Современное состояние и развитие астрономических методов исследования

Сурдин В. Г. ГАИШ МГУ

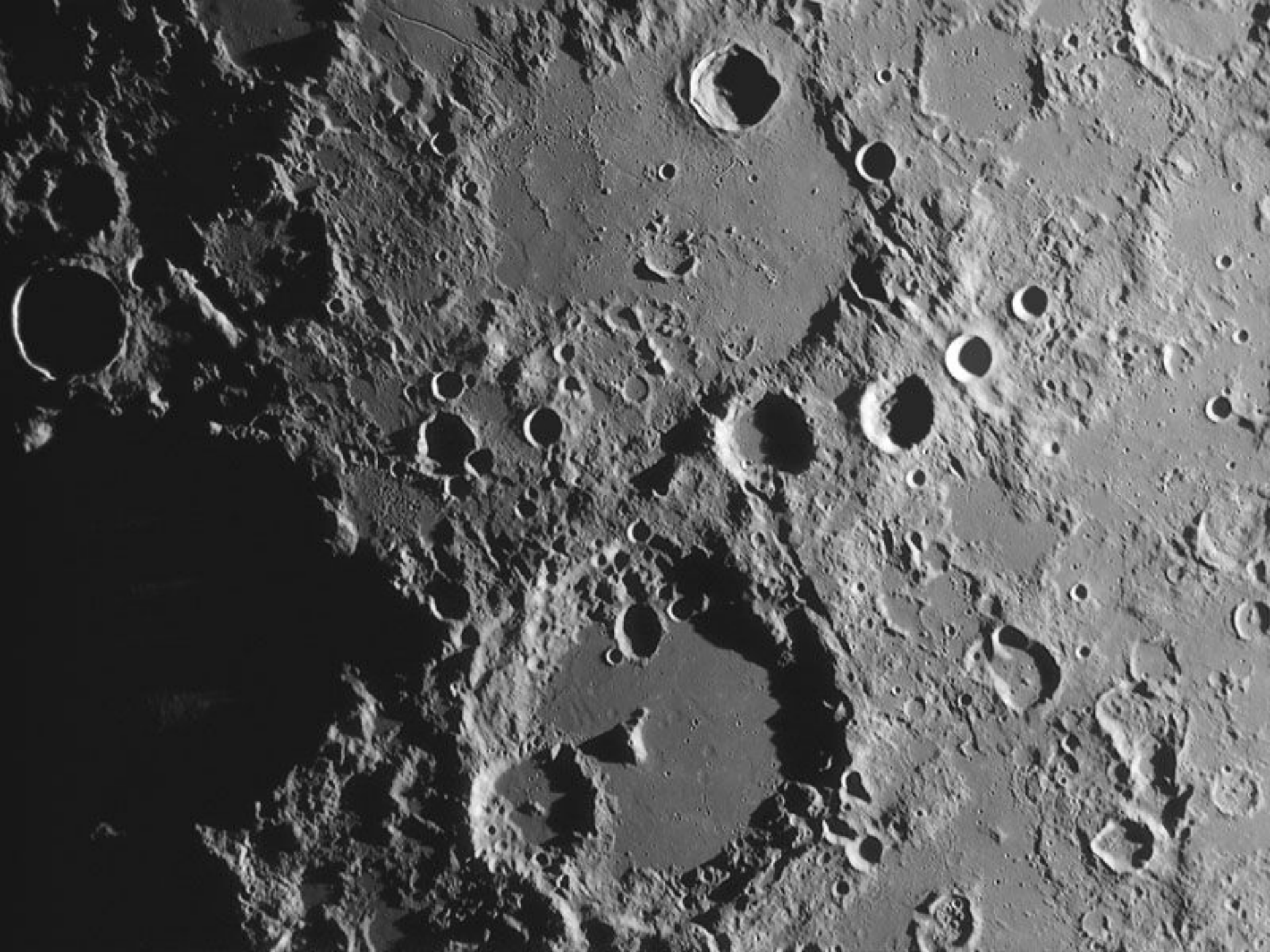
Чего мы хотим от оптики?

