

Современное состояние и развитие астрономических методов исследования



Сурдин В. Г. ГАИШ МГУ



Чего мы хотим от оптики?

► Различить
мелкие детали



► Заметить
тусклые объекты

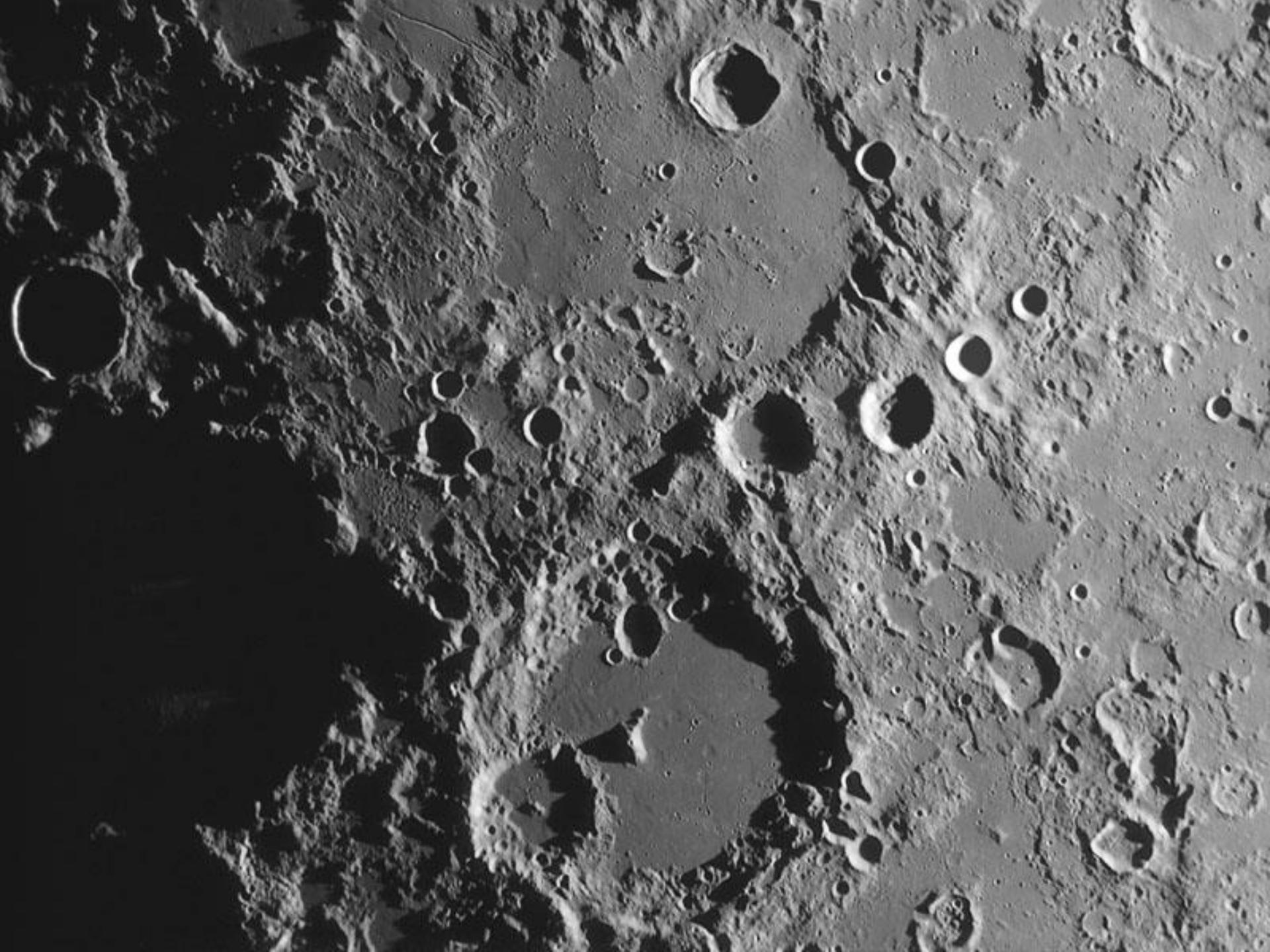


Чего мы хотим от телескопа?

Каждое мгновение
контролировать всё небо!

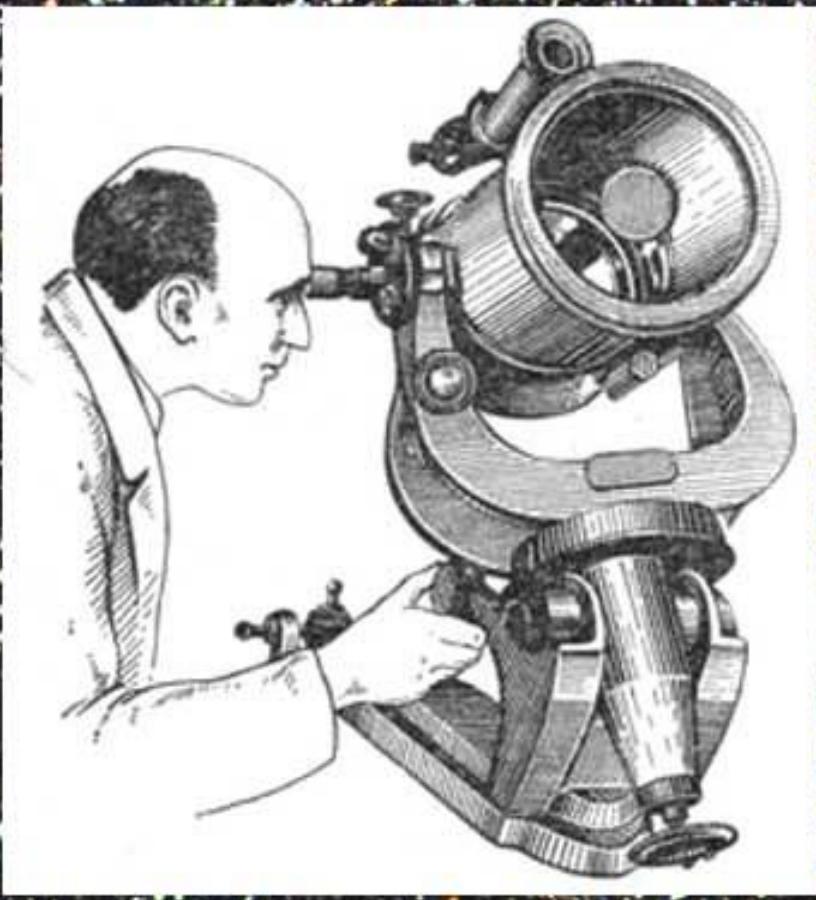


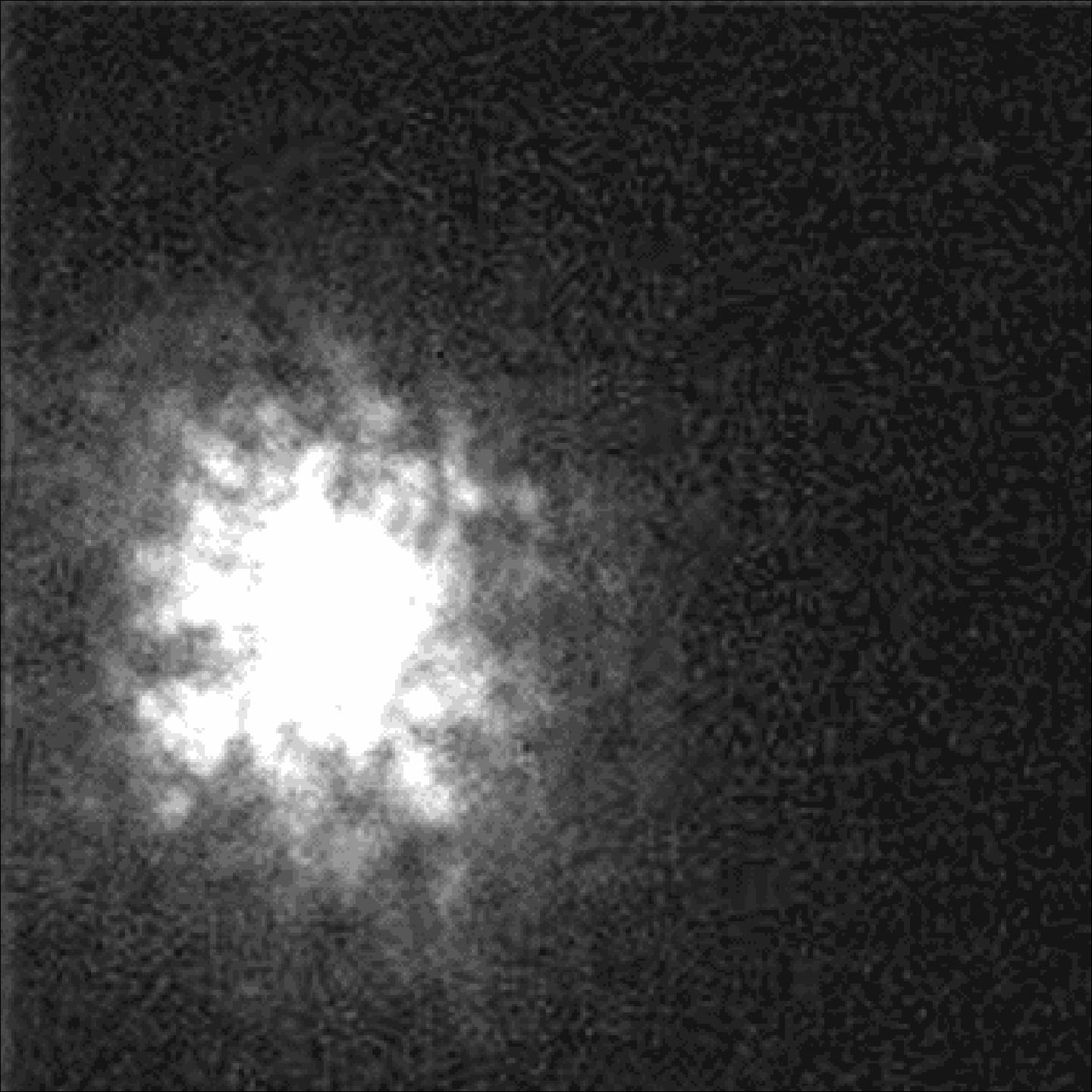
















Мауна-Кеа, о.Гавайи, 4130 м







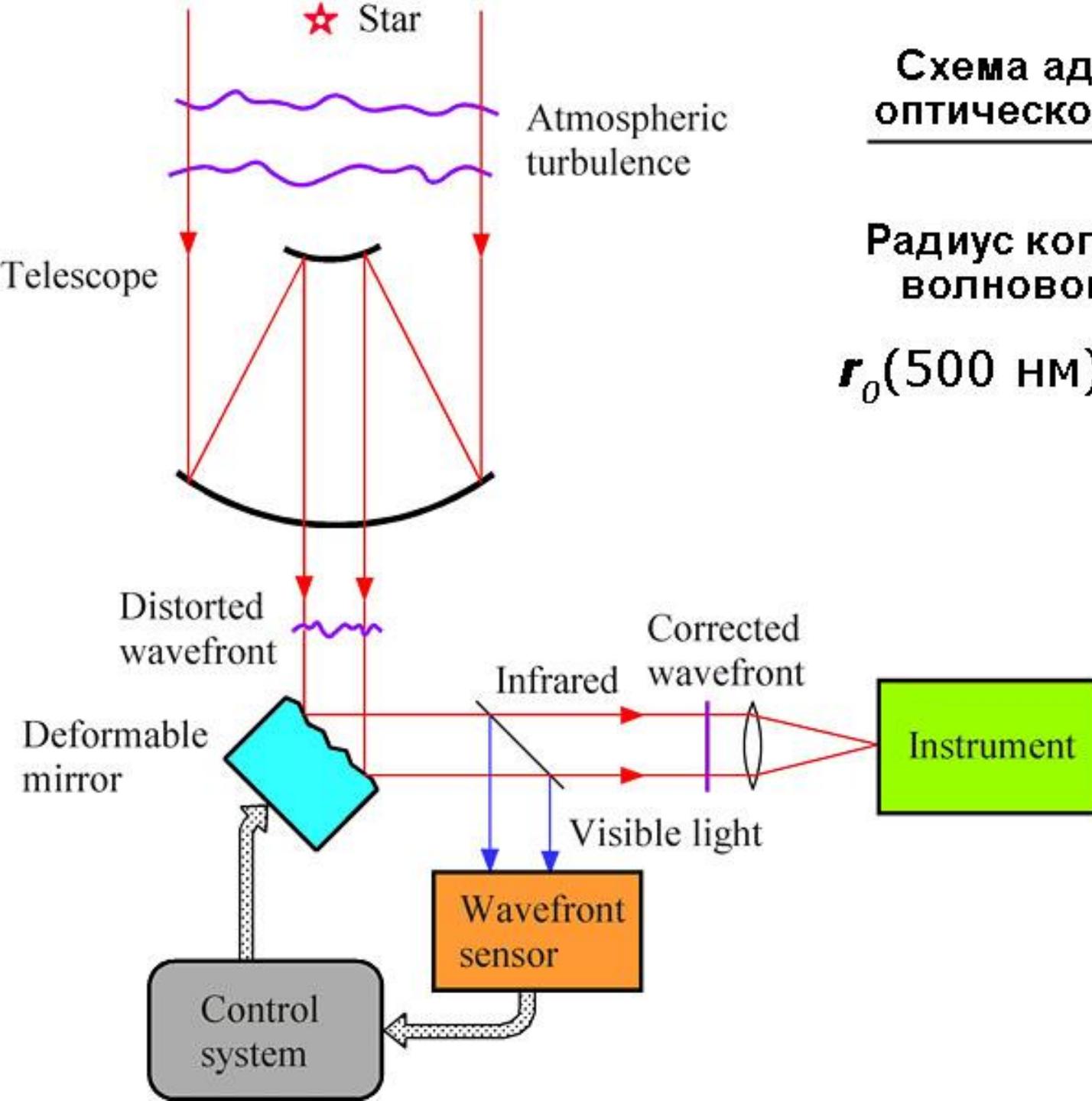
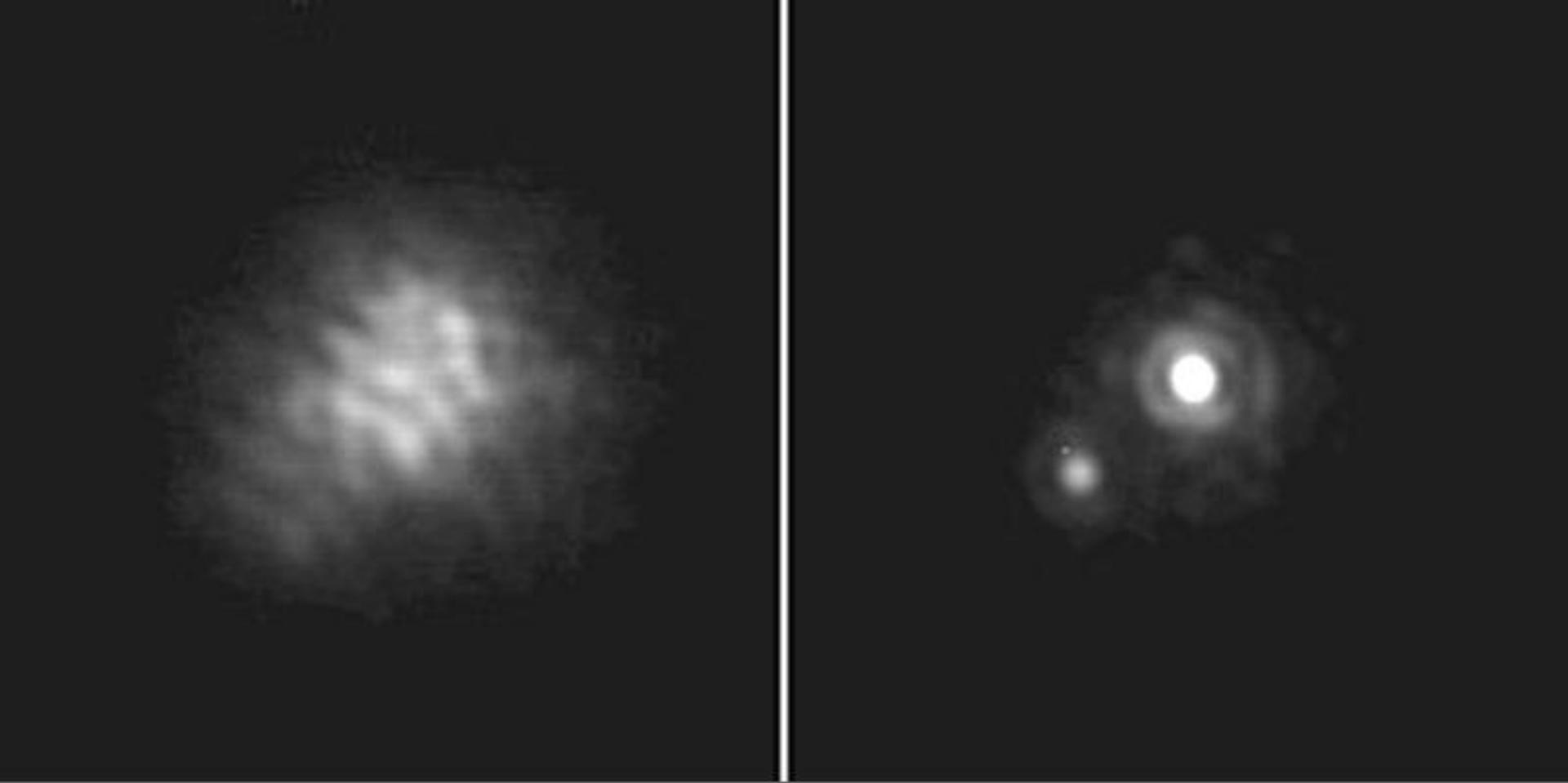


Схема адаптивной оптической системы

Радиус когерентности волнового фронта

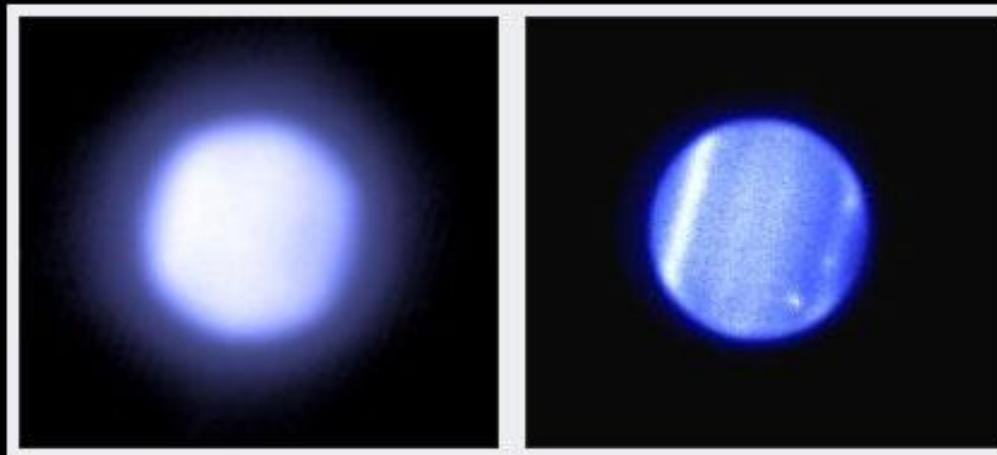
$$r_0(500 \text{ нм}) = \mathbf{2-20 \text{ см}}$$



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

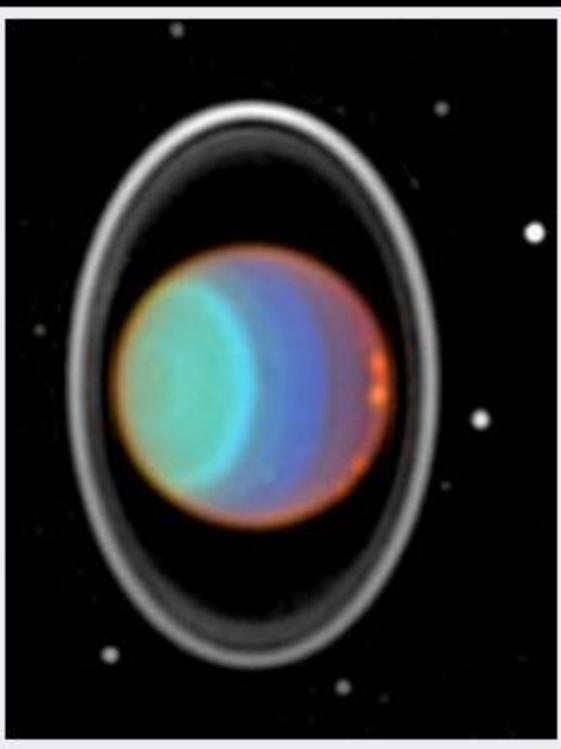
Планета Уран

До включения



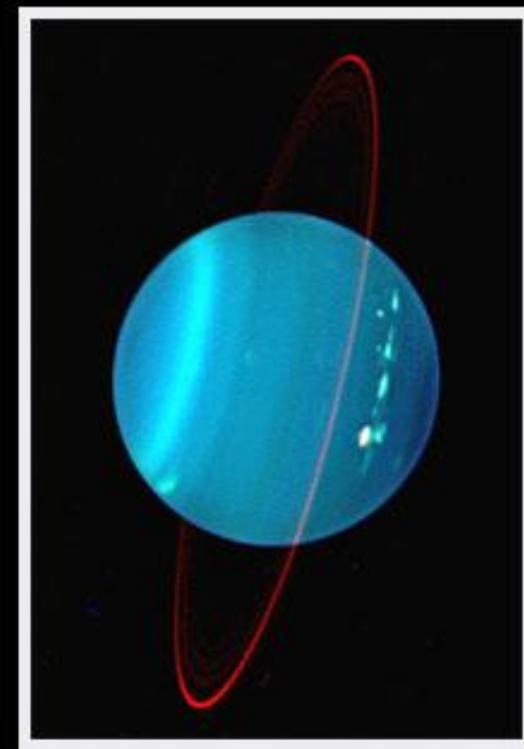
После включения

Система адаптивной оптики



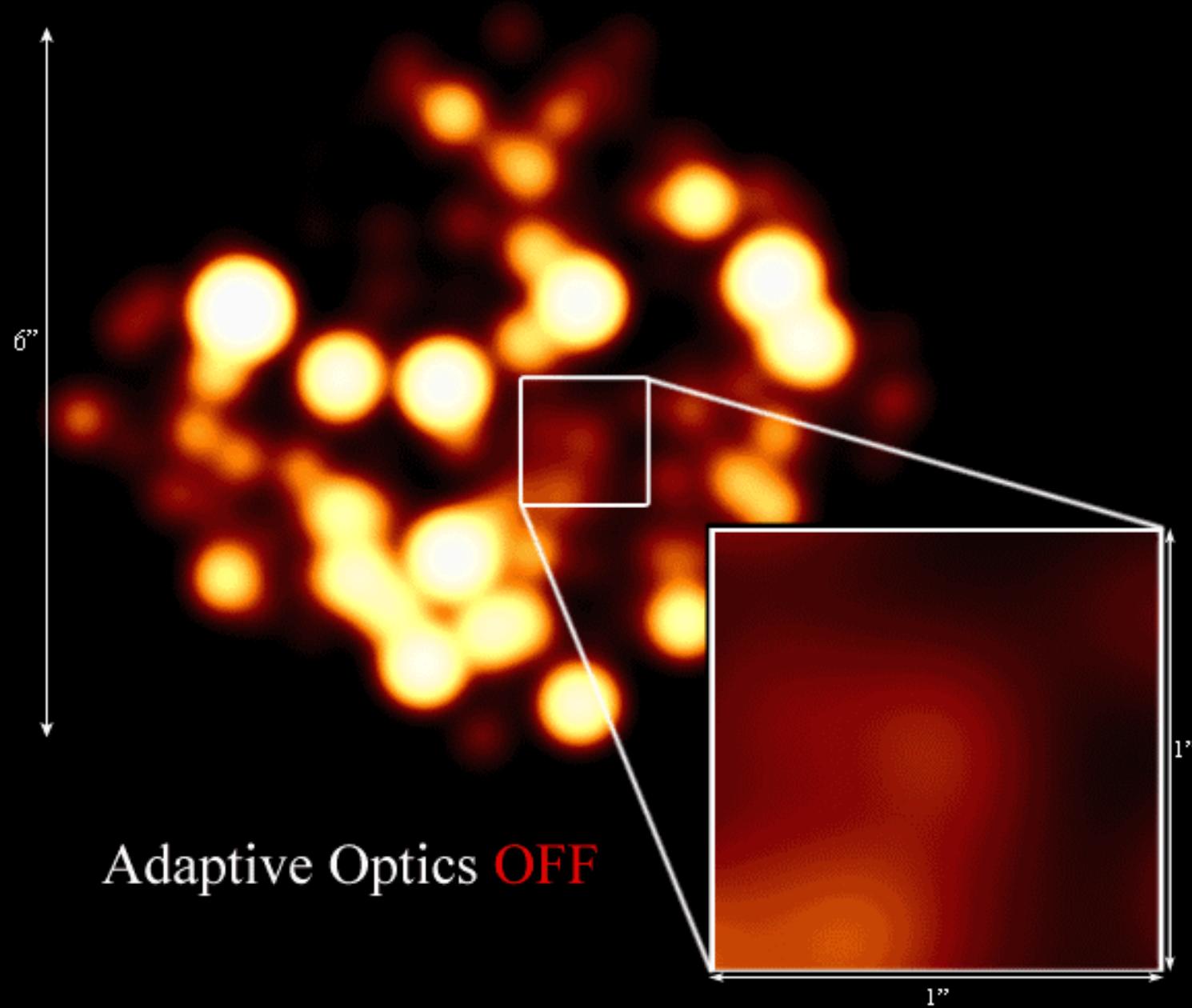
Космический
телескоп
“Хаббл”

