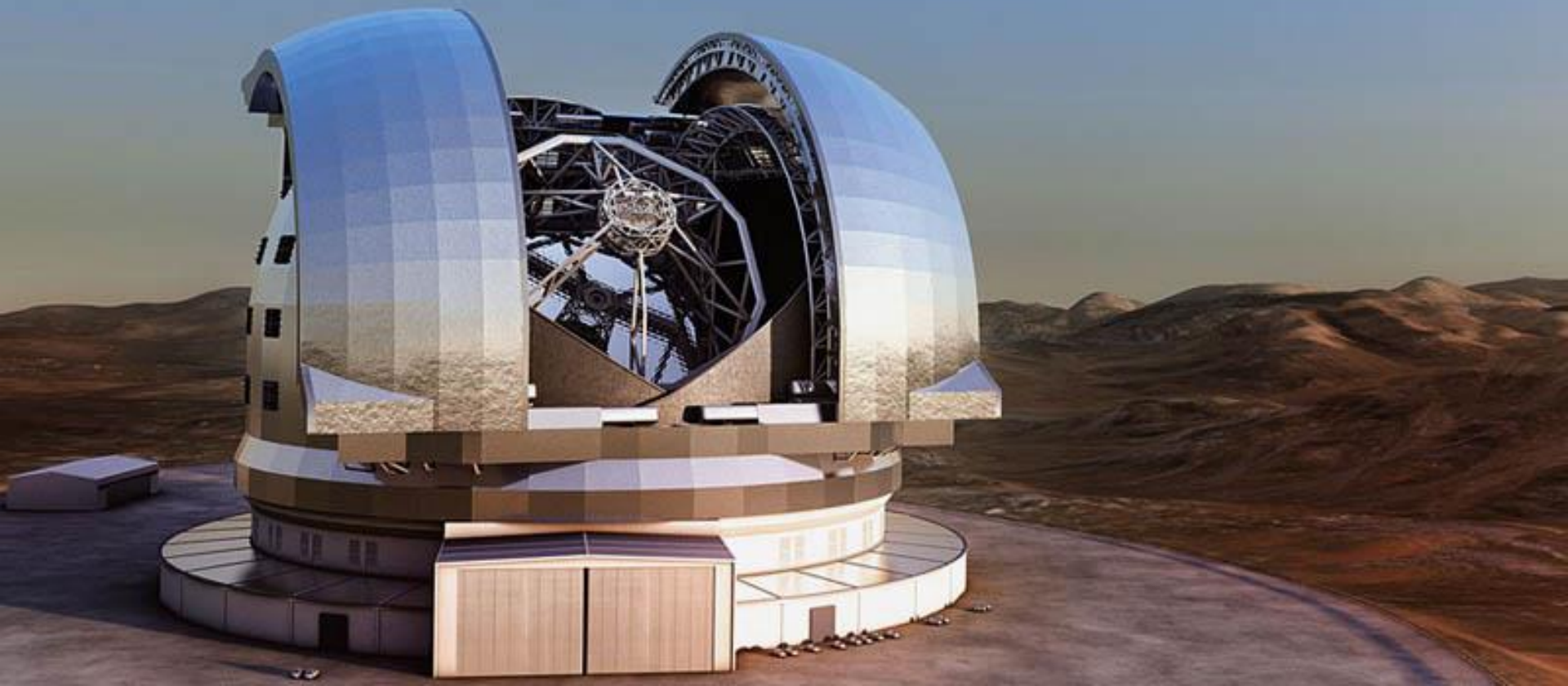


- ▶ Заметить
тусклые объекты

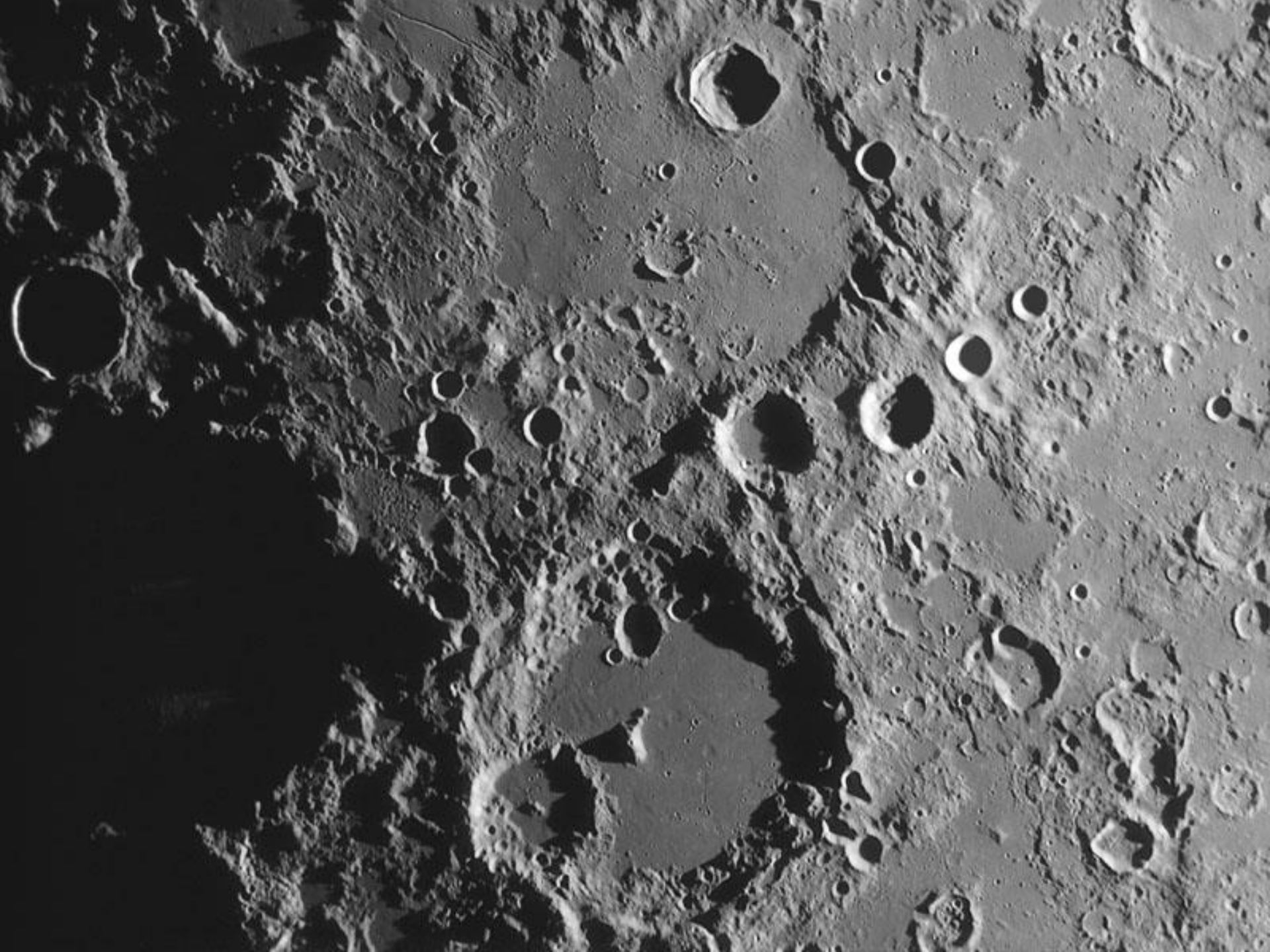


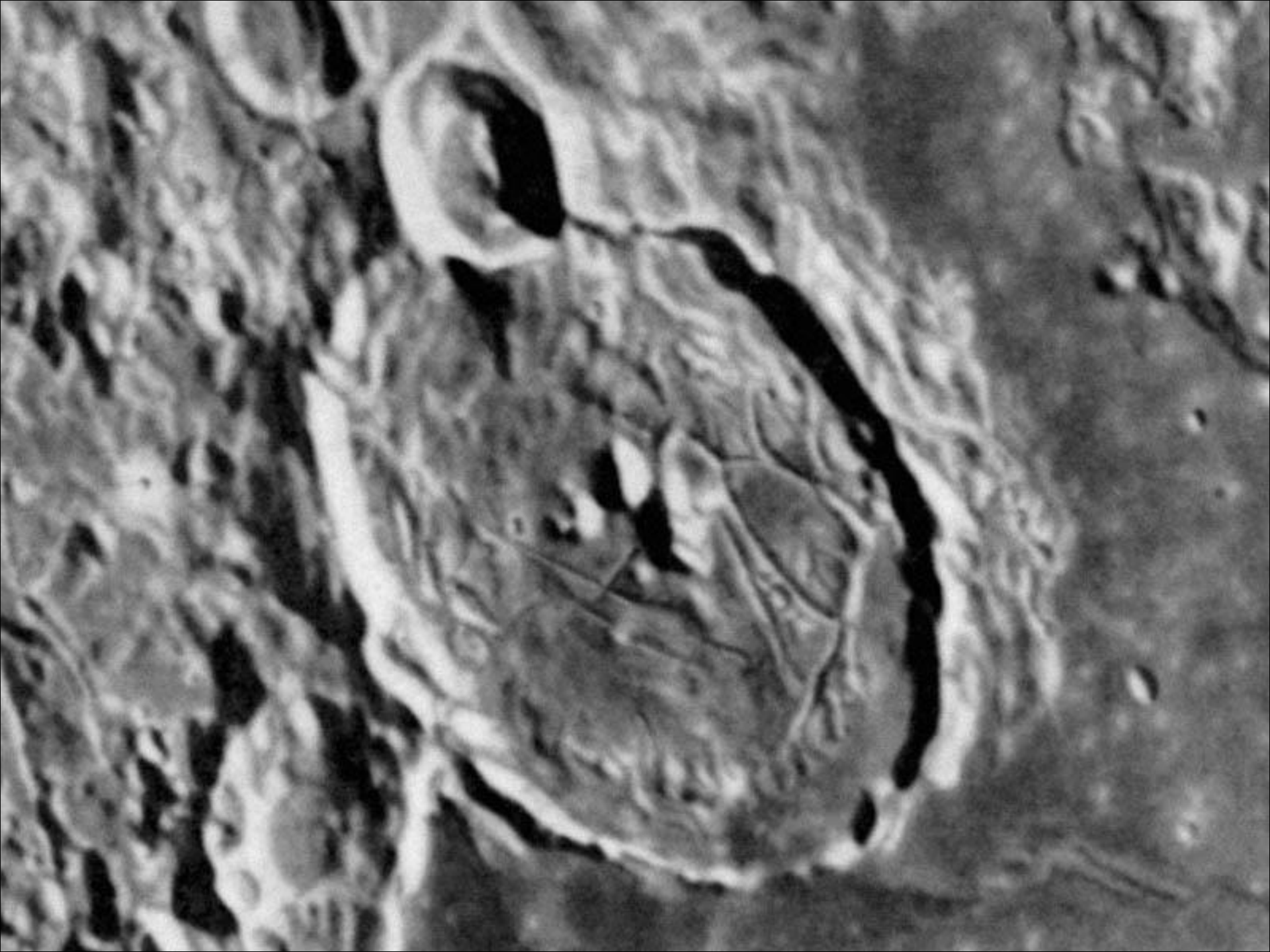
Чего мы хотим от телескопа?

**Каждое мгновение
контролировать всё небо!**

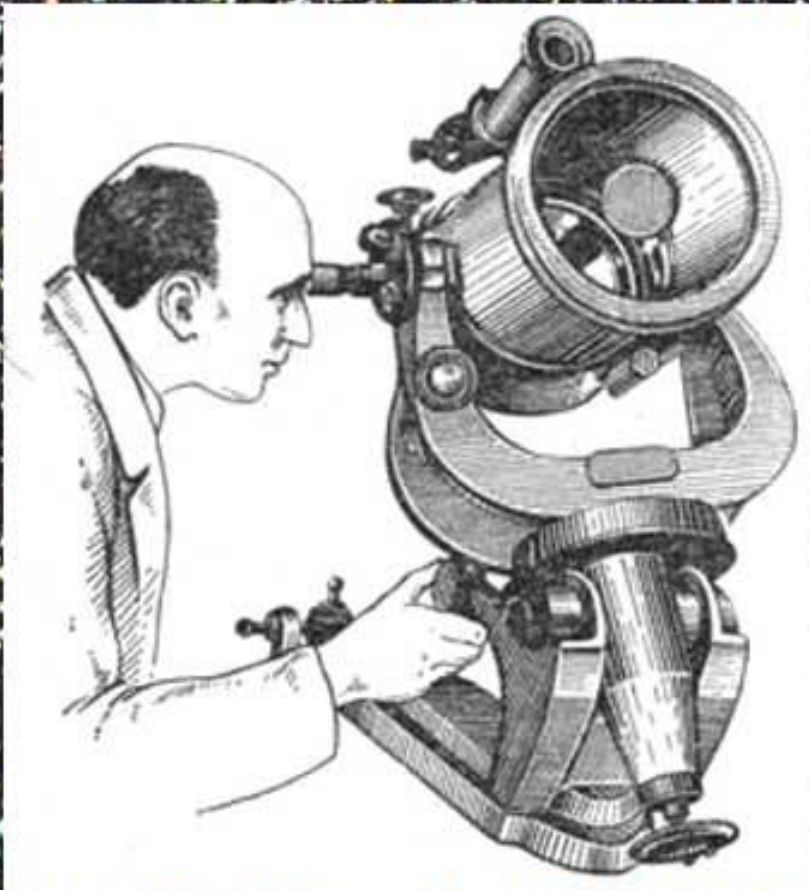


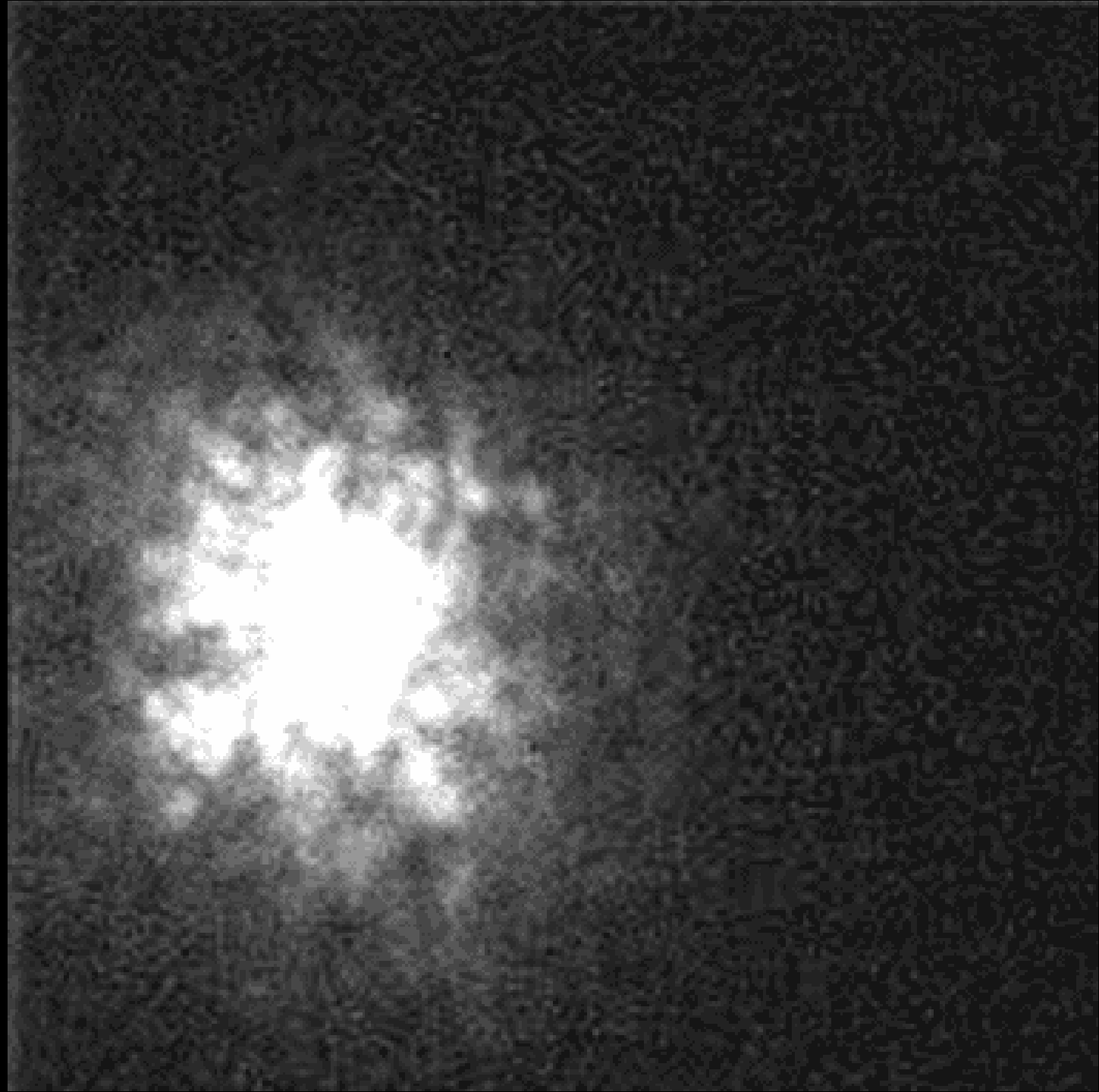
















Мауна-Кеа, о.Гавайи, 4130 м







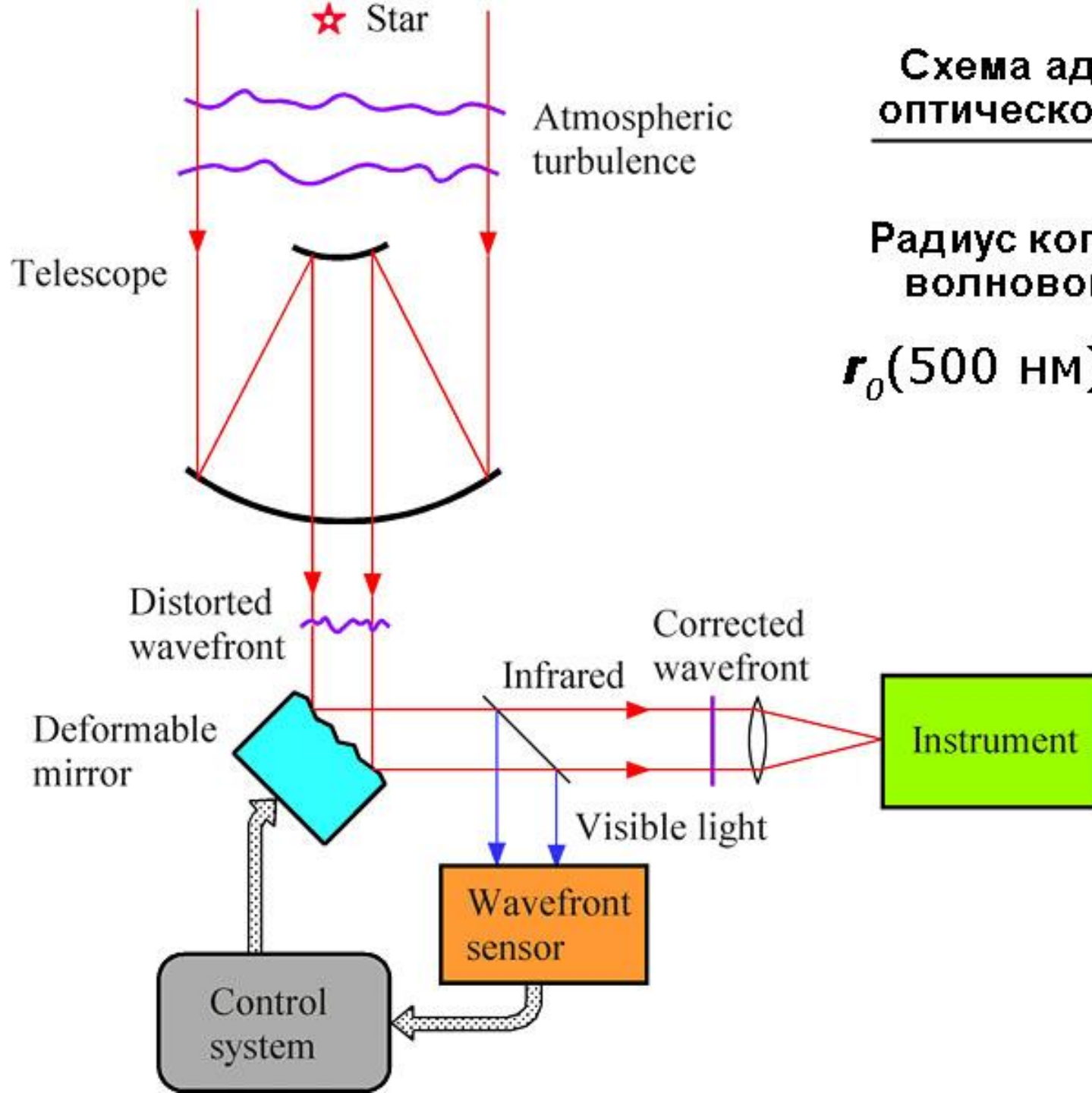
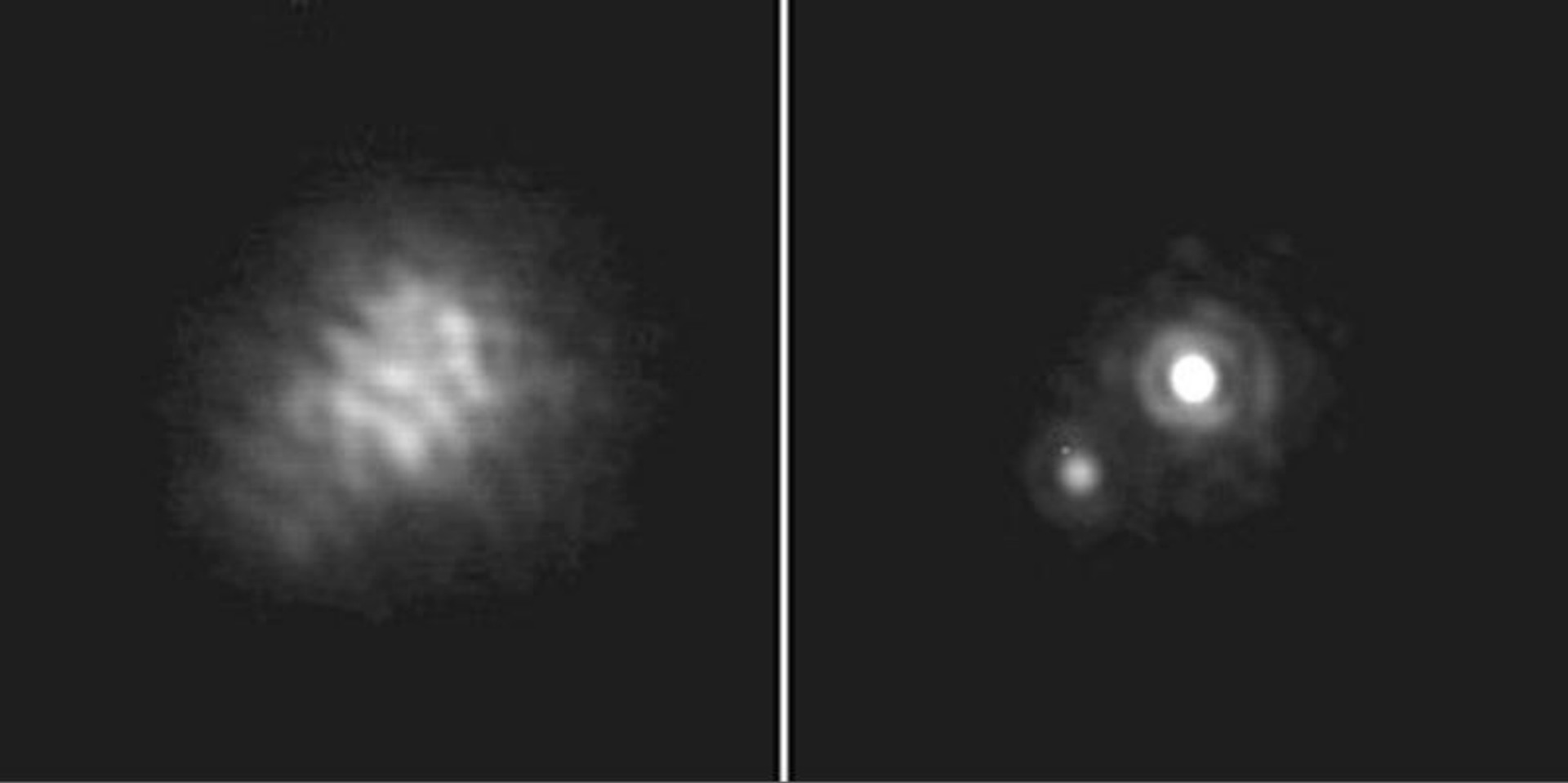


Схема адаптивной оптической системы

Радиус когерентности
волнового фронта

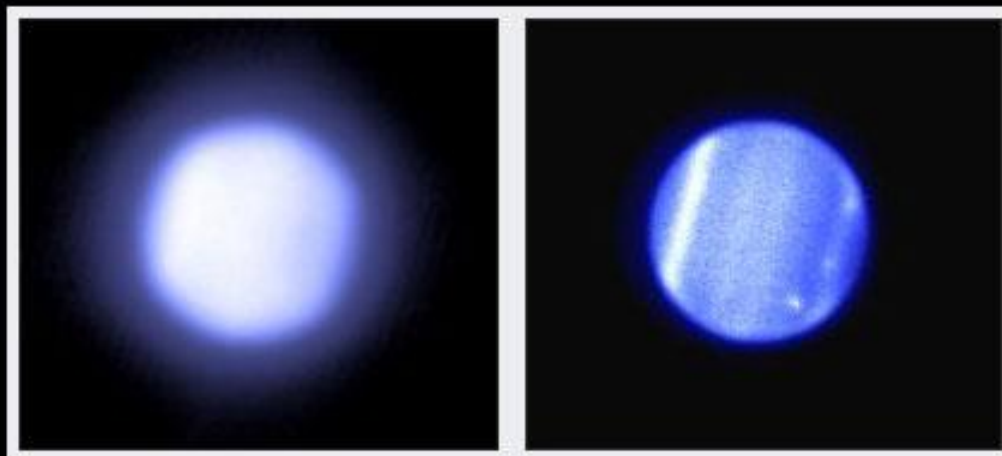
$$r_0(500 \text{ нм}) = \mathbf{2-20 \text{ см}}$$