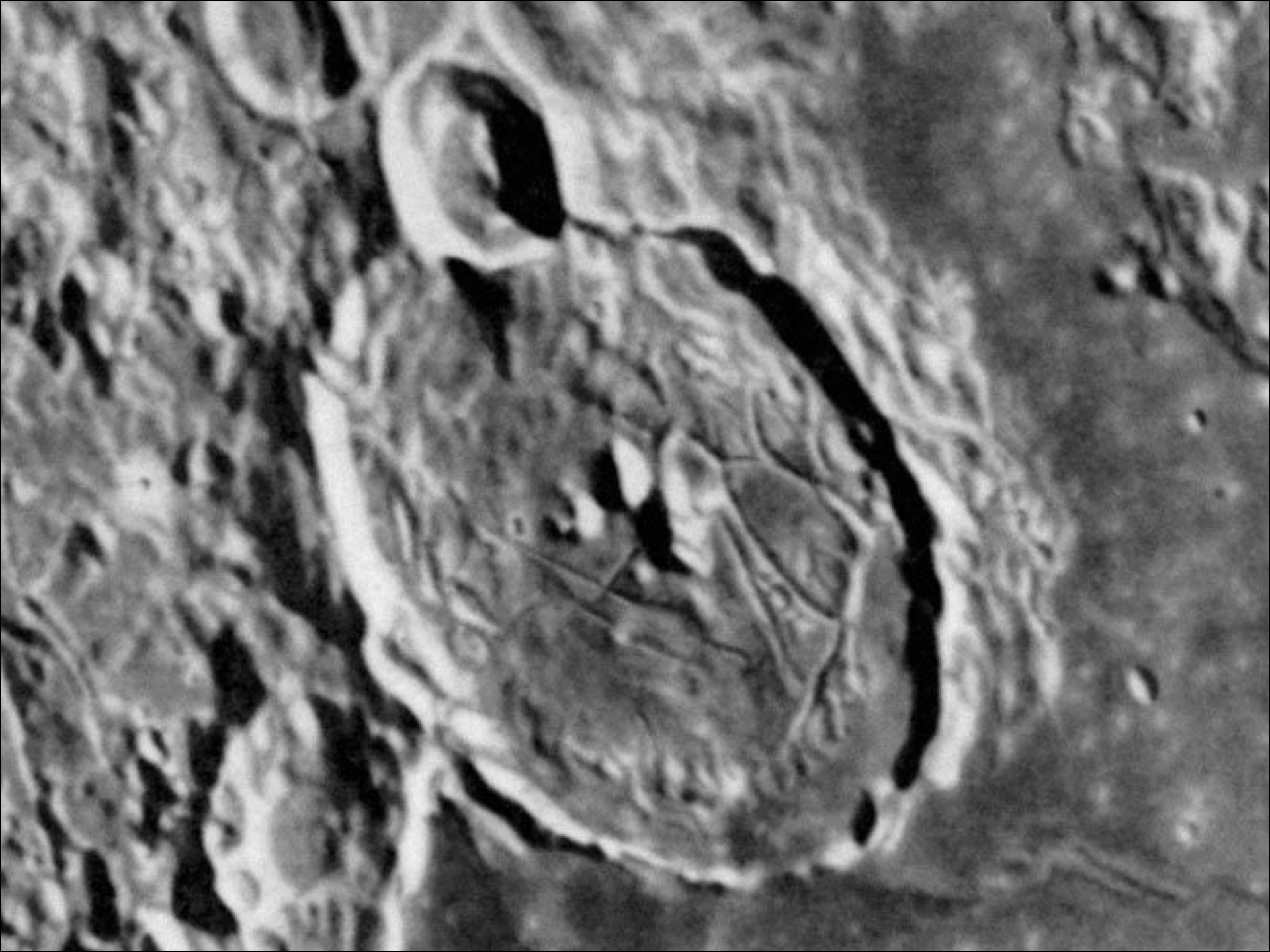
- Различить мелкие детали

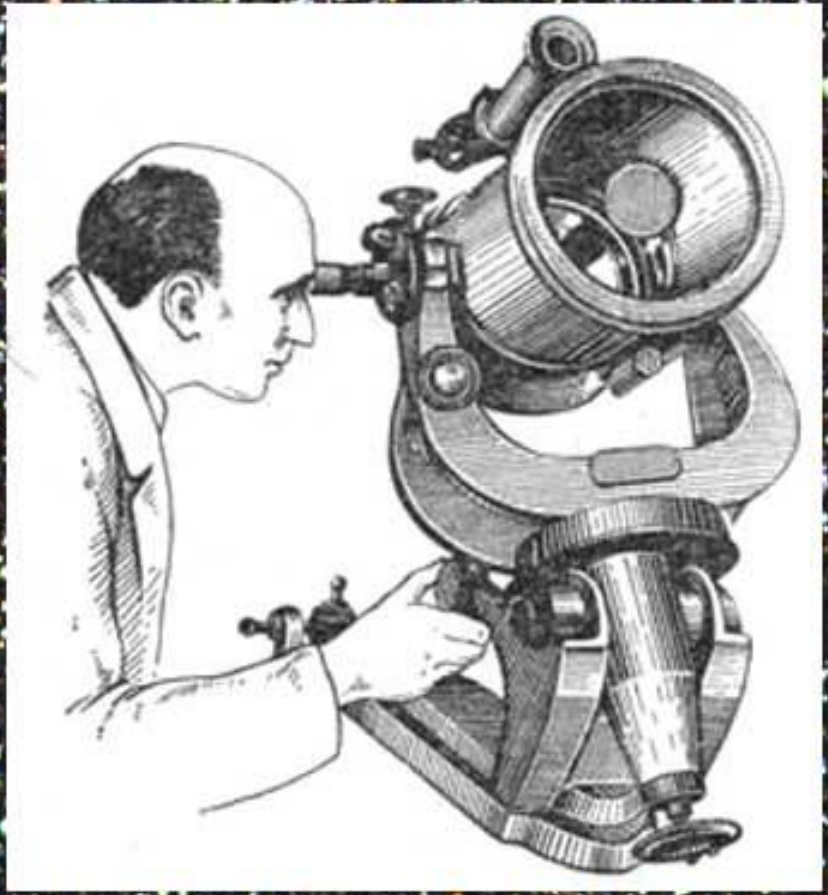
- Заметить тусклые объекты