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

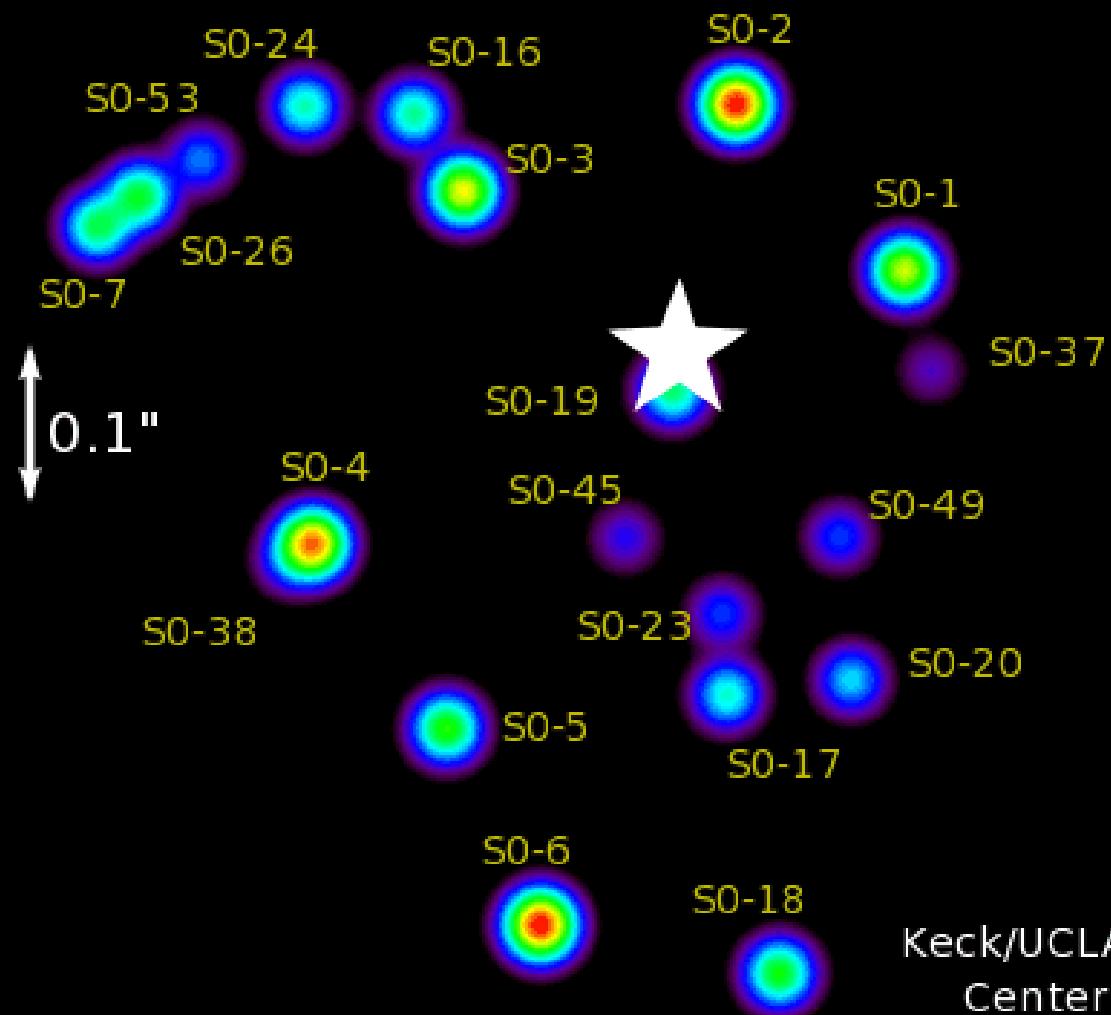




The Galactic Center at 2.2 microns

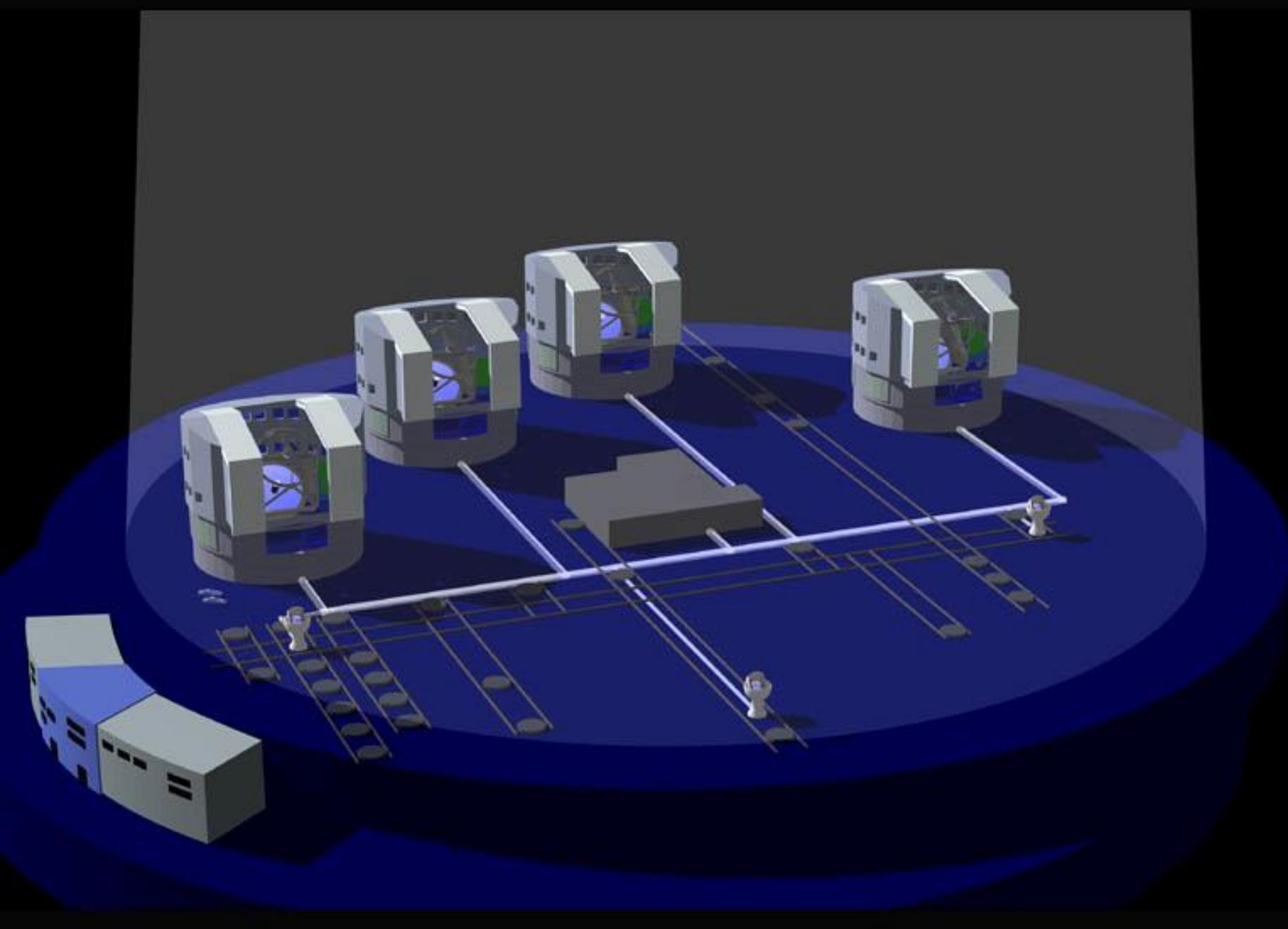


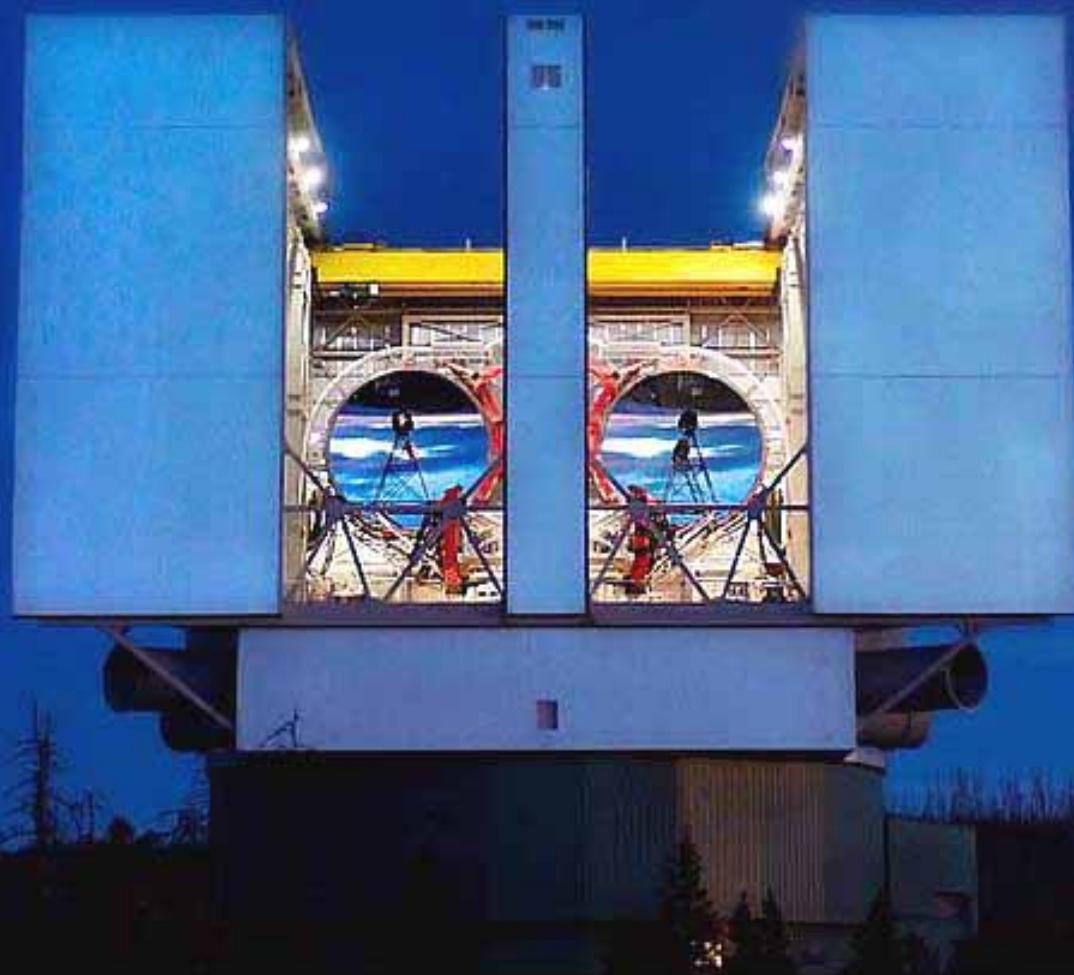
1995.5



Keck/UCLA Galactic
Center Group







Large Binocular Telescope 2 x 8,4 m

Маунт Грэхем, Аризона



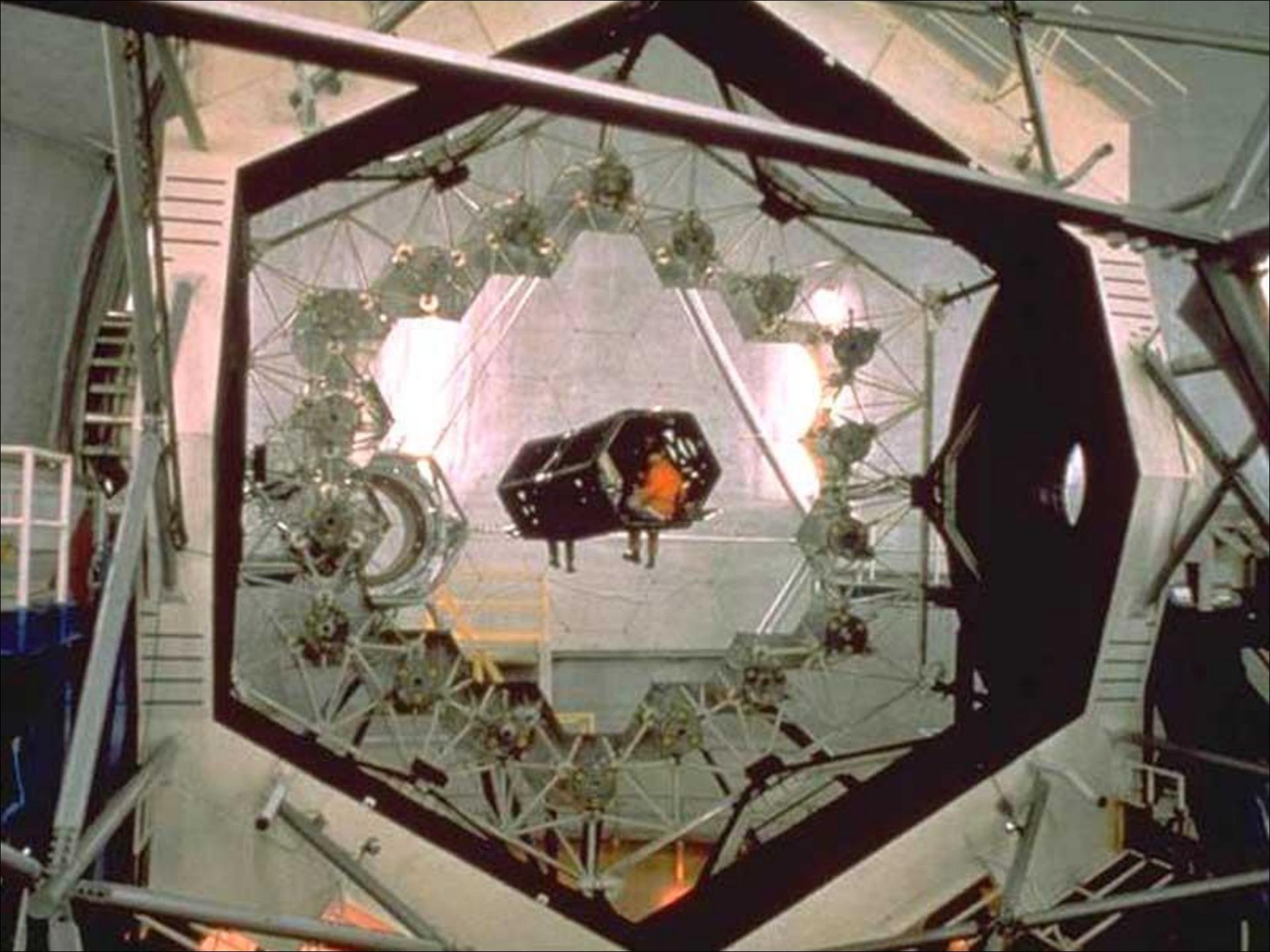
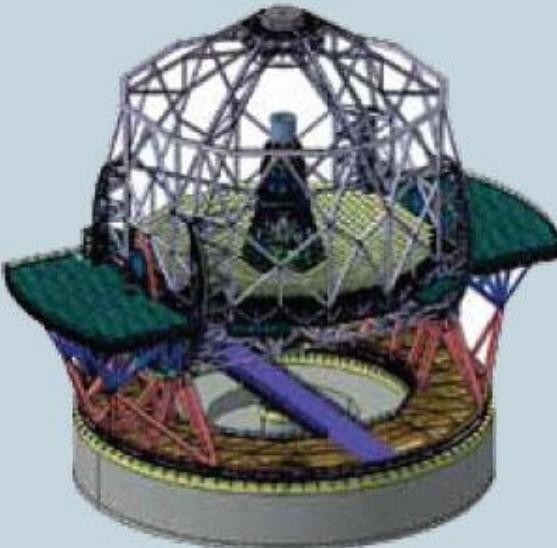
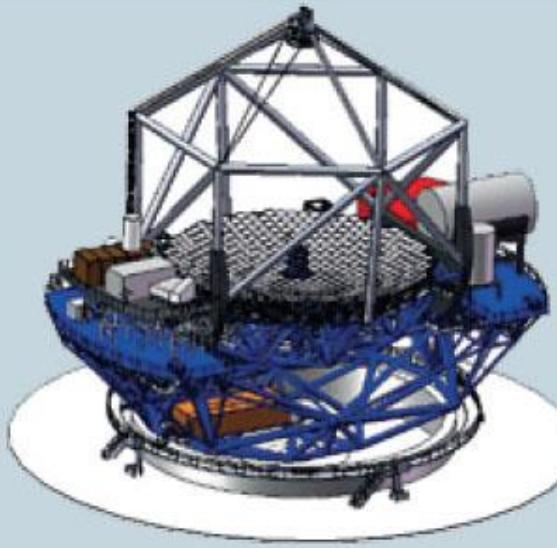




Table 1: The giant telescopes 2012

	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)



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)

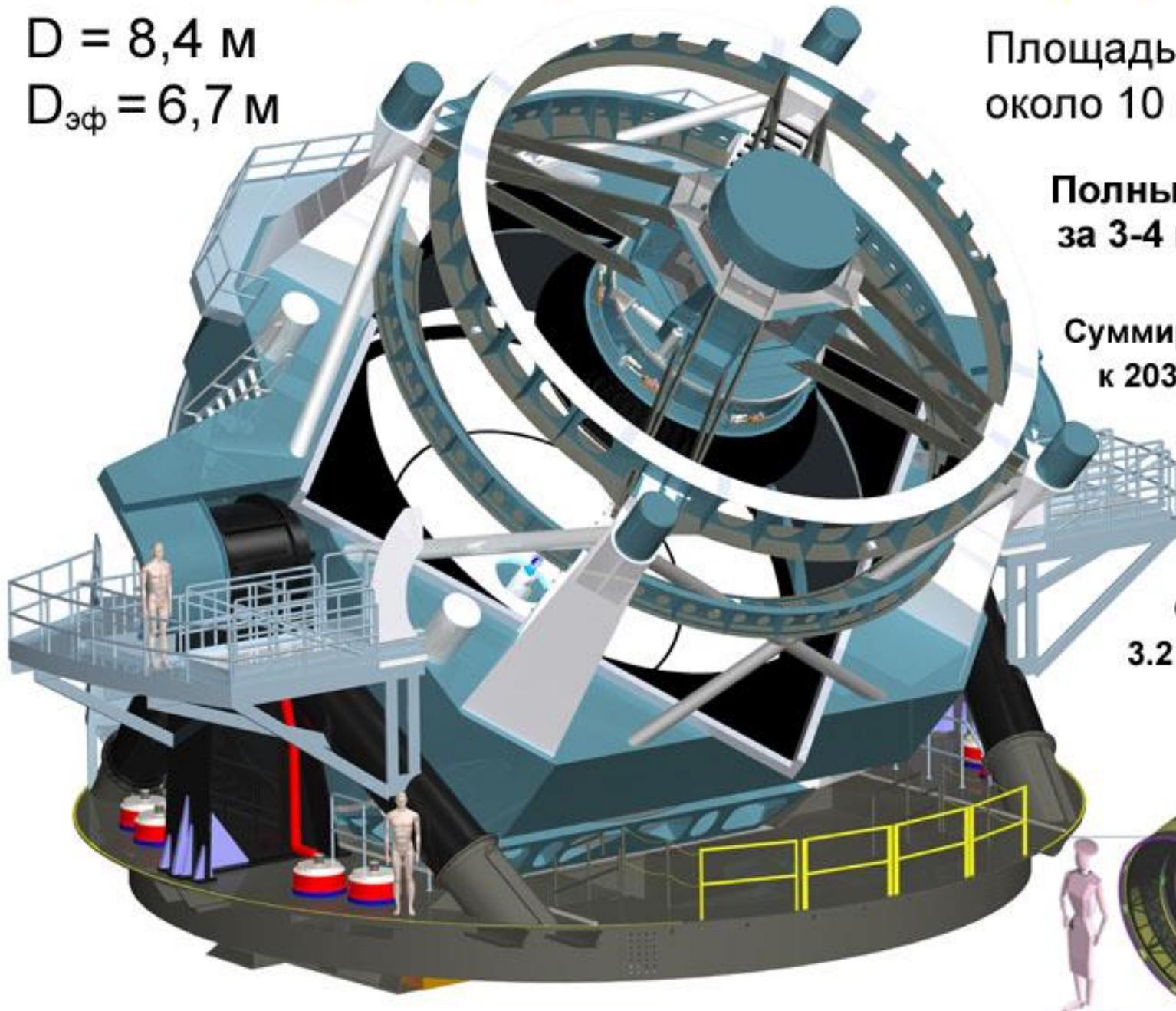
Телескопы среднего размера с большим
полем зрения (3°), способные за неделю
сфотографировать всё доступное небо.