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

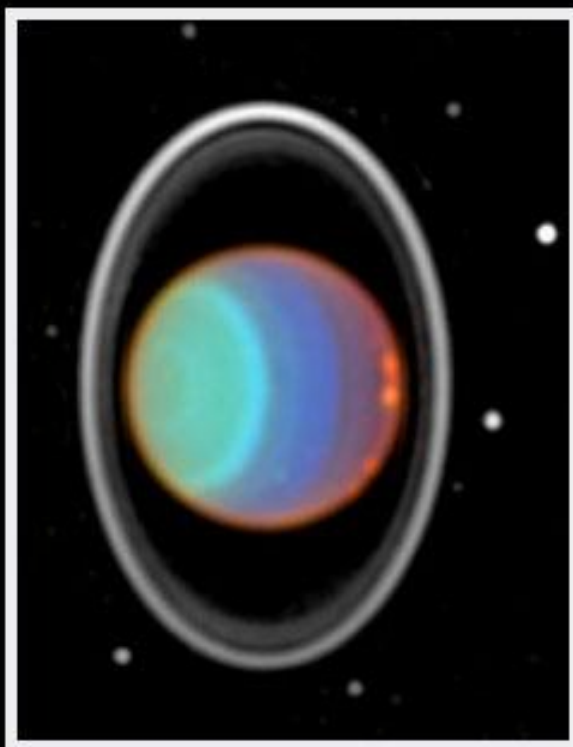
Планета Уран

До включения



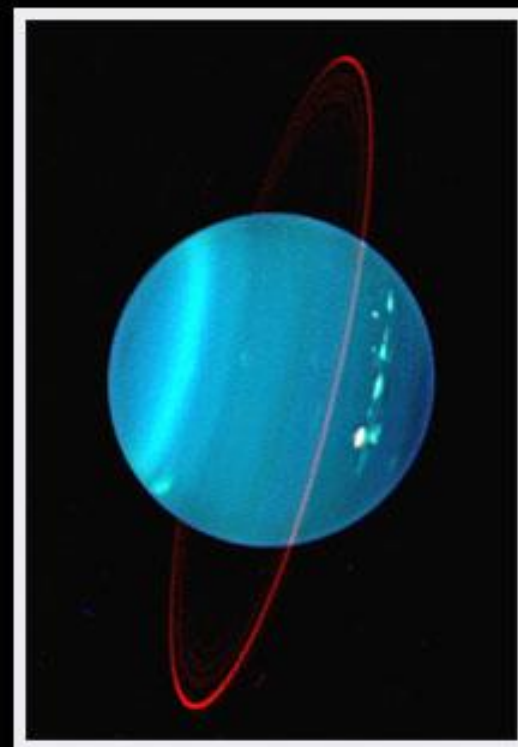
После включения

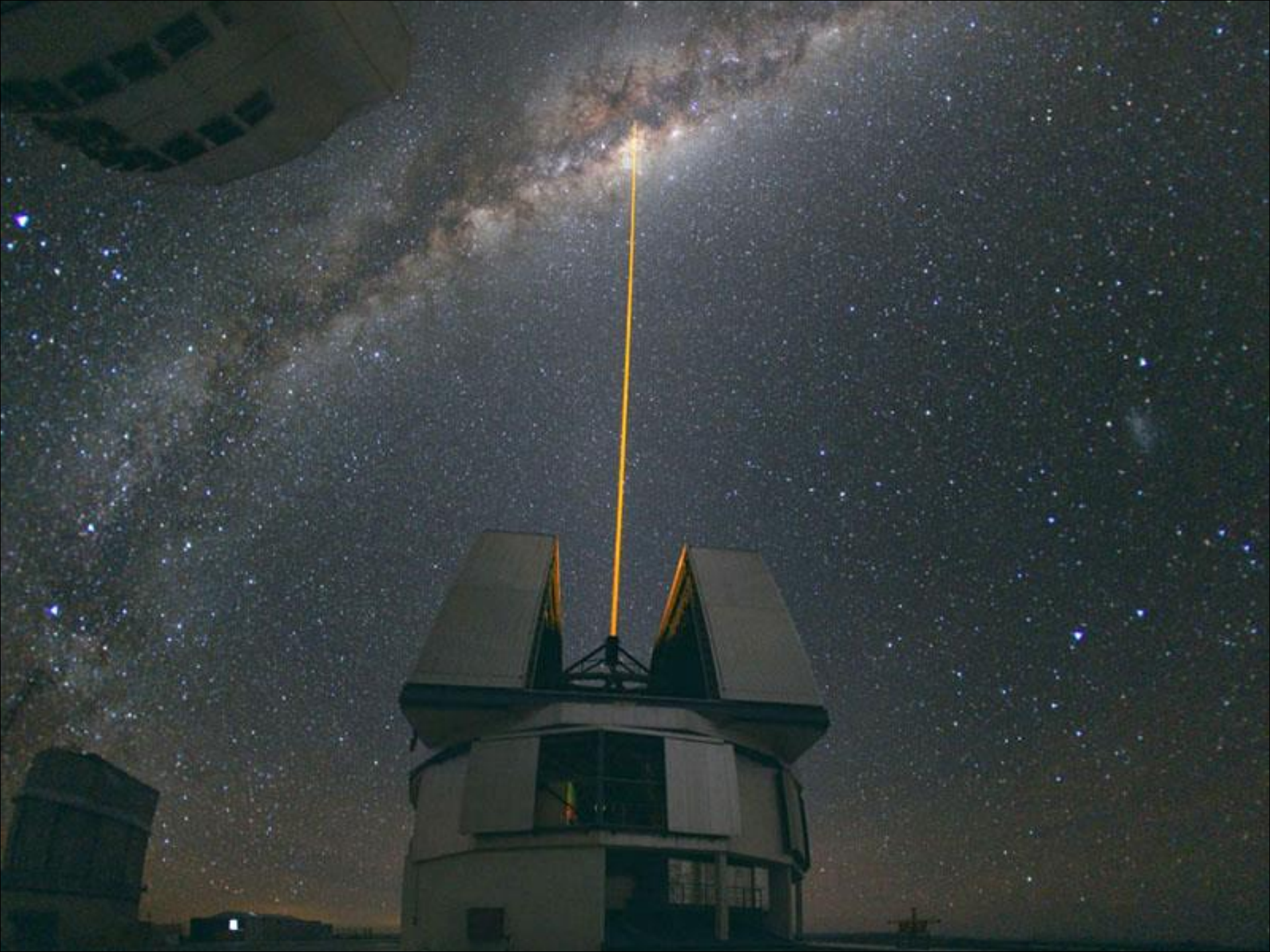
Система адаптивной оптики



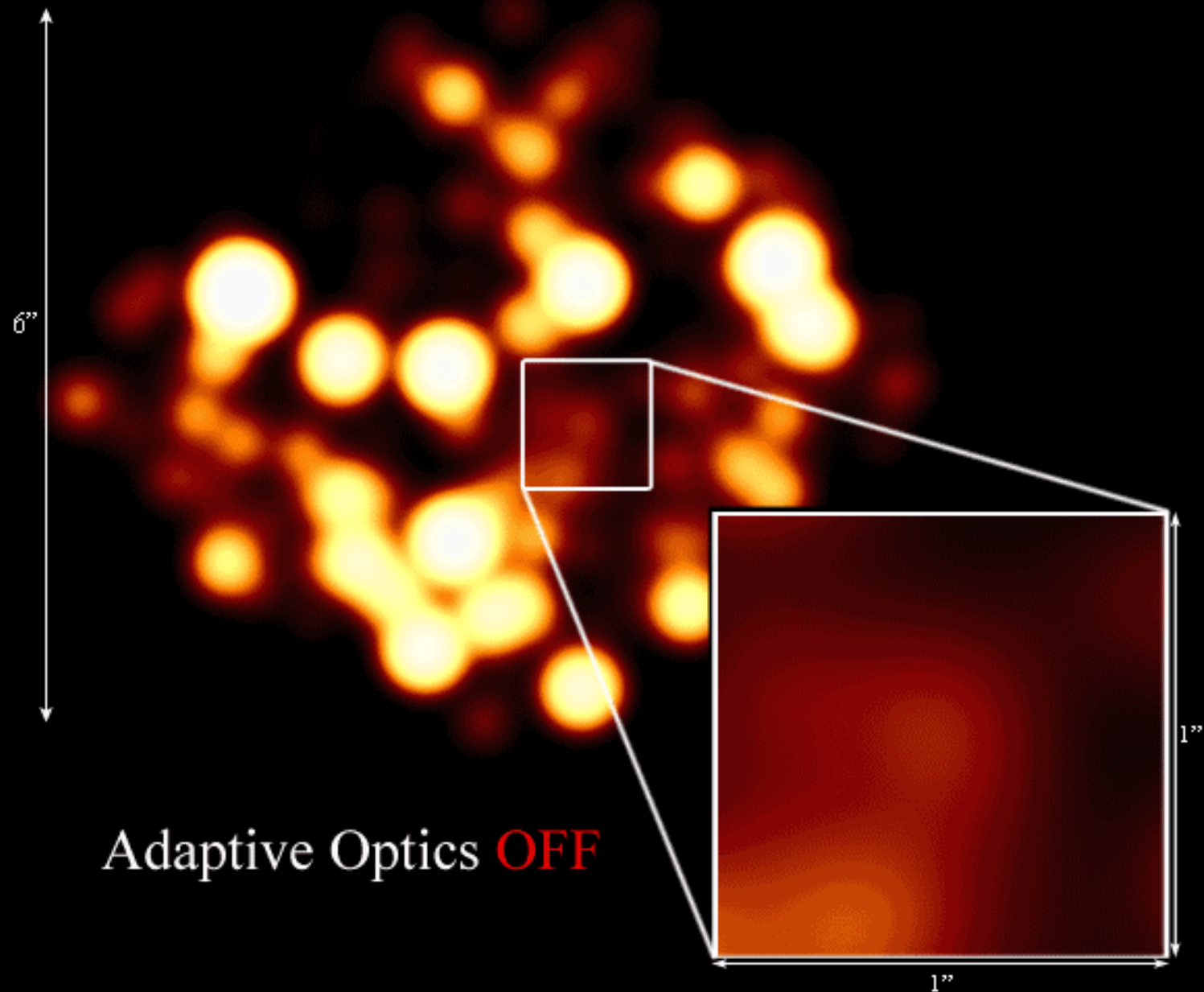
Космический
телескоп
“Хаббл”

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

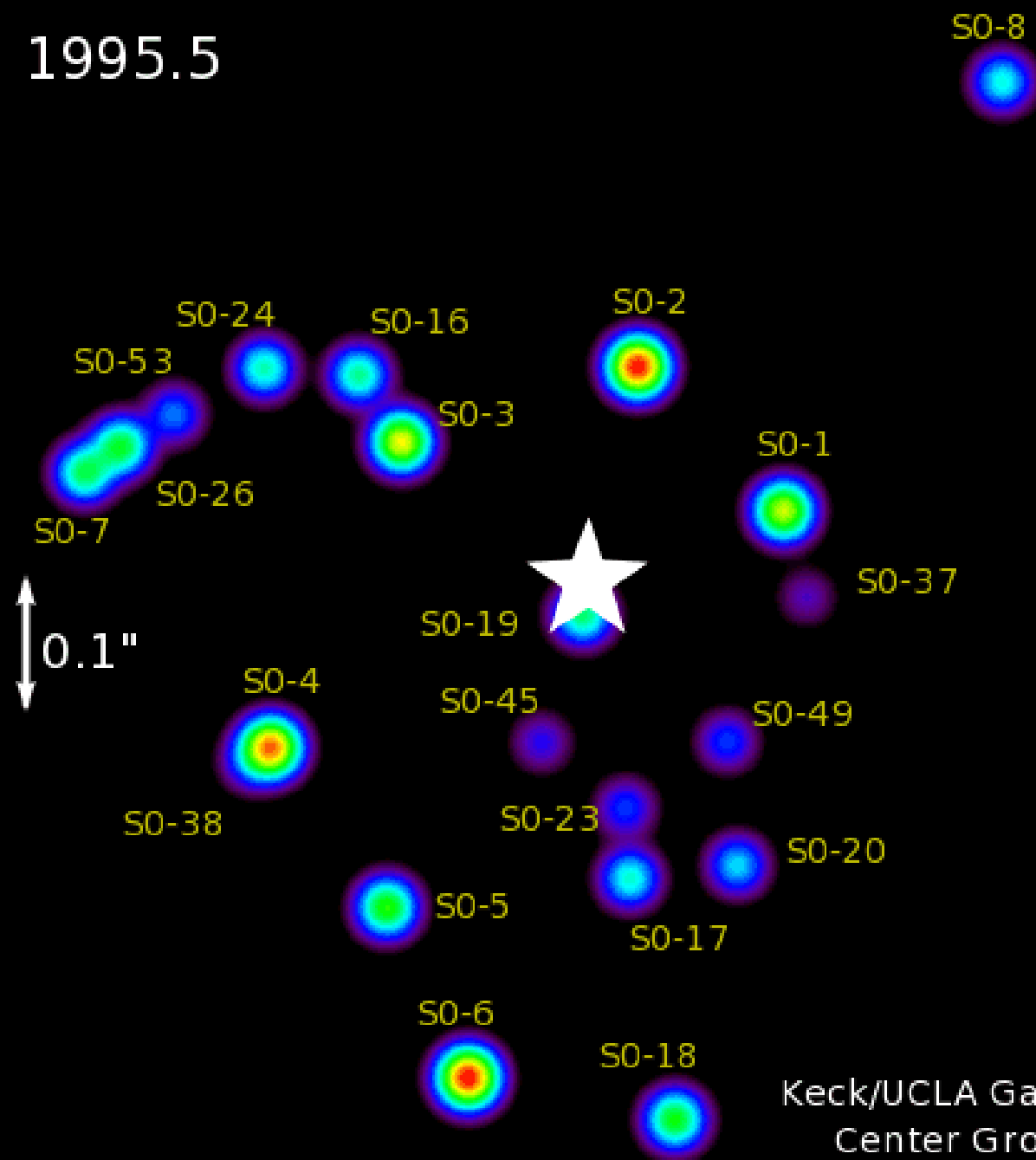




The Galactic Center at 2.2 microns

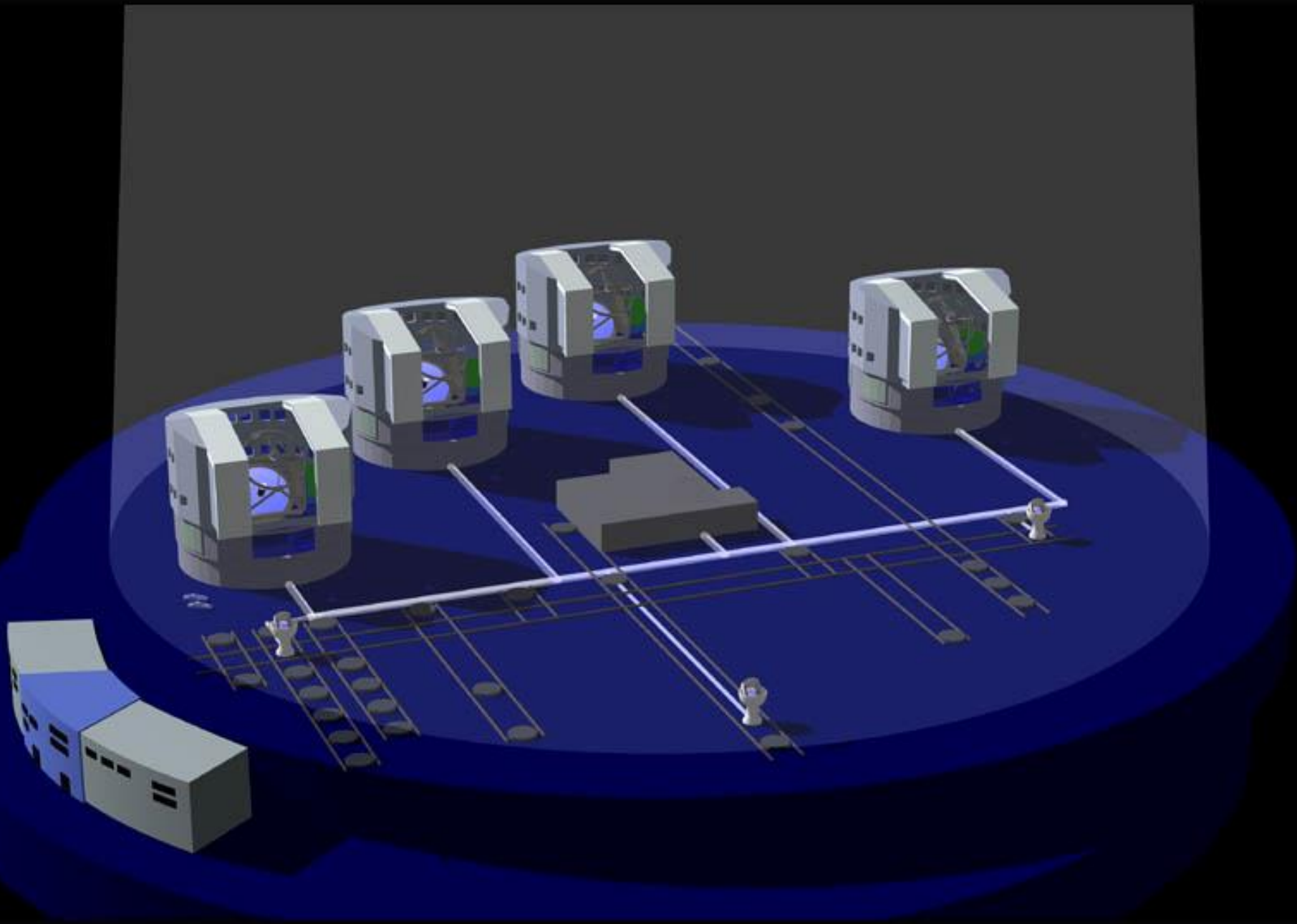


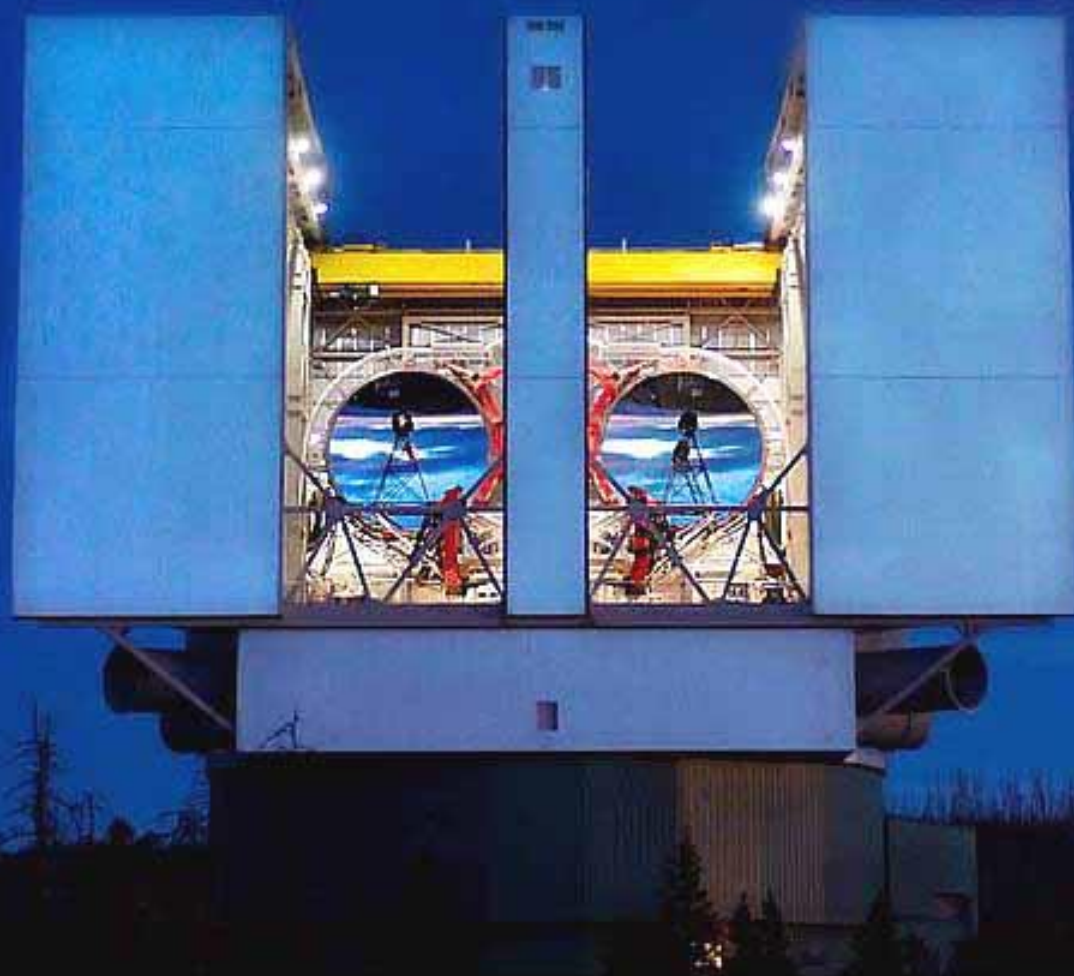
1995.5



Keck/UCLA Galactic
Center Group







Large Binocular Telescope 2 x 8,4 m

Маунт Грэхем, Аризона



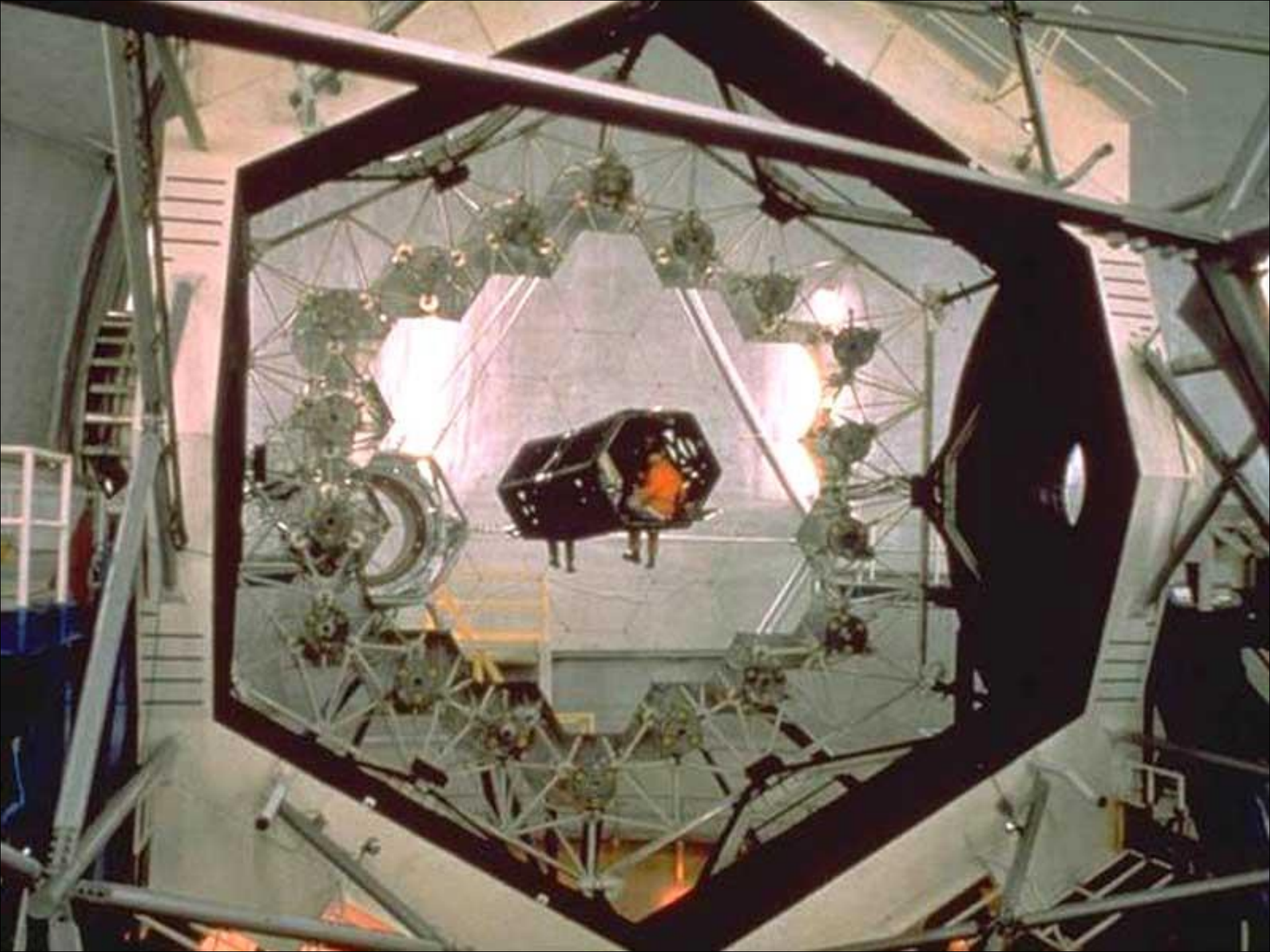
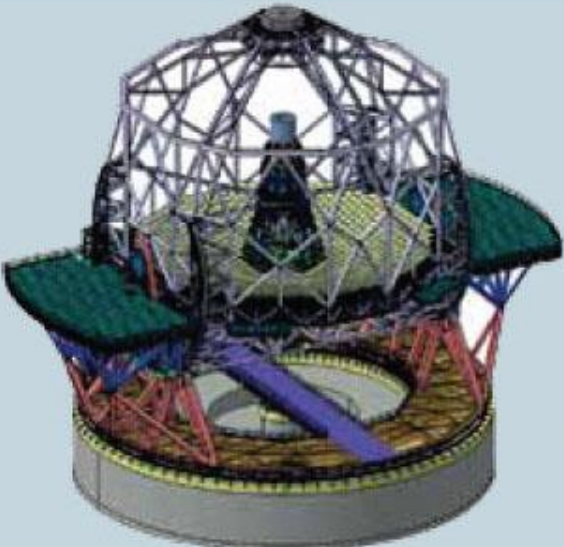
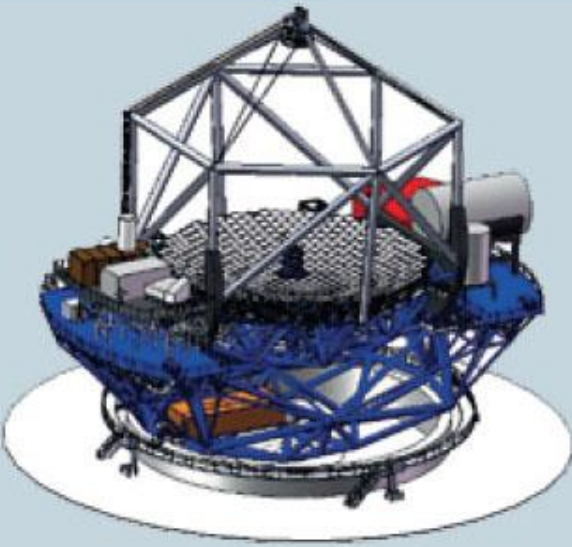
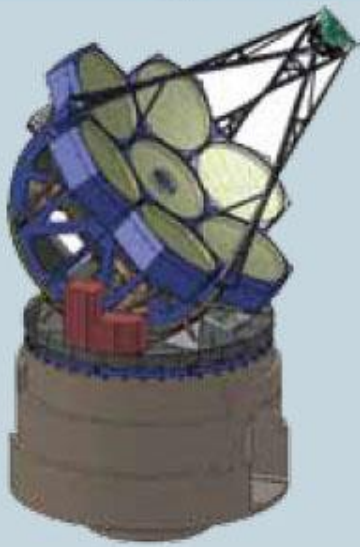
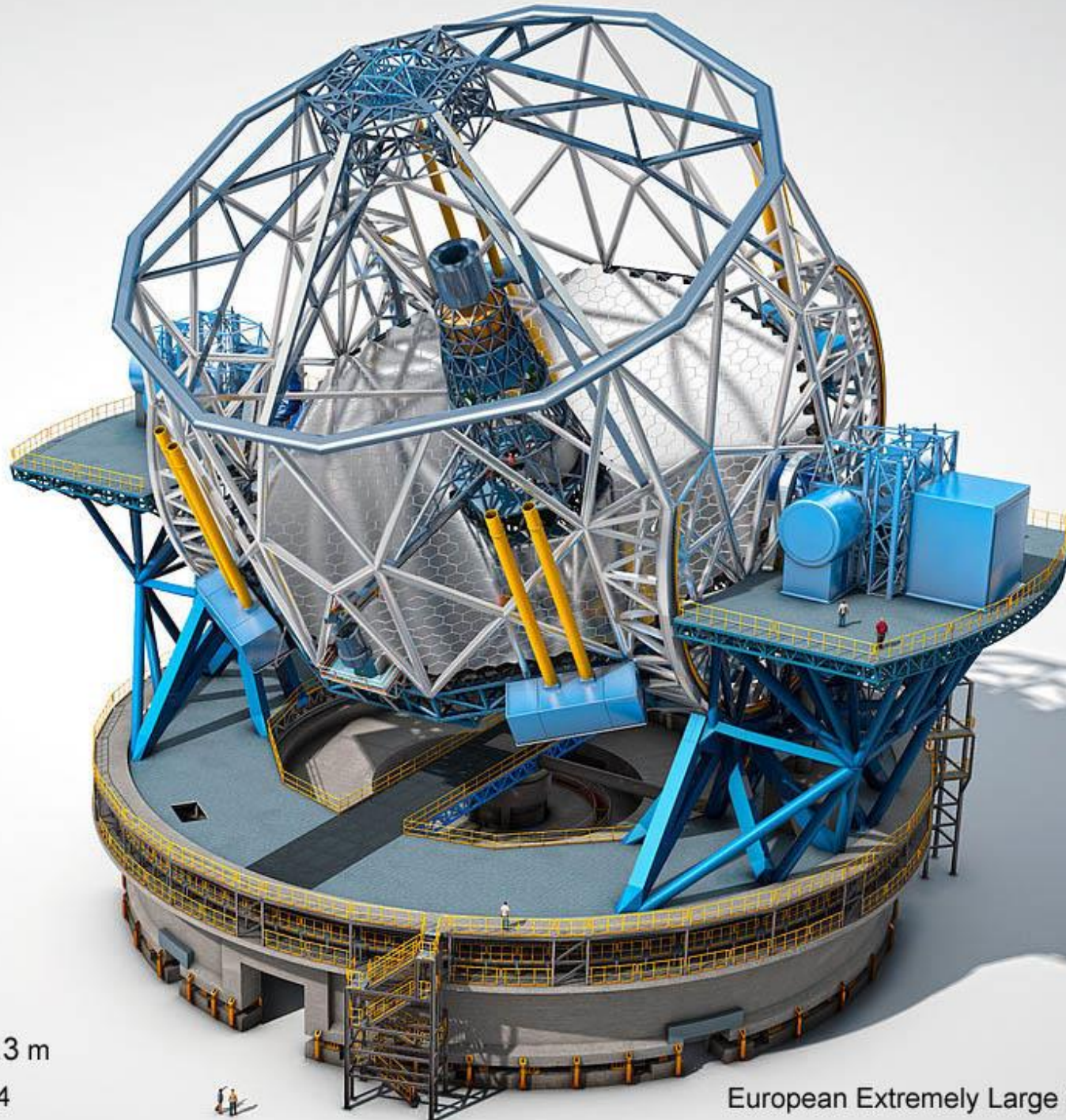