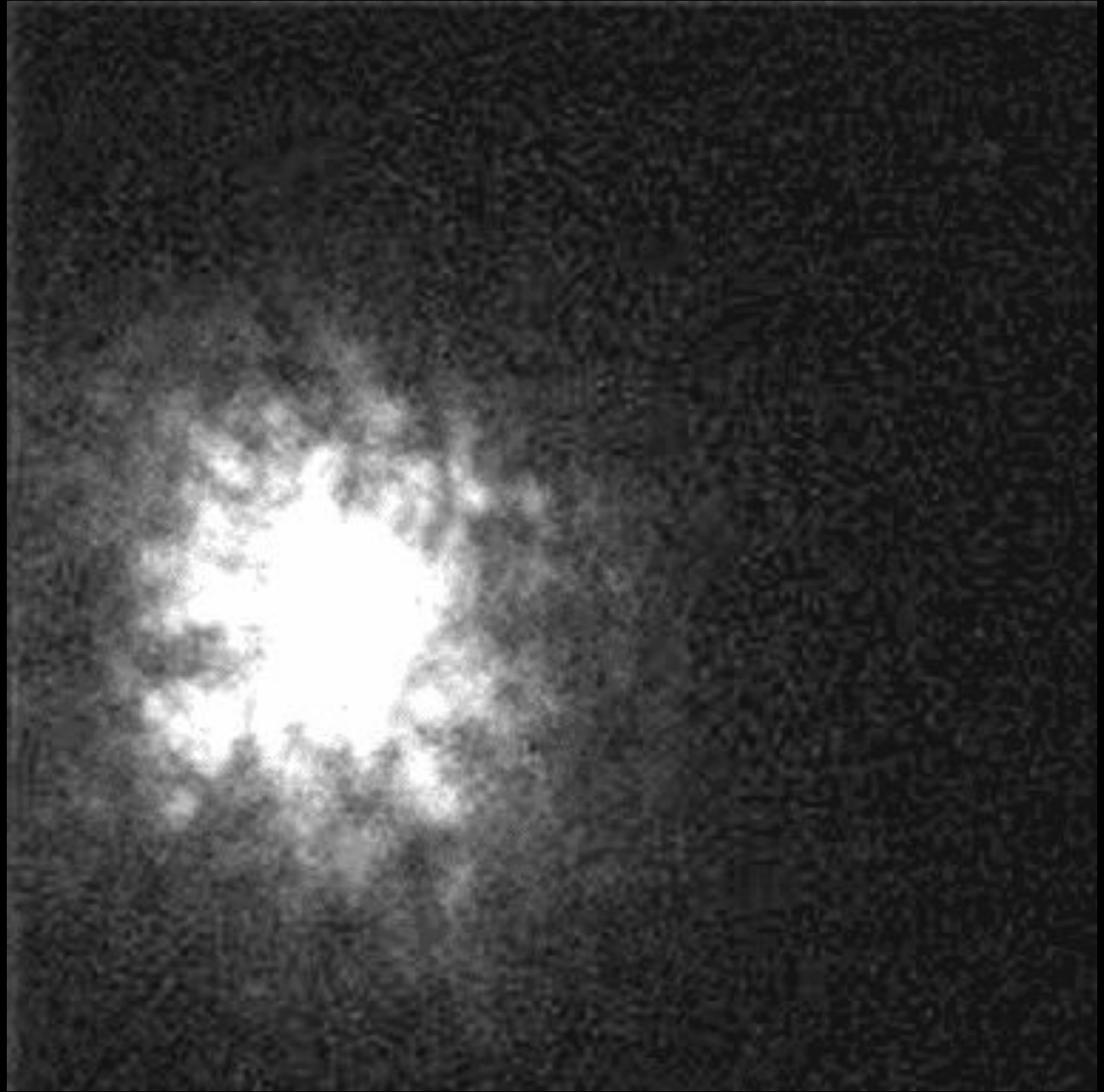
Чего мы хотим от телескопа?

Каждое мгновение контролировать всё небо!