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

D = 8,4 м

D_{эф} = 6,7 м

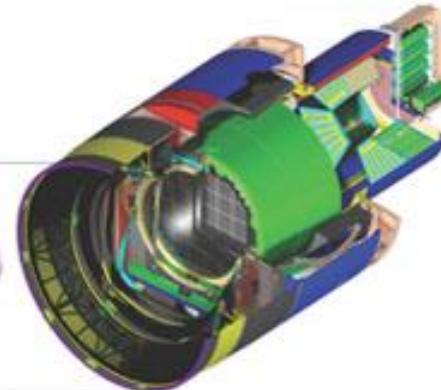


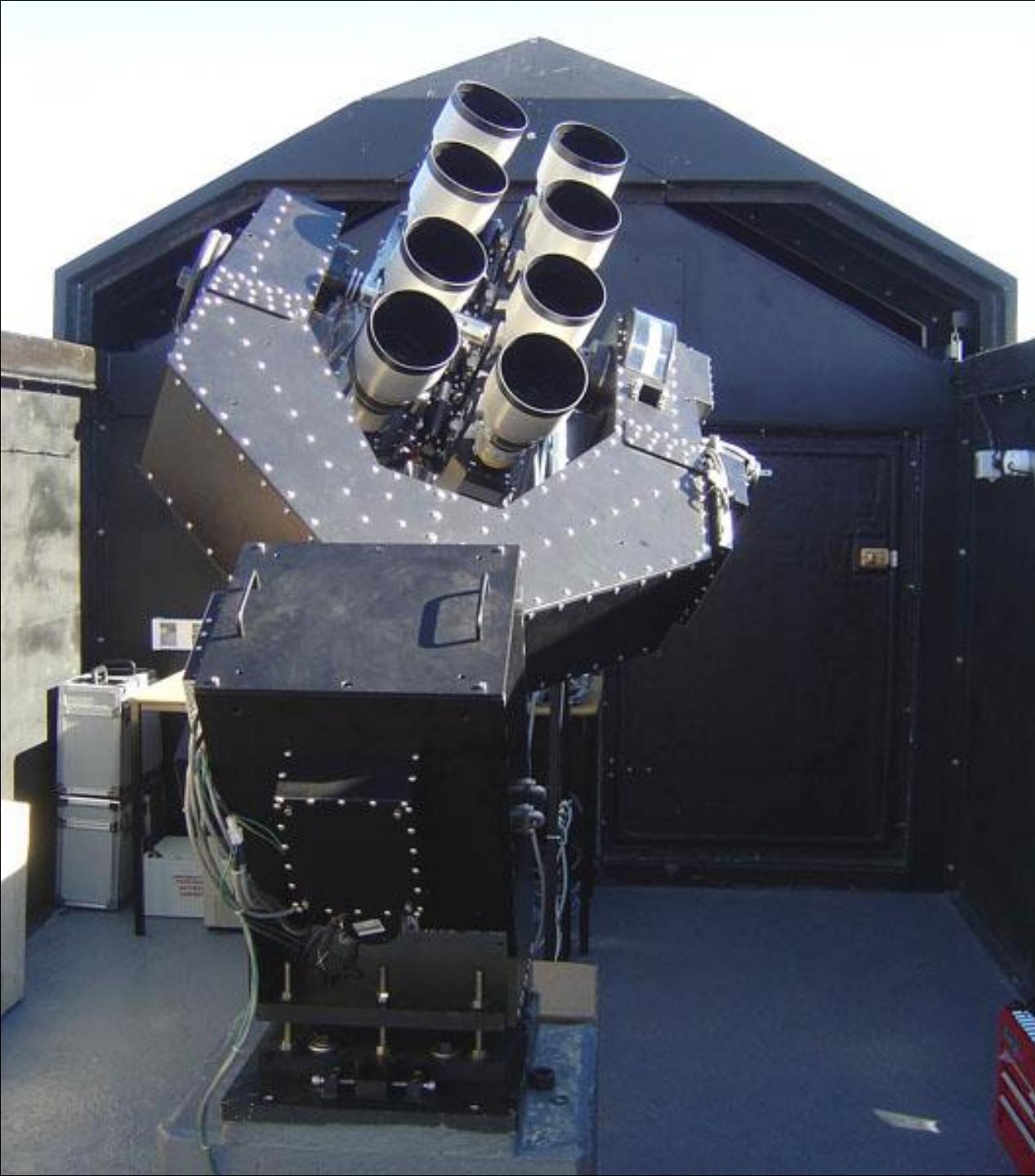
Площадь поля зрения
около 10 кв. градусов

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. пикселов





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.



 Russell Croman

Телескоп квалифицированного астронома-любителя

Лучшие снимки
доцифровой эпохи

Современный любительский
цифровой снимок



Любительский



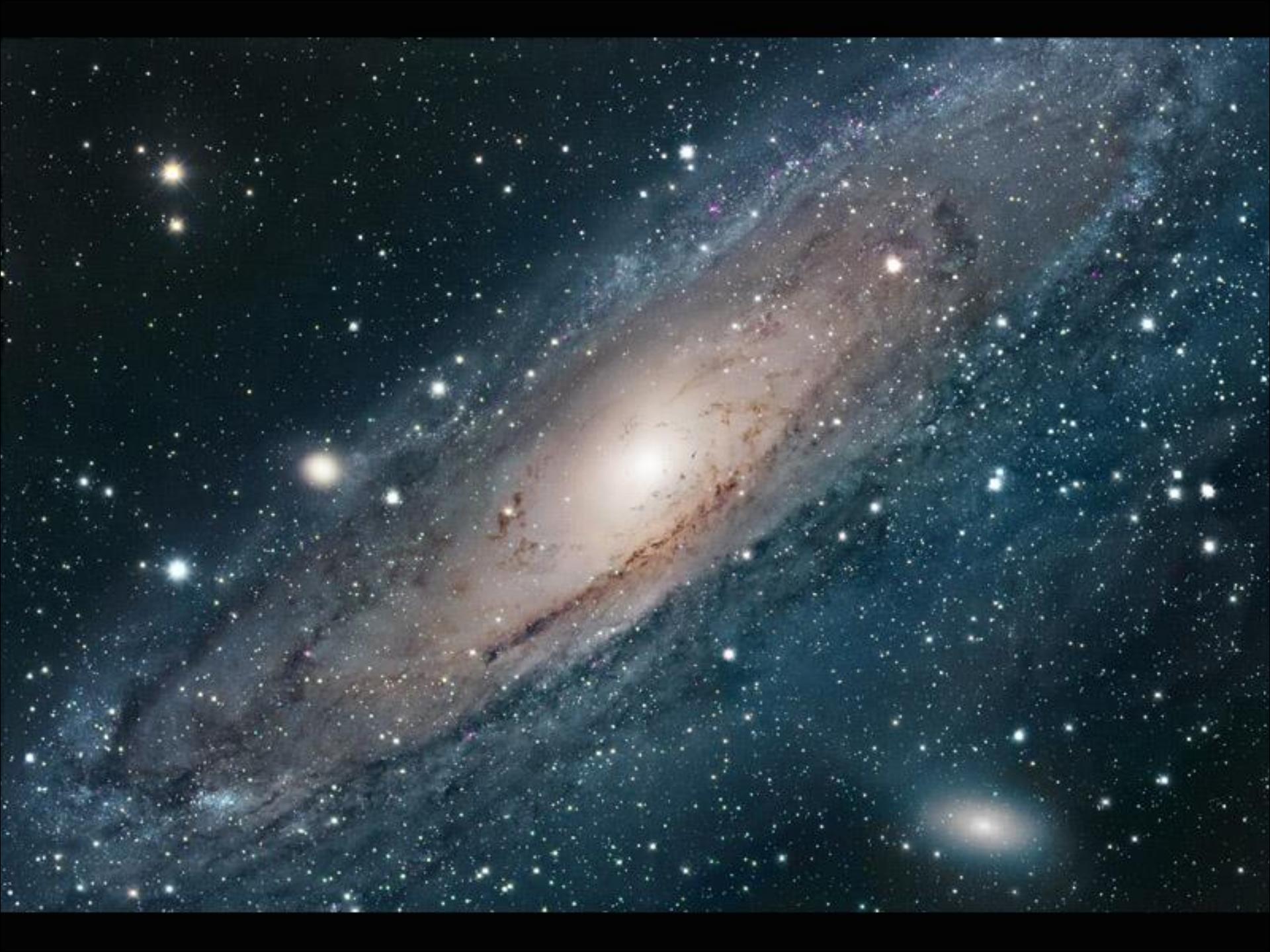
Профессиональный



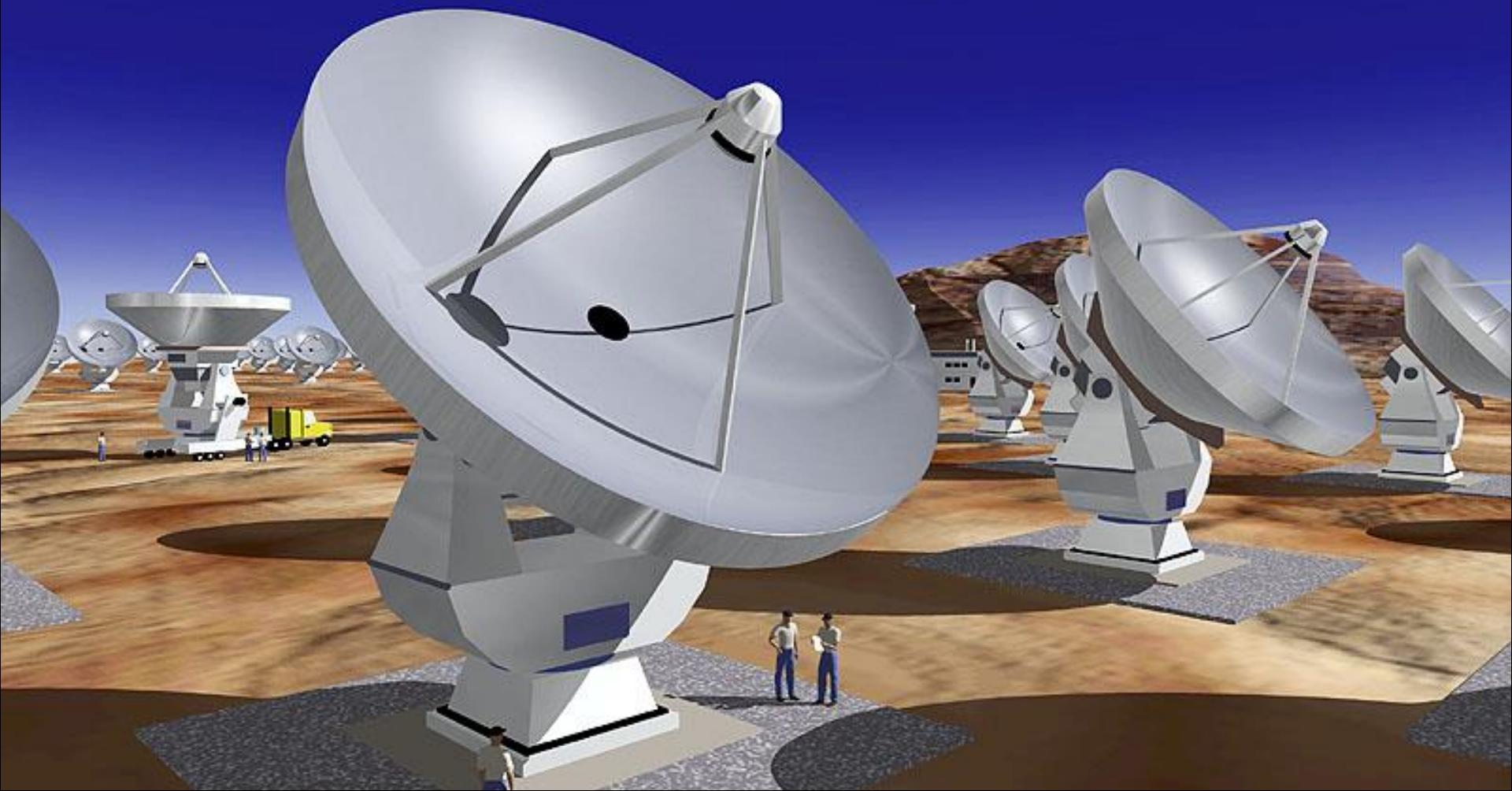
Телескоп Celestron 14"
CCD камера
Выбраны лучшие кадры
из 4800 экспозиций

14 March, 2011
05:07 UT

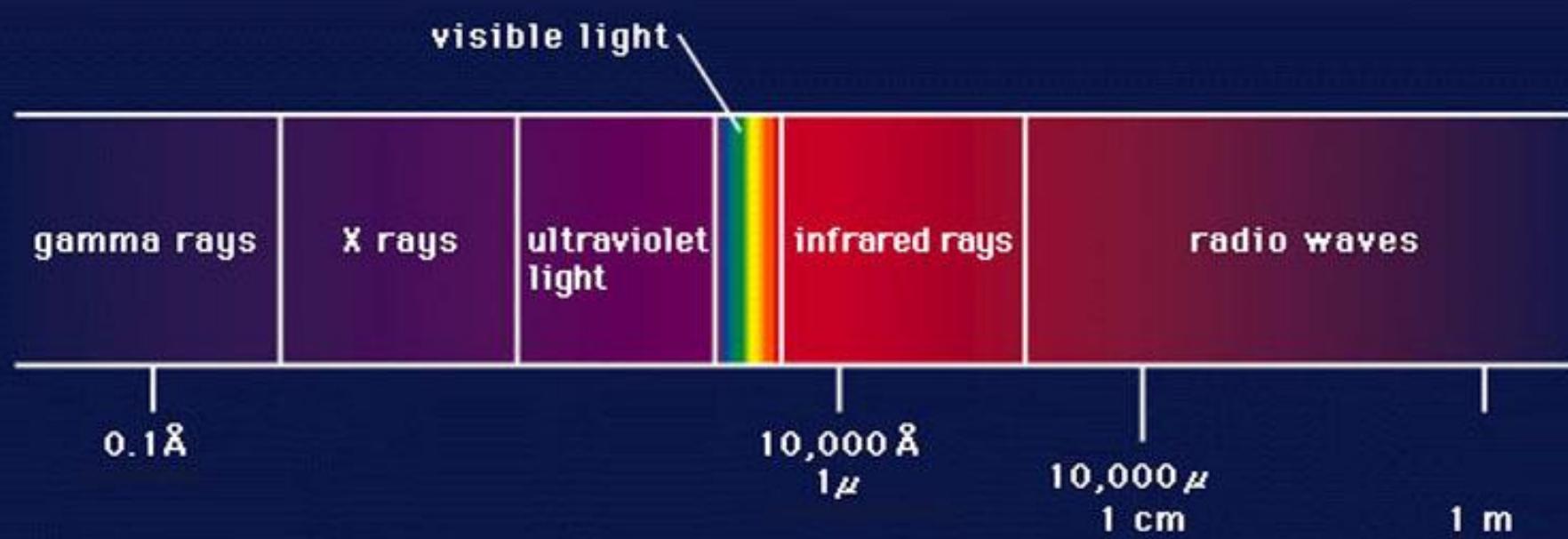
B. Combs
Buena Vista, GA USA



Неоптическая Астрономия

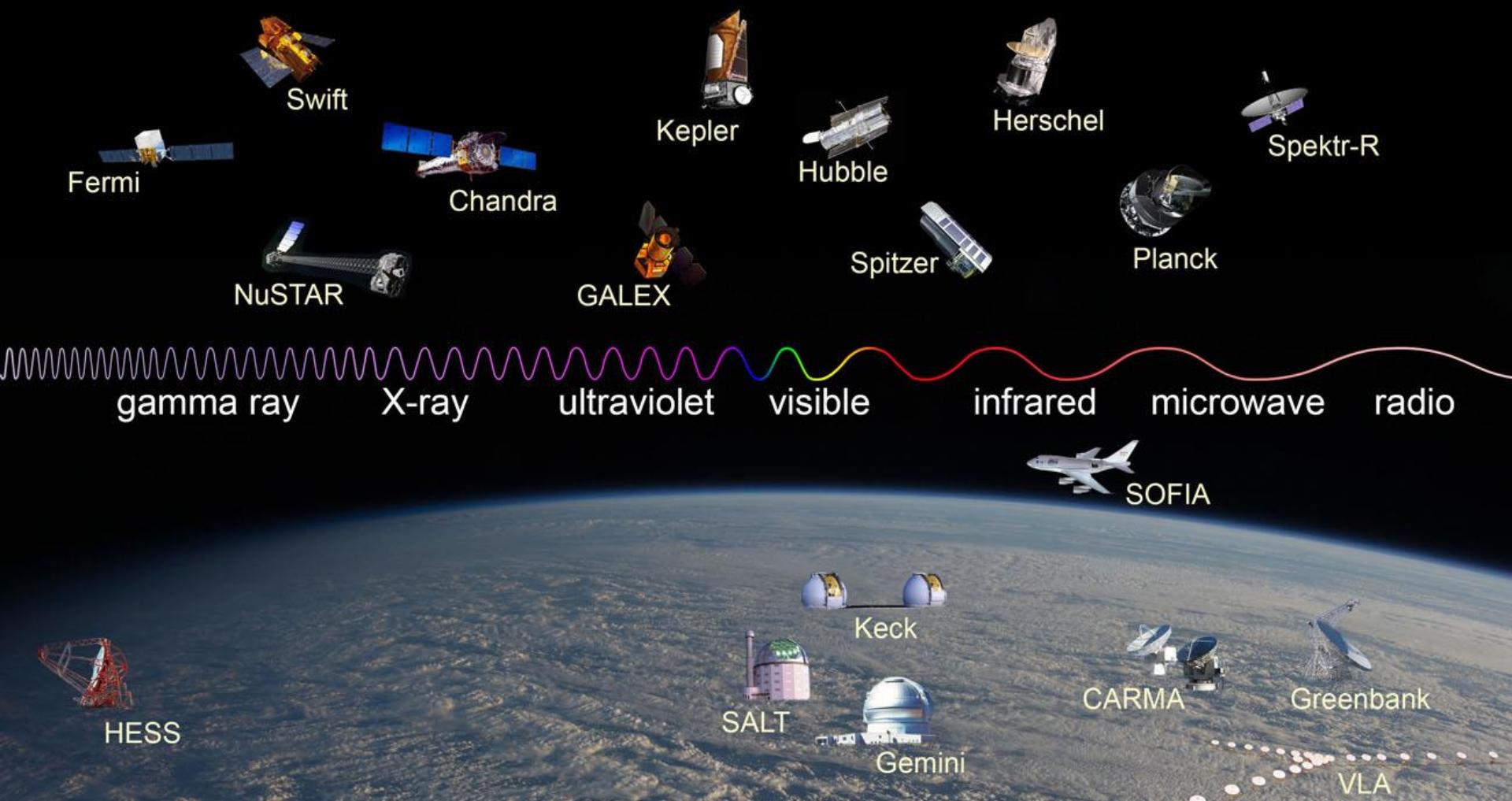


Электромагнитный спектр

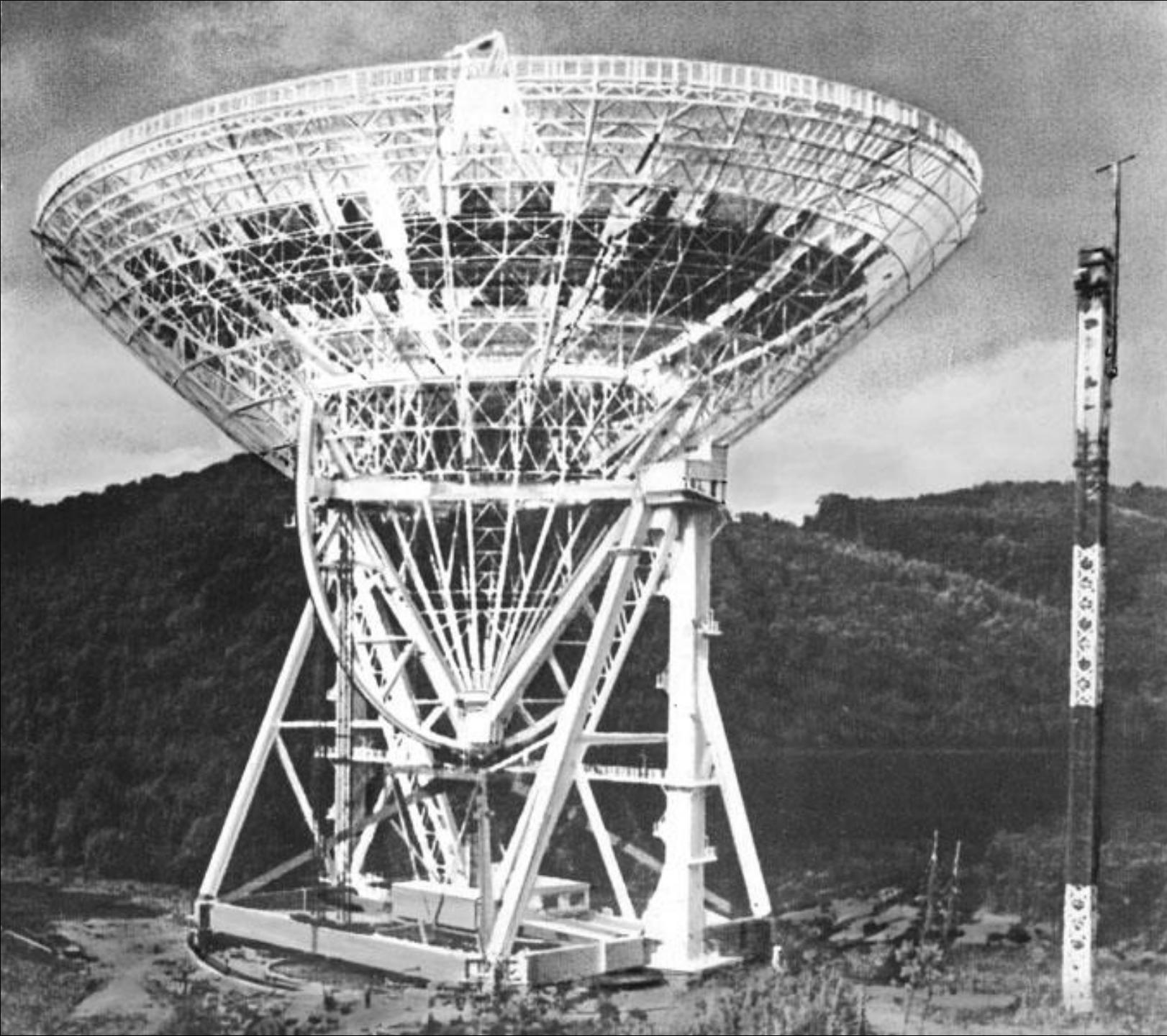


Видимый свет (3500-7000 Å) = 1 октава

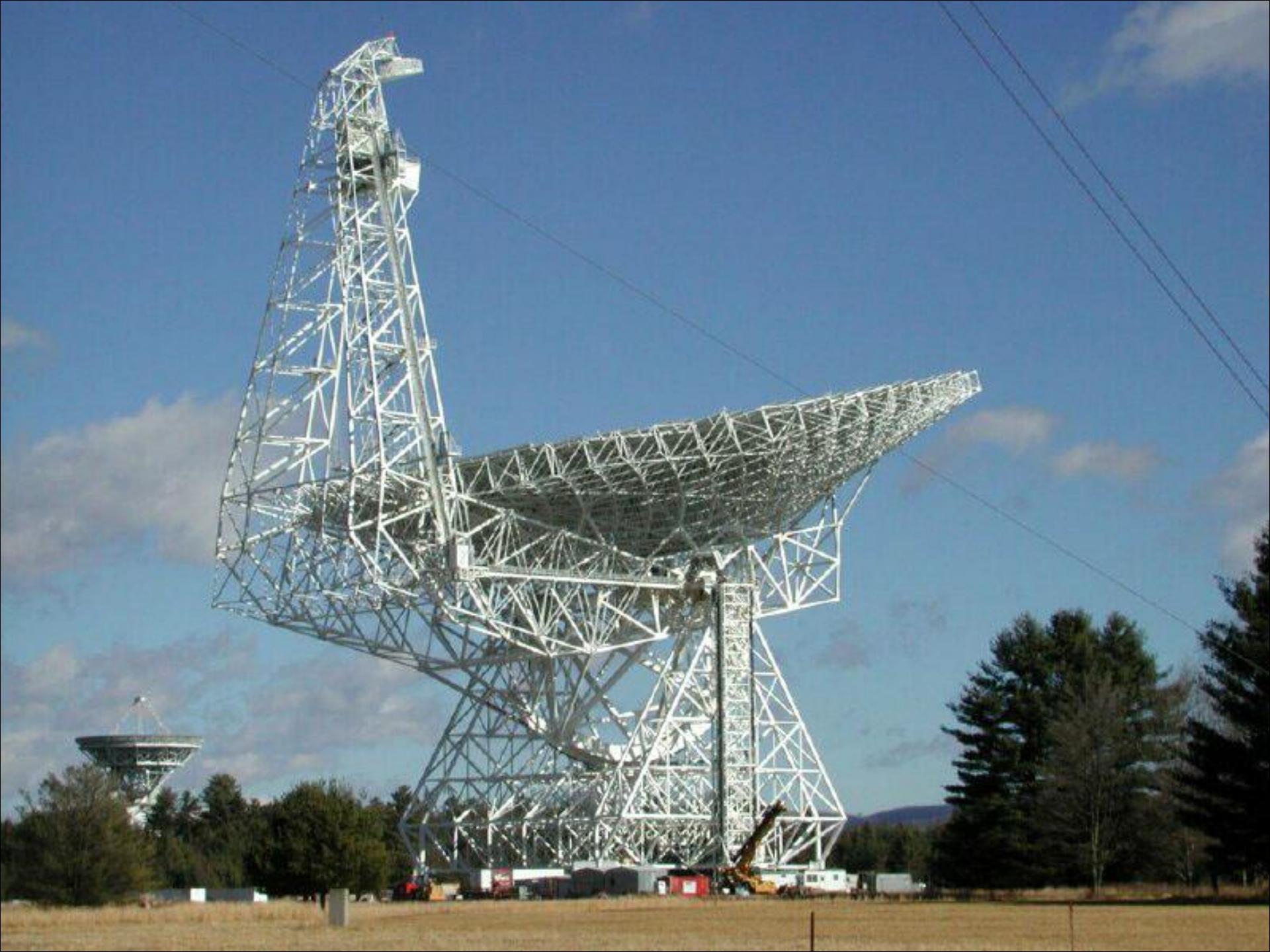
От гамма (0,1 Å) до радио (10 м) = 40 октав