Table 1: The giant telescopes 2012

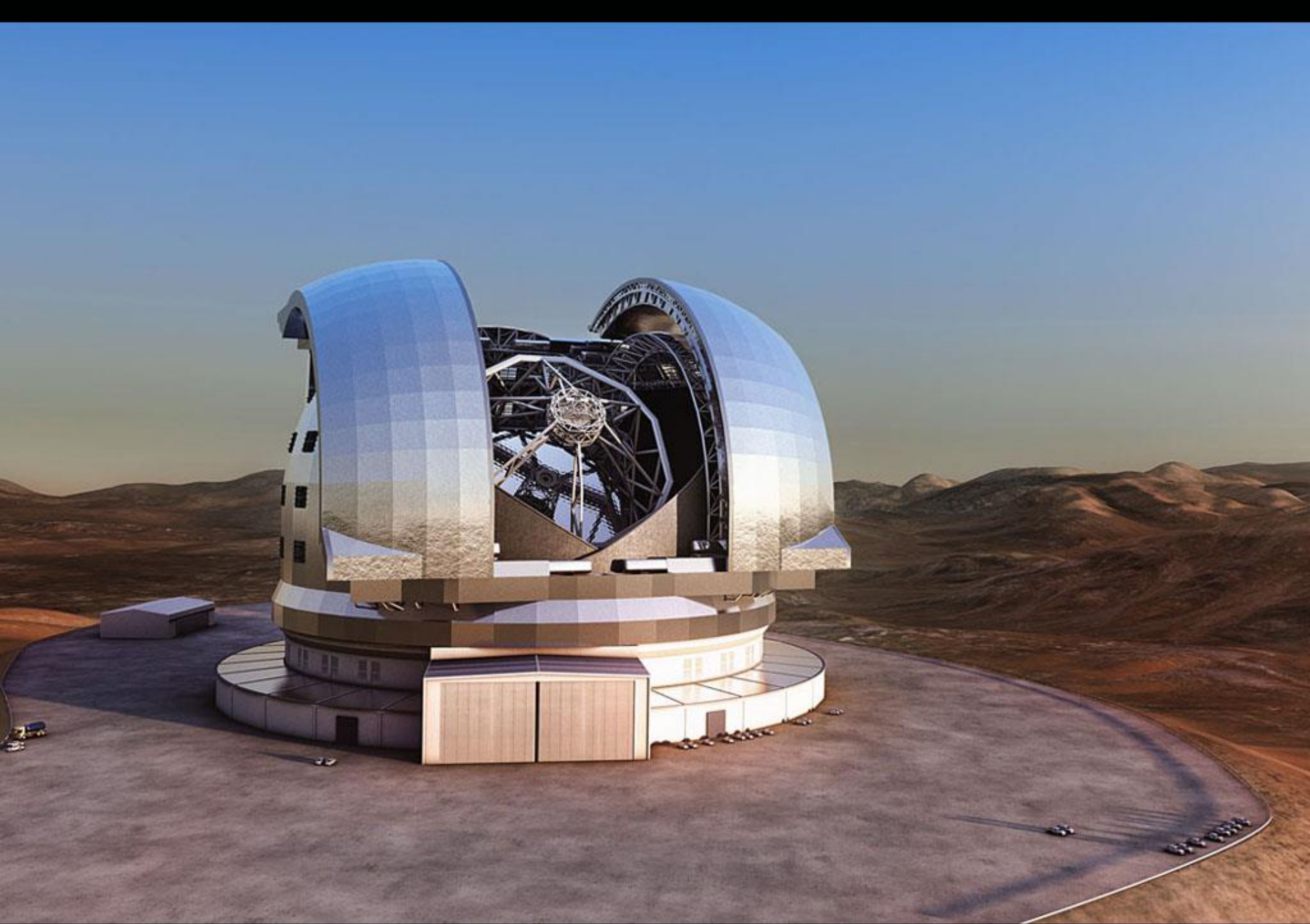
	E-ELT	TMT	GMT
			
aperture	39m filled aperture	30m filled aperture	25.4m unfilled aperture
primary	798 × 1.4m segments	492 × 1.4m segments	7 × 8.4m BSG
site	Cerro Armazones, Chile	Mauna Kea, Hawaii	Las Campanas, Chile
field of view	10 arcminutes	15–20 arcminutes	20 arcminutes
wavelength	0.31–28 μ m	0.31–28 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.)

$D = 8,4 \text{ м}$

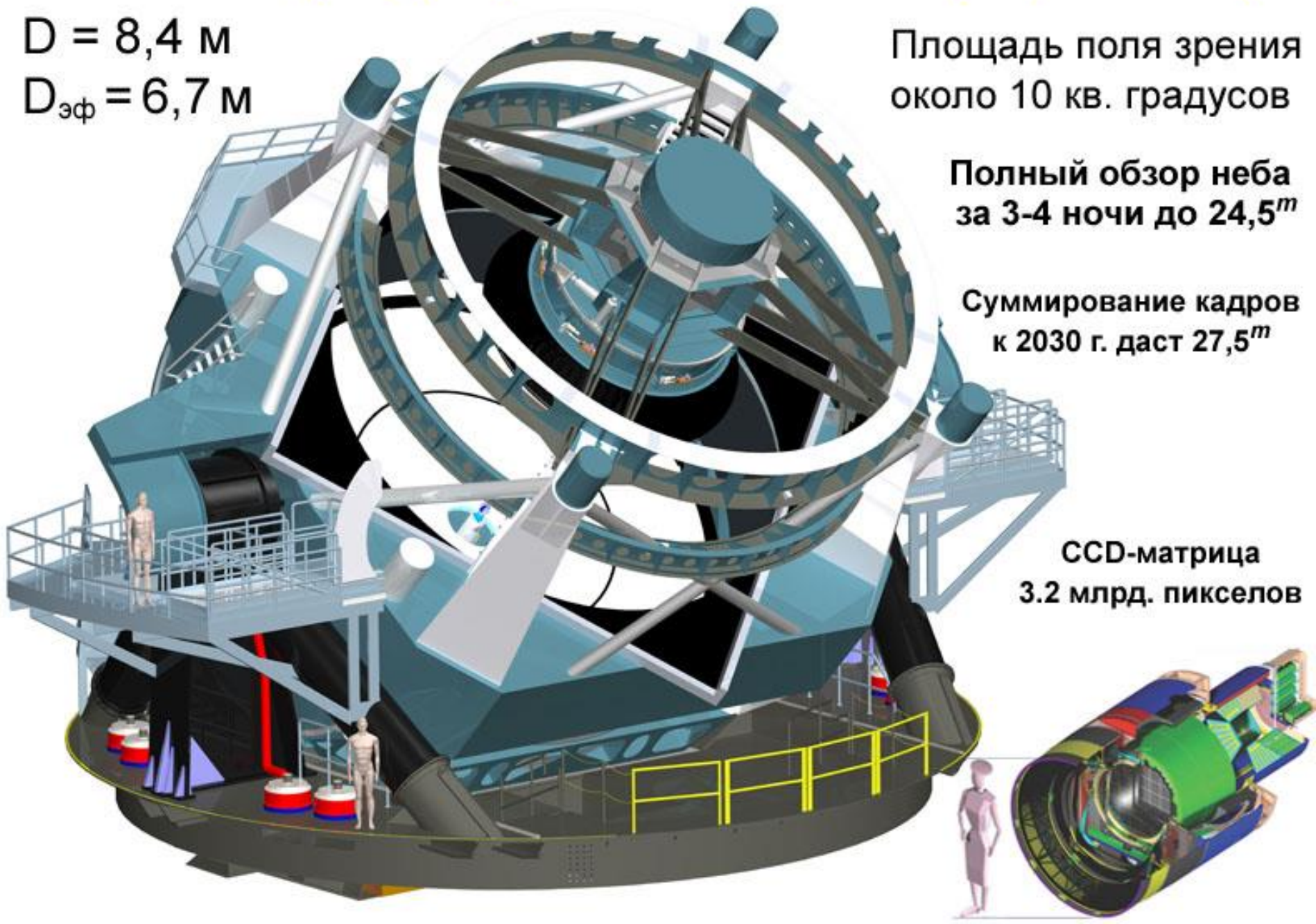
$D_{\text{эф}} = 6,7 \text{ м}$

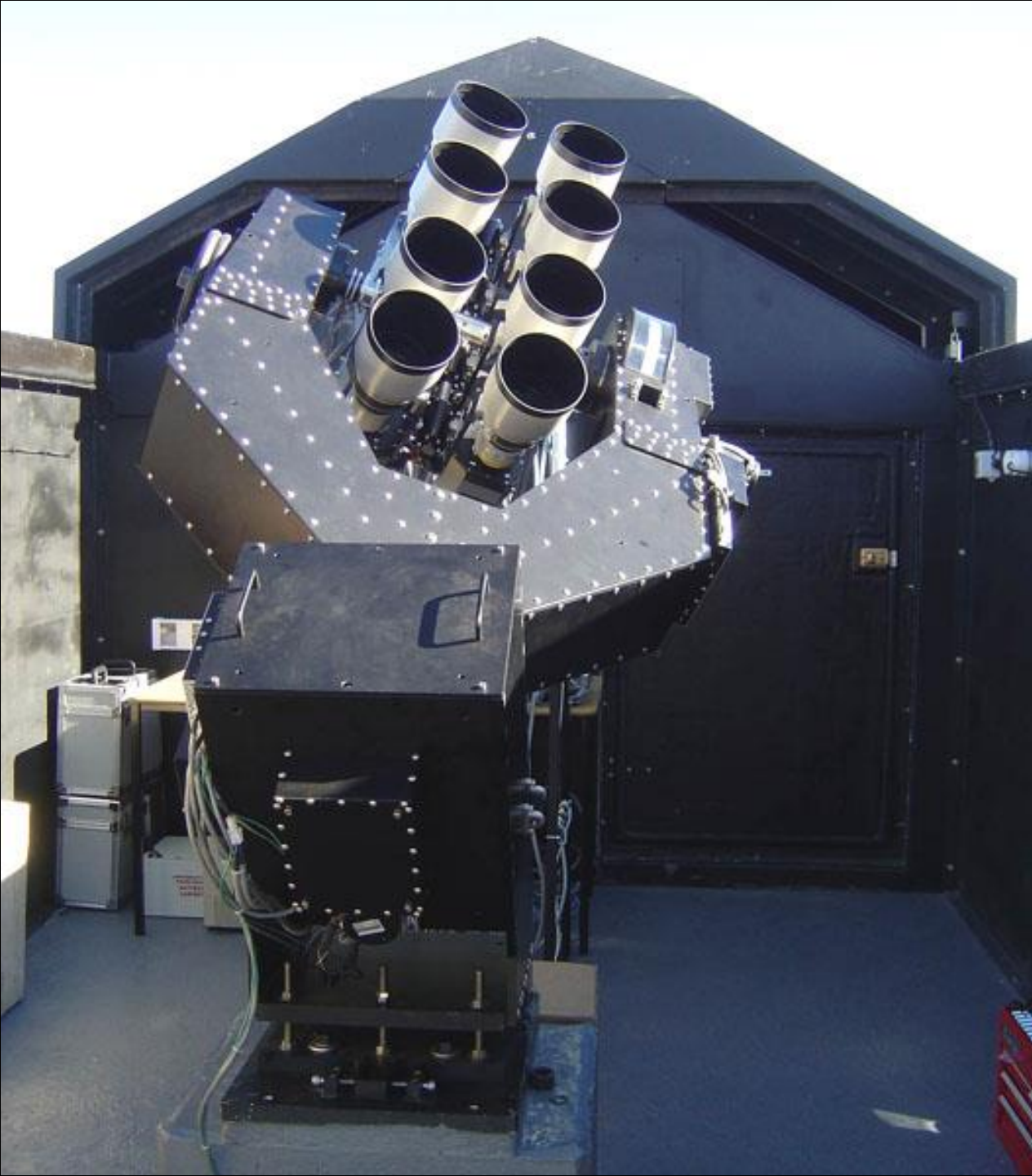
Площадь поля зрения
около 10 кв. градусов

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

Суммирование кадров
к 2030 г. даст 27,5^м

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.



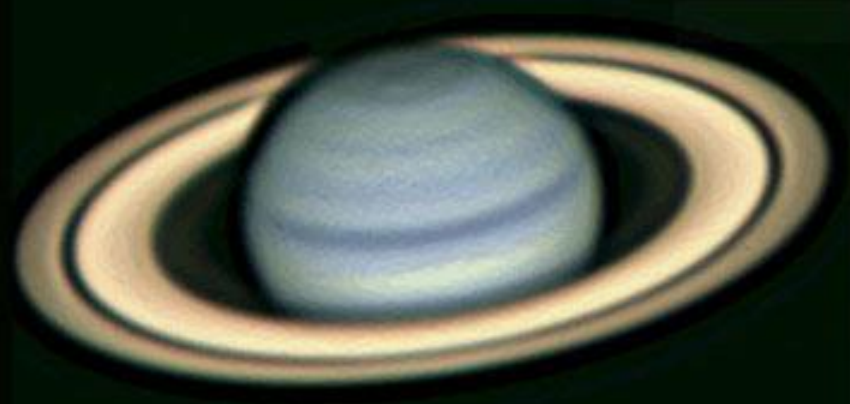
Телескоп квалифицированного астронома-любителя

Лучшие снимки
доцифровой эпохи



Любительский

Современный любительский
цифровой снимок



Профессиональный

Saturn - Nordic Optical Telescope

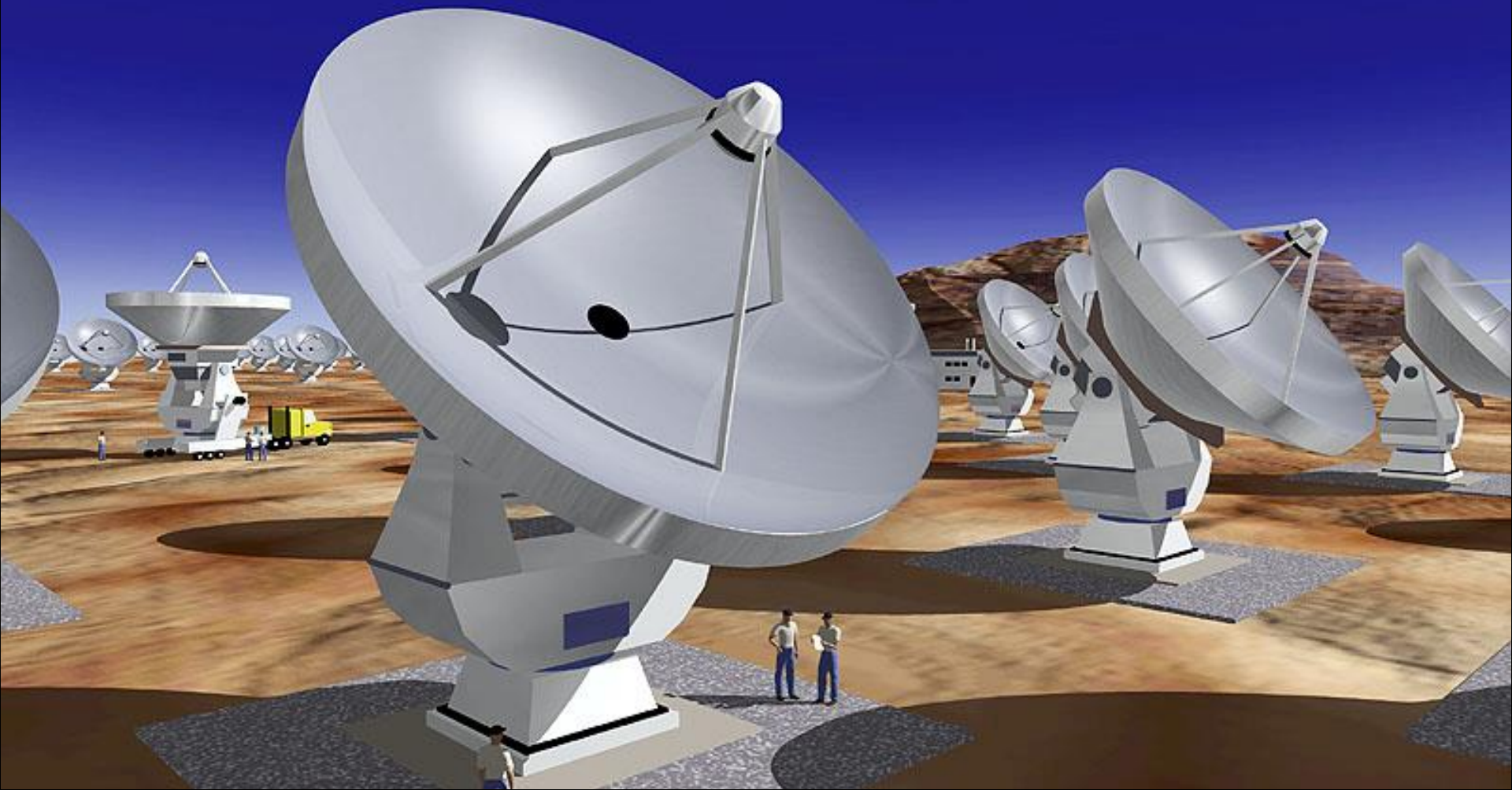
Телескоп Celestron 14"
CCD камера
Выбраны лучшие кадры
из 4800 экспозиций