Мауна-Кеа, о.Гавайи, 4130 м

SOFIA
NASA
DLR

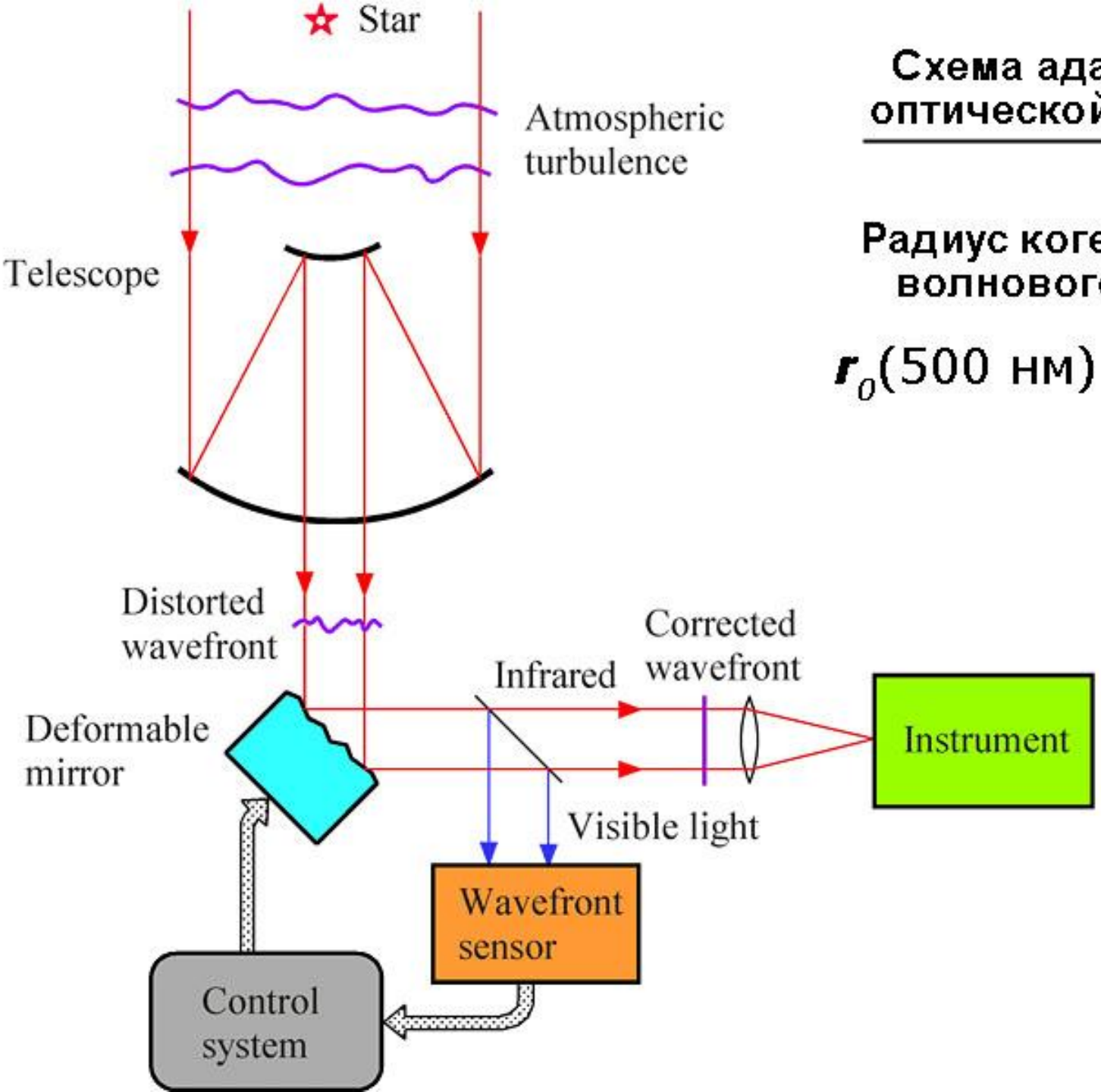
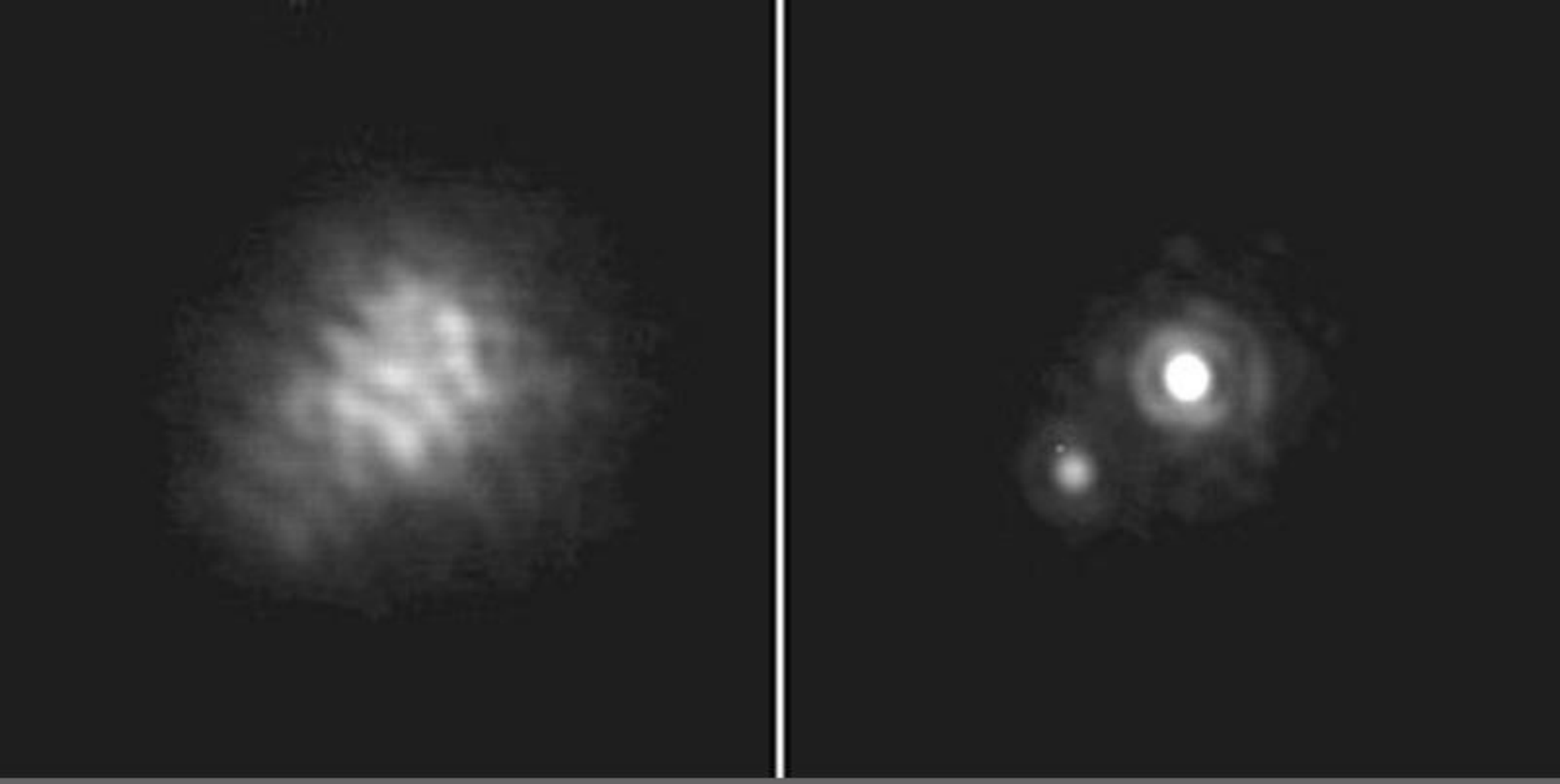