100-м
Германия



$$\delta \approx \frac{\lambda}{D}$$

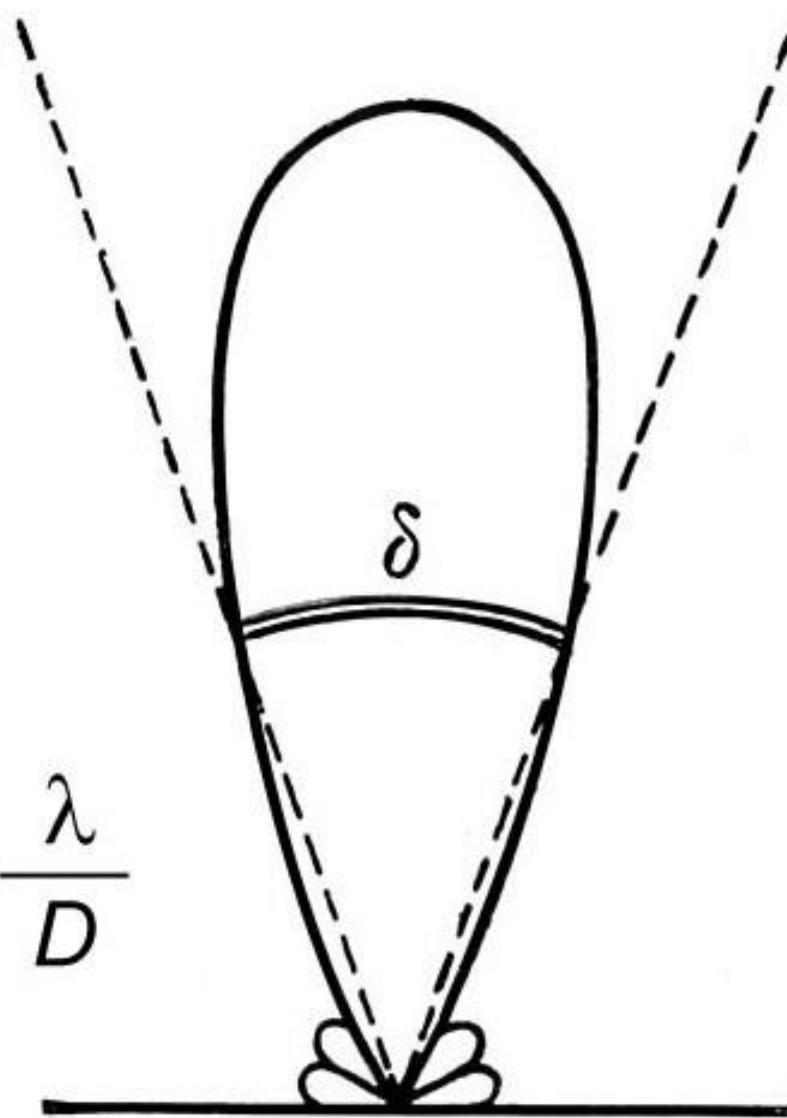
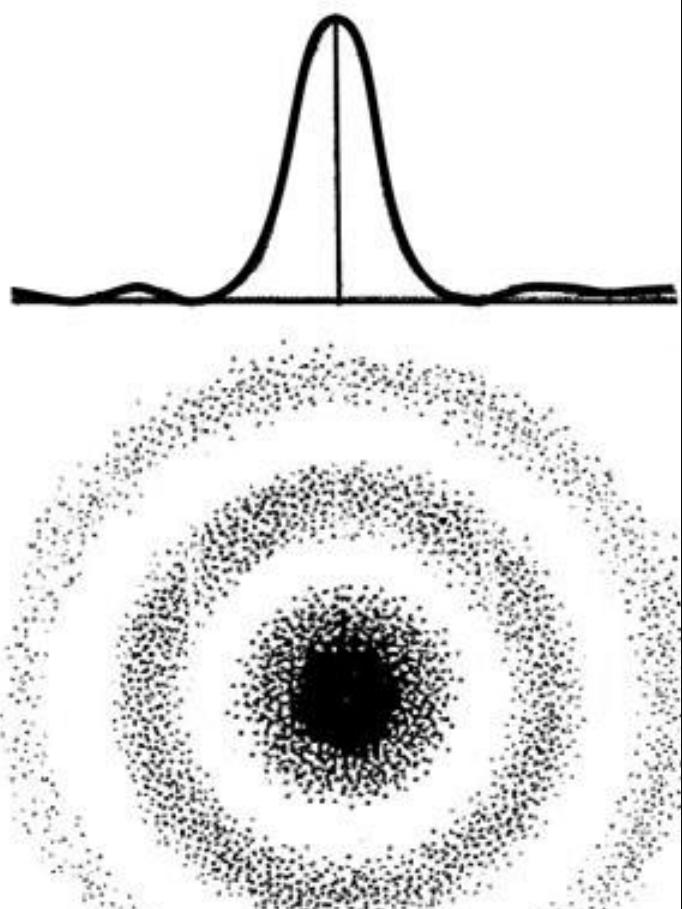


Диаграмма
направленности
параболической
антенны

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



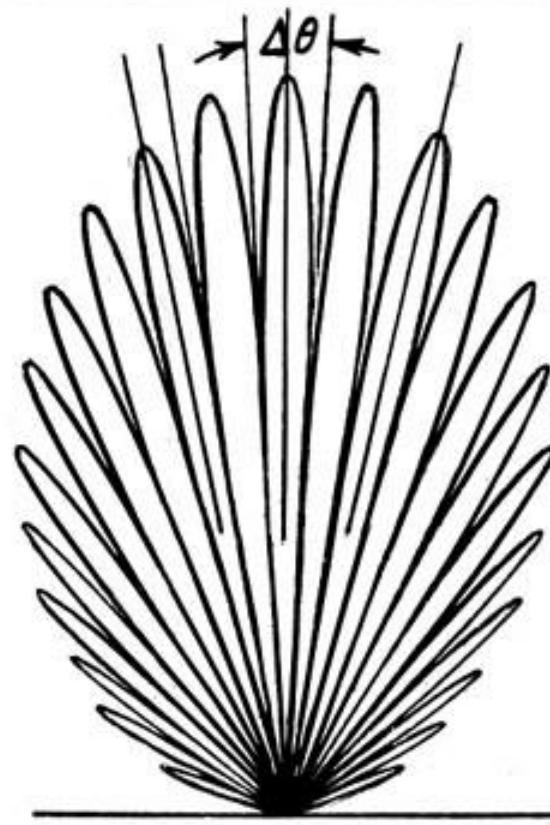
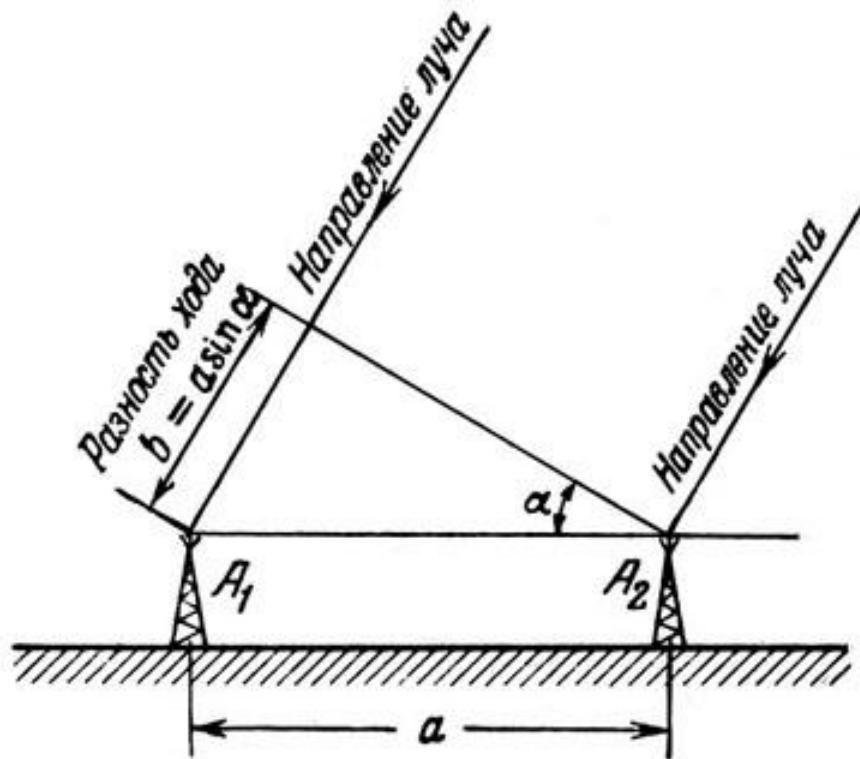
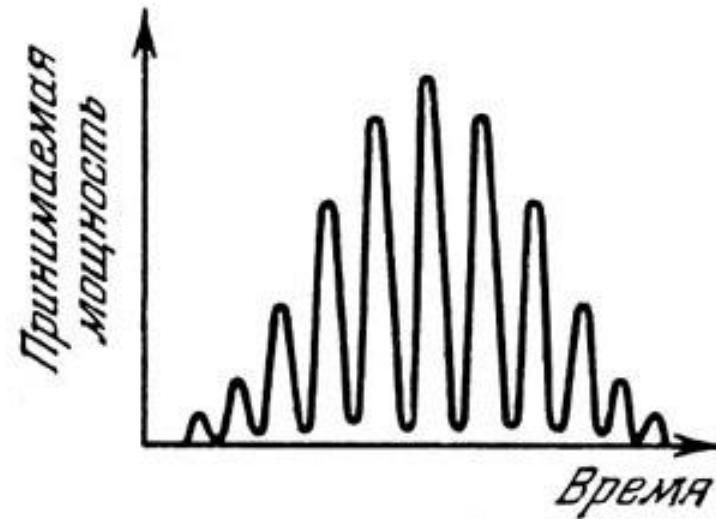
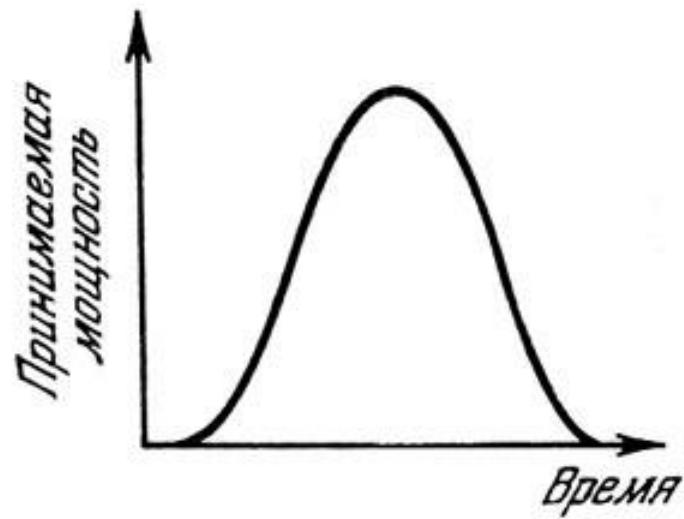
Обсерватория «Зеленчукская», Северный Кавказ,
Карачаево-Черкесия, Россия.

1974 г





ДКР-1000 *Пущино-на-Оке*
Крест из двух параболических цилиндров
 $2 \times 1000 \times 40$ м





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

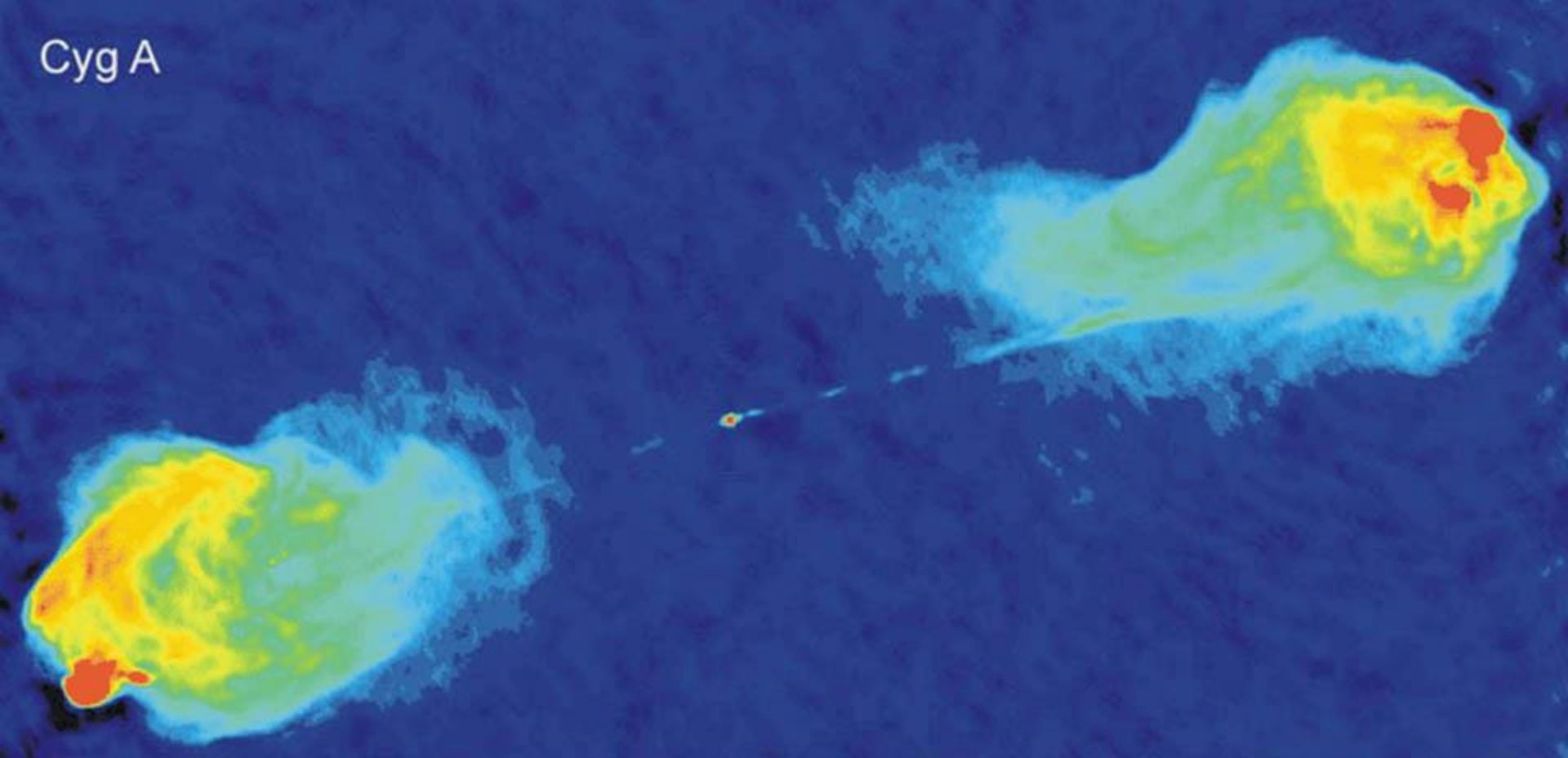
Наррабри, Австралия

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

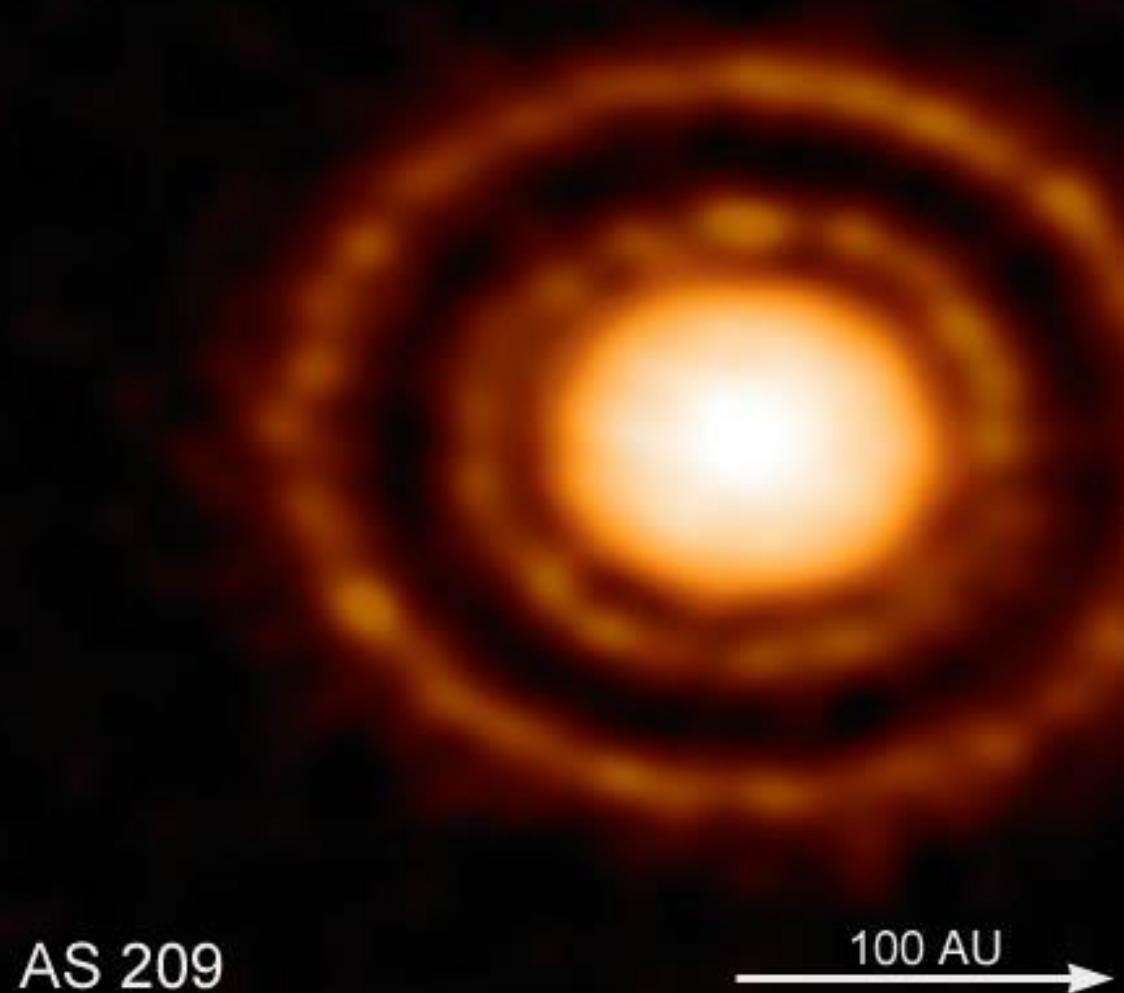
64 x 12 M



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

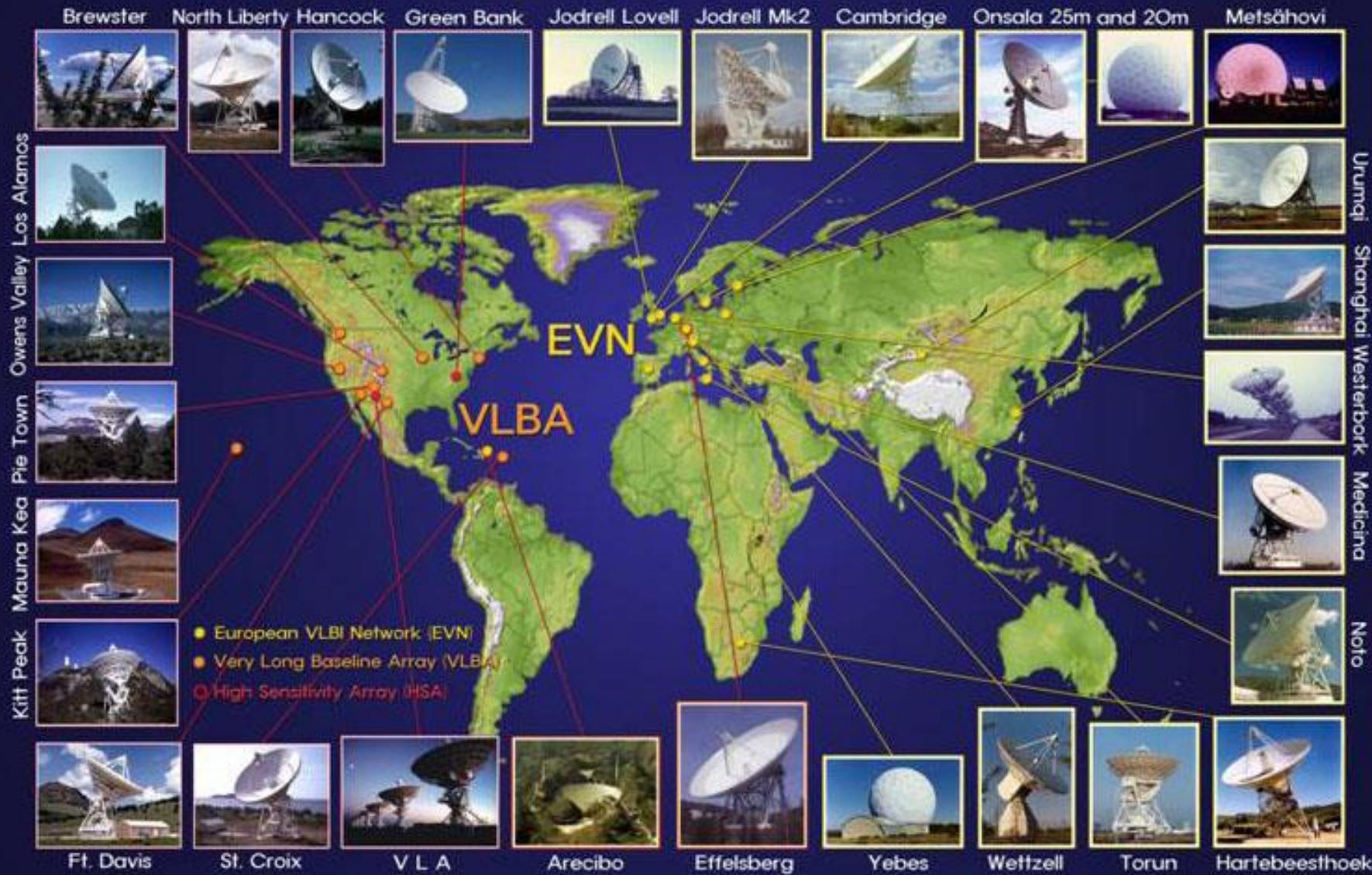
ALMA Partnership et al. (2015)