14 March, 2011
05:07 UT

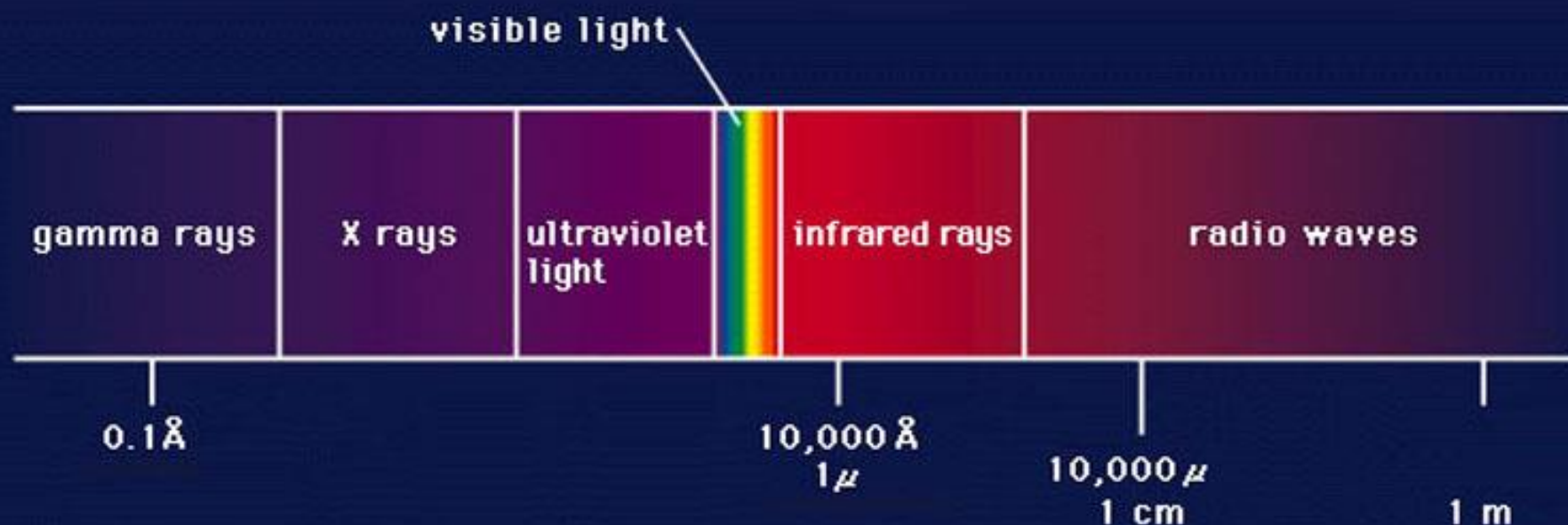
B. Combs
Buena Vista, GA USA



Неоптическая Астрономия

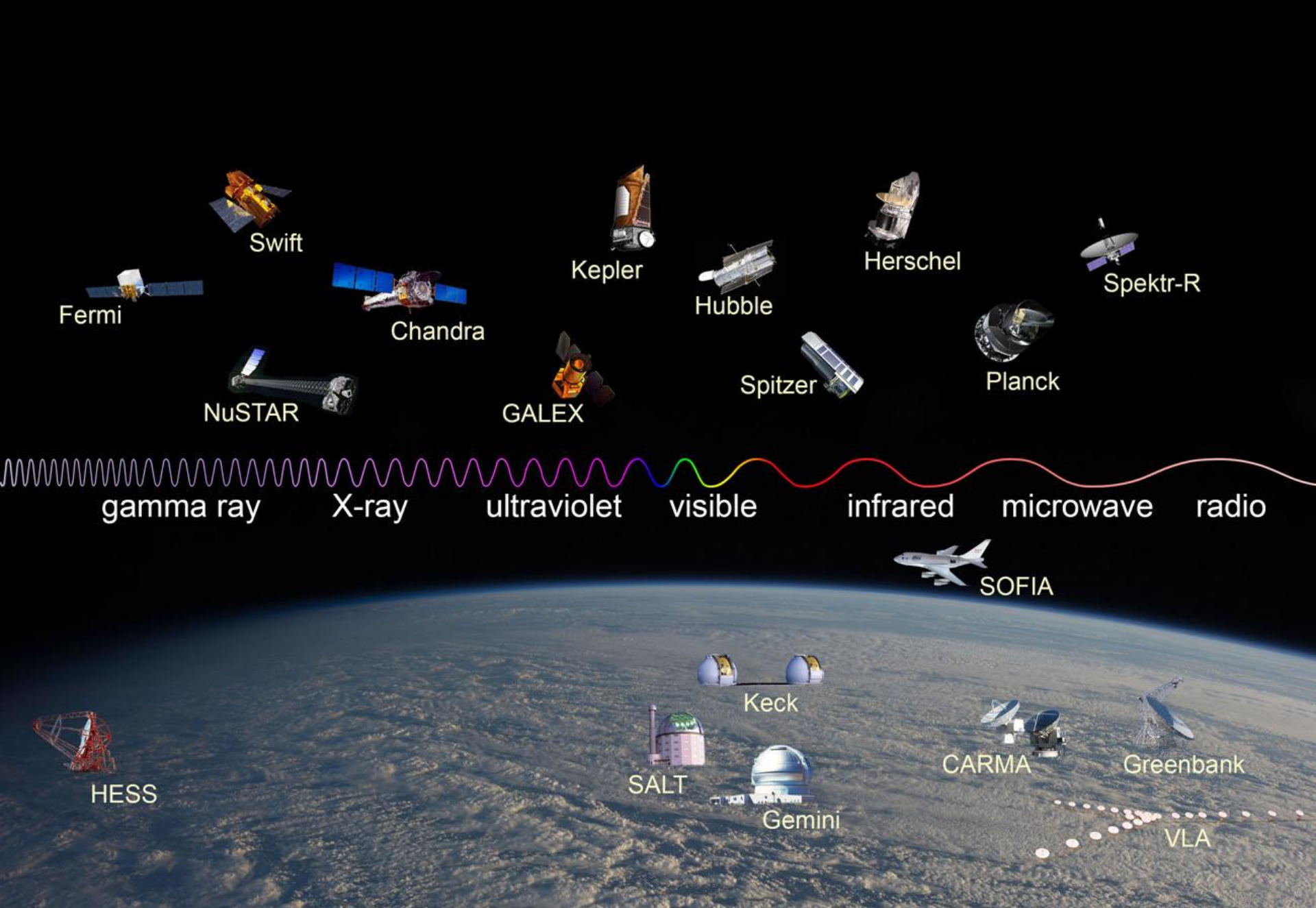


Электромагнитный спектр

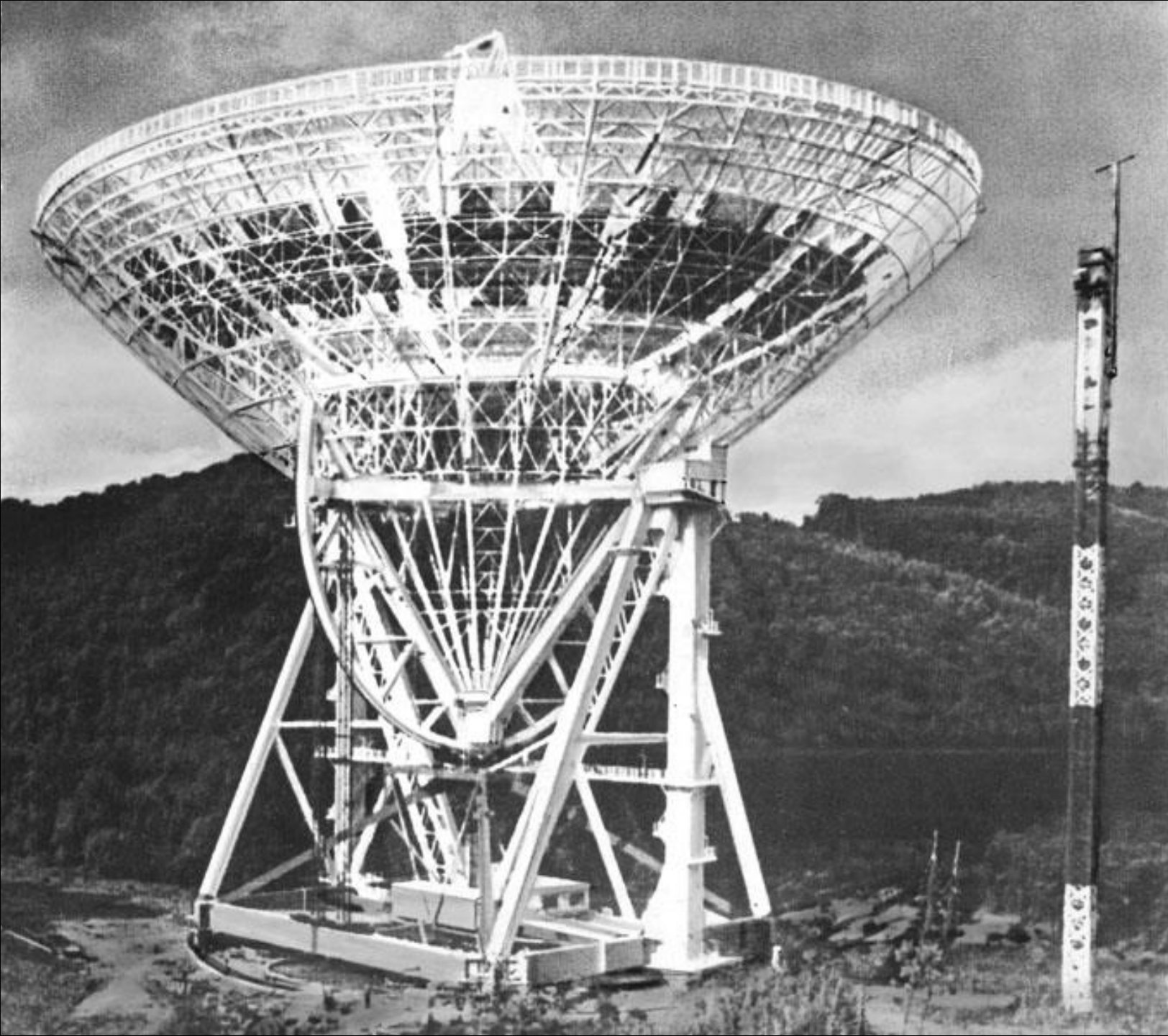


Видимый свет ($3500\text{-}7000 \text{ \AA}$) = 1 октава

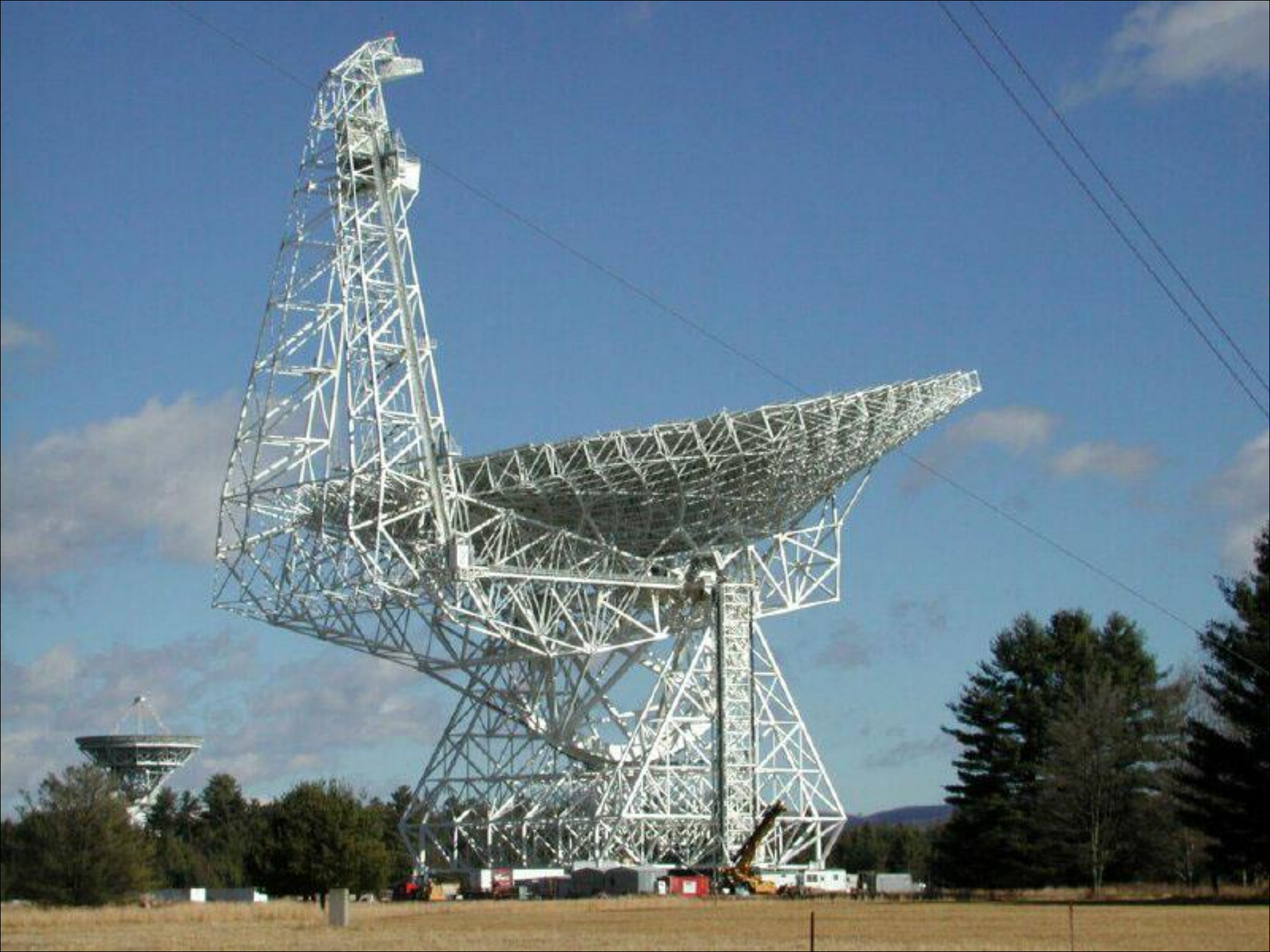
От гамма ($0,1 \text{ \AA}$) до радио (10 м) = 40 октав







100-м
Германия



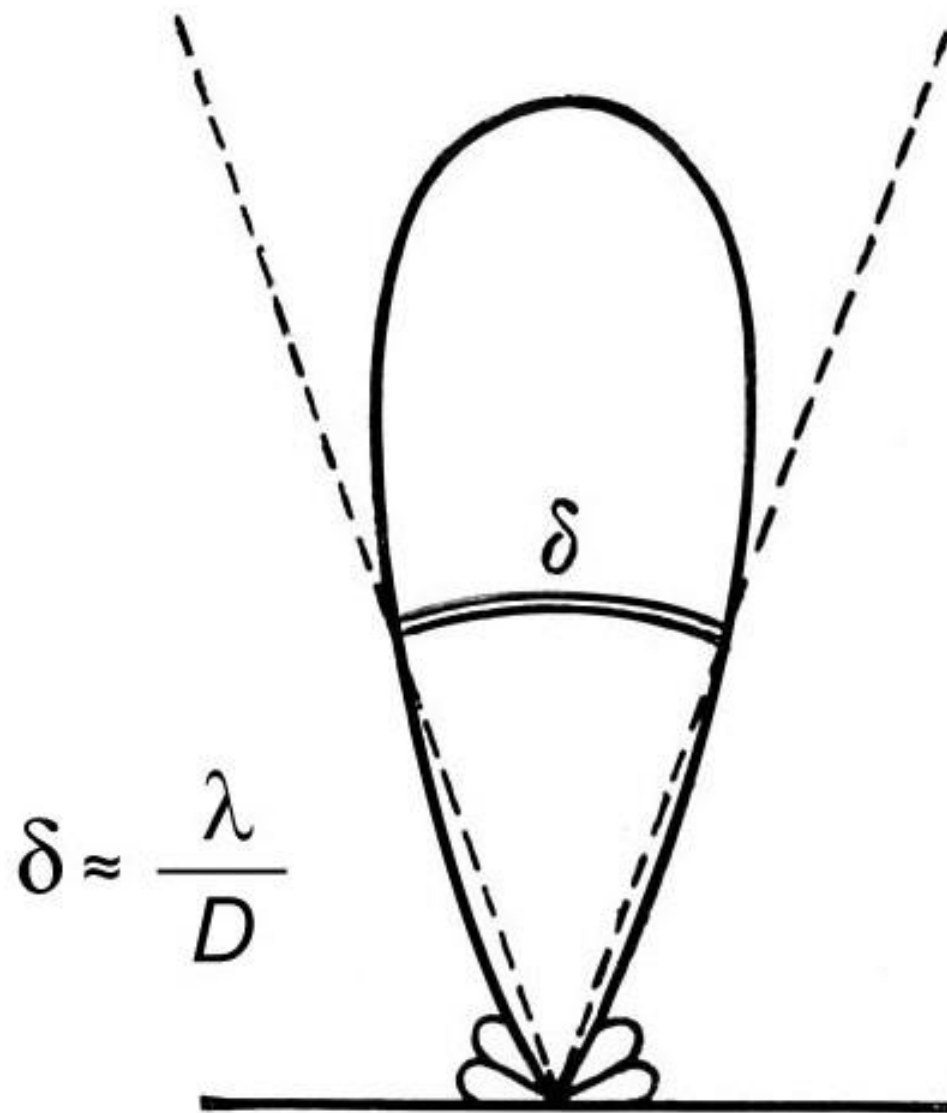
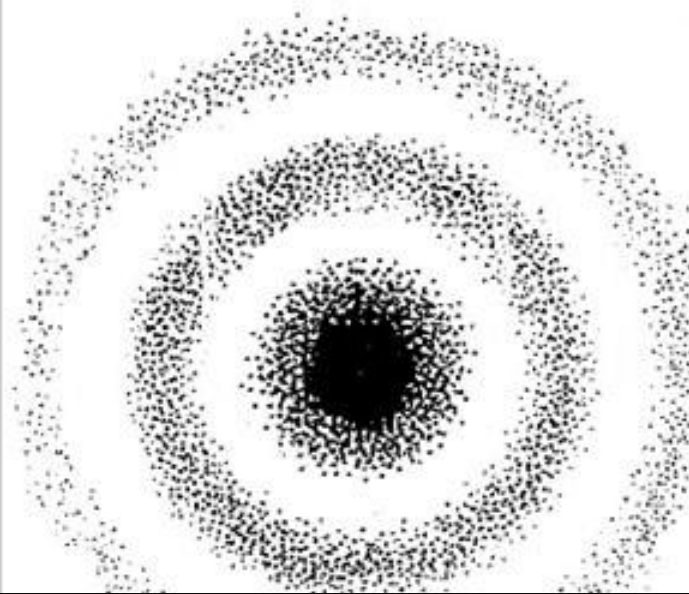
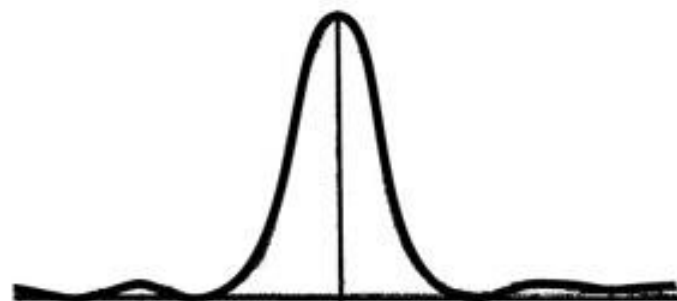


Диаграмма
направленности
параболической
антенны

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



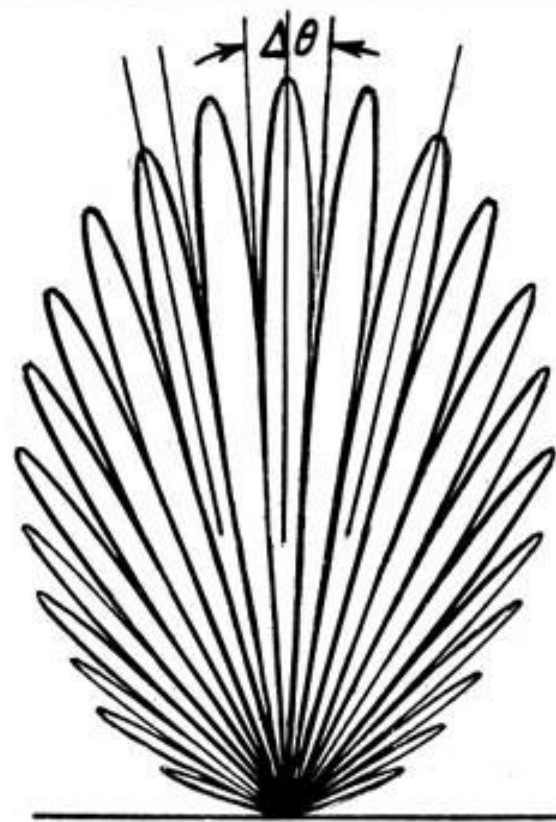
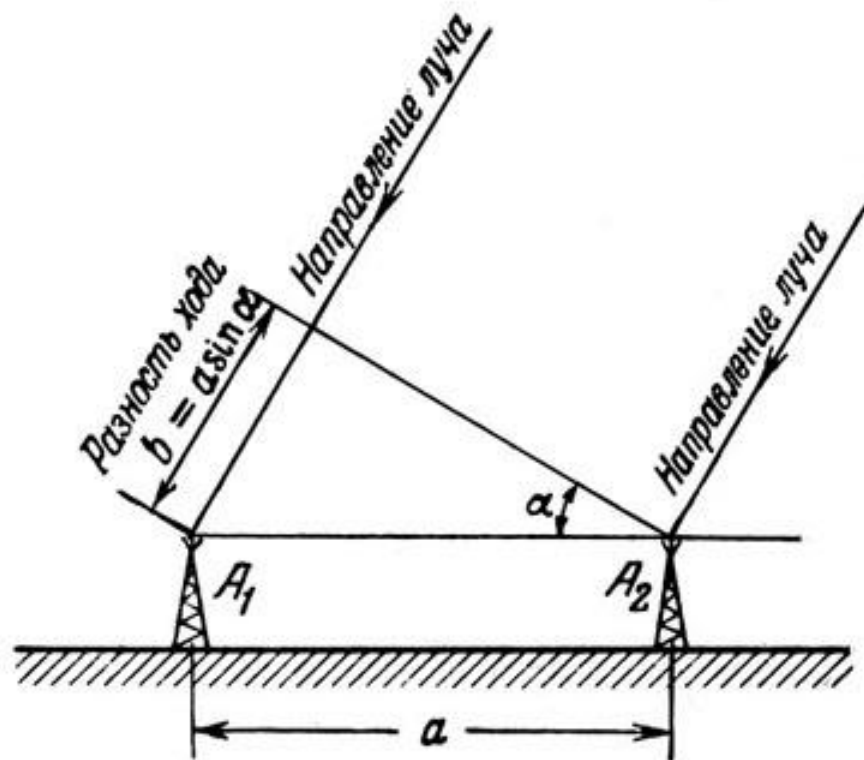
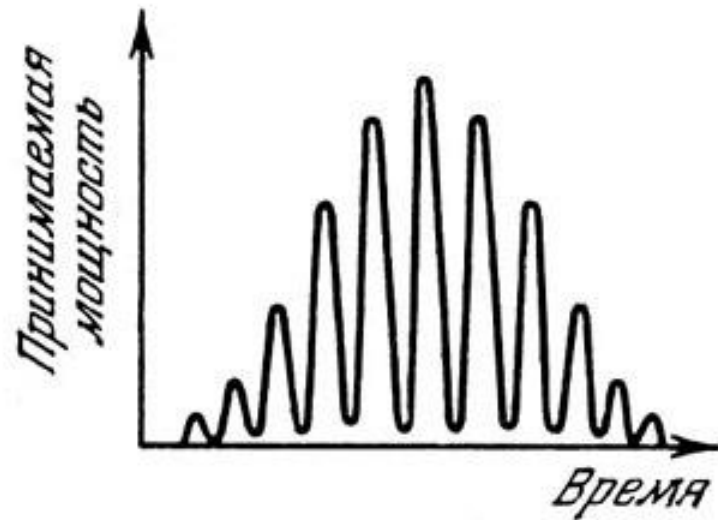
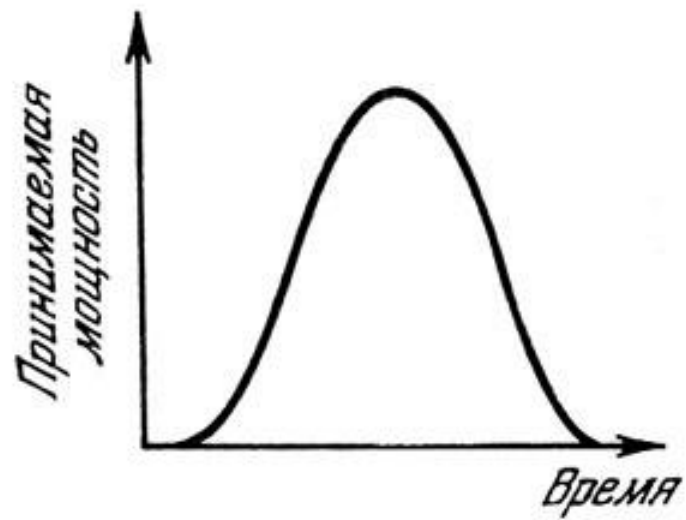
*Обсерватория «Зеленчукская», Северный Кавказ,
Карачаево-Черкесия, Россия.*

1974 г





ДКР-1000 Пушино-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



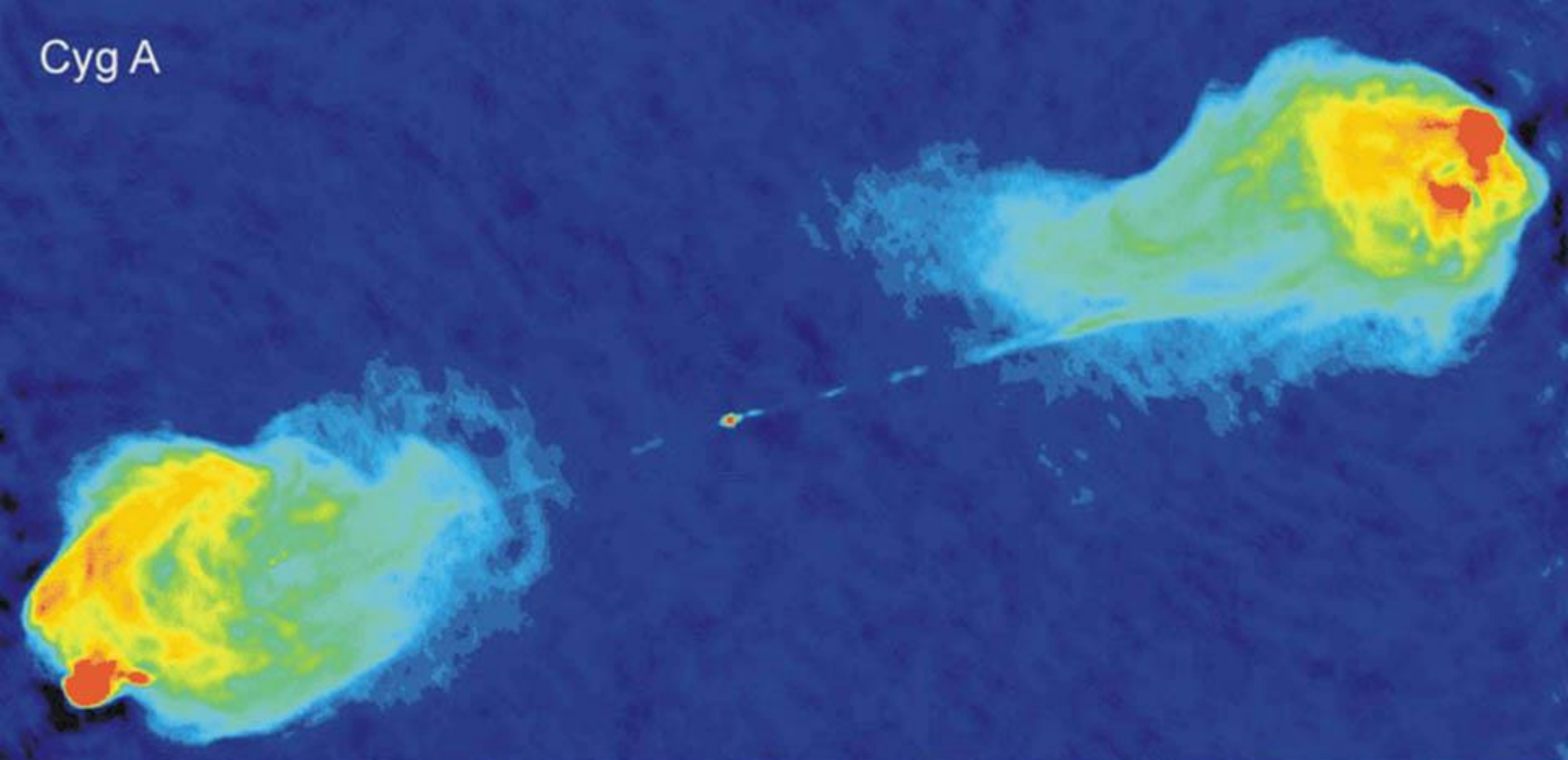
Наррабри, Австралия

ATCA – Australia Telescope Compact Array



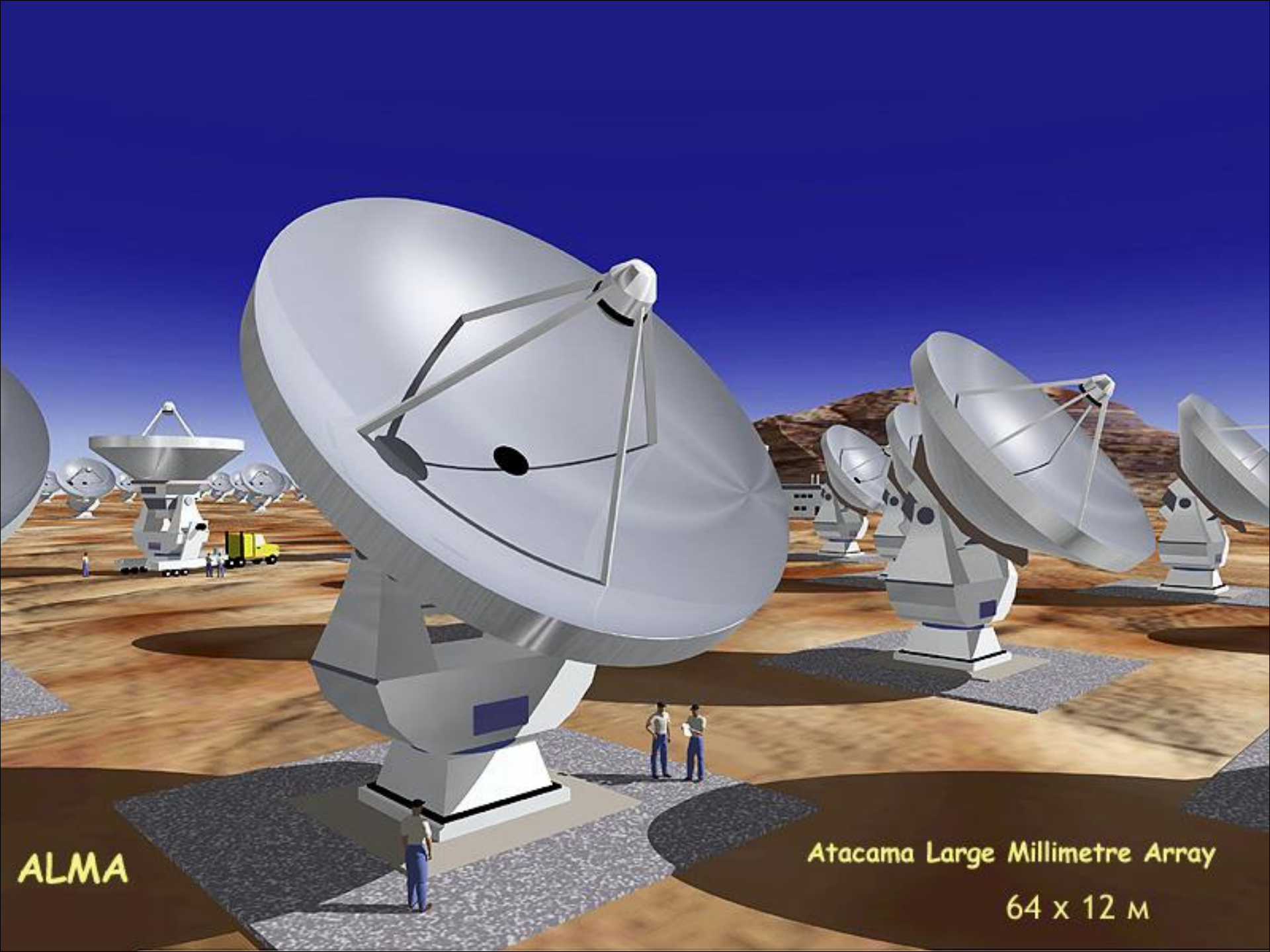
VLA - 27 антенн диаметром 25 м, 3 плеча (Y) по 22,4 км