Схема адаптивной оптической системы

Радиус когерентности волнового фронта

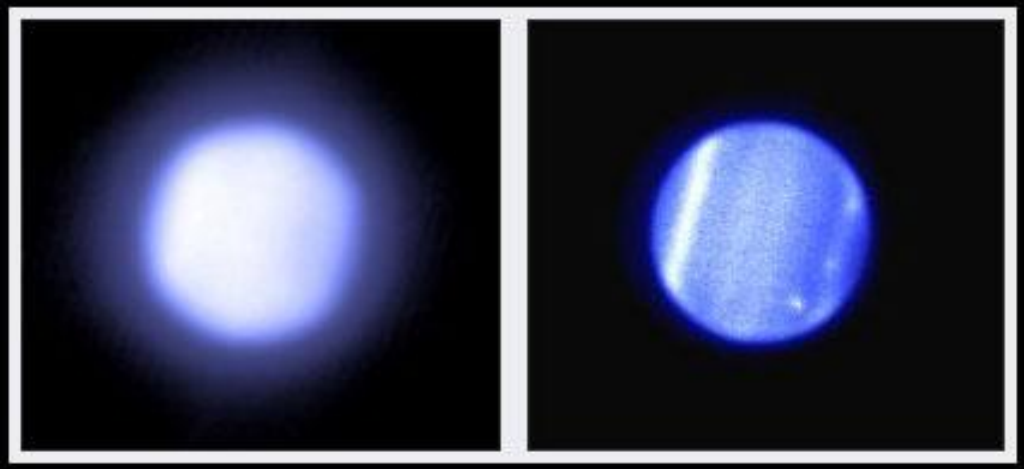
r_0(500 нм) = **2-20** см



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

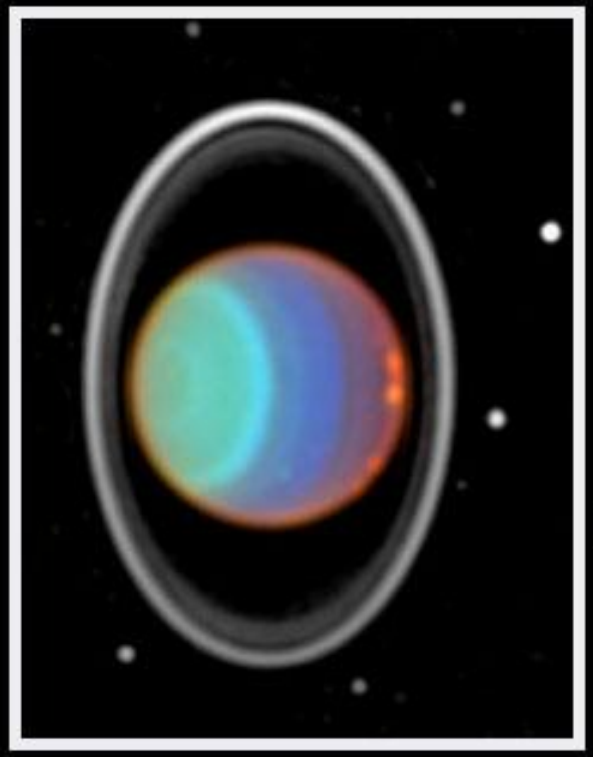