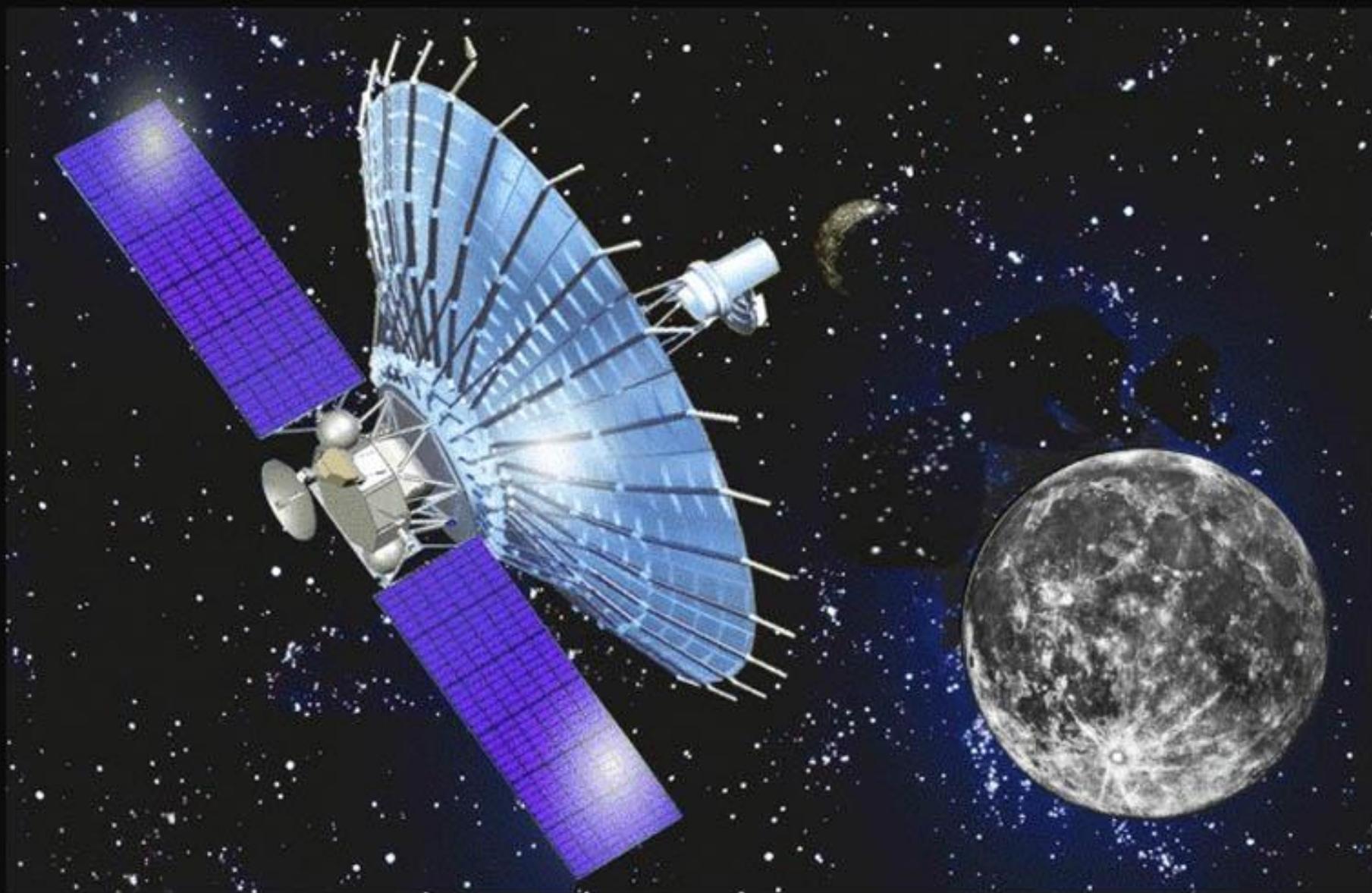
Протопланетный диск у звезды типа Т Тор,
проходящей стадию гравитационного сжатия



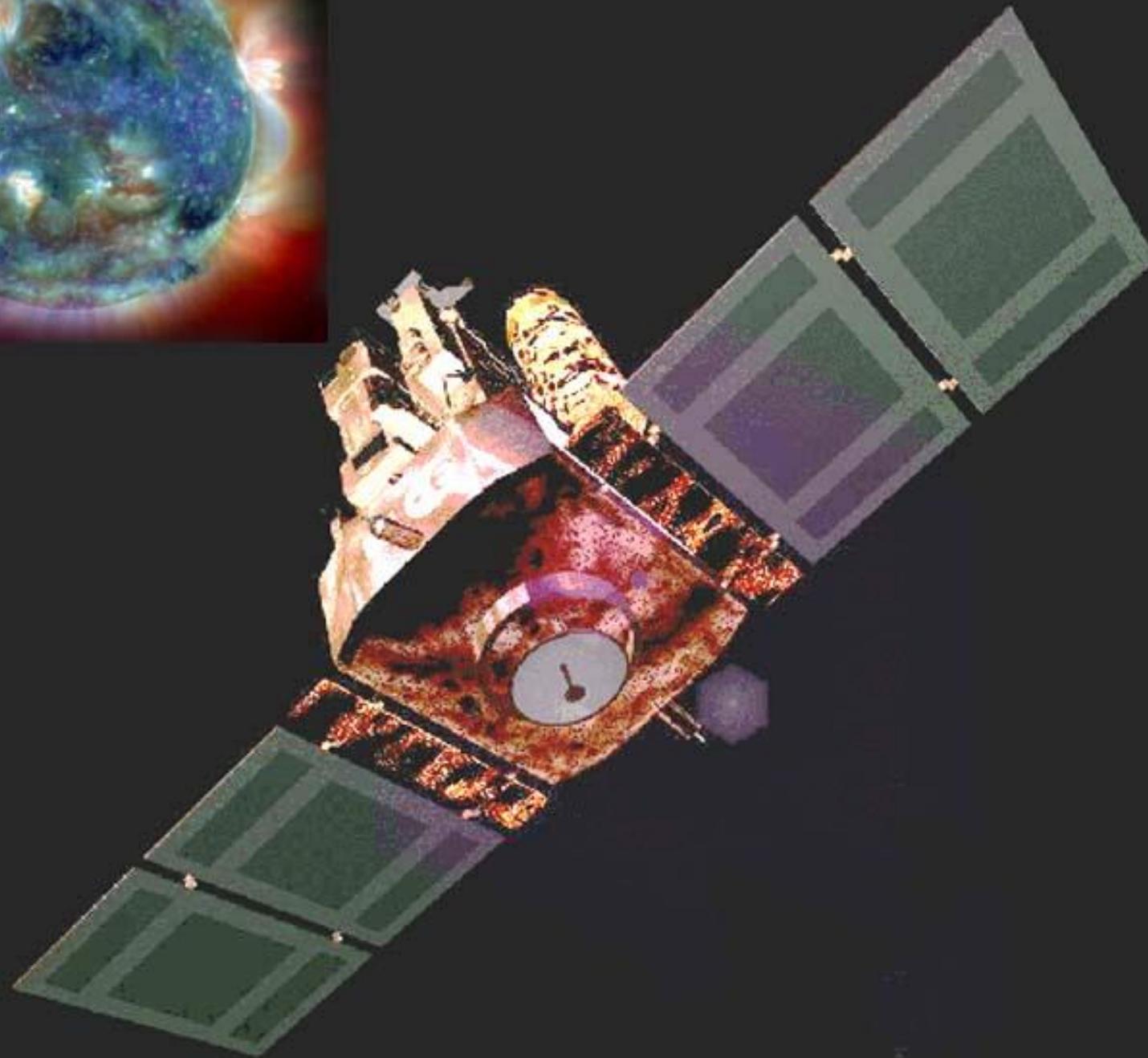
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ D. Fedele et al. 2018

The Global VLBI – Array

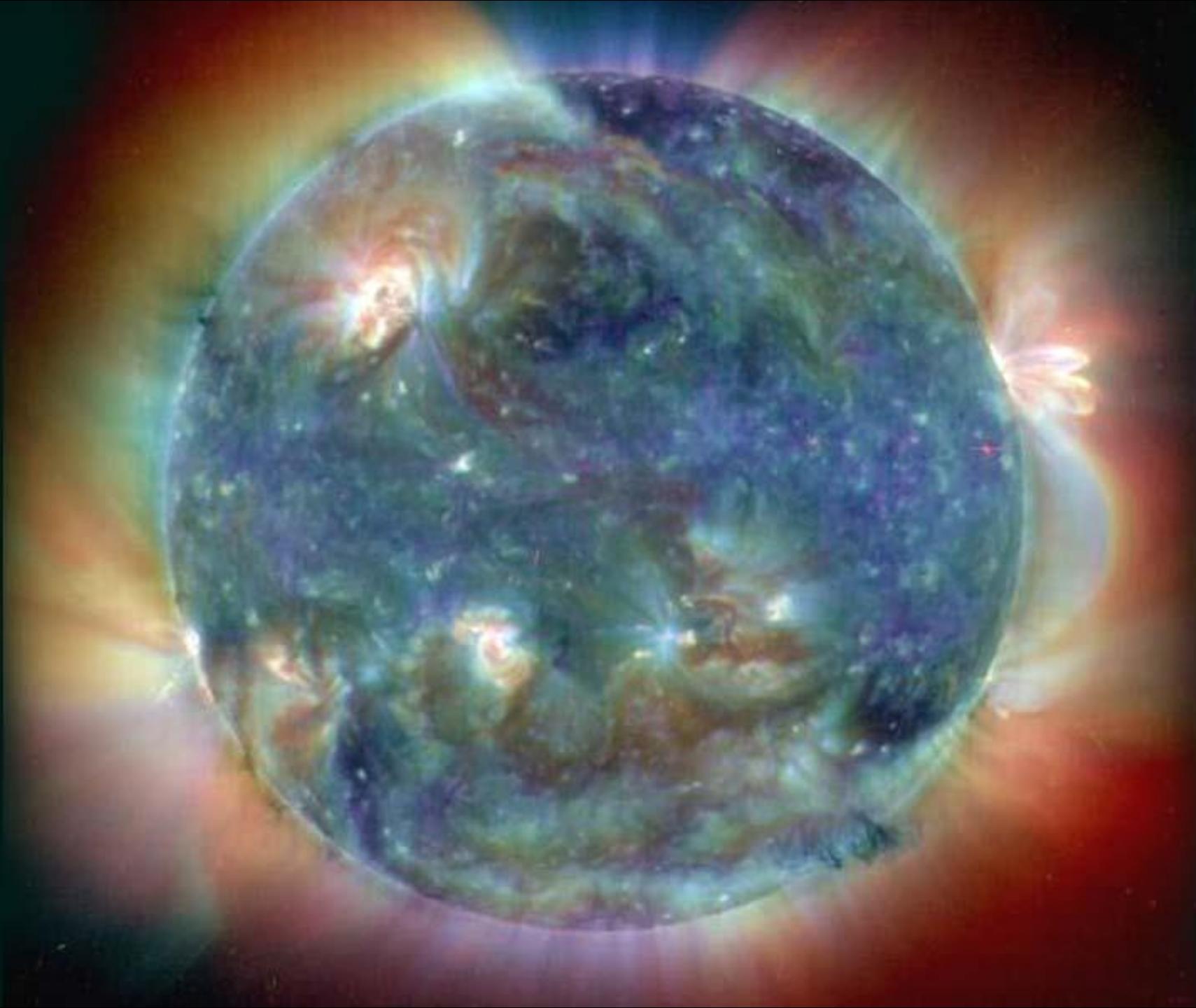




РадиоАстрон 2011 г.



SOHO



Принцип скользящего удара используется при пускании камнем “блинчиков” на воде



Параболоид

Гиперболоид

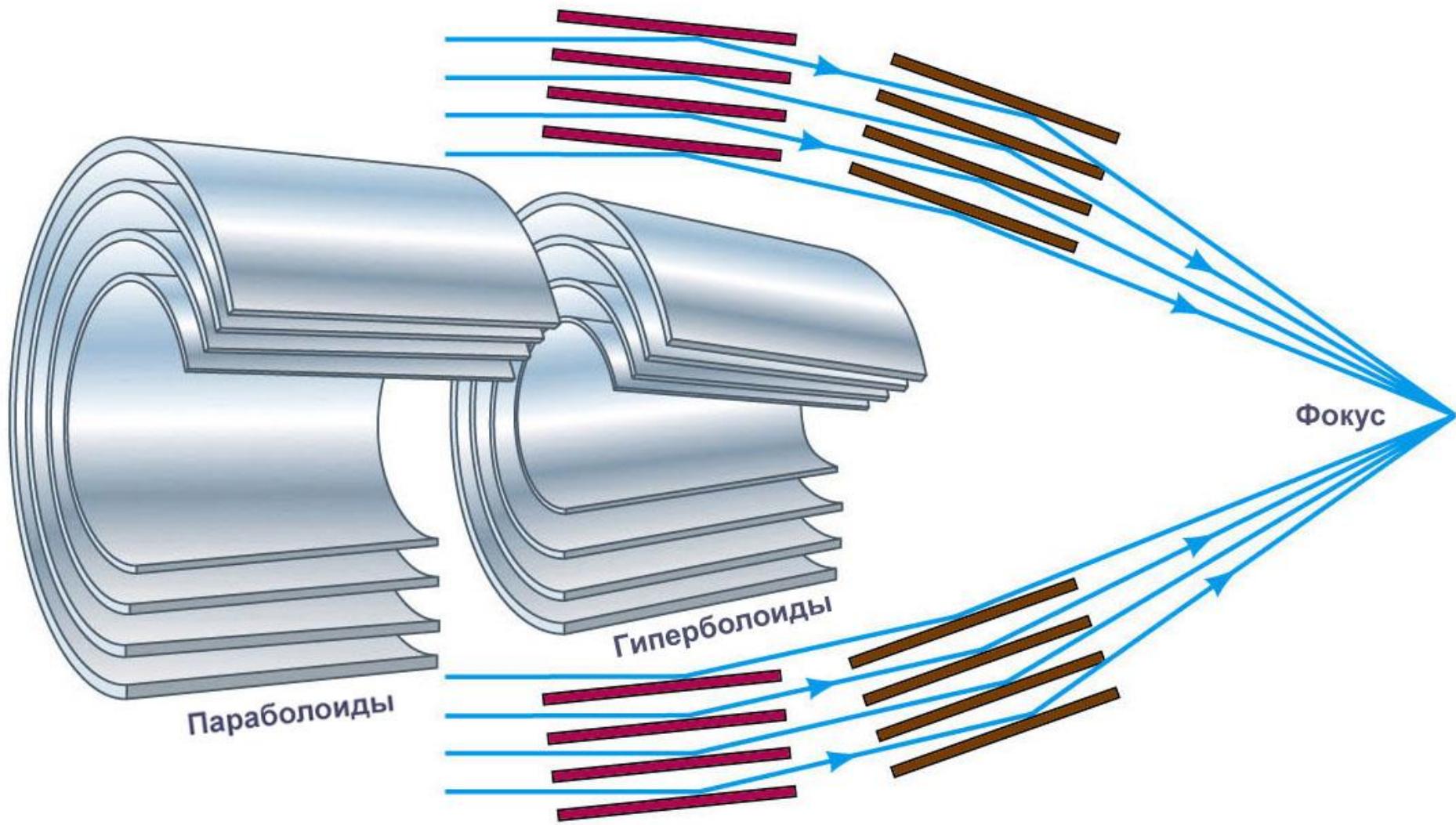
Падающее излучение

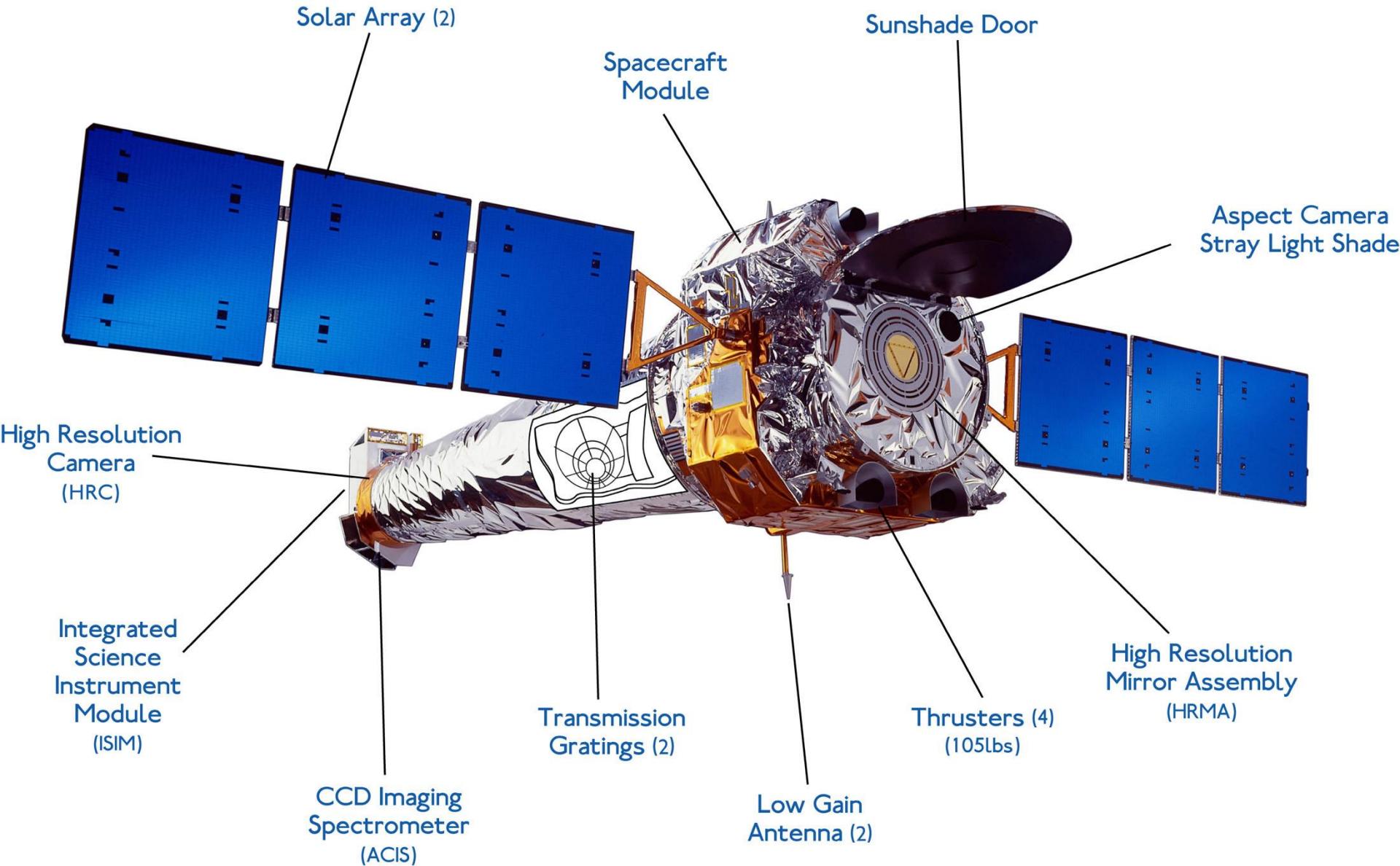
Кванты мягкого рентгеновского диапазона (0,1-10 кэВ) при малых углах падения на металлическую поверхность отражаются от нее

Гиперболоид

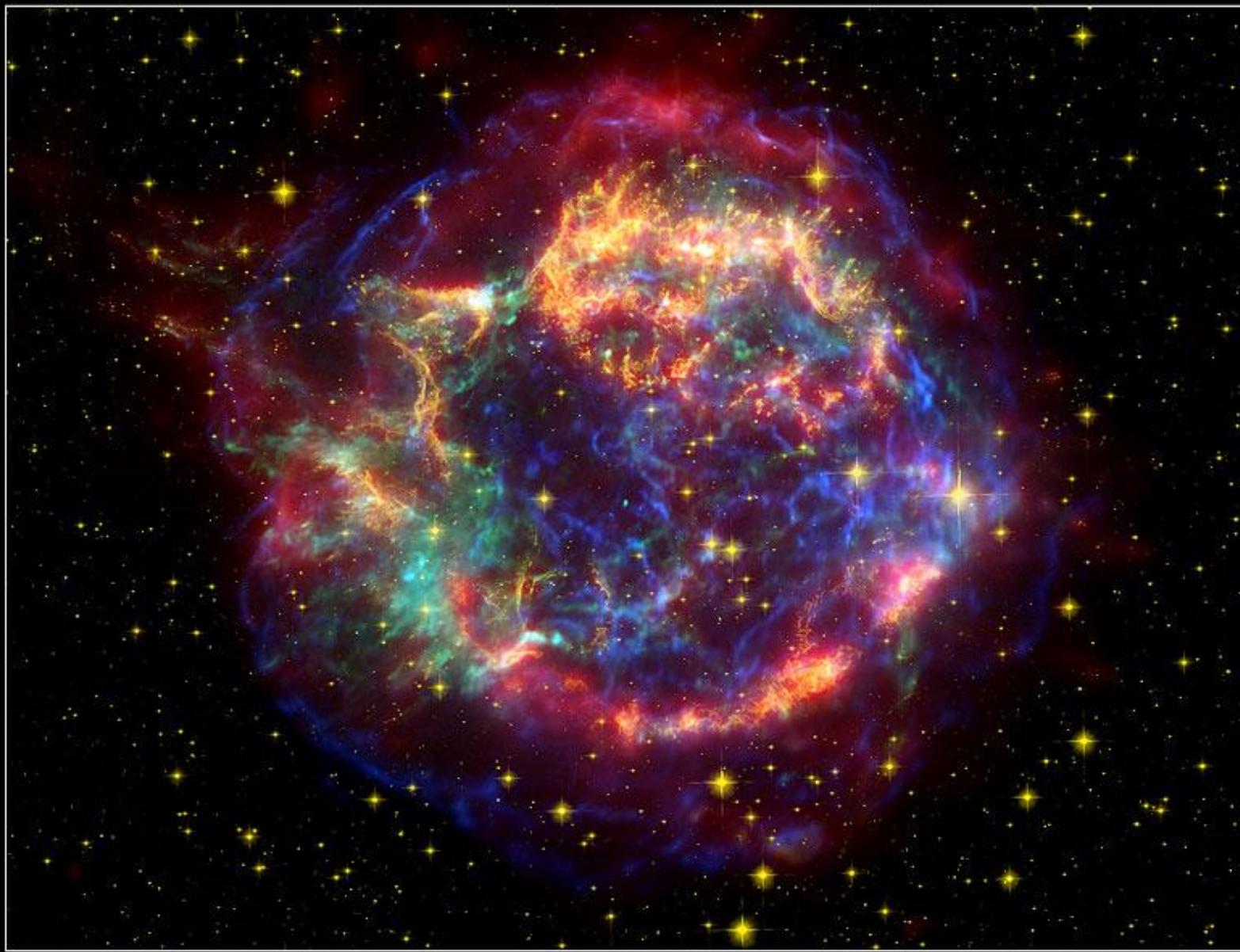
Фокальная поверхность

Вложенные зеркала рентгеновского телескопа





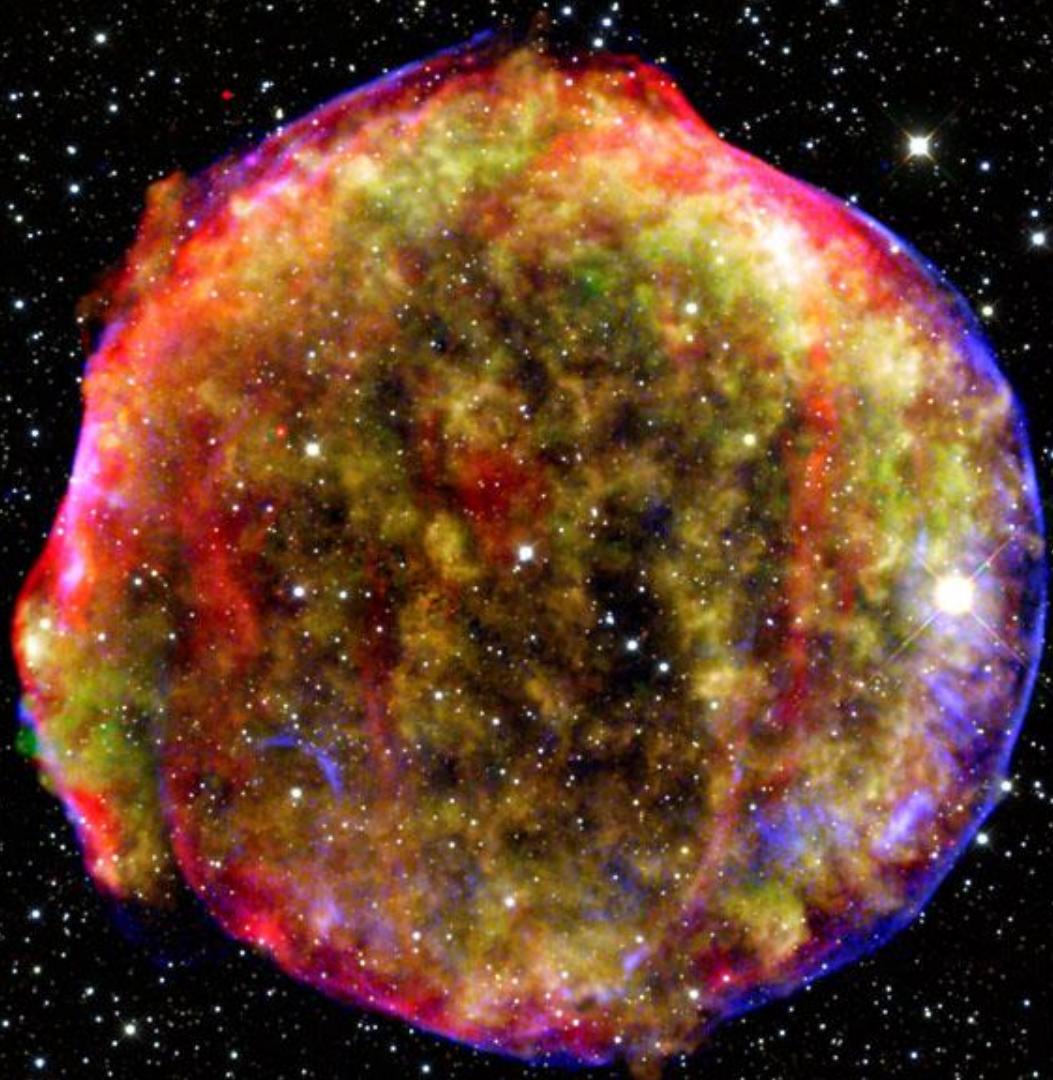
Chandra (NASA), 1999 -..., X-ray 0,1-10 keV ; D = 1,2 m ; F = 10 m



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.