Cyg A



VLA





ALMA

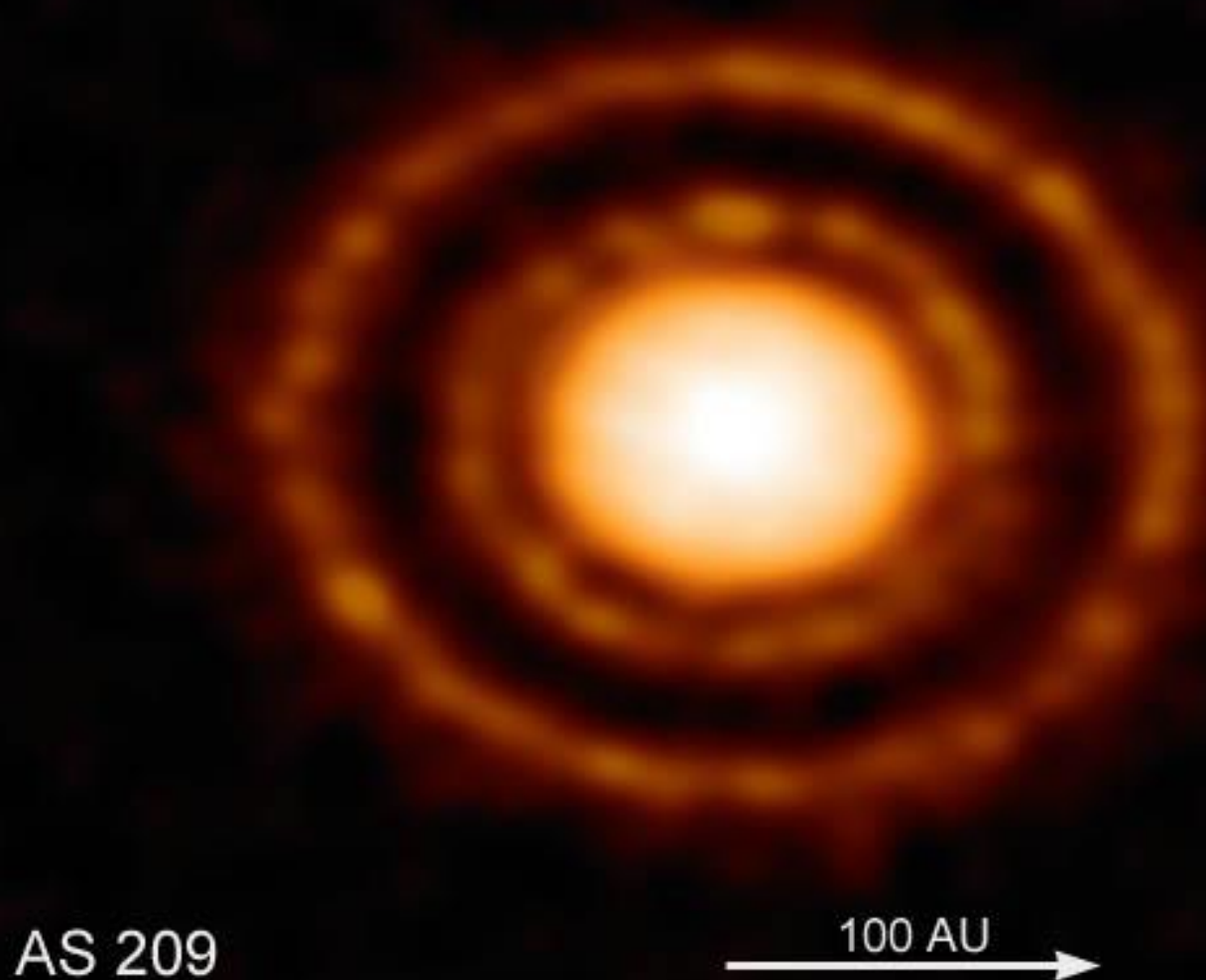
Atacama Large Millimetre Array
64 x 12 M



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

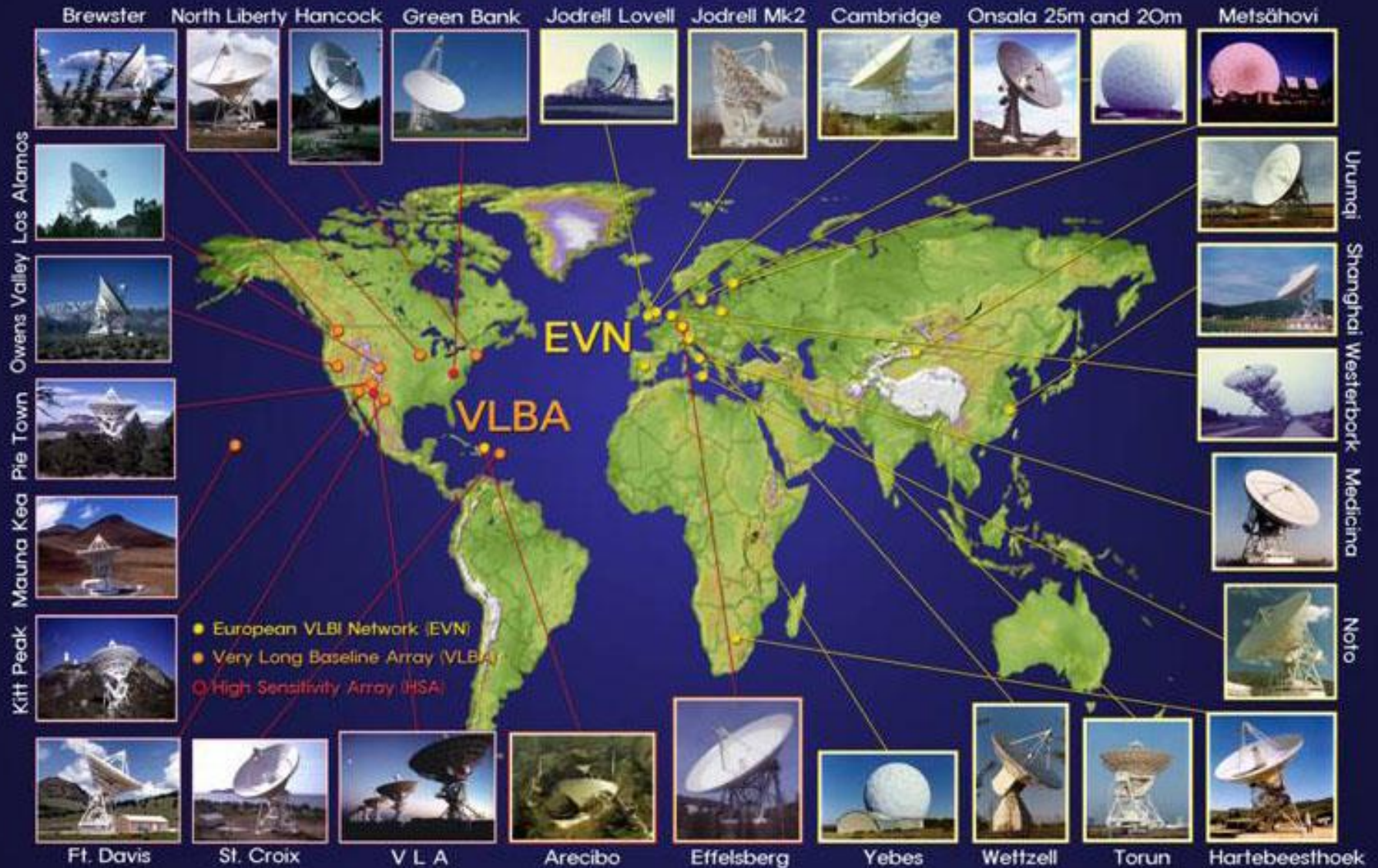
ALMA Partnership et al. (2015)

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



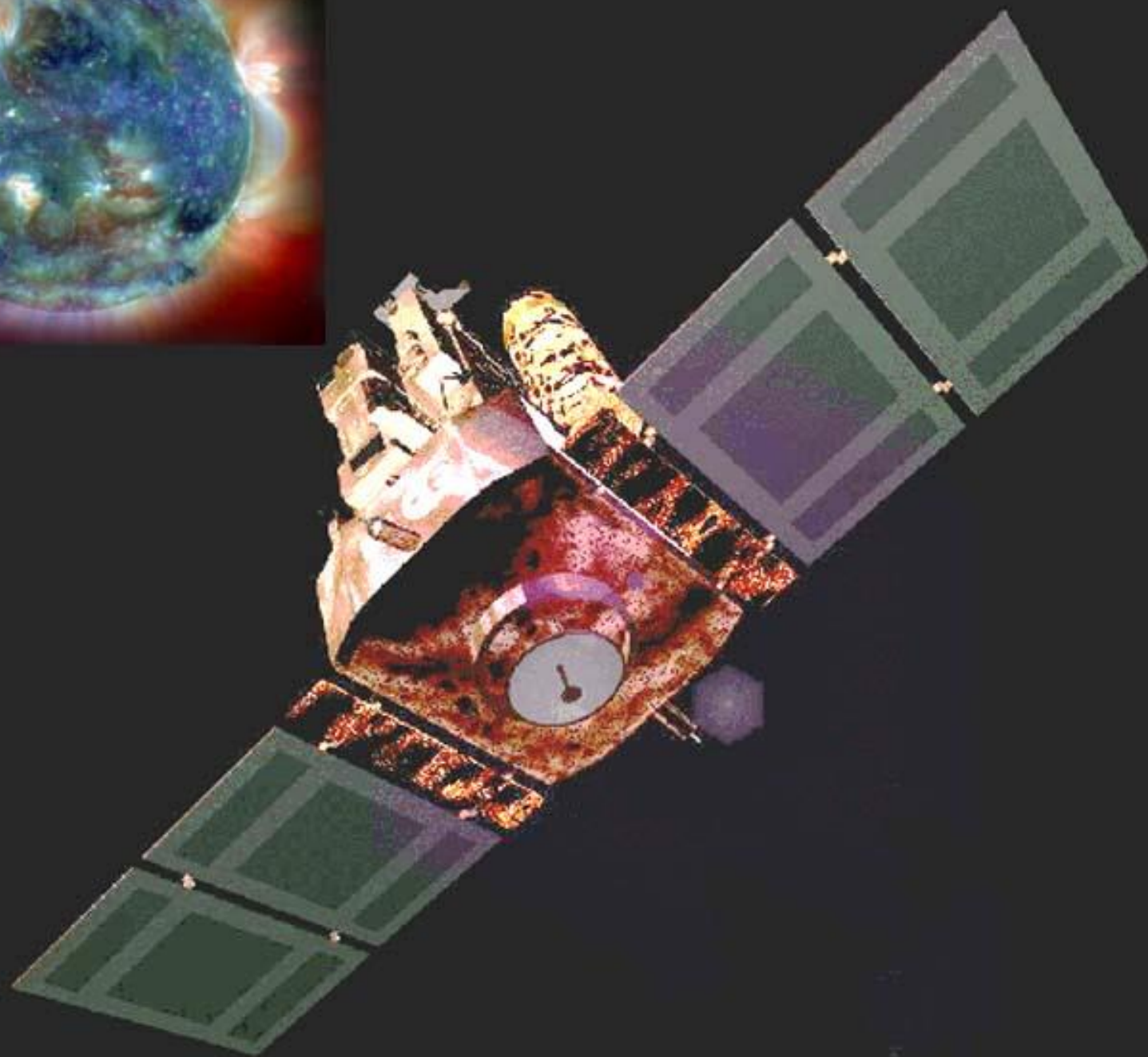
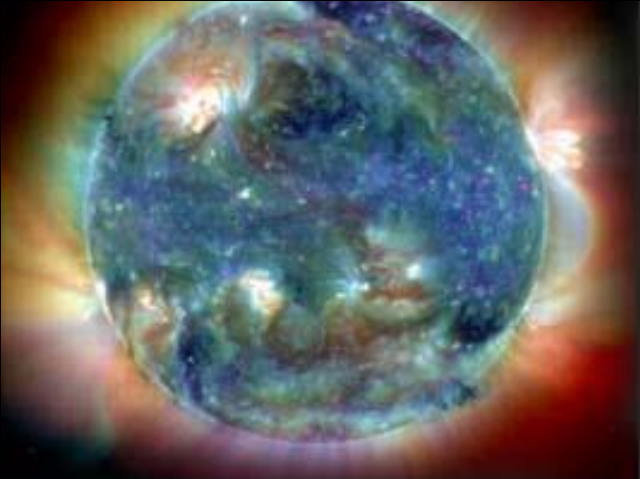
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ D. Fedele et al. 2018

The Global VLBI - Array





РадиоАстрон 2011 г.



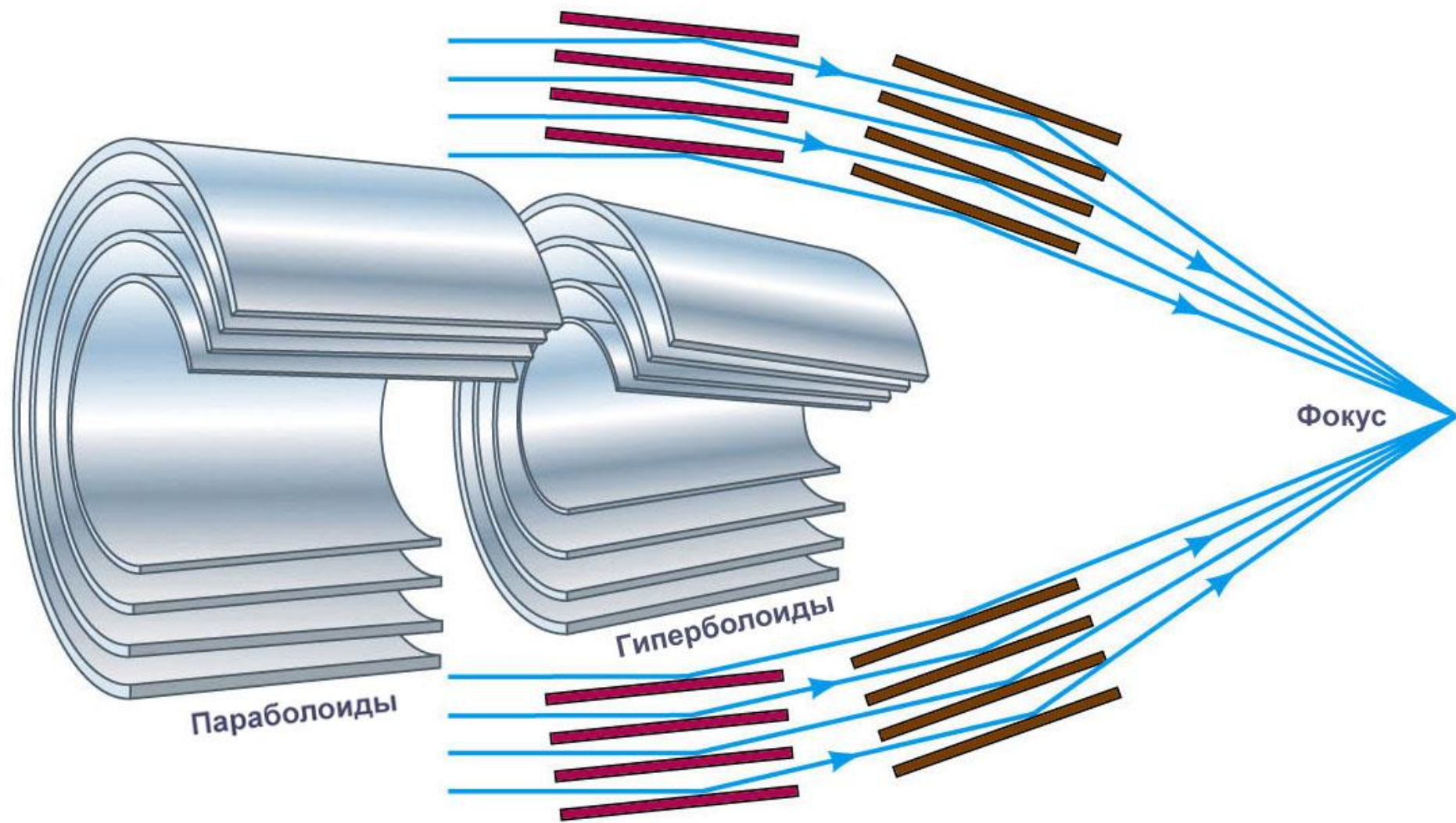
SOHO

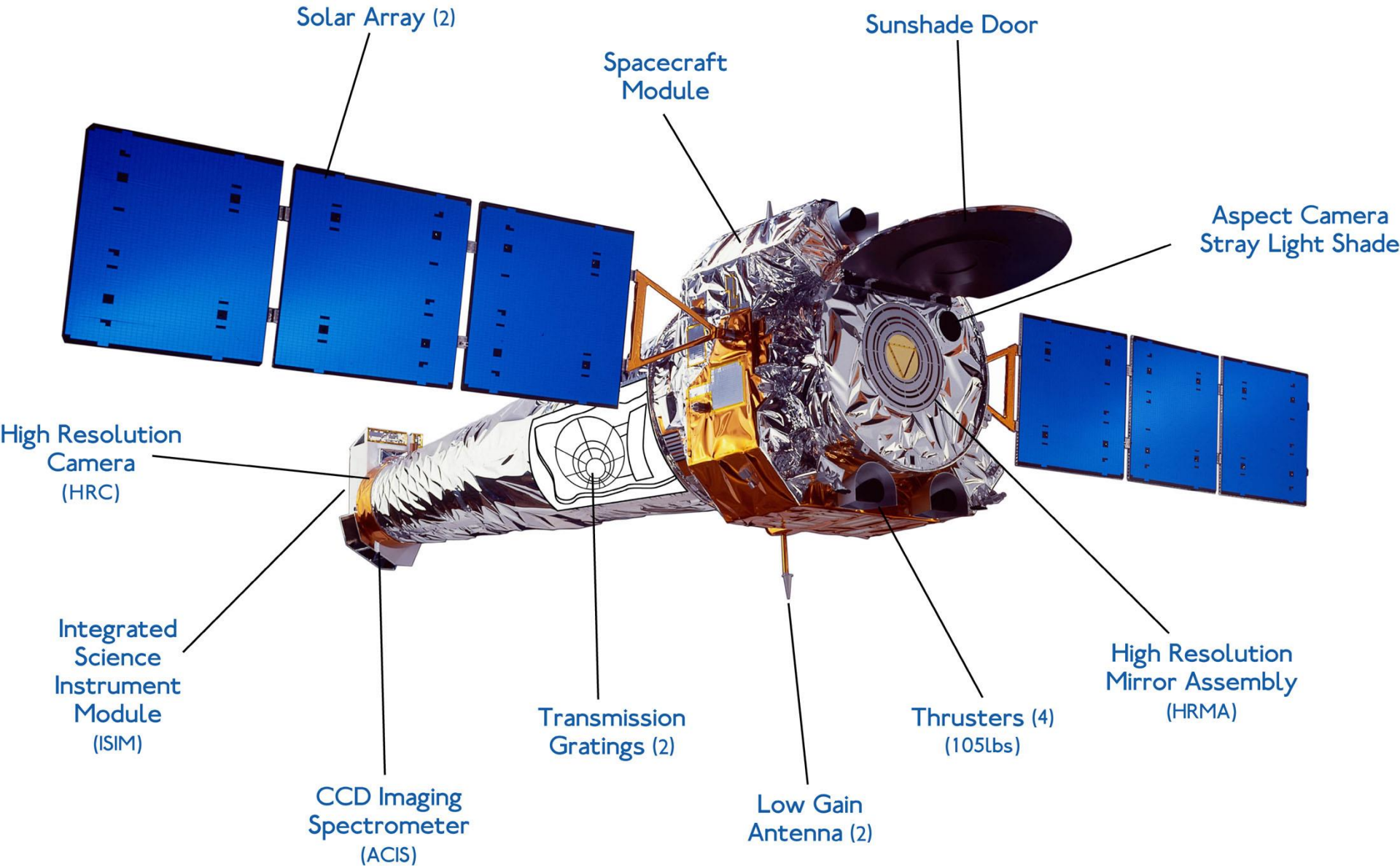


Принцип скользящего удара
используется при пускании
камнем "блинчиков" на воде

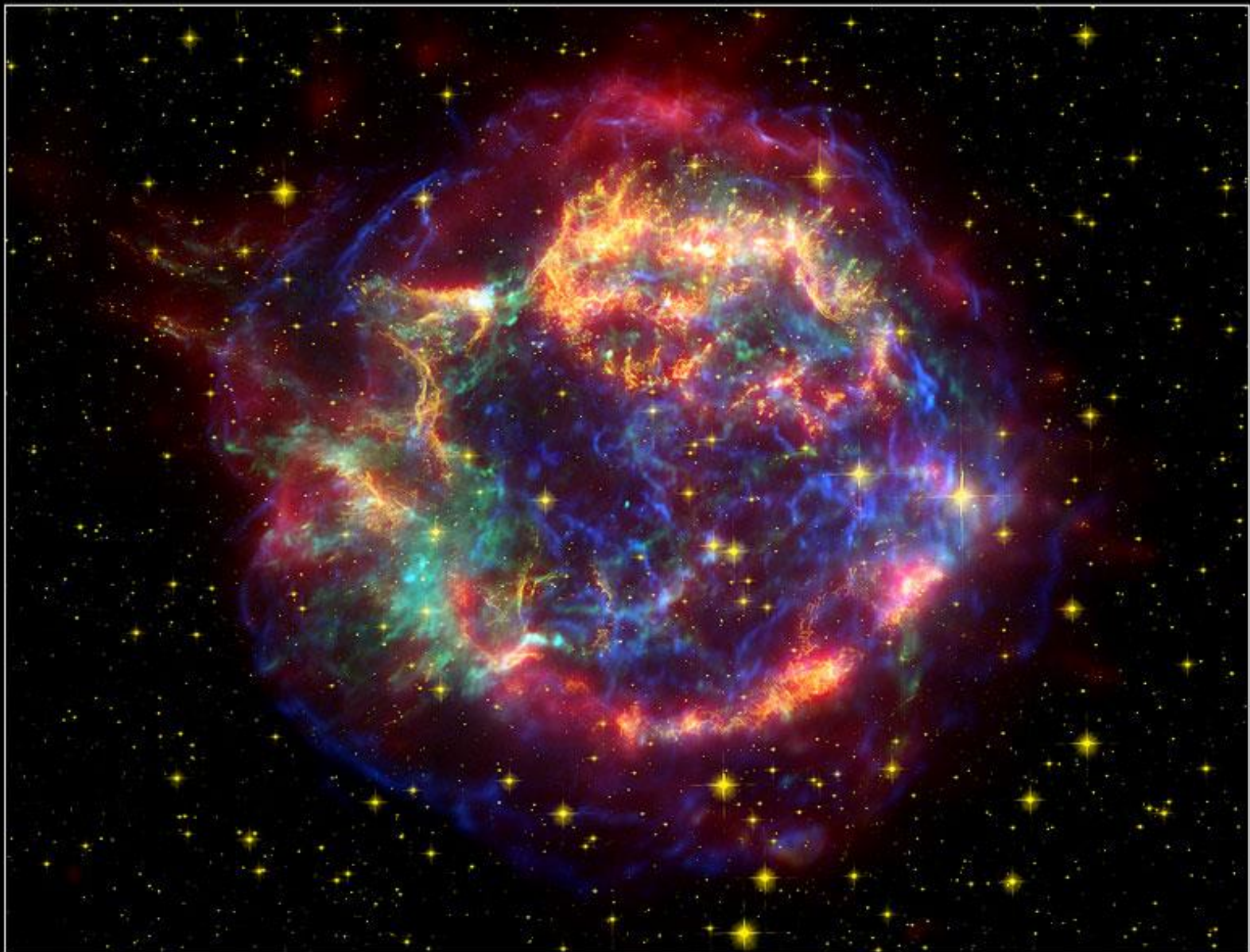


Вложенные зеркала рентгеновского телескопа





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



Cassiopeia A Supernova Remnant

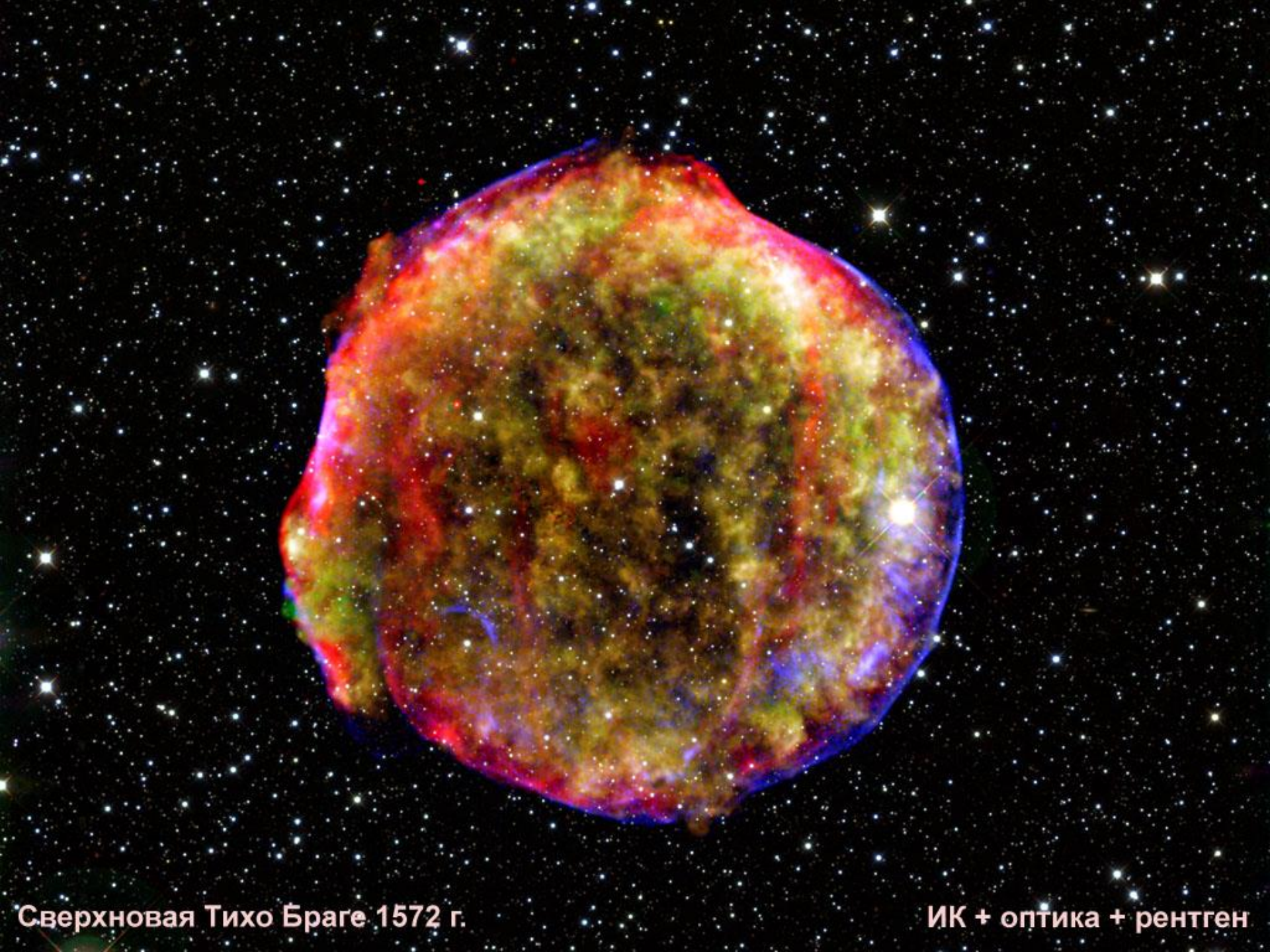
NASA / JPL-Caltech / O. Krause (Steward Observatory)