Планета Уран

До включения



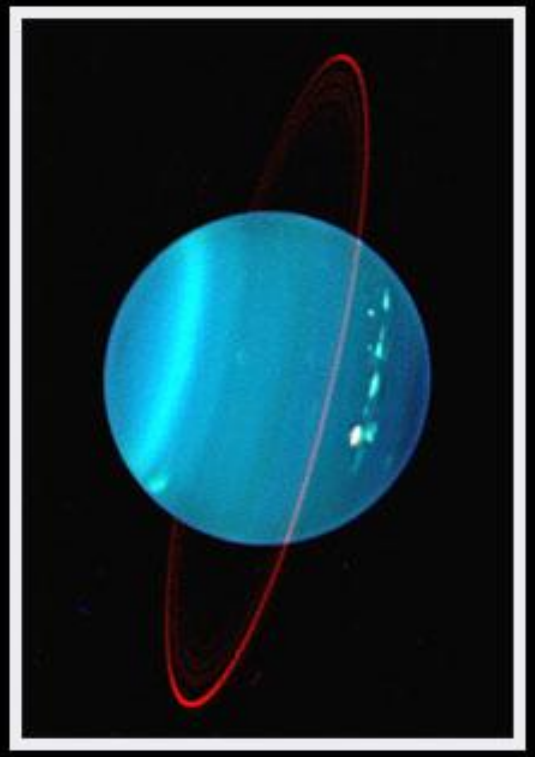
После включения

Система адаптивной оптики

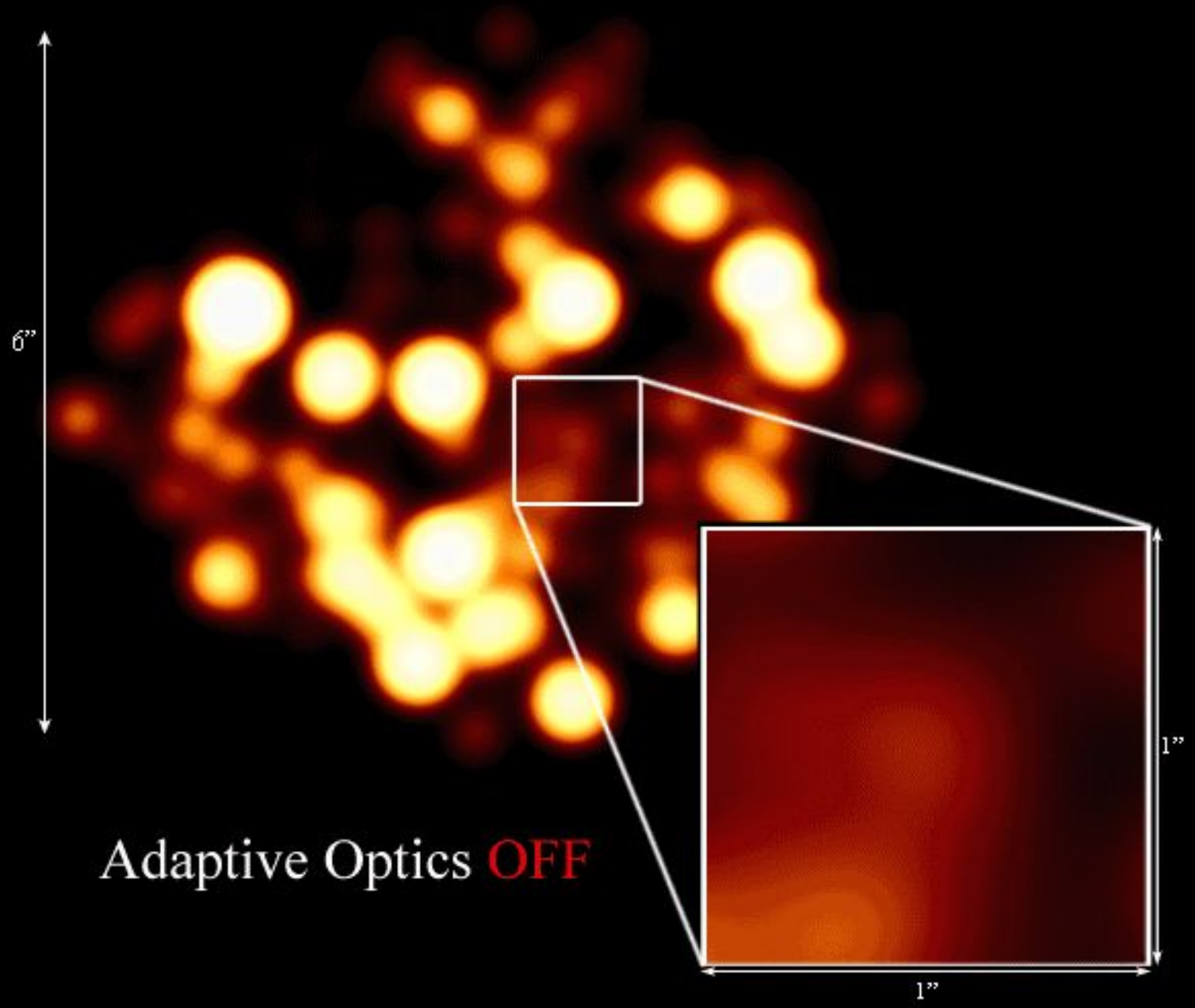


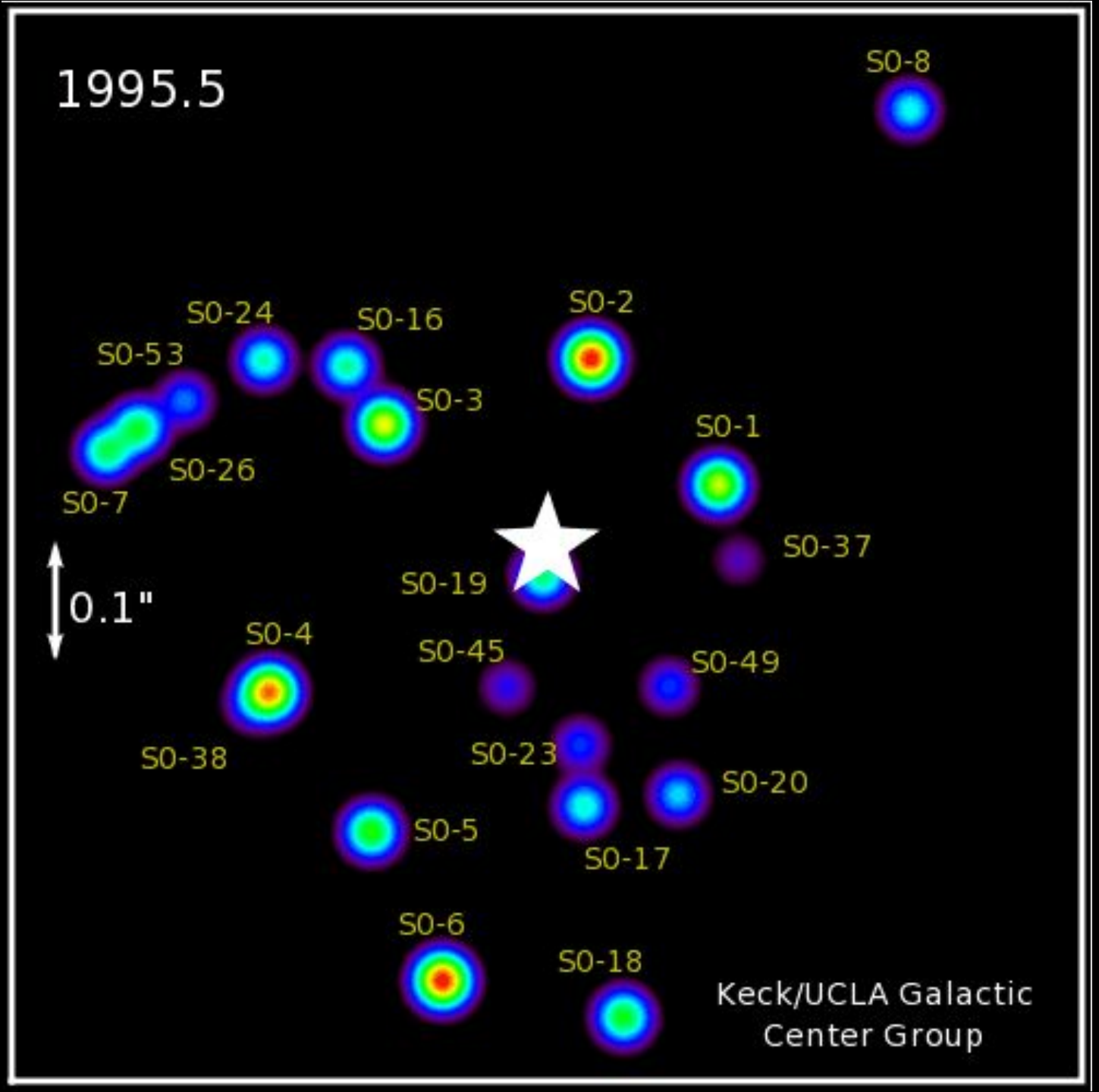
Космический телескоп “Хаббл”