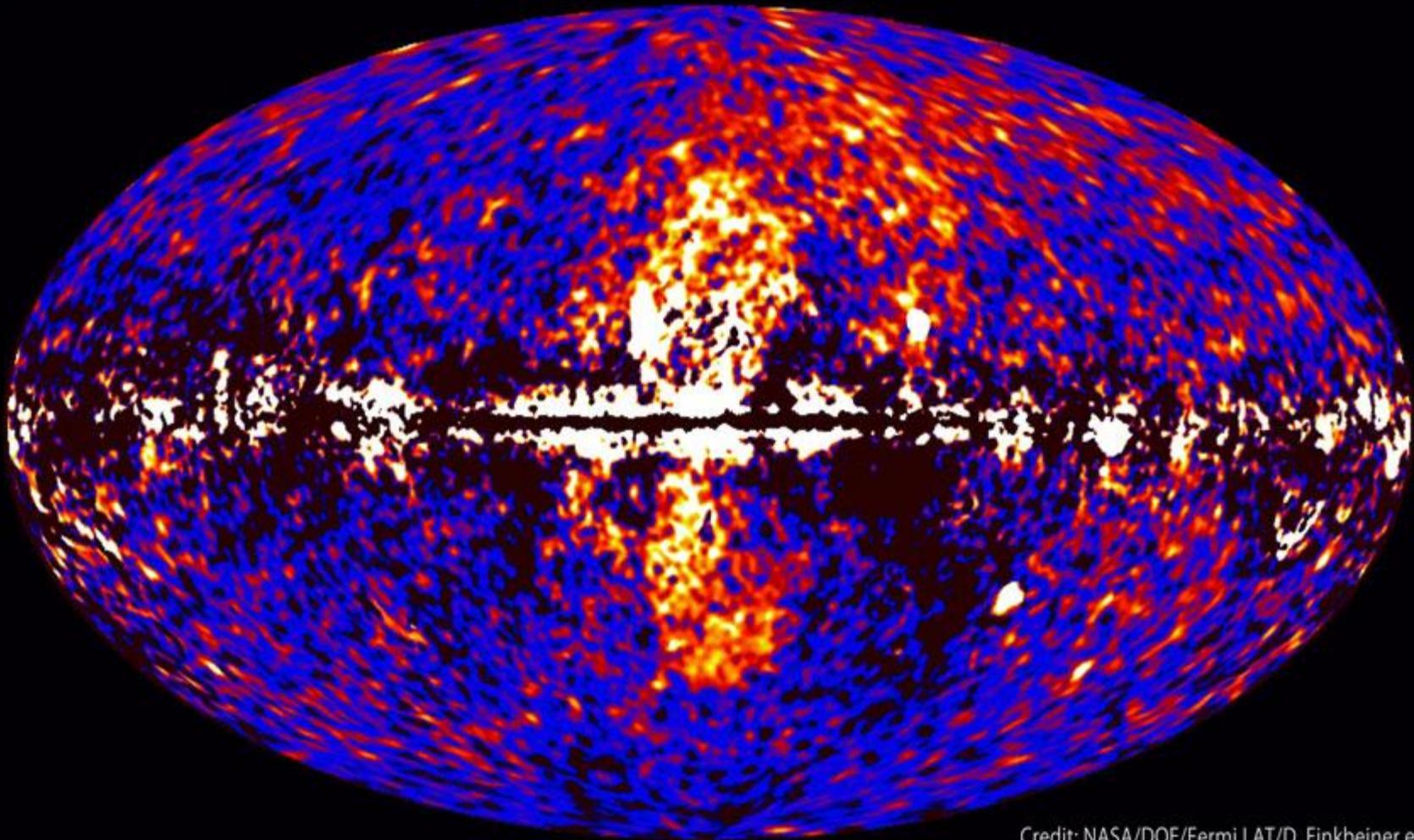
ИК + оптика + рентген

Coded mask



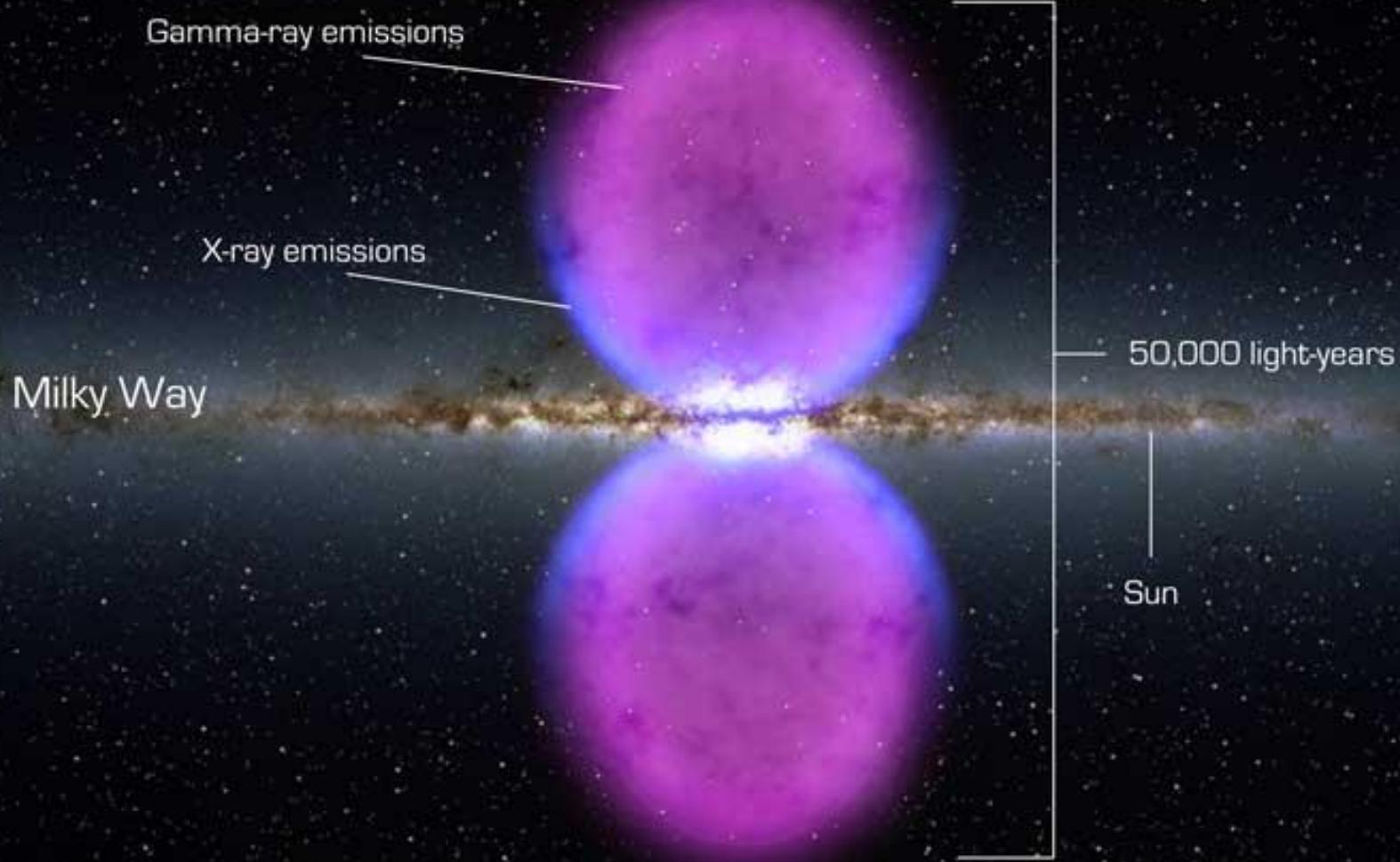
INTEGRAL (ESA/NASA/RKA), 2002-... X-ray, Gamma 3 keV - 1 MeV

Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



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

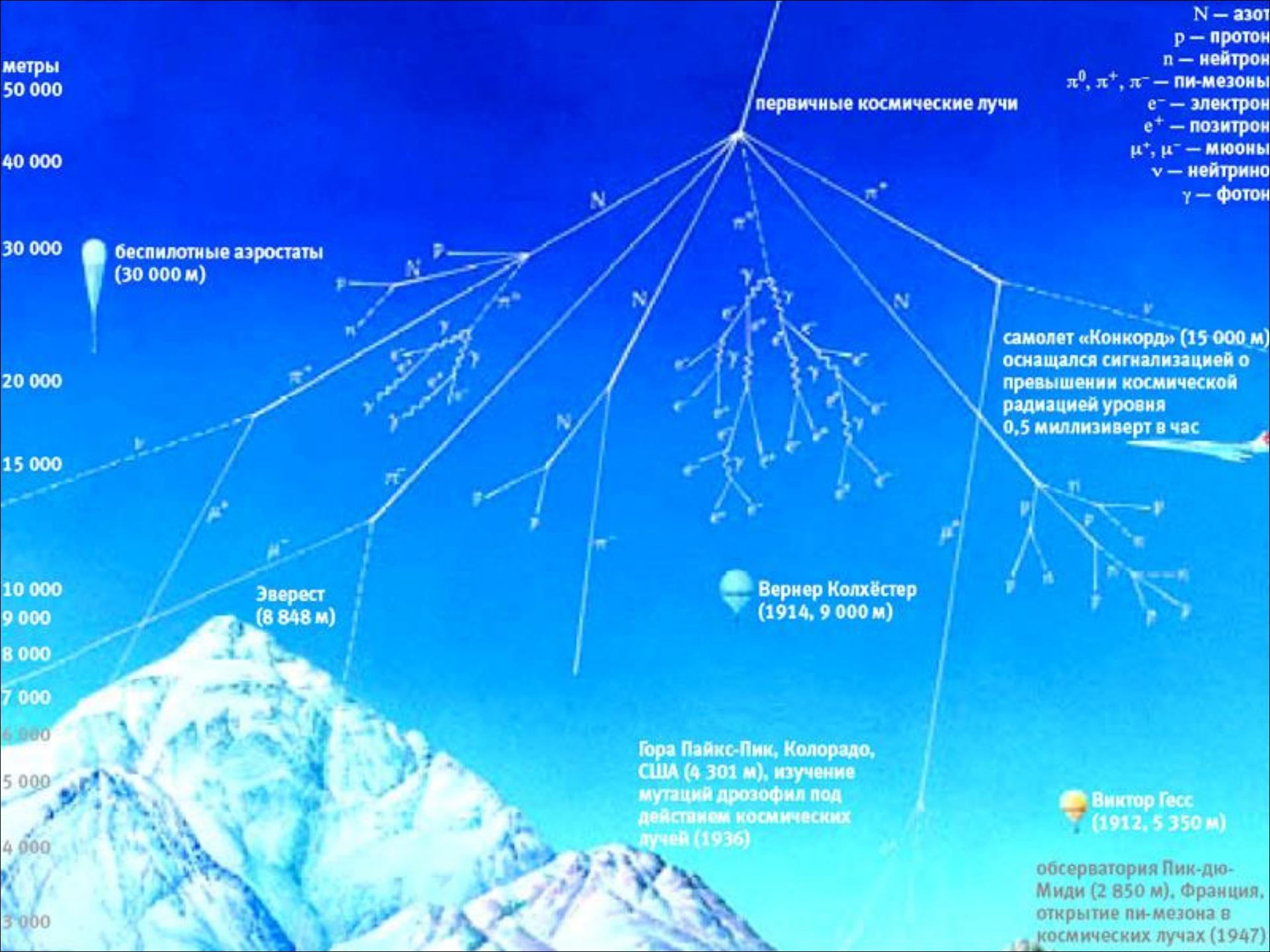
Гамма-лепестки над Млечным Путем (над центром Галактики?)