ssc2005-14c

Spitzer Space Telescope • MIPS

Hubble Space Telescope • ACS

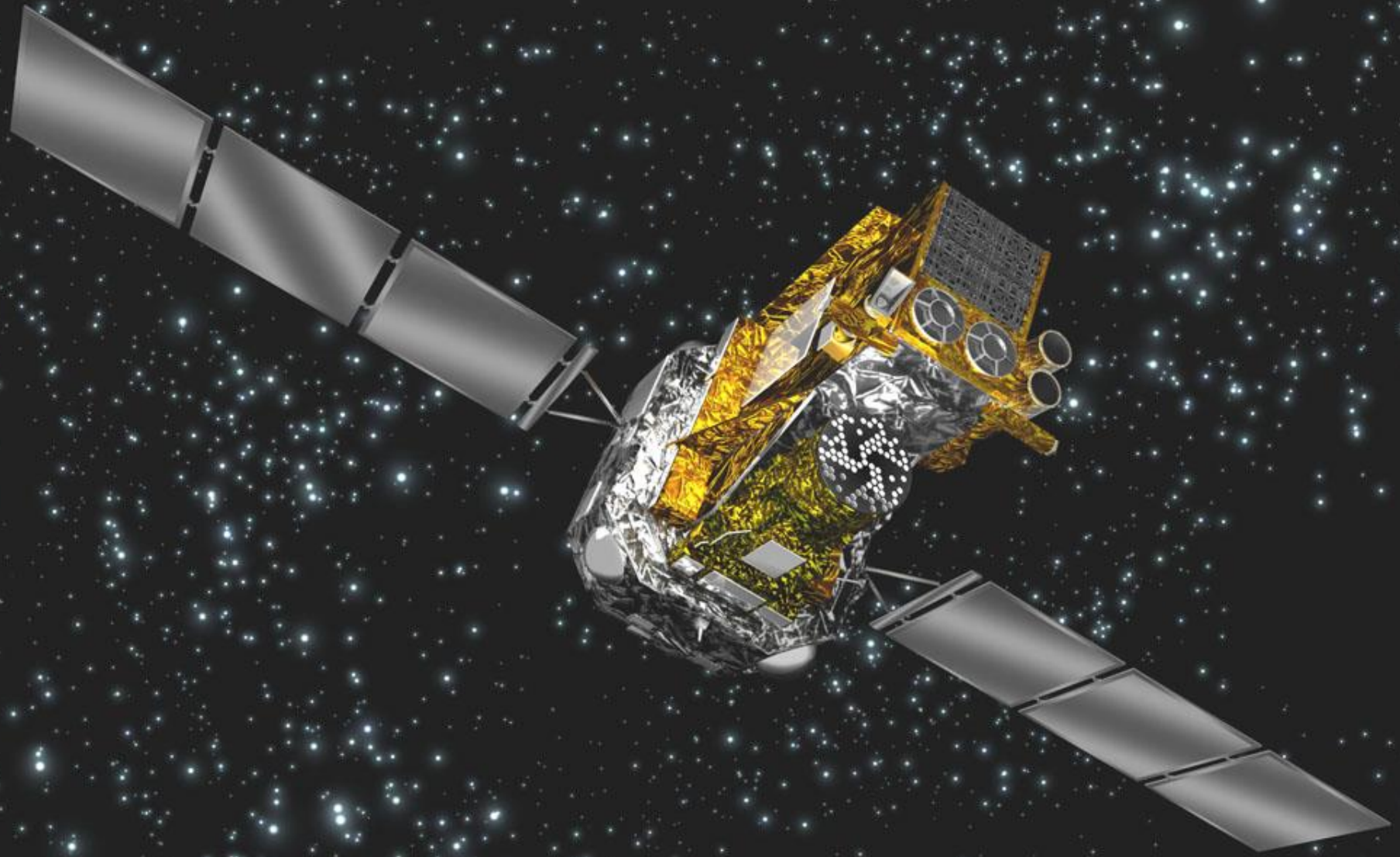
Chandra X-Ray Observatory



Сверхновая Тихо Браге 1572 г.

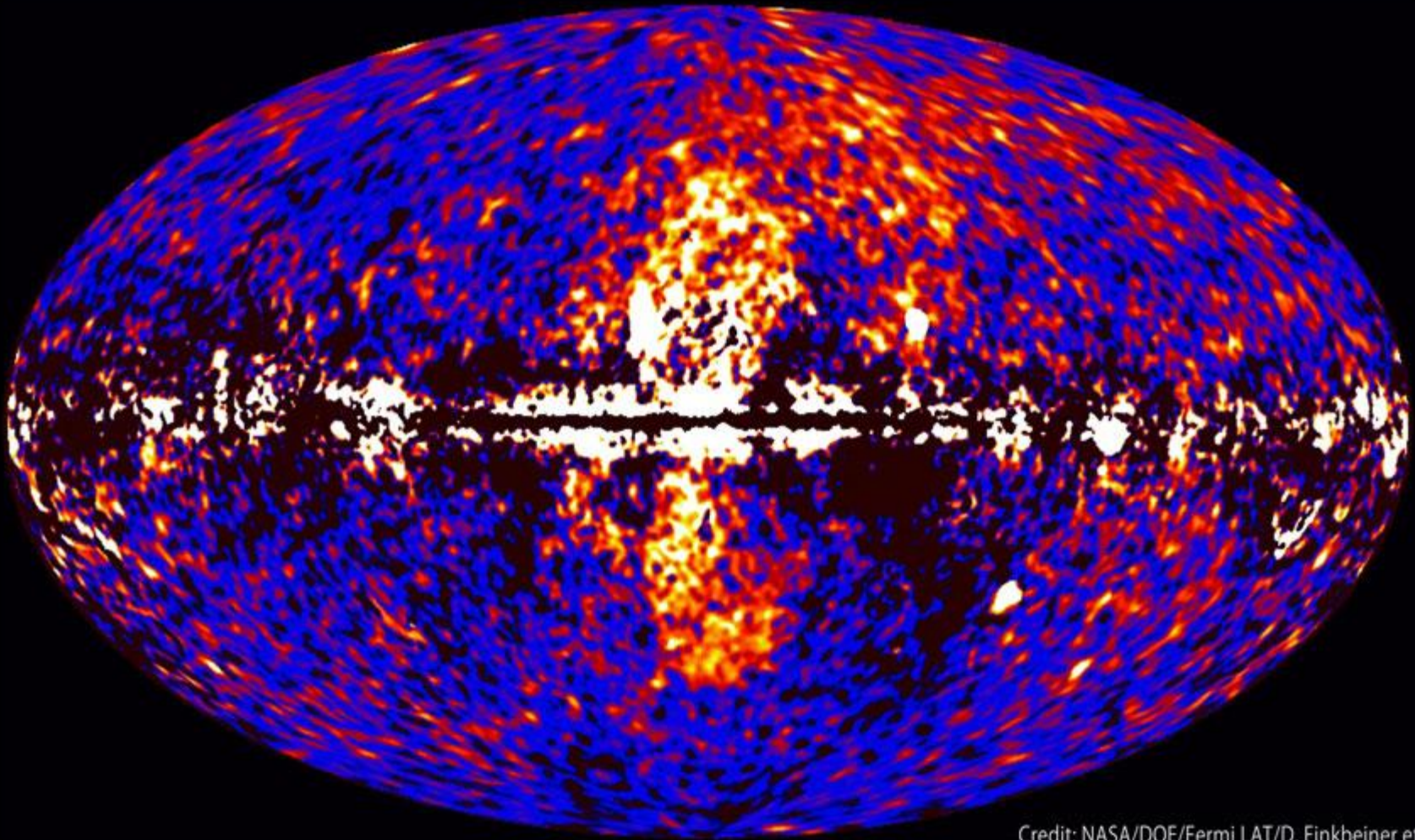
ИК + оптика + рентген

Coded mask



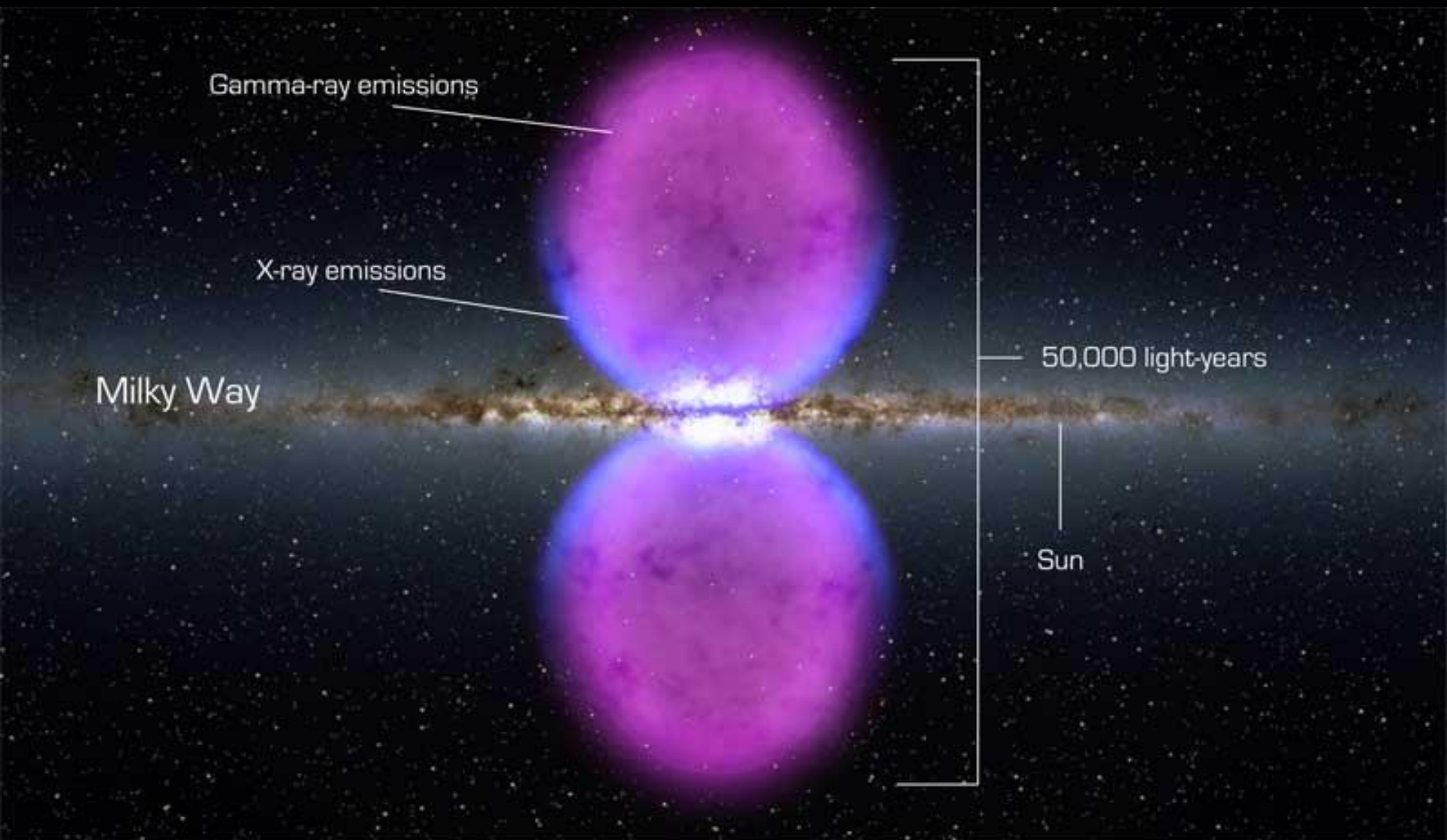
INTEGRAL (ESA/NASA/RKA), 2002-... X-ray, Gamma 3 keV - 1 MeV

Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles

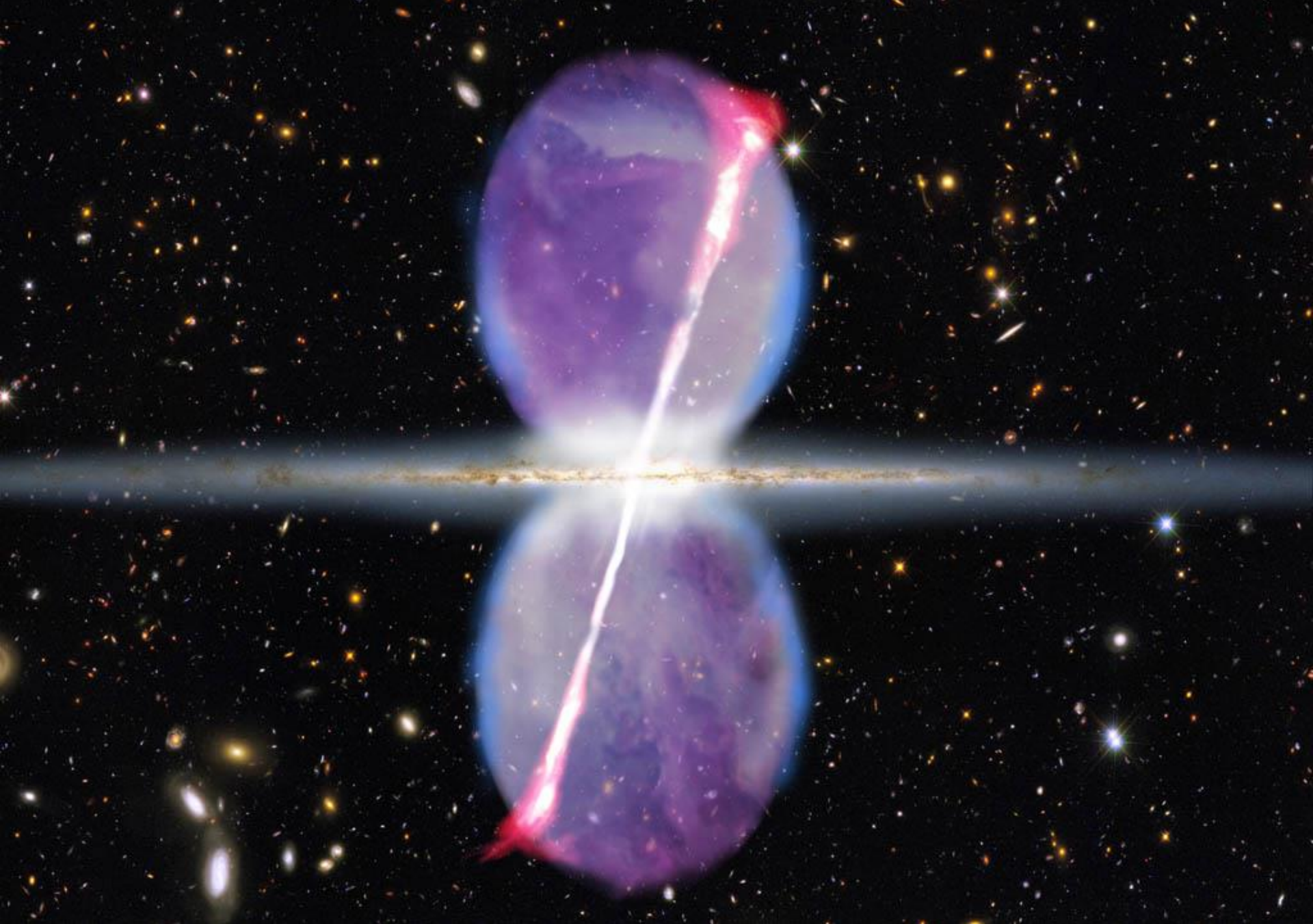


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.

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



Гамма-пузыри: интерпретация гамма-лепестков



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

метры
50 000

40 000

30 000

20 000

15 000

10 000

9 000

8 000

7 000

6 000

5 000

4 000

3 000

первичные космические лучи

N — азот
p — протон
n — нейтрон
 π^0, π^+, π^- — пи-мезоны
 e^- — электрон
 e^+ — позитрон
 μ^+, μ^- — мюоны
 ν — нейтрино
 γ — фотон

беспилотные аэростаты
(30 000 м)

Эверест
(8 848 м)

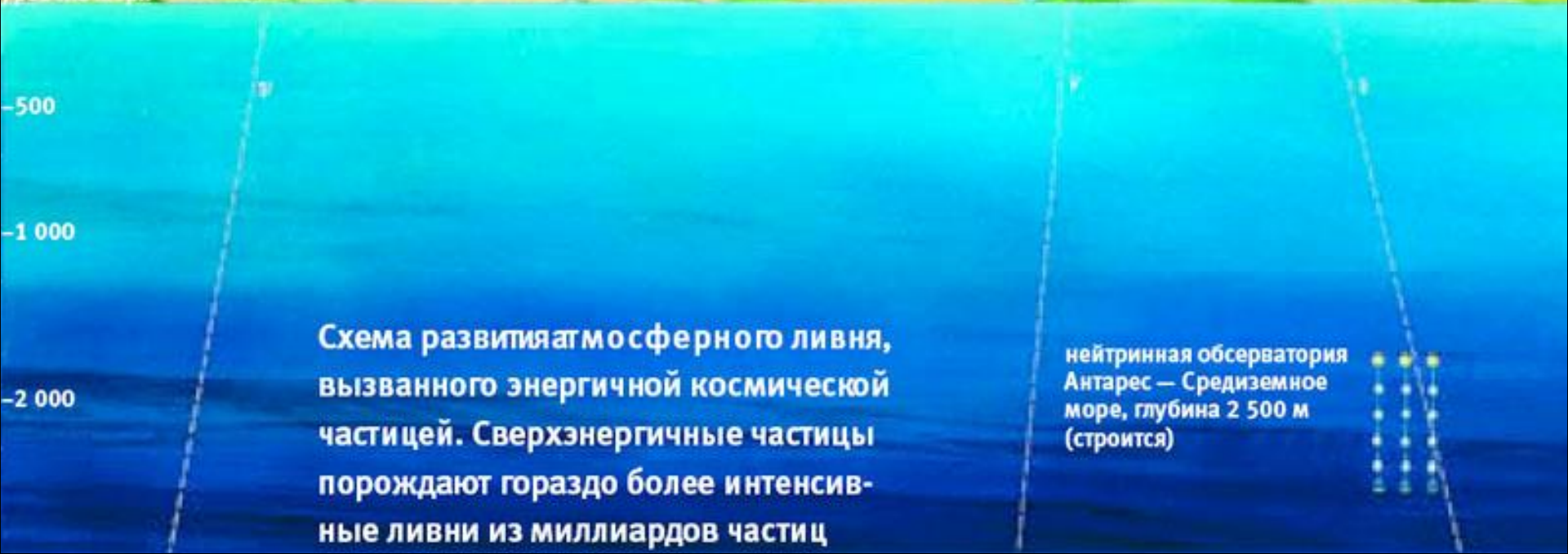
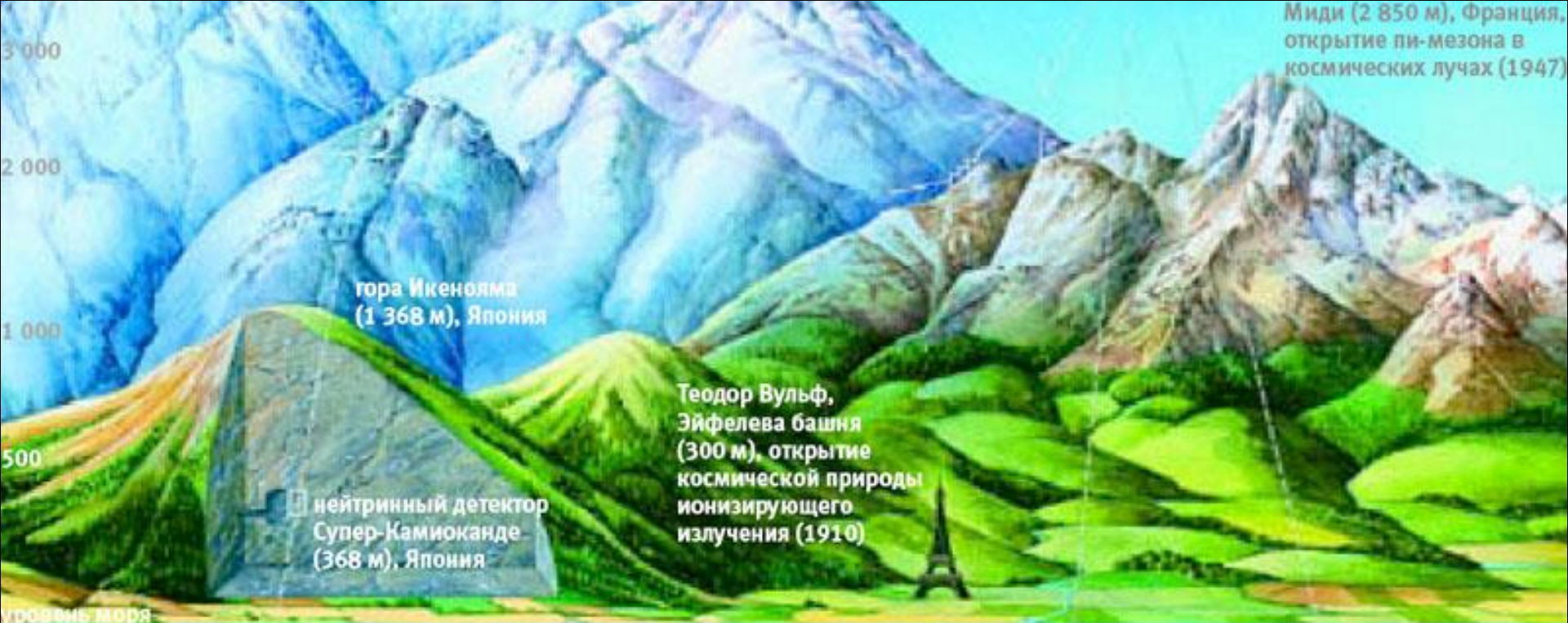
Вернер Колхёстер
(1914, 9 000 м)

Гора Пайкс-Пик, Колорадо,
США (4 301 м), изучение
мутаций дрозофил под
действием космических
лучей (1936)

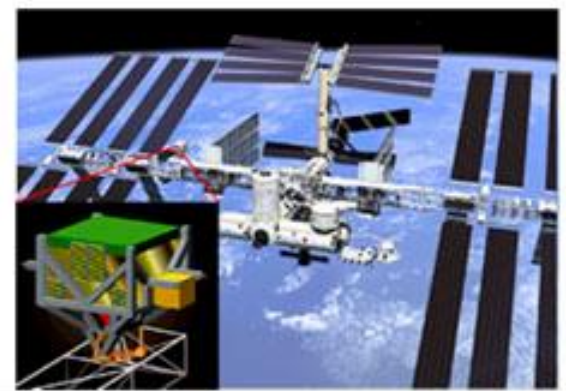
Виктор Гесс
(1912, 5 350 м)

обсерватория Пик-дю-
Миди (2 850 м), Франция,
открытие пи-мезона в
космических лучах (1947)

самолет «Конкорд» (15 000 м)
оснащен сигнализацией о
превышении космической
радиацией уровня
0,5 миллизиверт в час