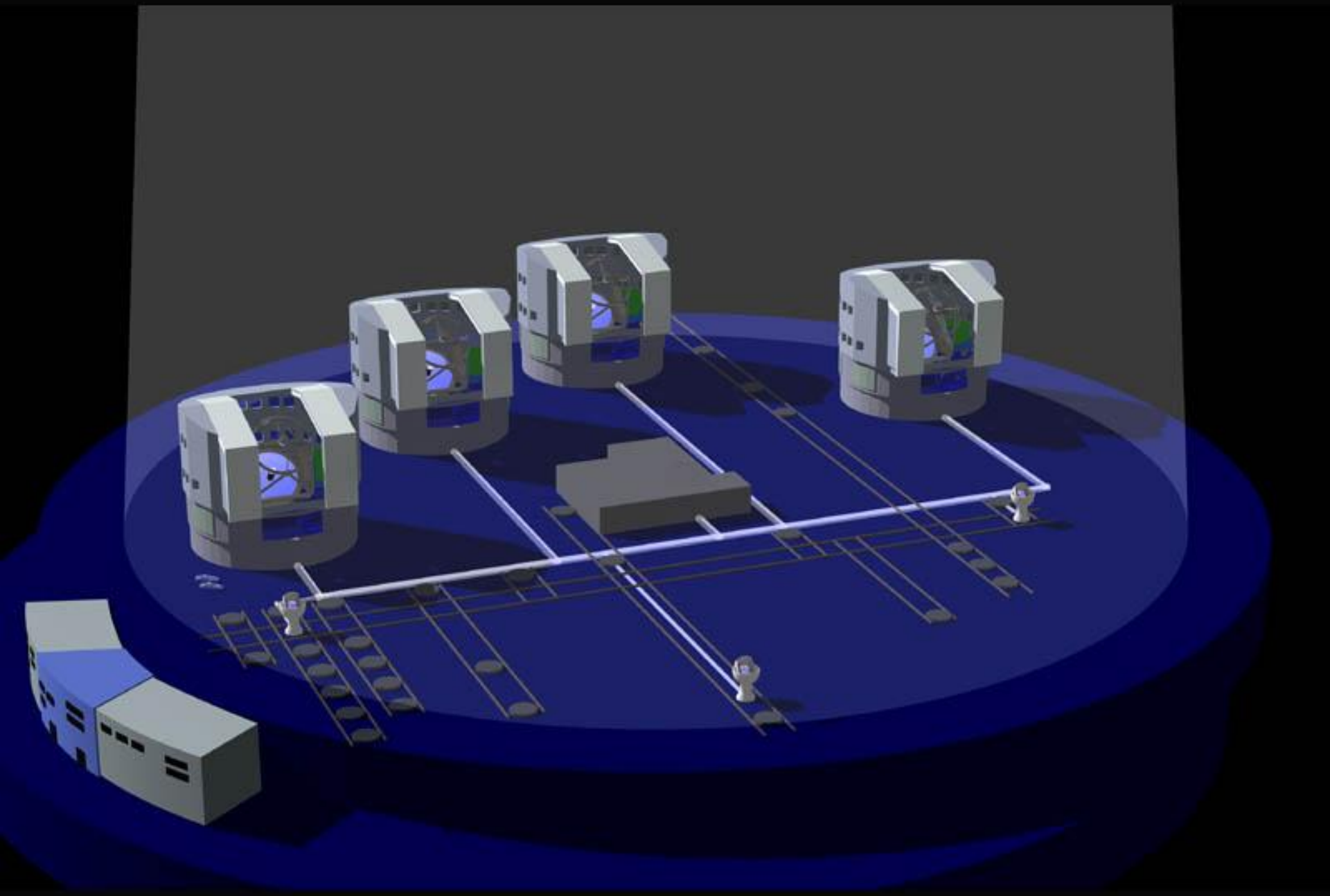
Наземный телескоп “Кек” (10 м) с системой АО



The Galactic Center at 2.2 microns




1995.5
S0-8
S0-24
S0-16
S0-2
S0-53
S0-3
S0-1
S0-26
S0-7
S0-37
0.1"
S0-19
S0-4
S0-45
S0-49
S0-38
S0-23
S0-20
S0-5
S0-17
S0-6
S0-18
Keck/UCLA Galactic
Center Group