Гамма-пузыри: интерпретация гамма-лепестков

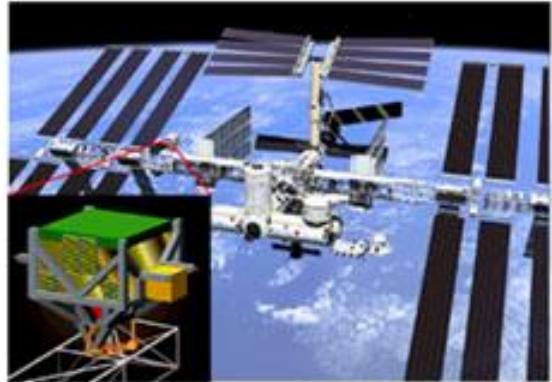


Одна из моделей происхождения гамма-пузырей: джеты из ядра Галактики





Space



50 km

e/γ

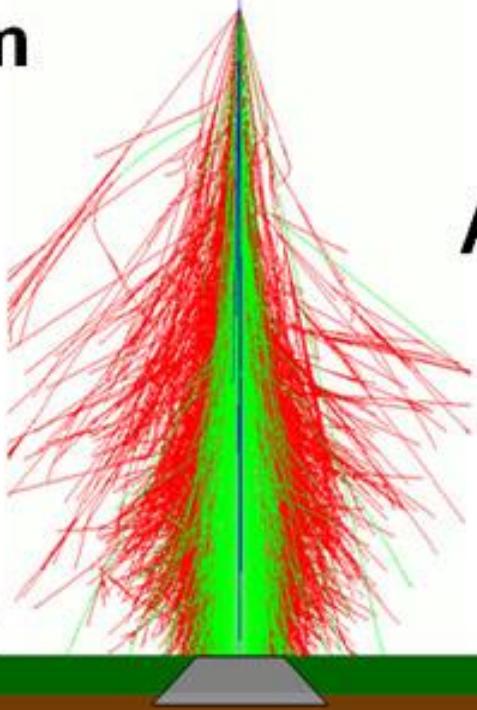
μ

h

0 km

Atmosphere

Underground



Muons





Место взаимодействия ~15-20 км

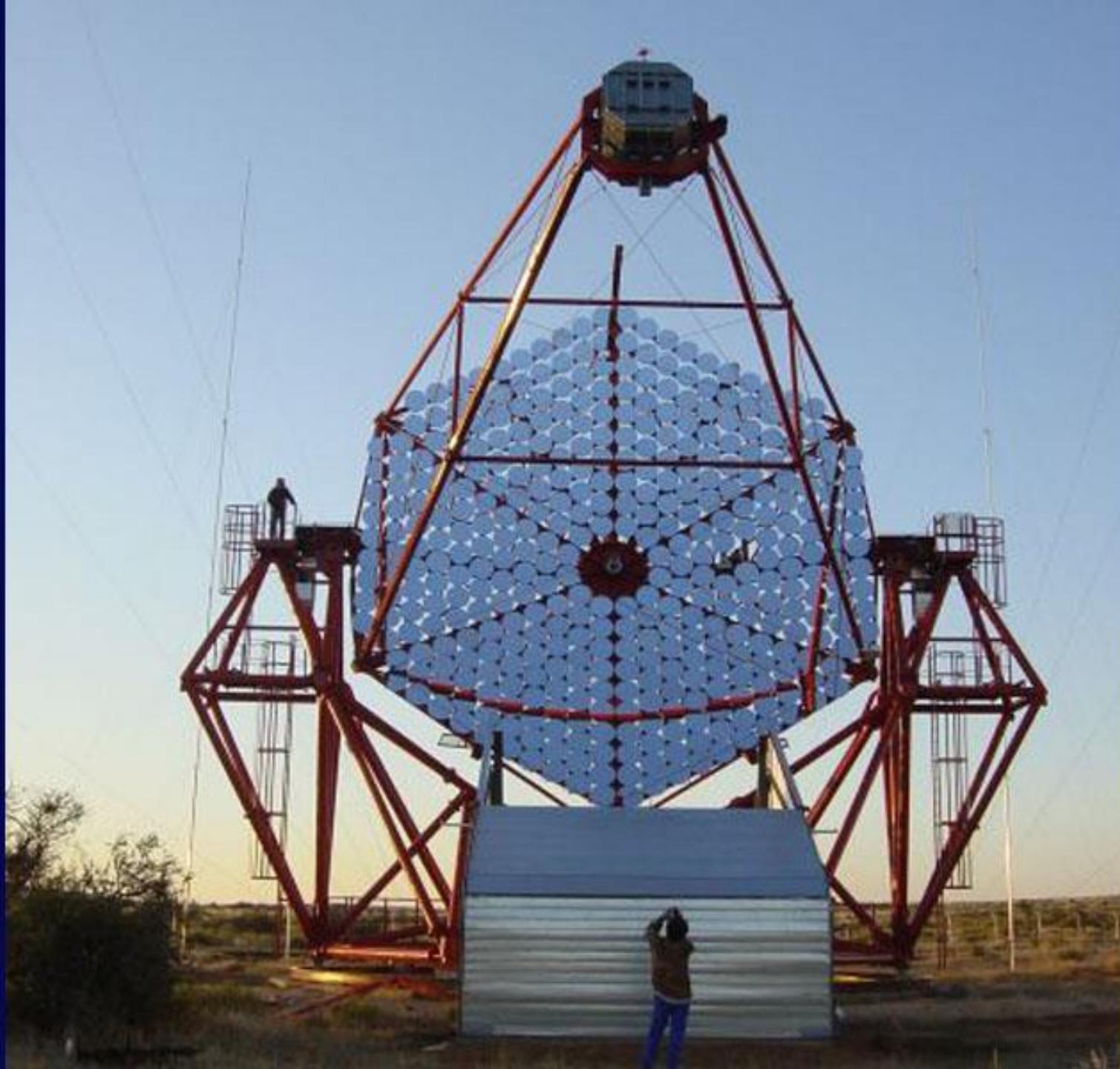
Первичная
частица

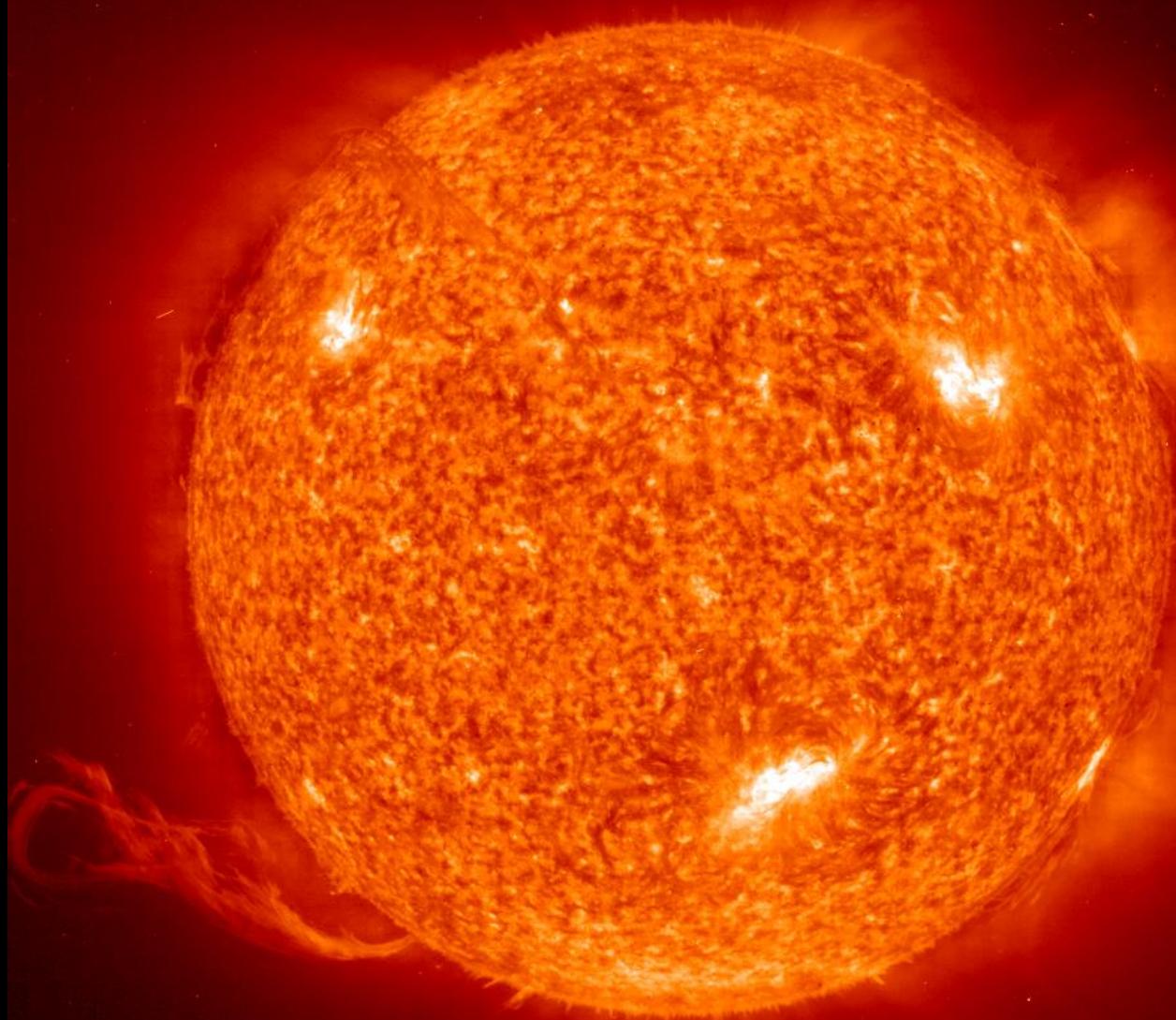
ШАЛ

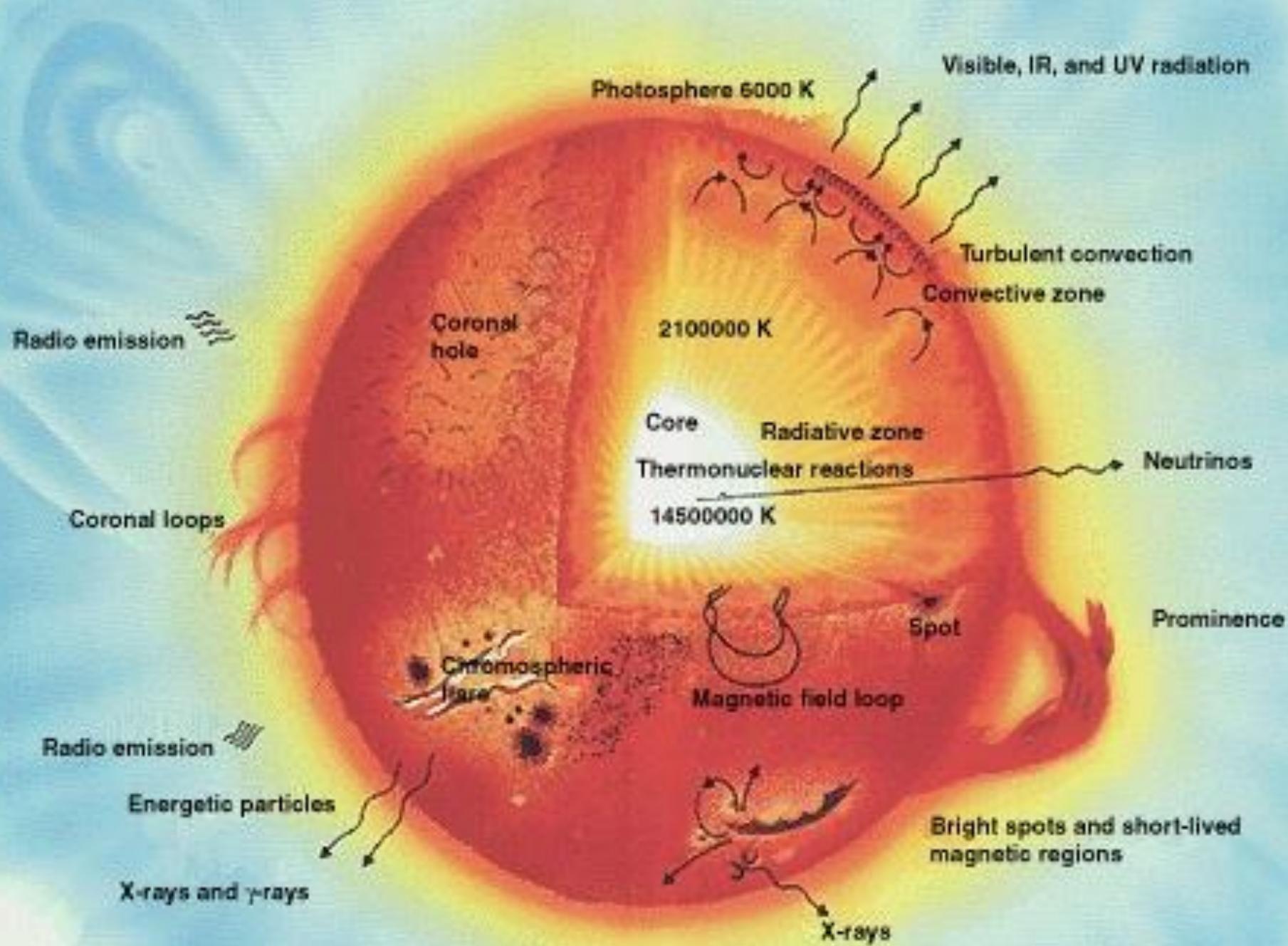
Фронт
черенковского
излучения

Ультрафиолет

Наземная установка
– коллектор света







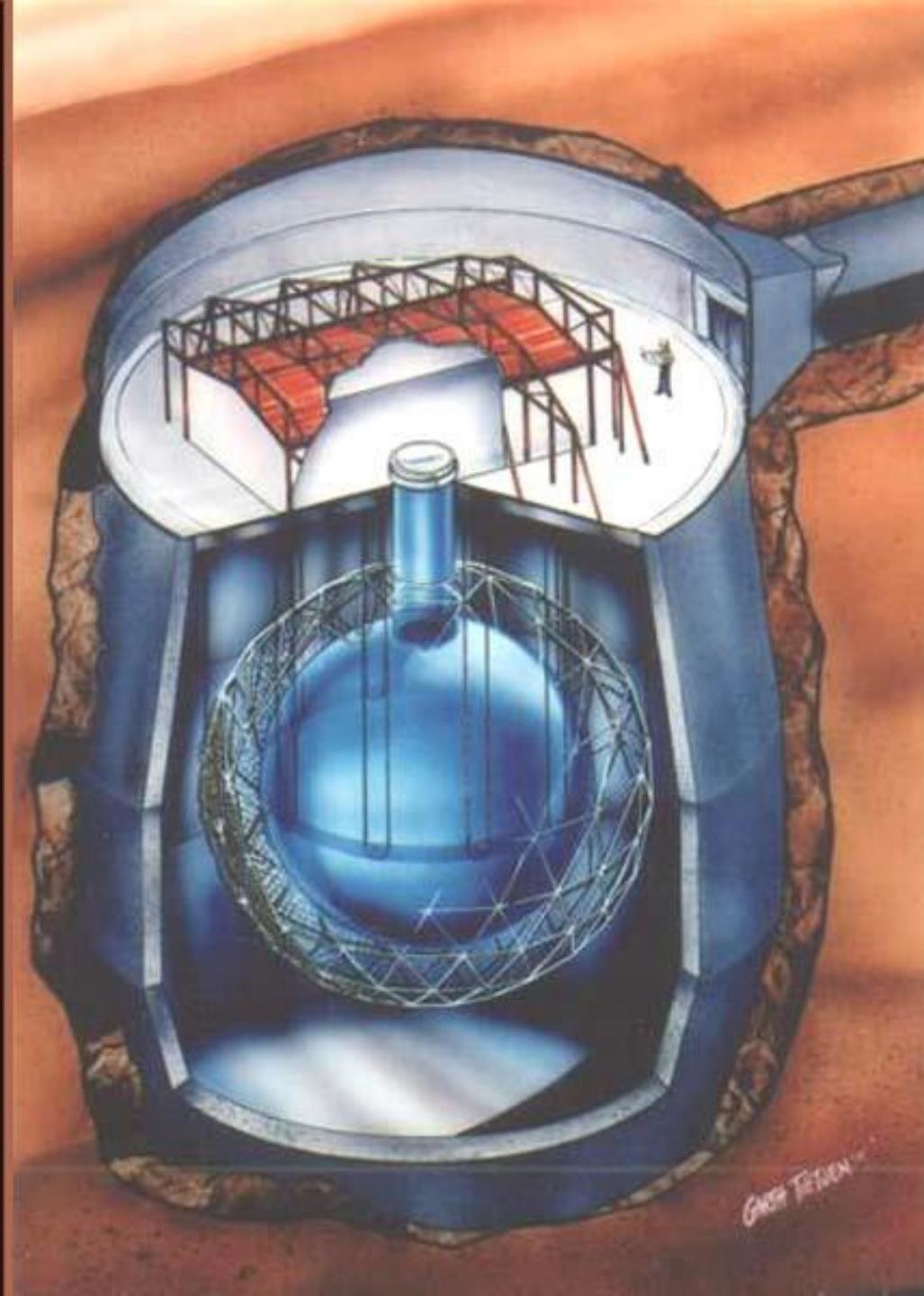
Садберианская нейтринная обсерватория
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

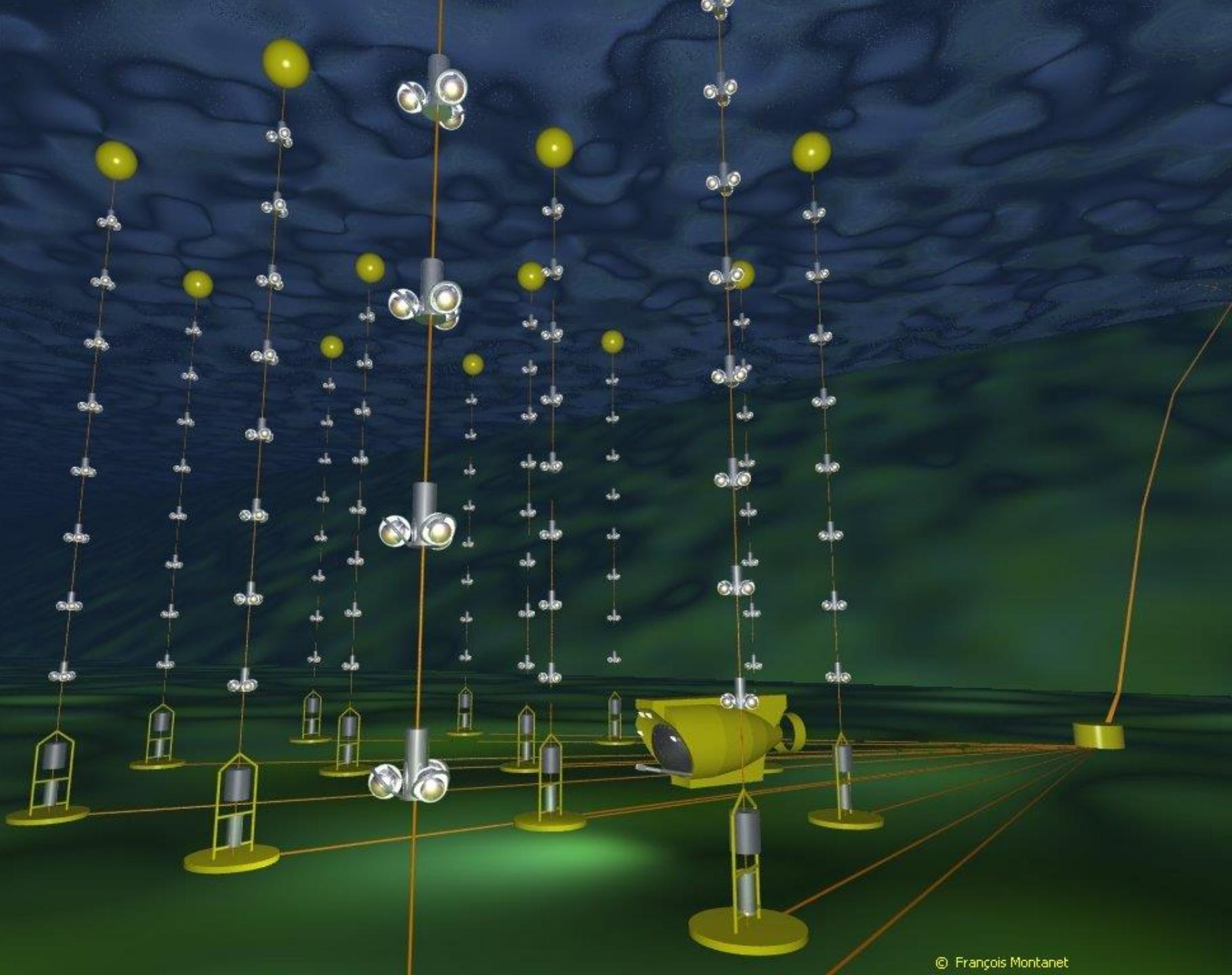
1000 тонн тяжелой воды (D_2O) в
прозрачном акриловом (plexiglasovom)
шаре диаметром 12 м, окруженном
9600 ФЭУ на геодезической сфере,
диаметром 18 м, погруженной в
резервуар с чистой водой
на глубине 2 км.

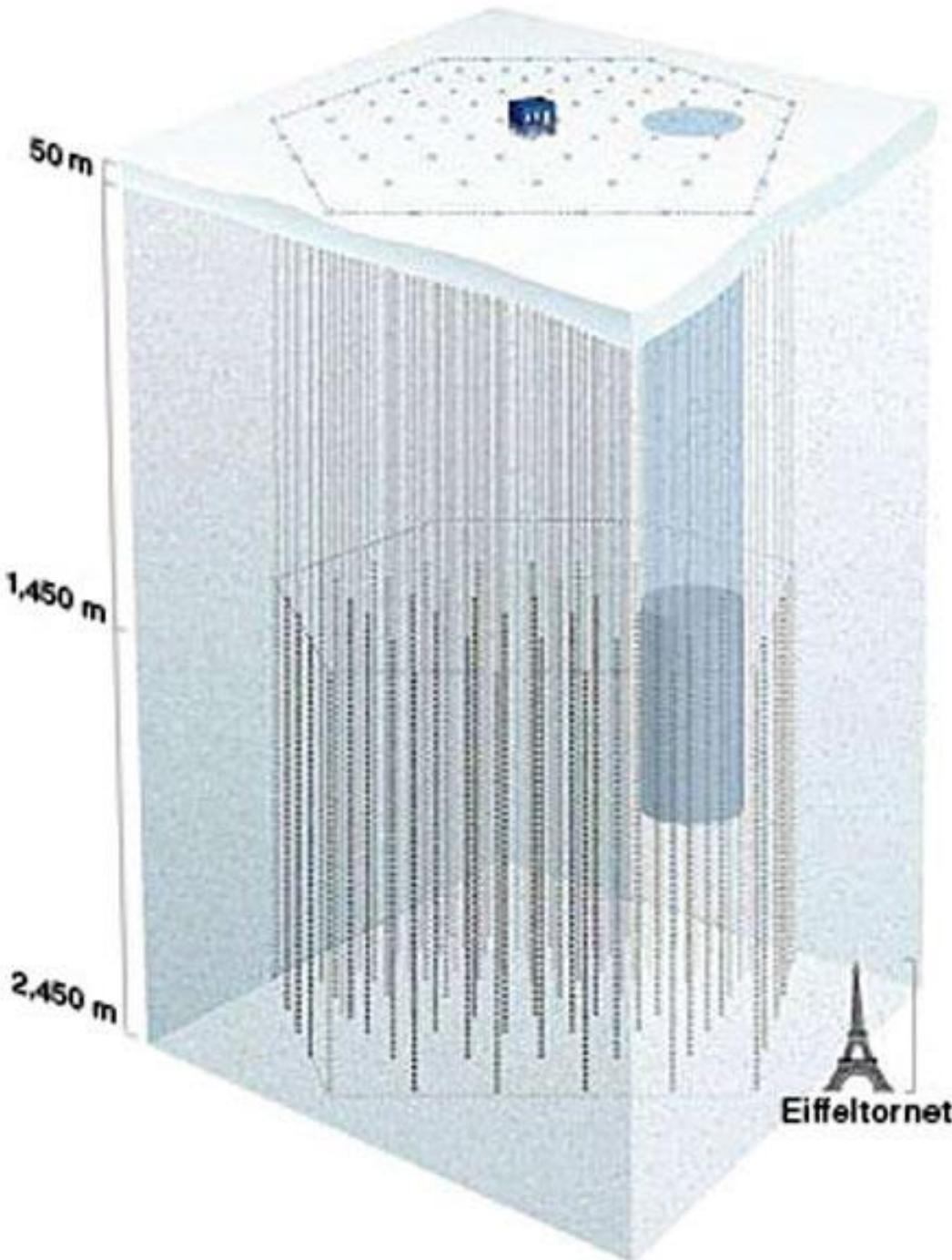
В 2002 г. здесь решена проблема
солнечного нейтрино -
зарегистрированы все три типа нейтрино
(ν_e ν_μ ν_τ) в таком общем количестве,
сколько ν_e должно рождаться на Солнце

Тем самым доказано, что:

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





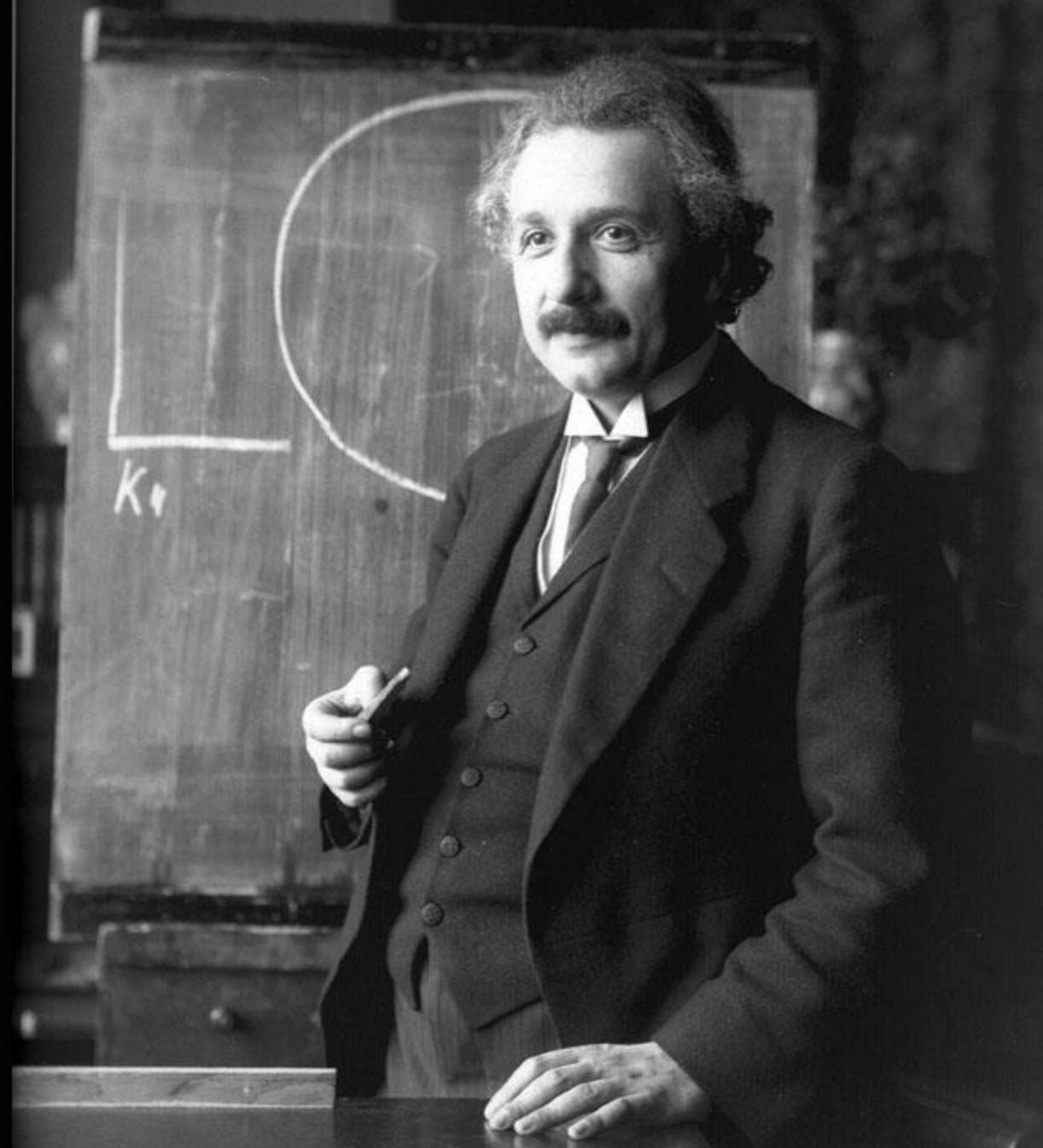
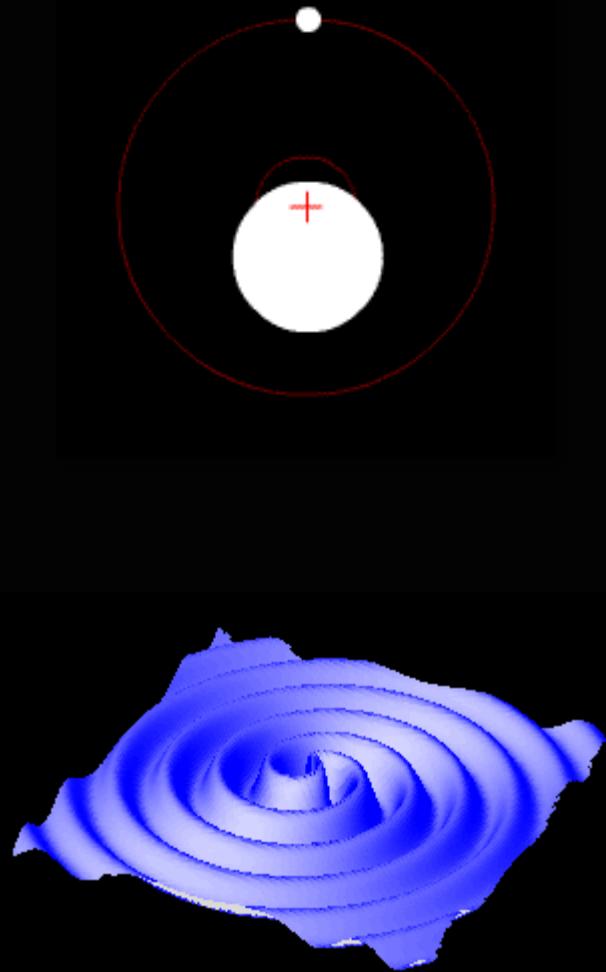