Space



50 km

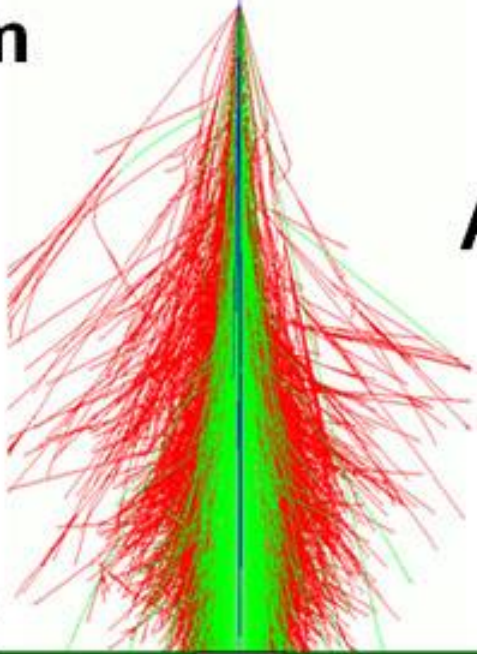
e/γ

μ

h

Atmosphere

0 km



Underground





Место взаимодействия

~15-20 км

Первичная
частица

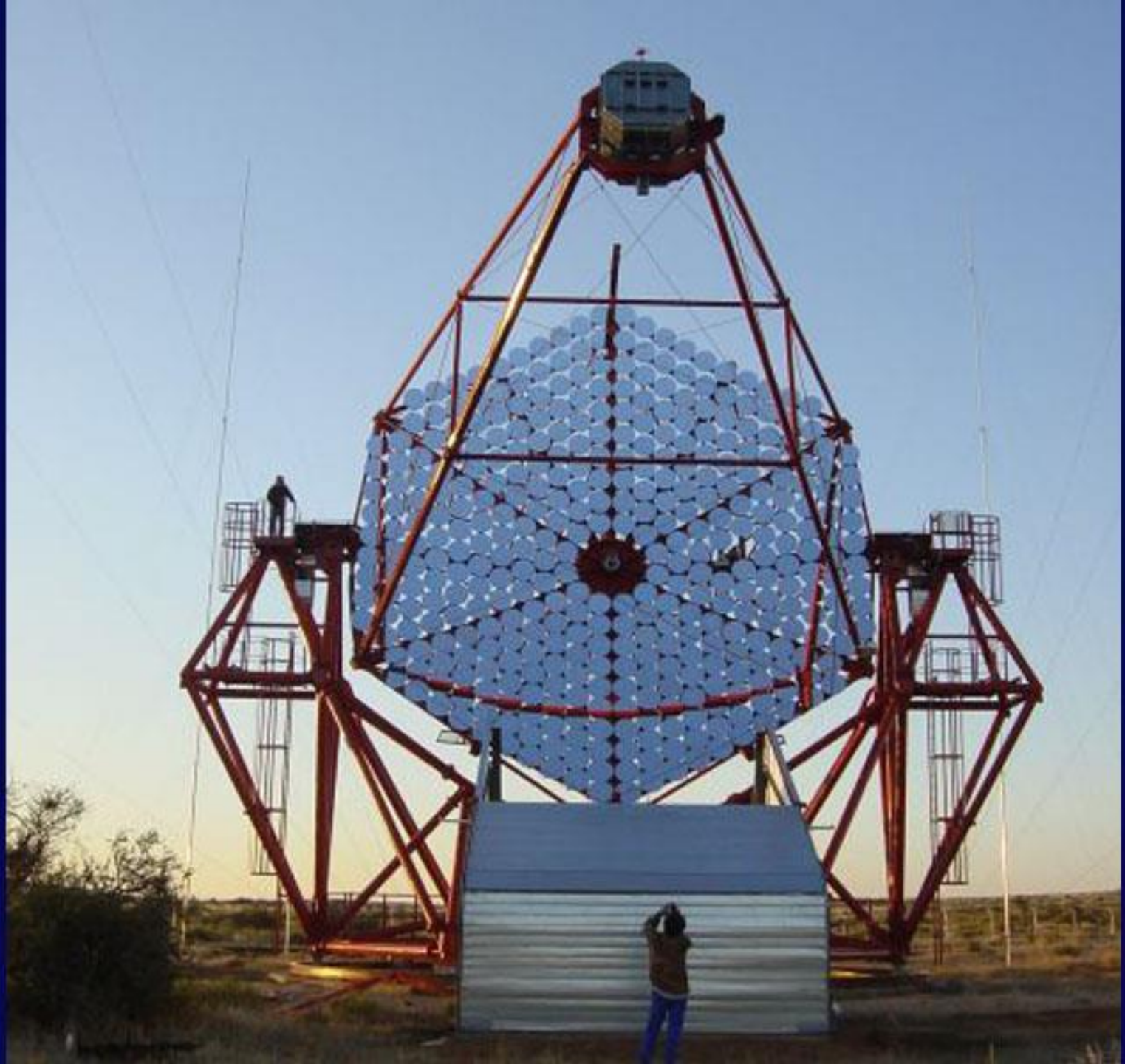
ШАЛ

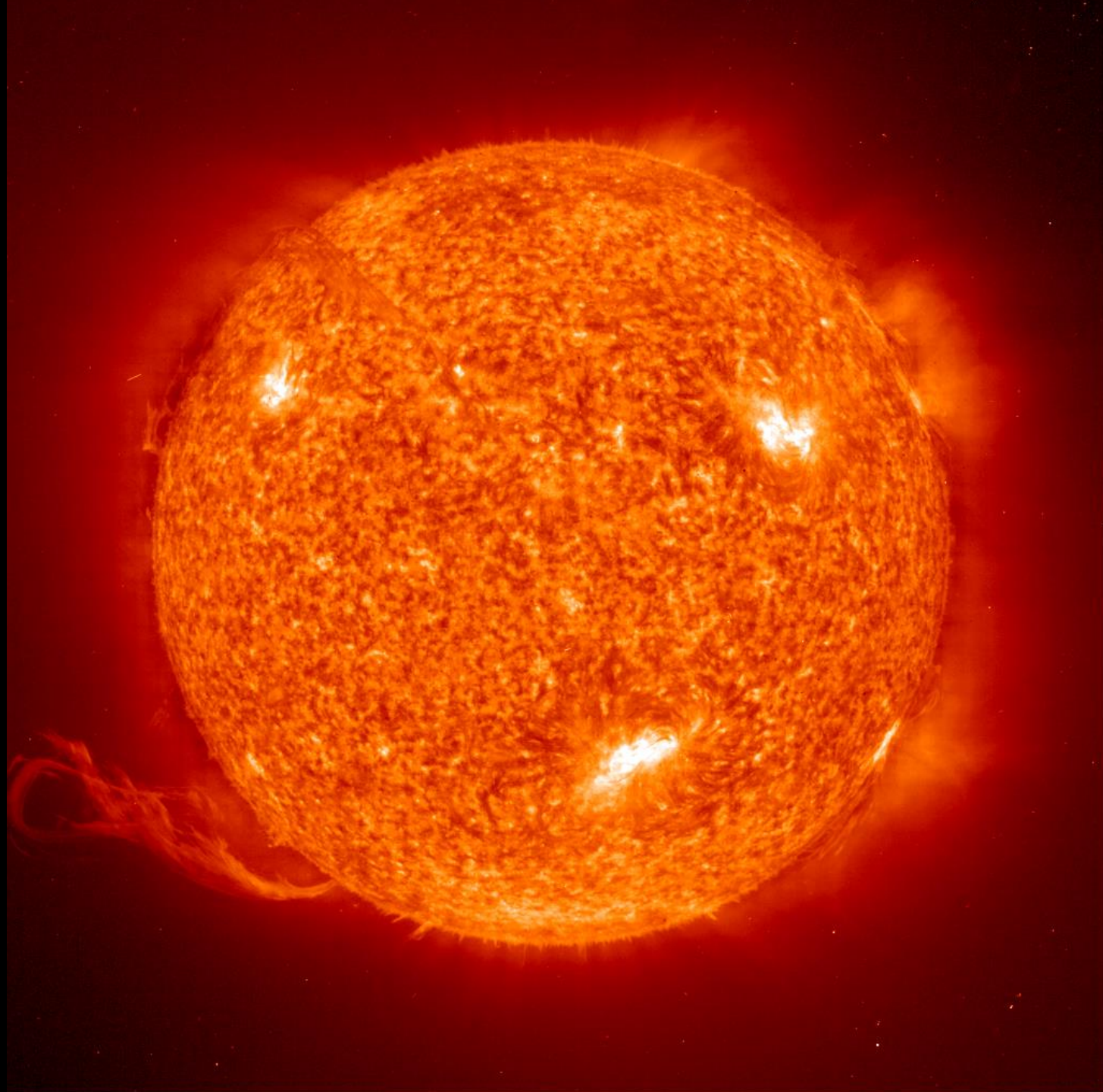
Фронт
черенковского
излучения

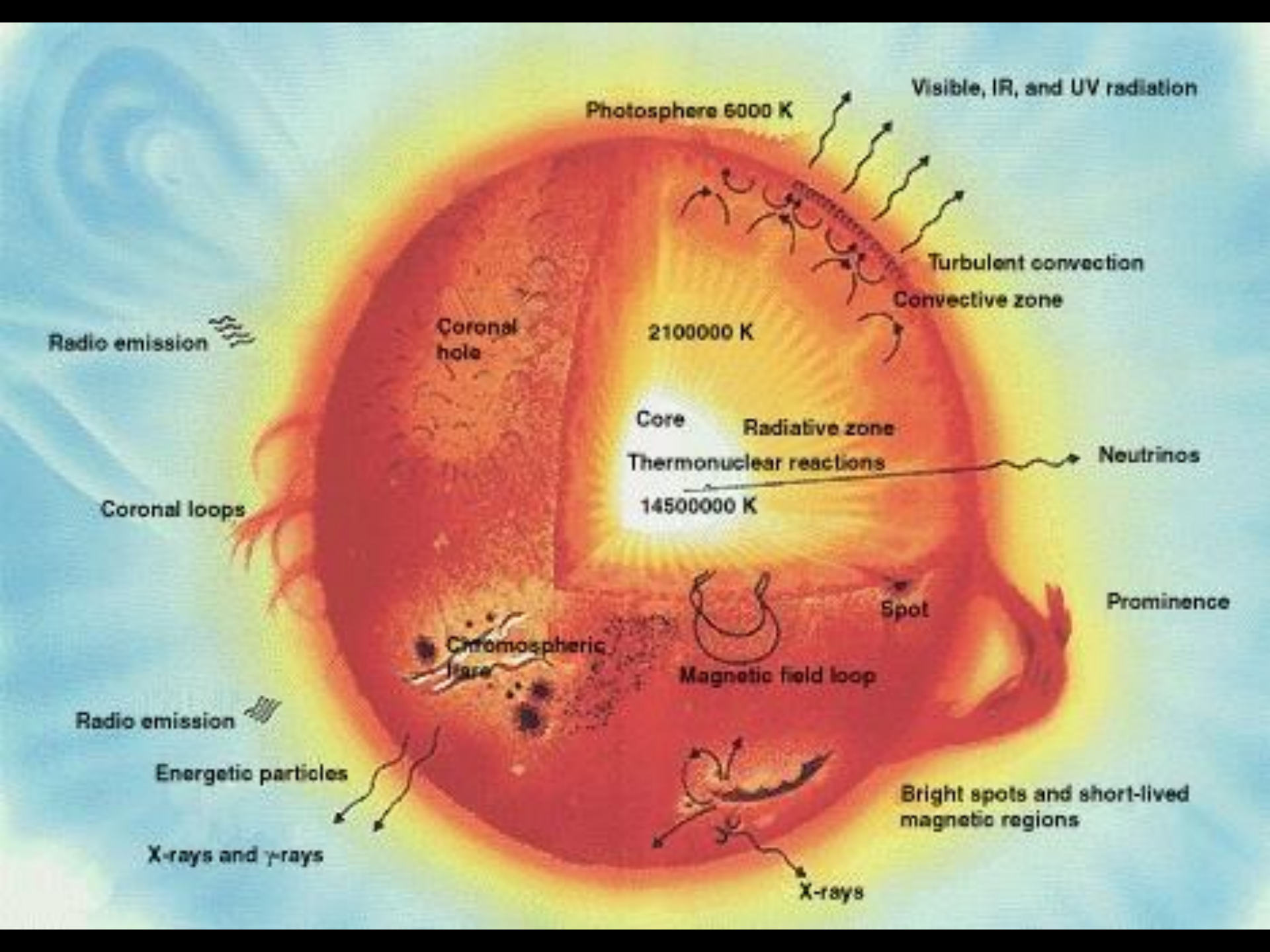
Ультрафиолет

Наземная установка
– коллектор света









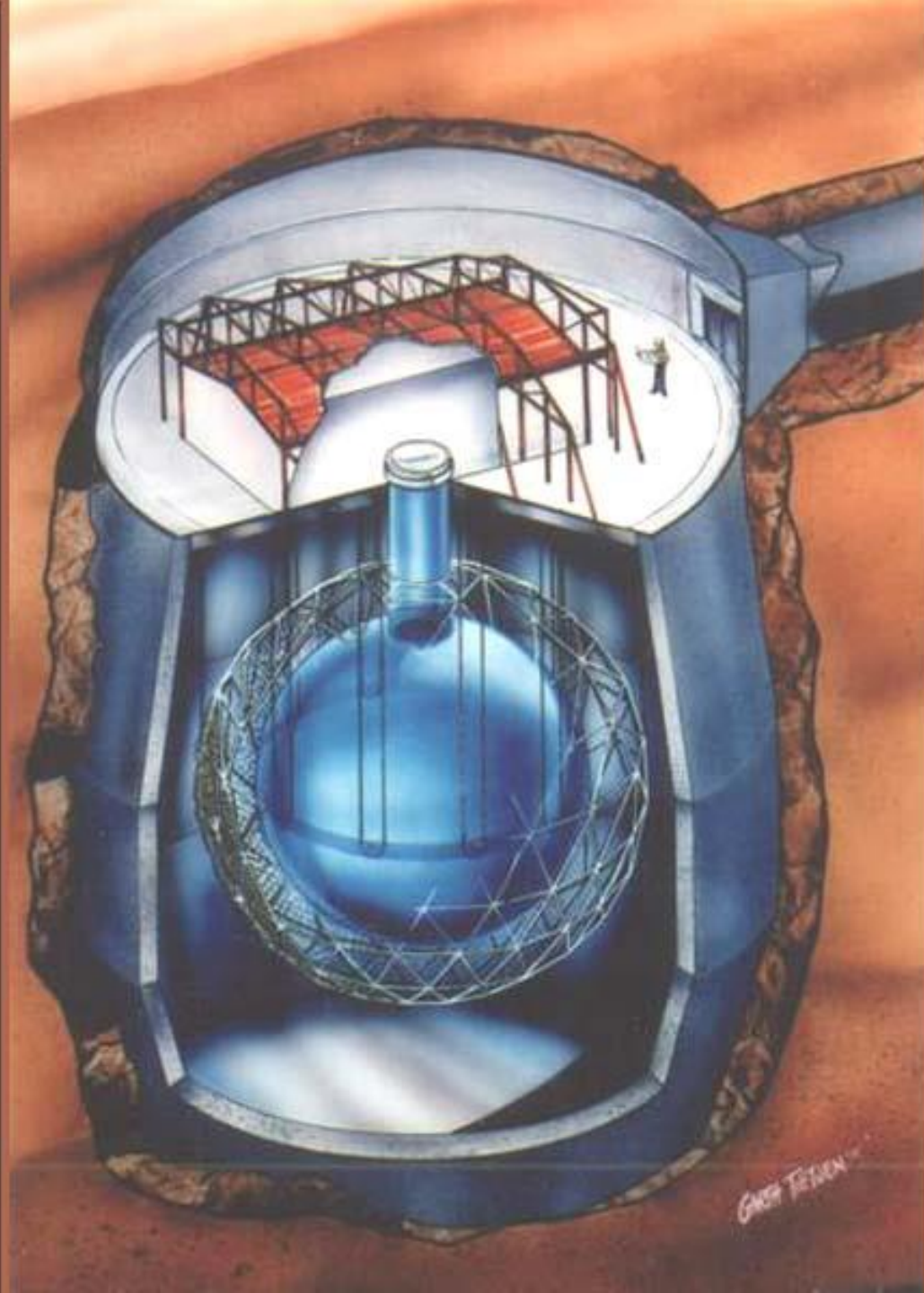
Садберийская нейтринная обсерватория
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

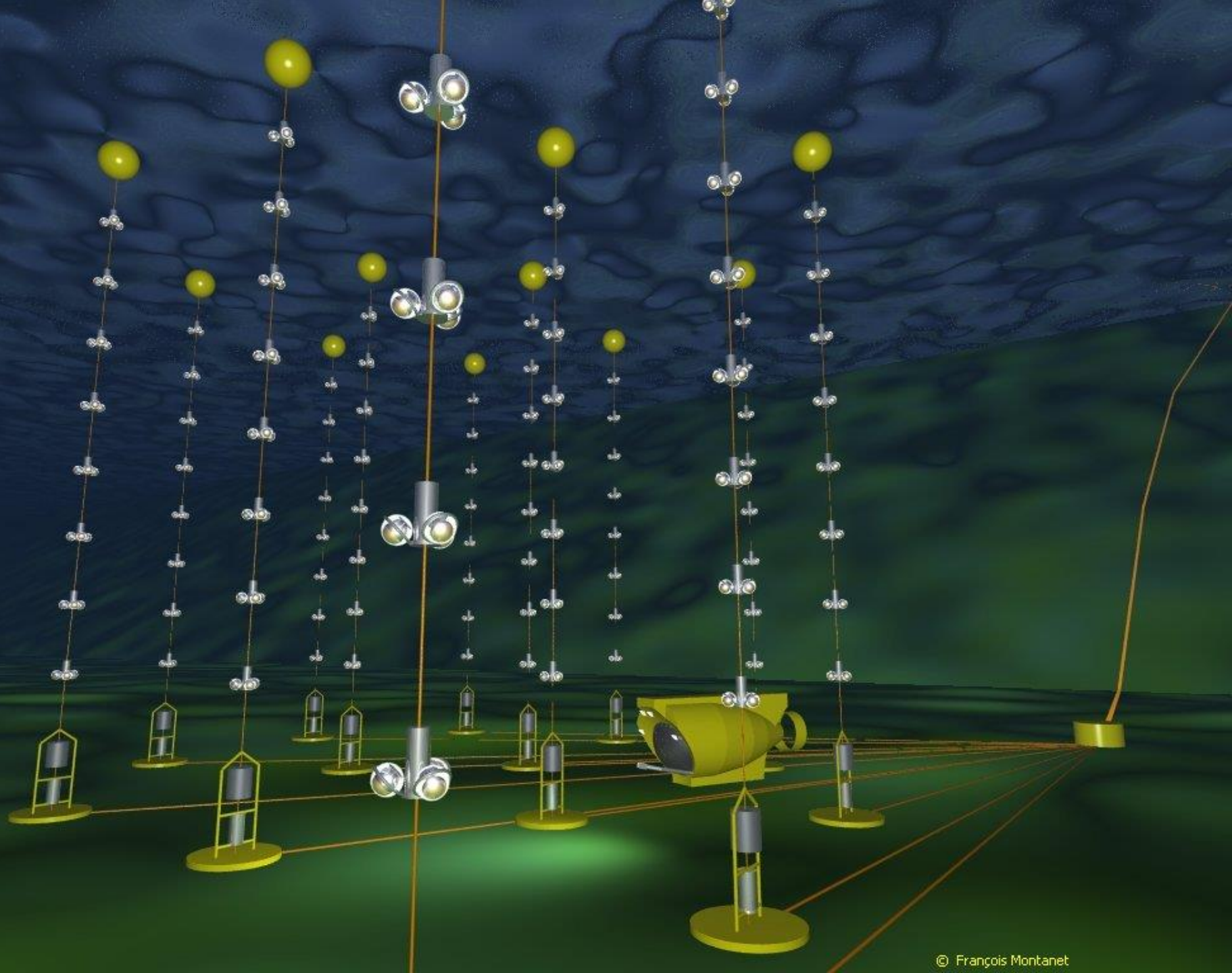
1000 тонн тяжелой воды (D_2O) в
прозрачном акриловом (плексигласовом)
шаре диаметром 12 м, окруженном
9600 ФЭУ на геодезической сфере,
диаметром 18 м, погруженной в
резервуар с чистой водой
на глубине 2 км.

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

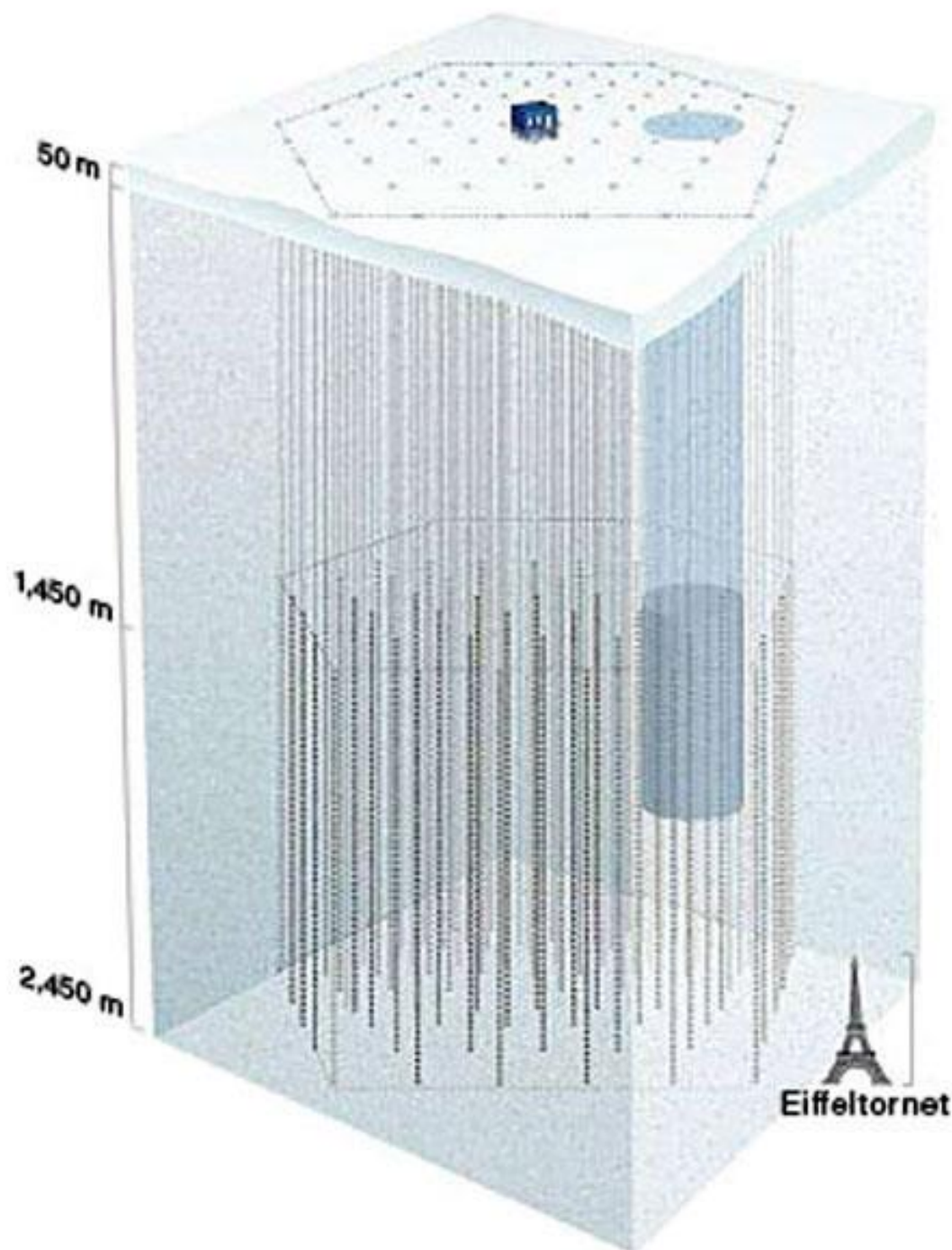
Тем самым доказано, что:

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



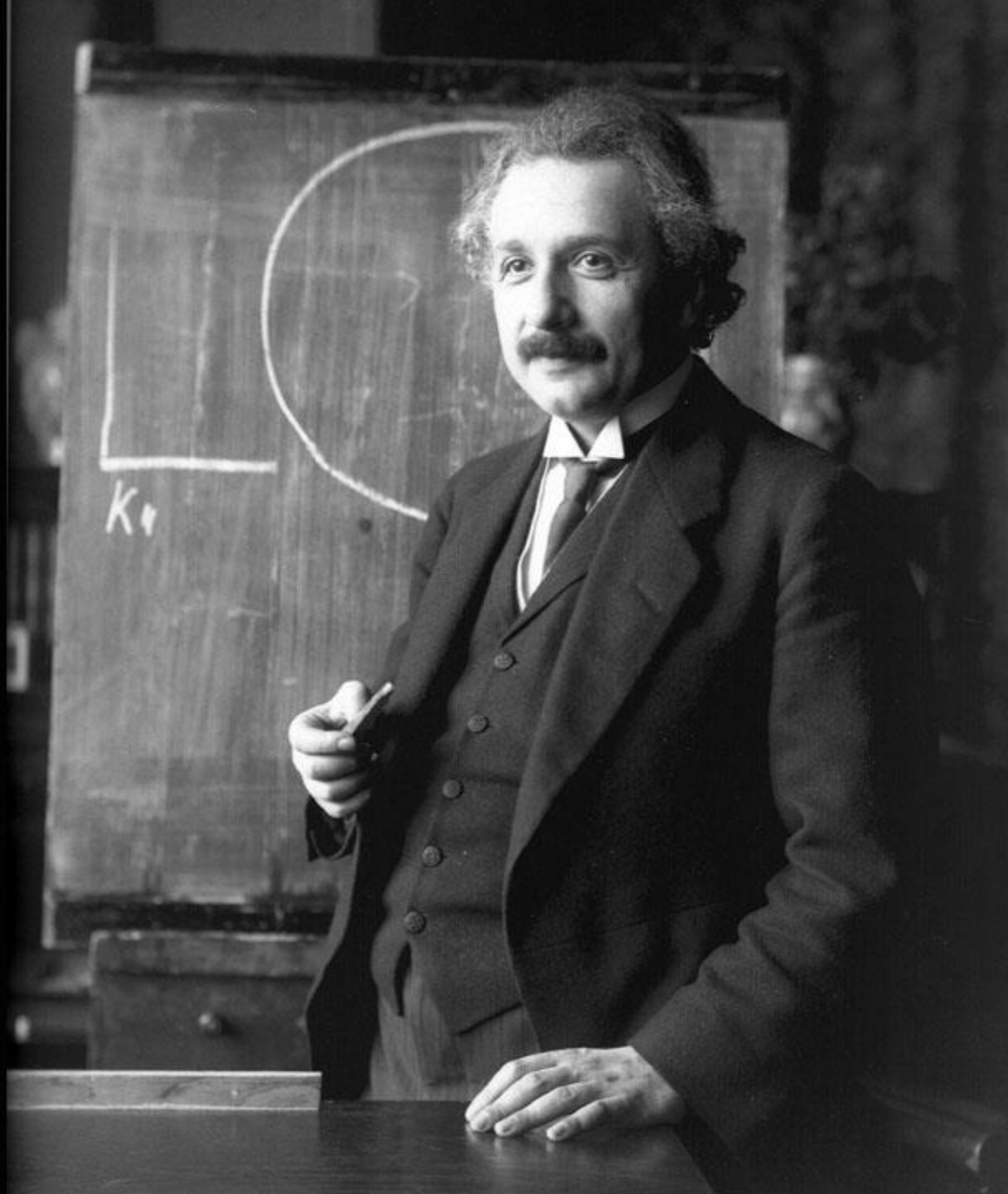
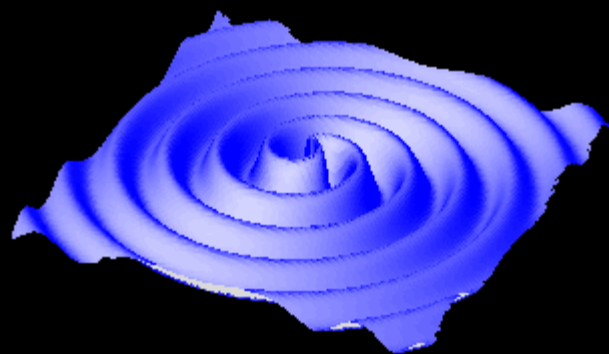
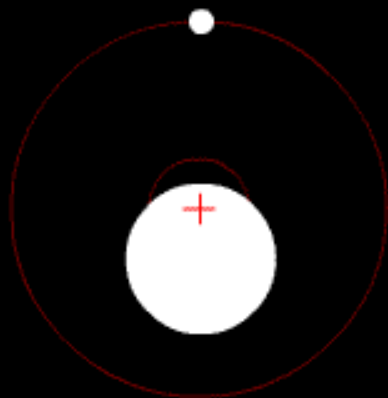


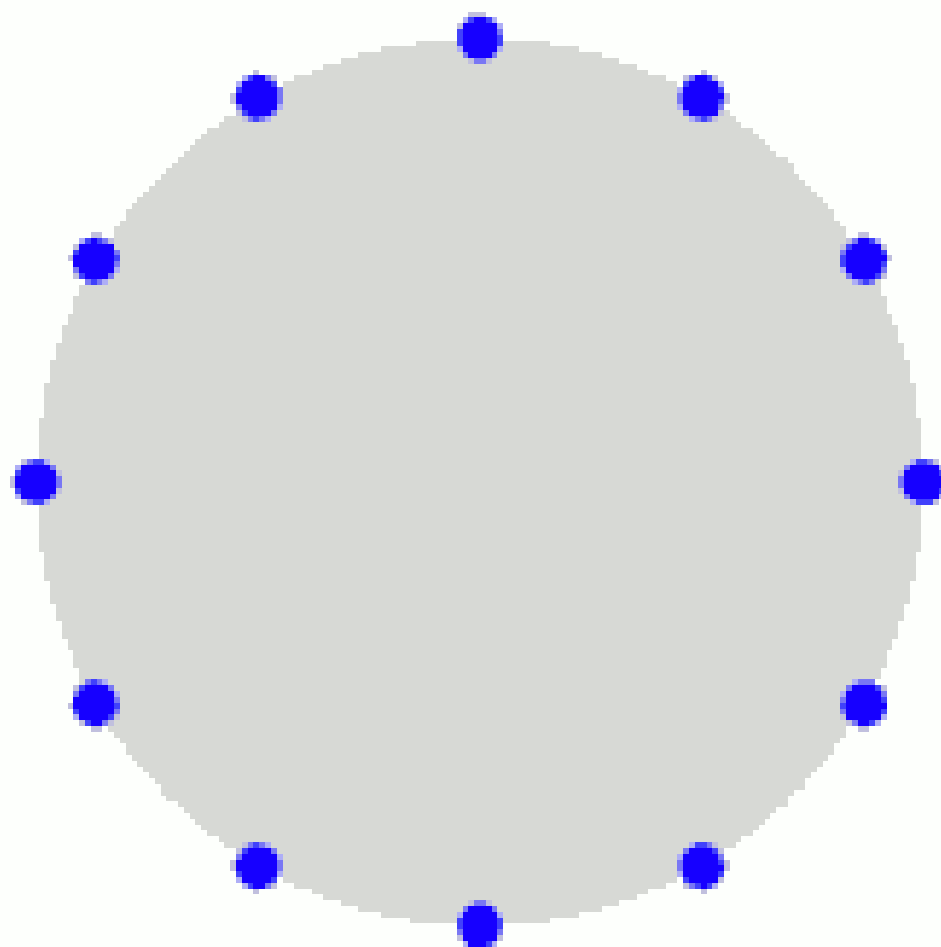
Антарктида Скотт-Амундсен IceCube



Гравитационные волны

1916 → 2016

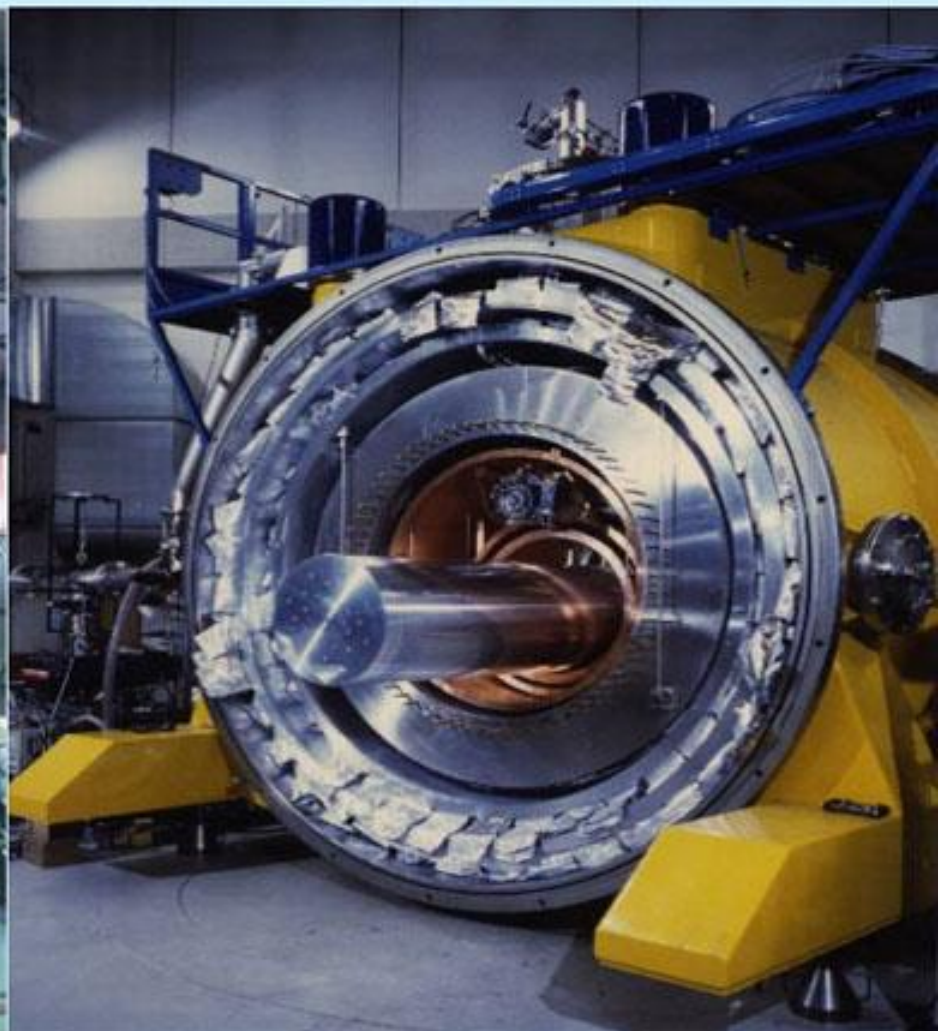


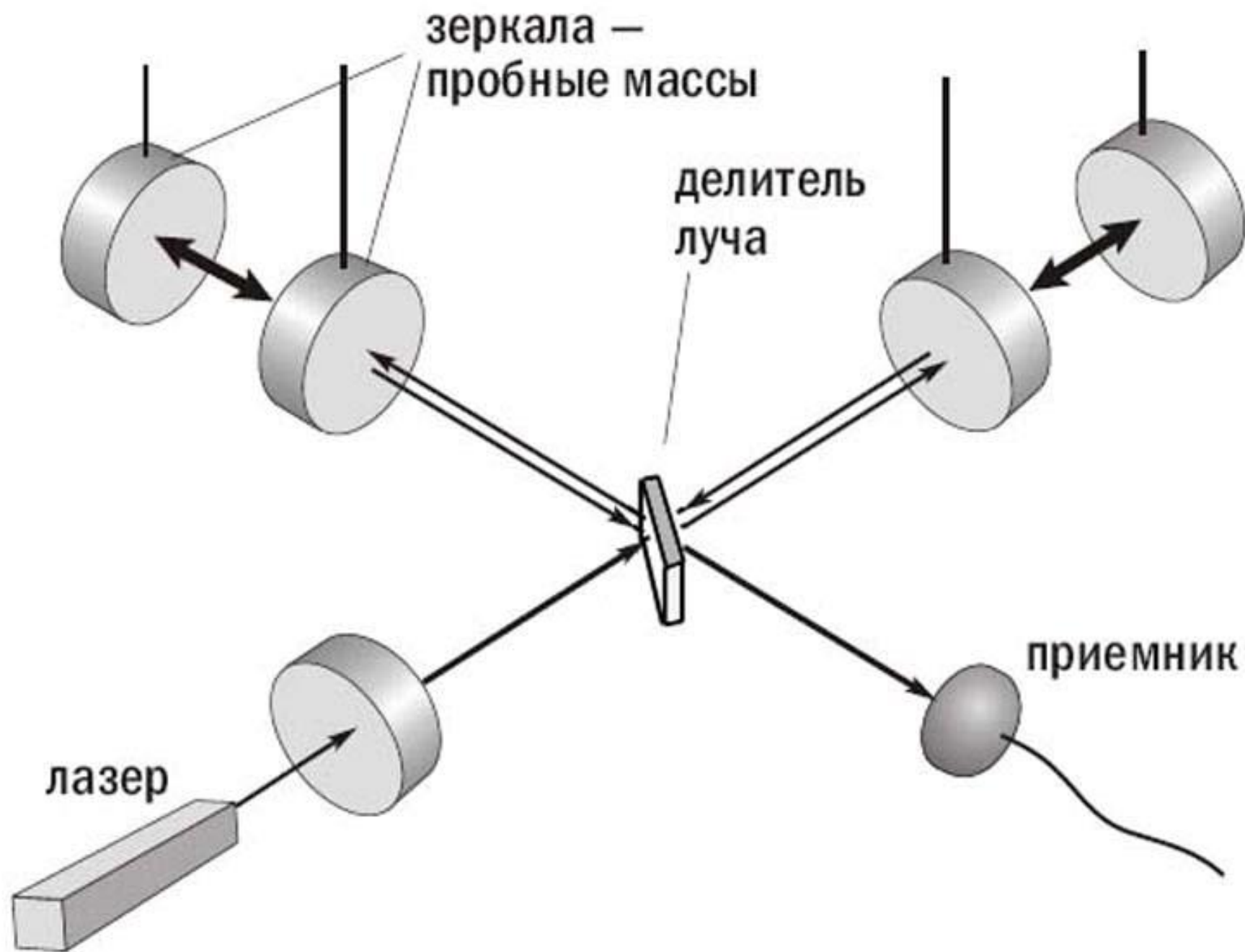




**JOSEPH WEBER WITH
GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR**

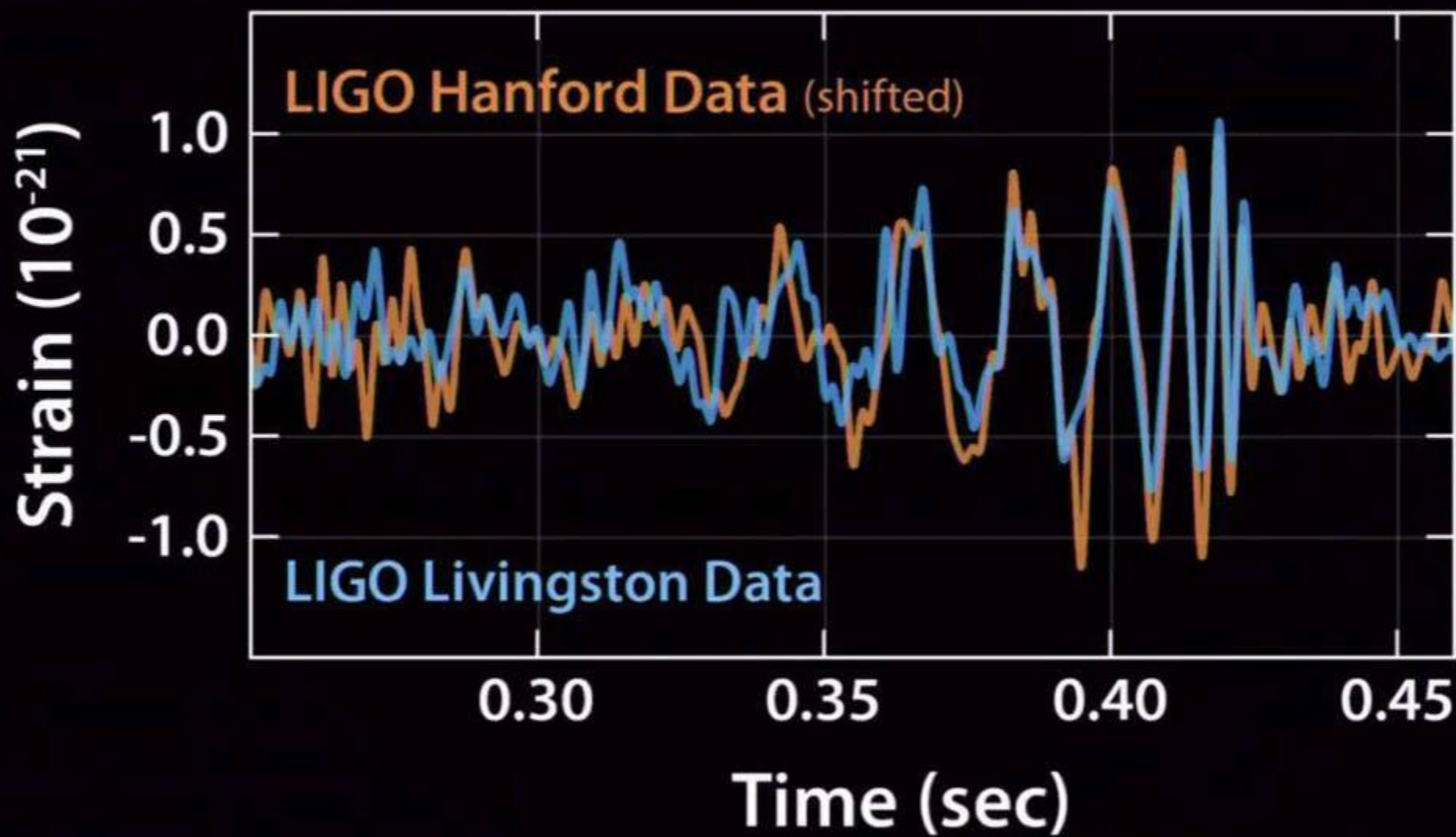
детекторы Наutilus (слева) и Аурига



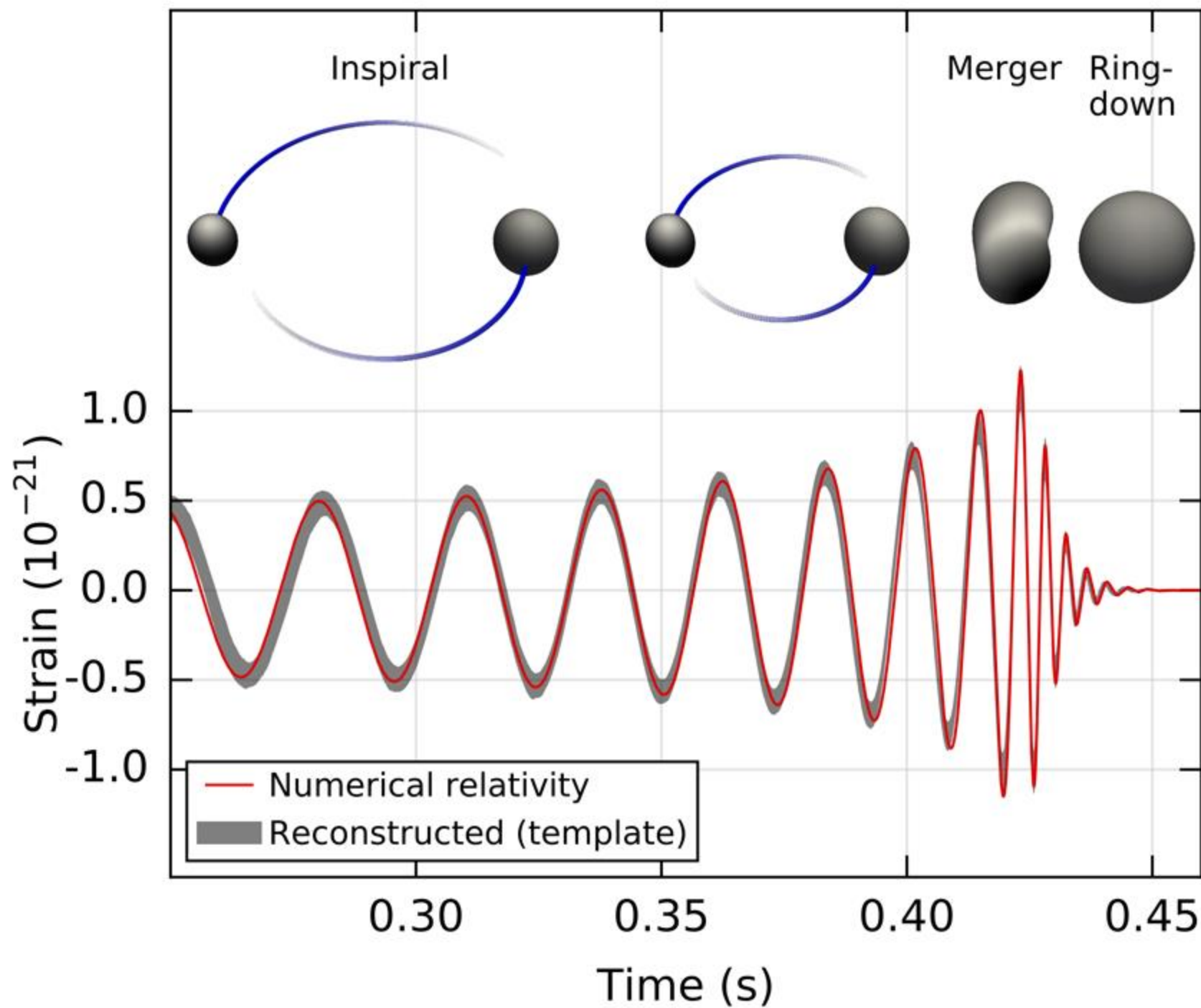


Гравитационный интерферометр на подвесных зеркалах





14 September 2015





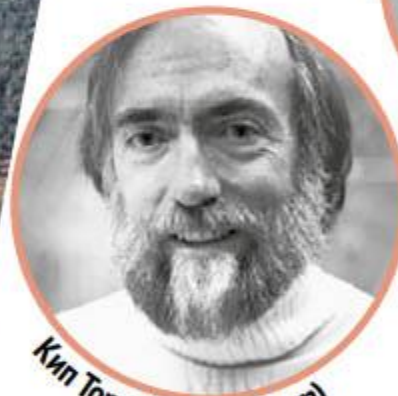
Райнер Вайс (quantumfrontiers.files.wordpress.com)

1932 г.



Барри Барिश (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

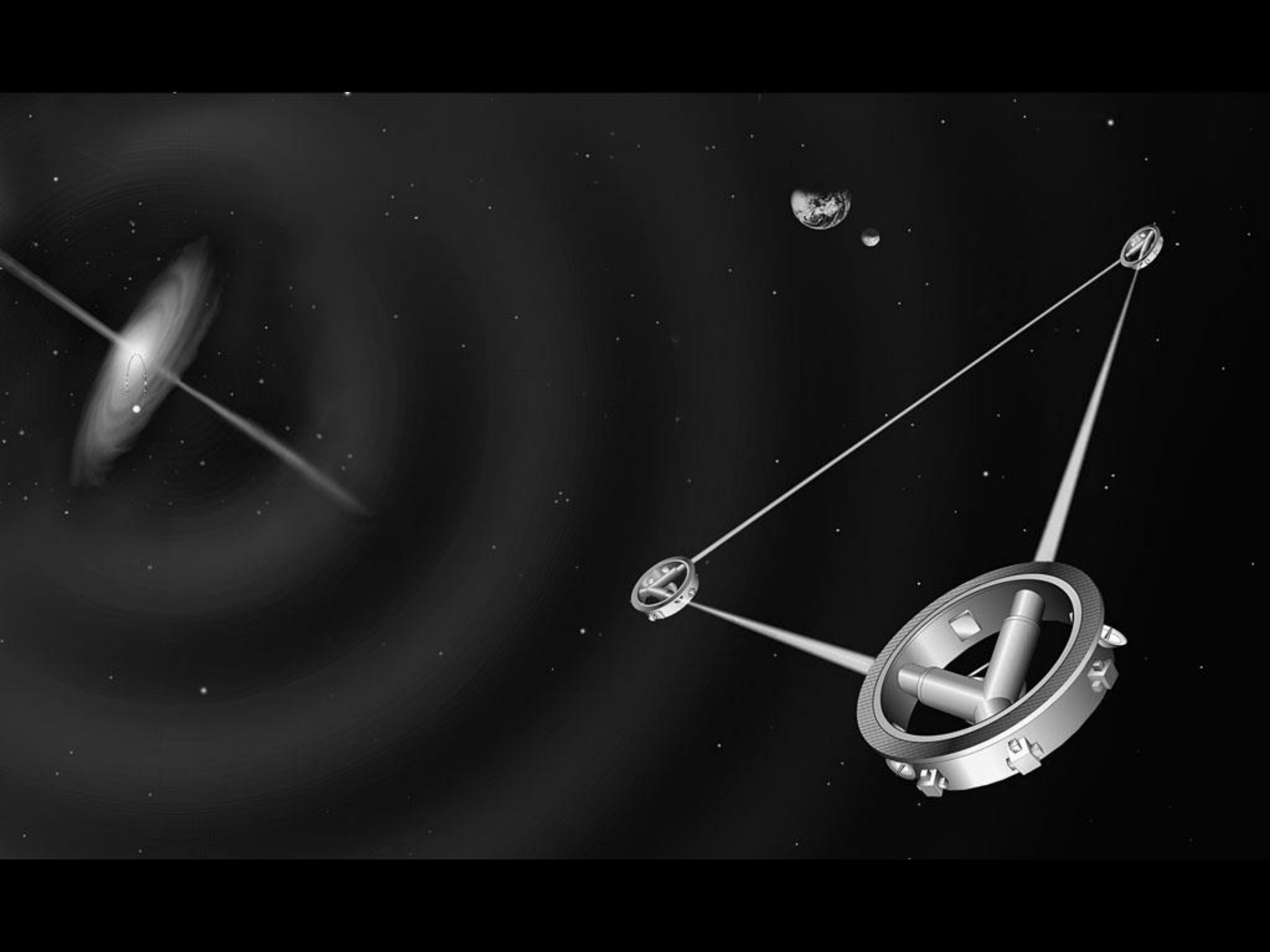
Научные результаты

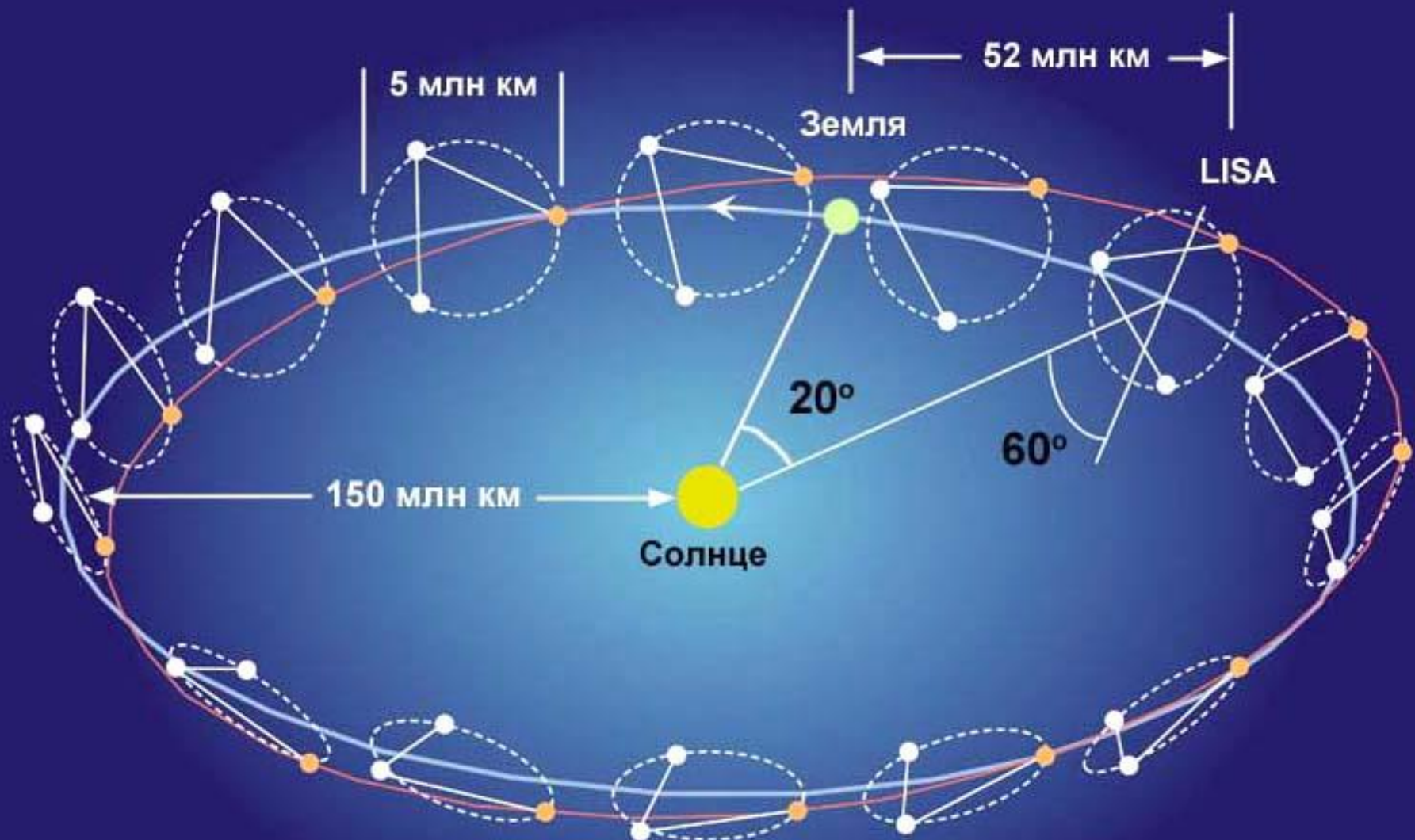
- Прямое обнаружение гравитационных волн.
- Прямое доказательство поперечности гравитационных волн
- Открытие нового способа наблюдения за Вселенной (гравитационно-волновая астрономия).
- Объяснение проблемы гравитационного дальнего действия.
- Прямое доказательство существования чёрных дыр.
- Прямое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

Вклад российских ученых

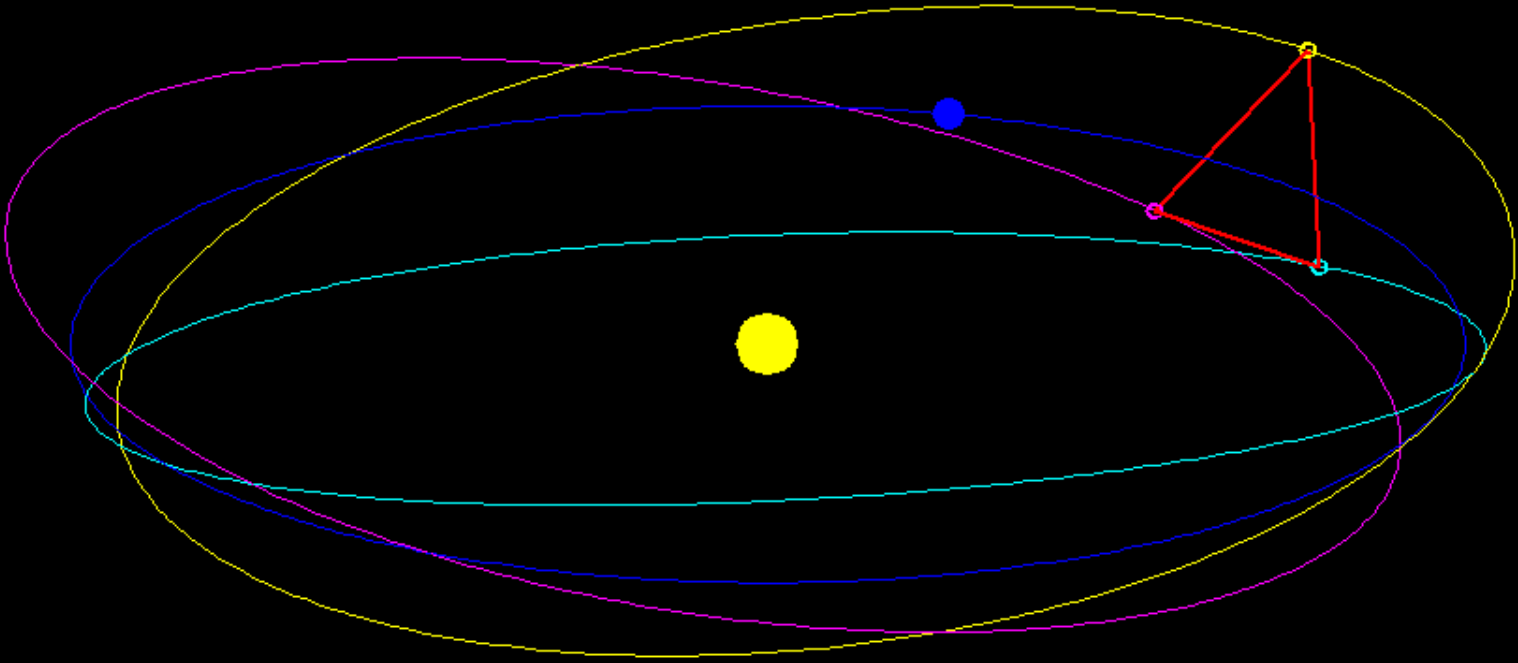
Группа В.Б.Брагинского (МГУ)

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





LISA = Laser Interferometer Space Antenna



АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

НЕБО И ТЕЛЕСКОП



НЕБО И ТЕЛЕСКОП



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.

ISBN 978-5-9221-1496-0



9 785922 114960