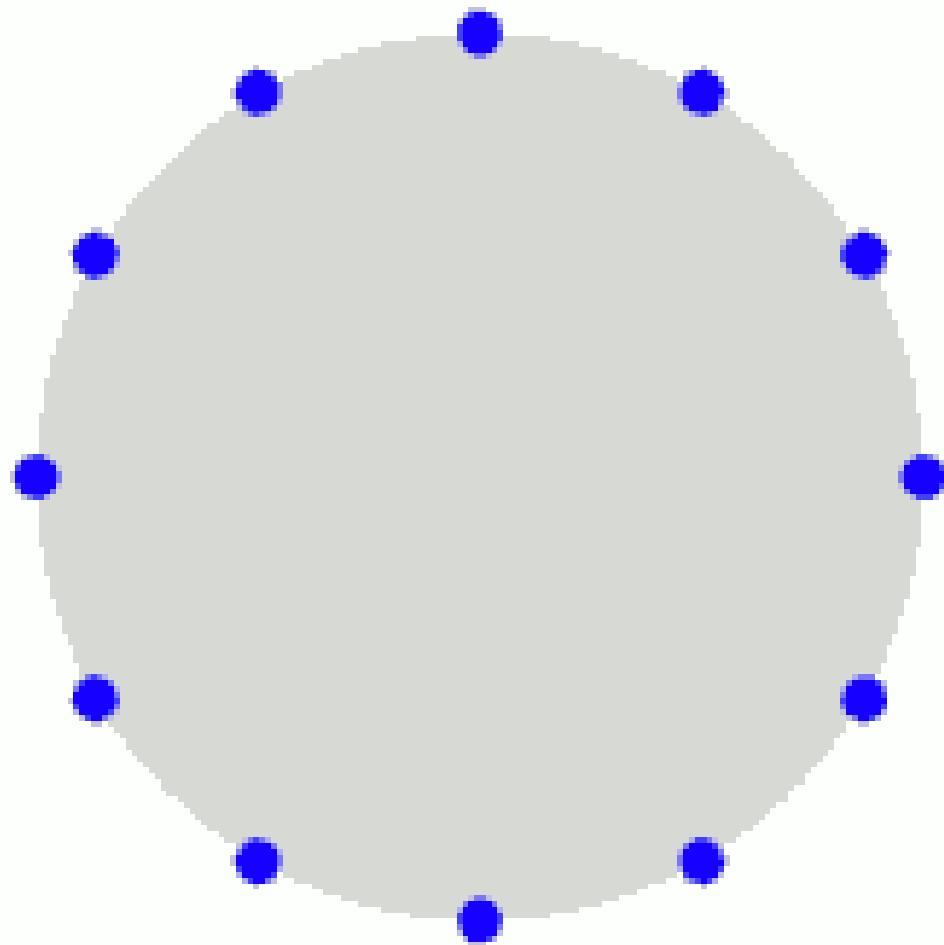
Антарктида Скотт-Амундсен IceCube



Гравитационные волны

1916 → 2016



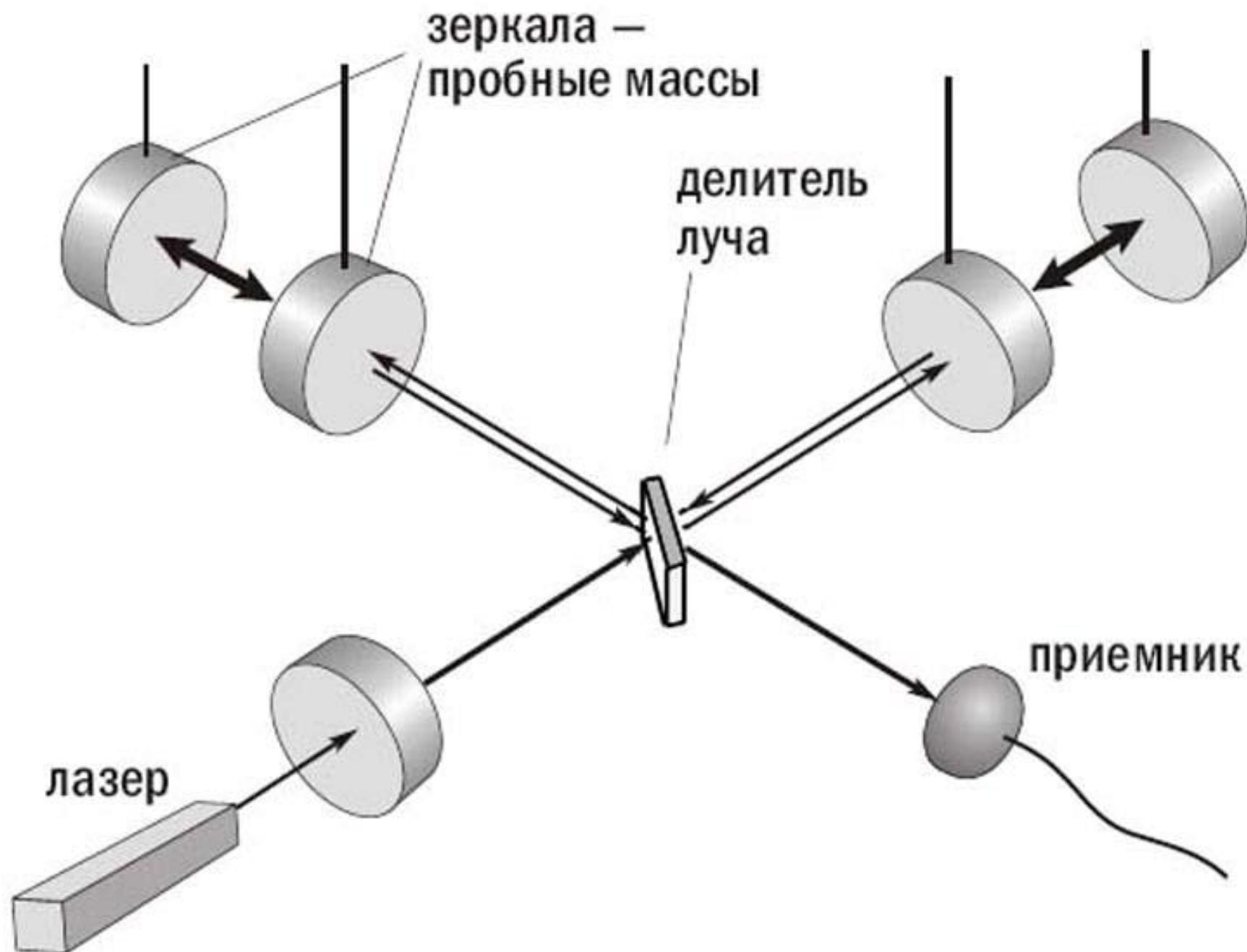




**JOSEPH WEBER WITH
GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR**

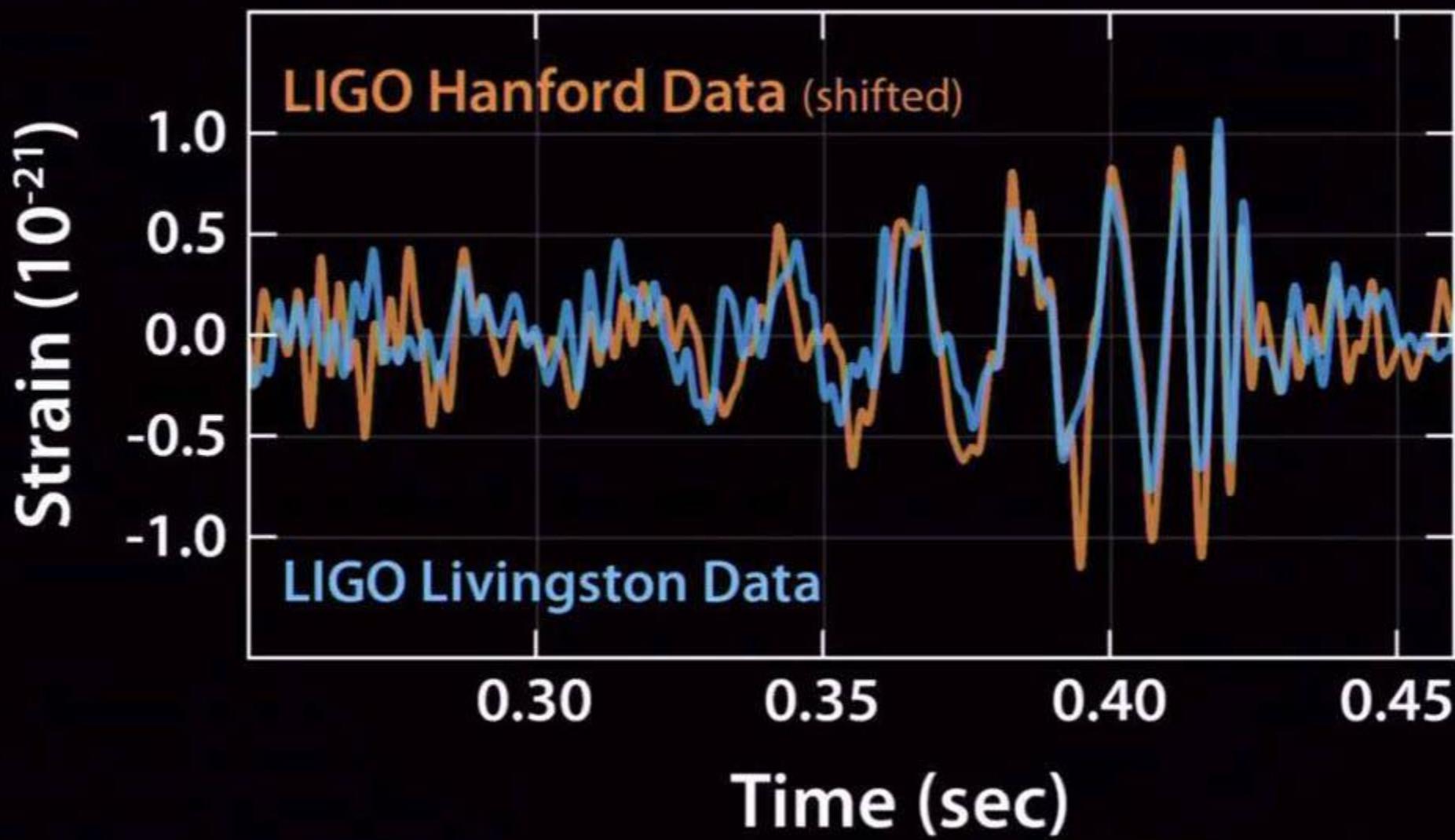
детекторы Наутилус (слева) и Аурига

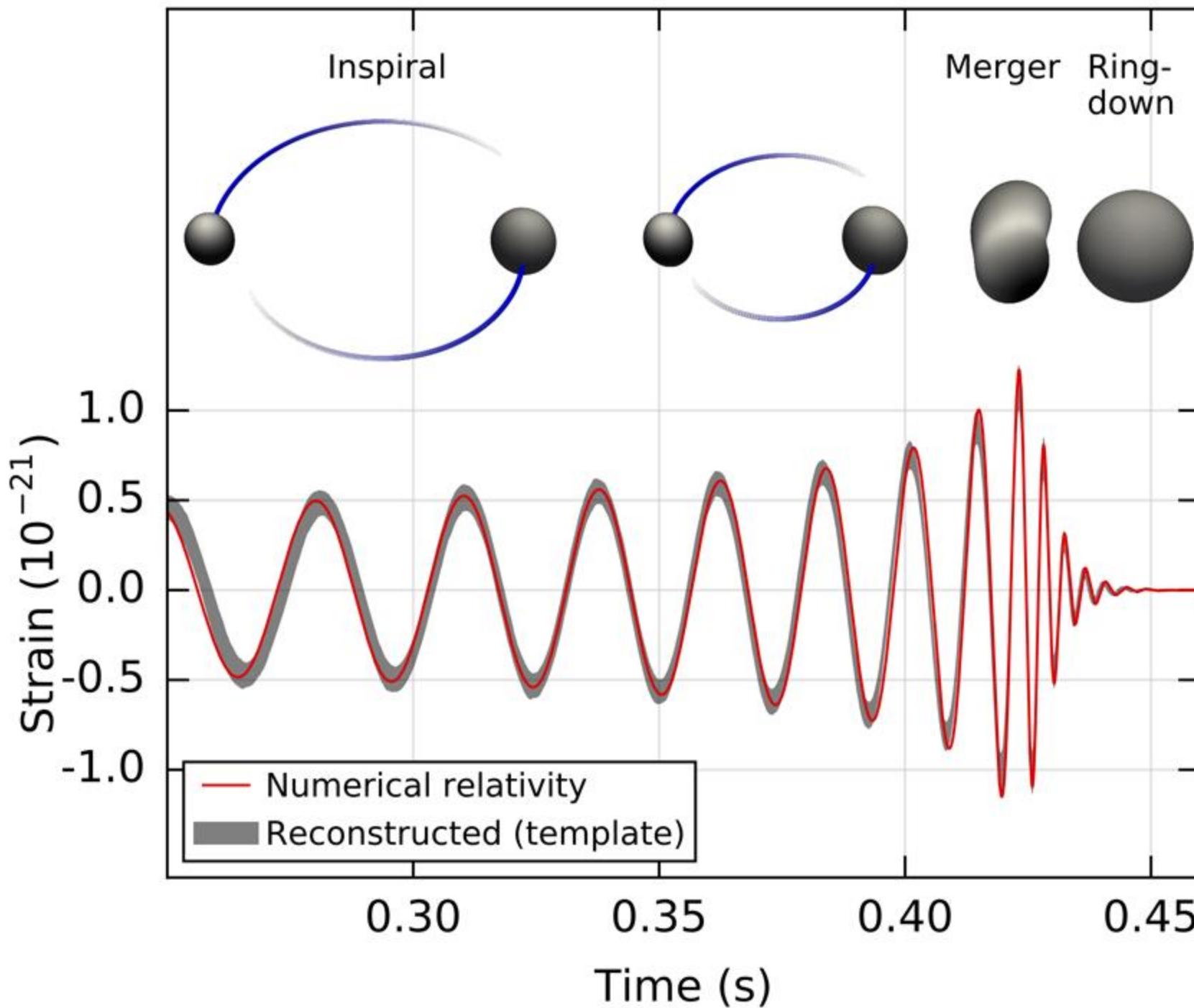




Гравитационный интерферометр на подвесных зеркалах









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

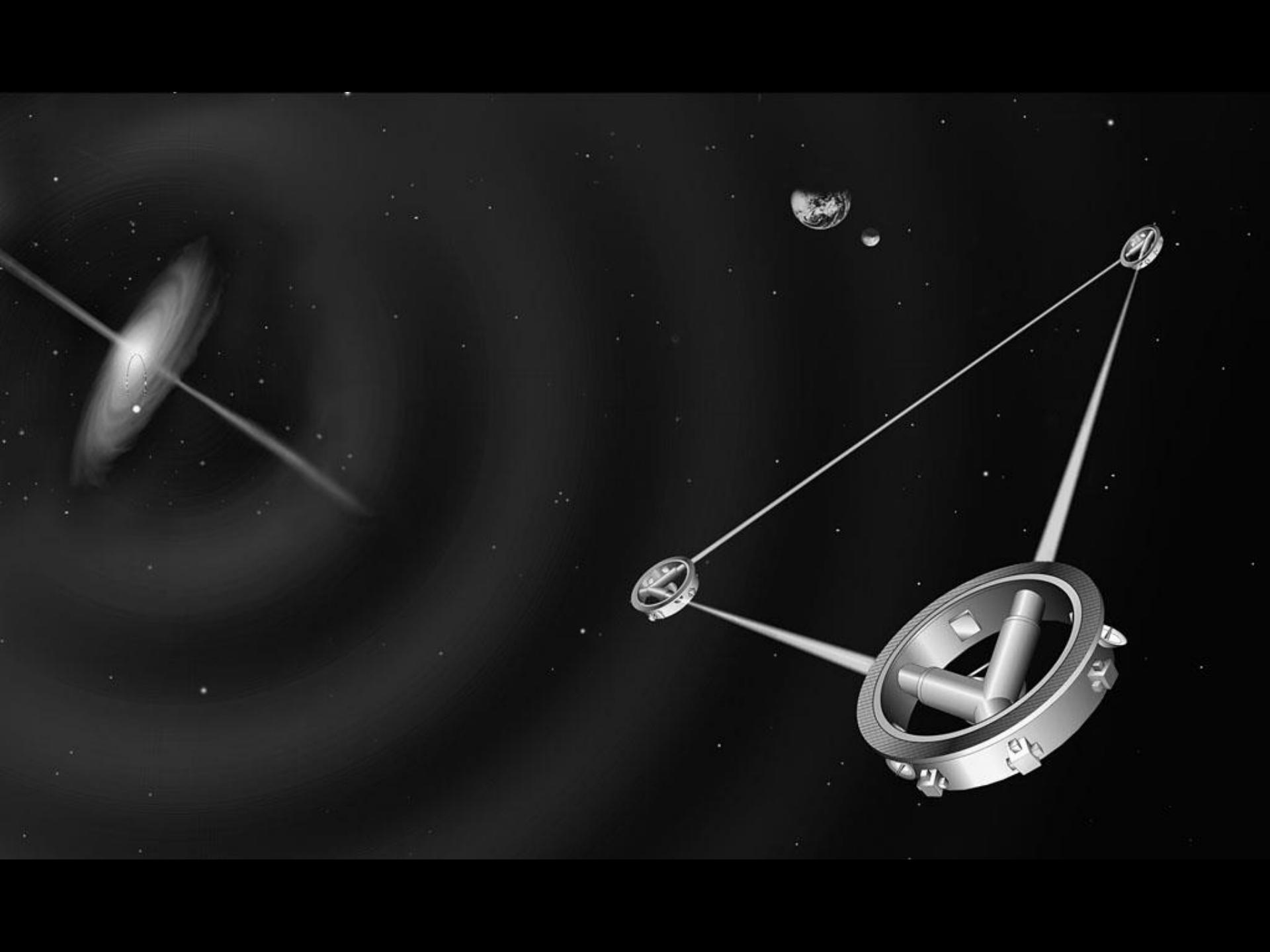
Научные результаты

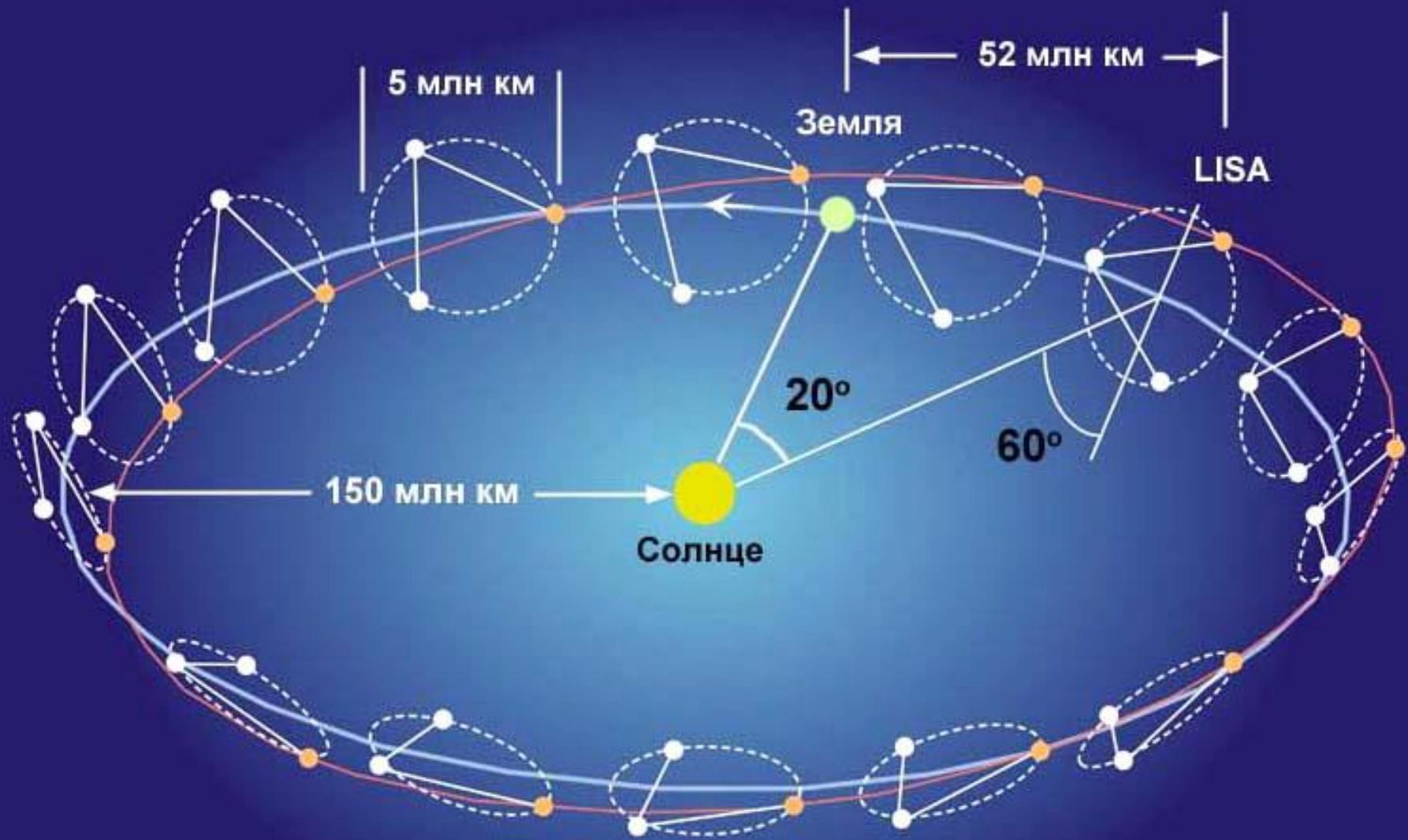
- Прямое обнаружение гравитационных волн.
- Прямое доказательство поперечности гравитационных волн
- Открытие нового способа наблюдения за Вселенной ([гравитационно-волновая астрономия](#)).
- Объяснение проблемы [гравитационного дальнодействия](#).
- Прямое доказательство существования чёрных дыр.
- 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

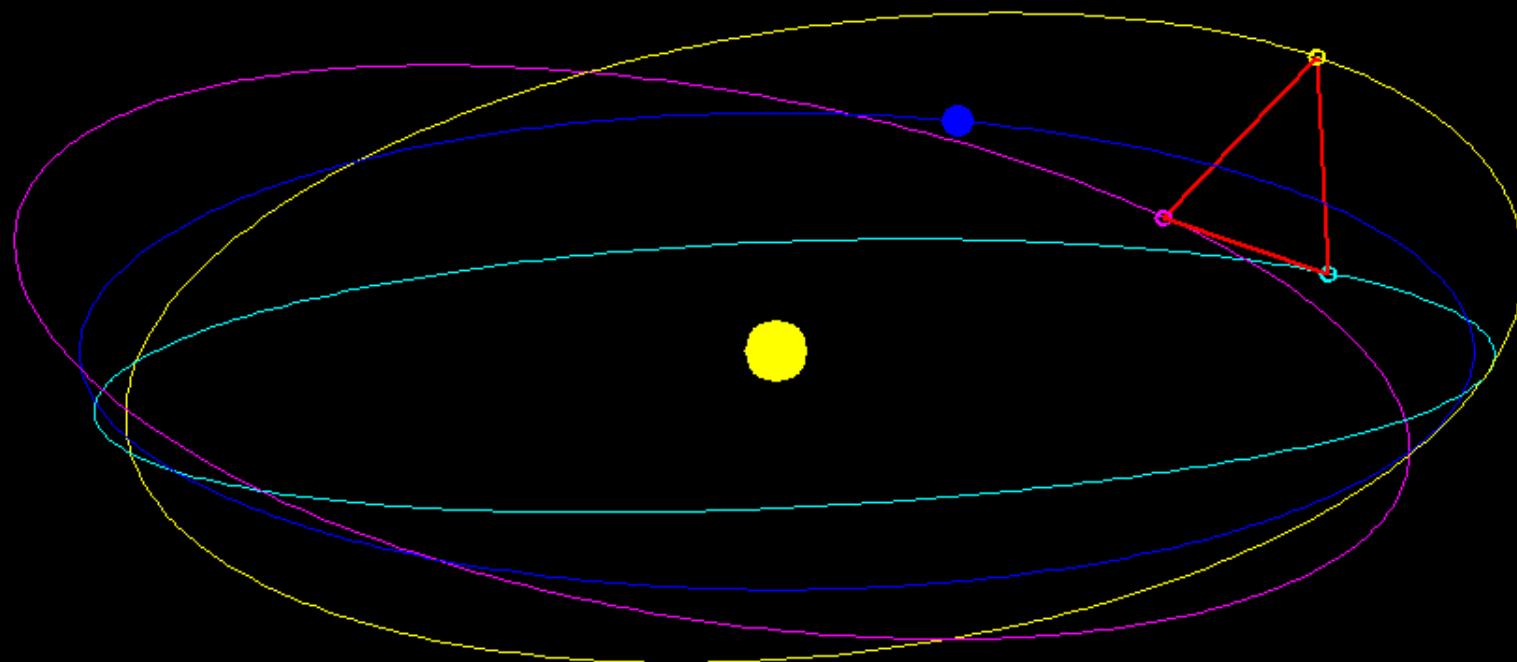
Группа В.Б.Брагинского (МГУ)

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





LISA = Laser Interferometer Space Antenna



Nicolas Douillet - ARTEMIS



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