Large Binocular Telescope 2 x 8,4 m

Маунт Грэхем, Аризона

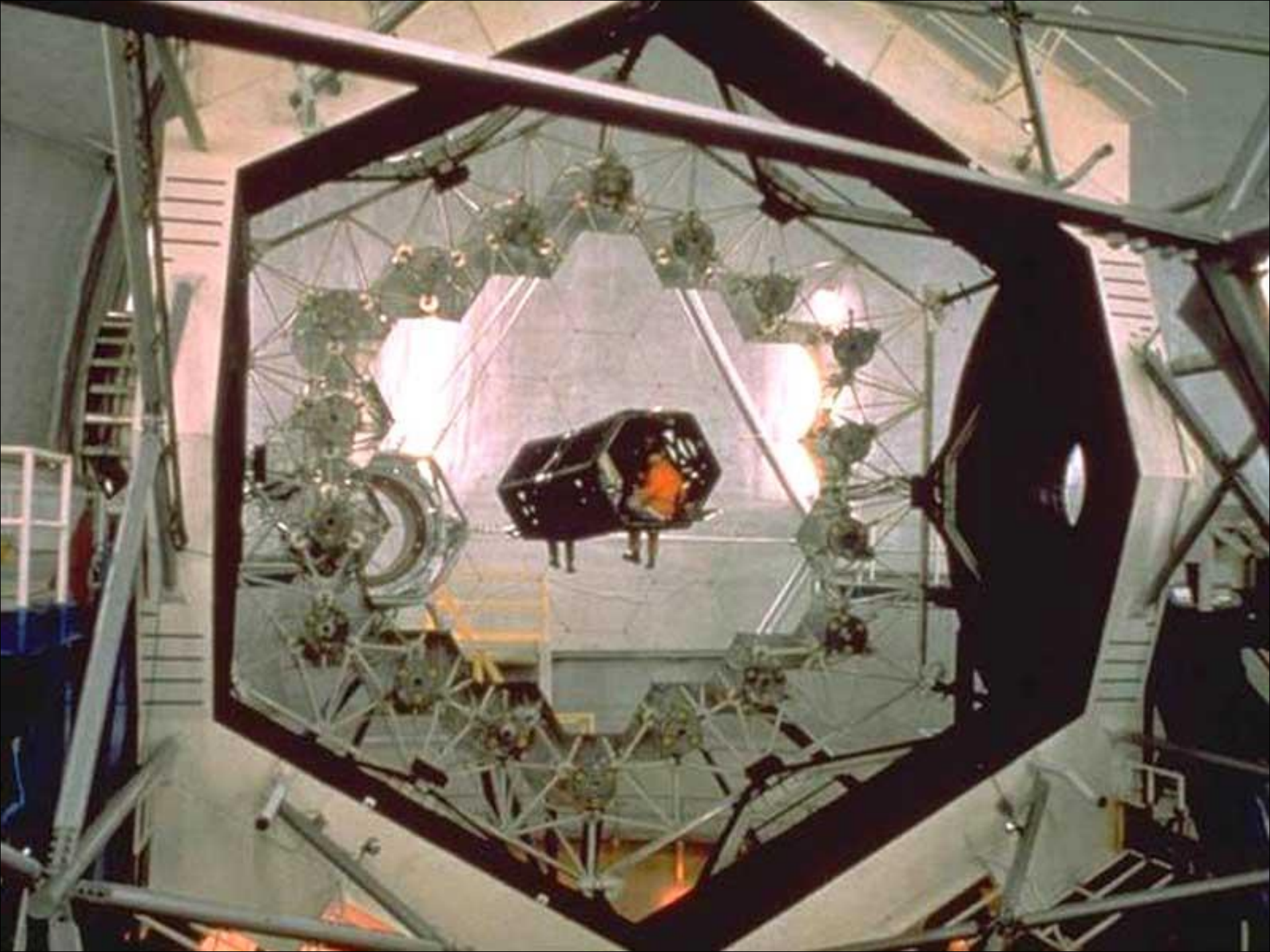
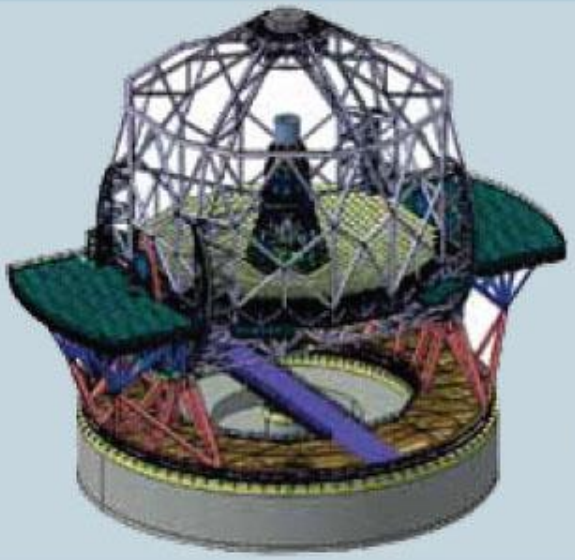
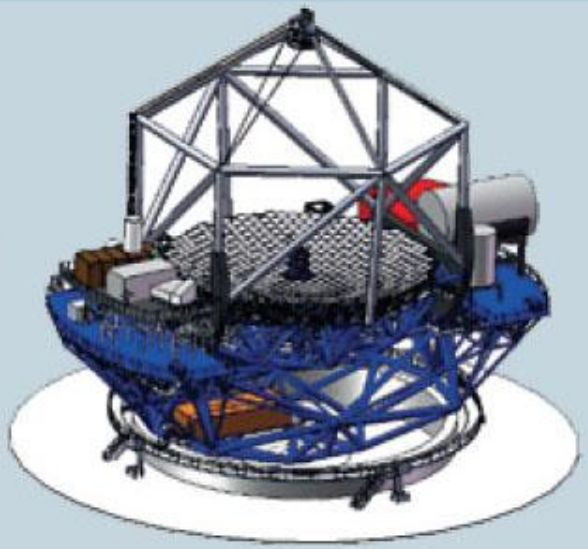
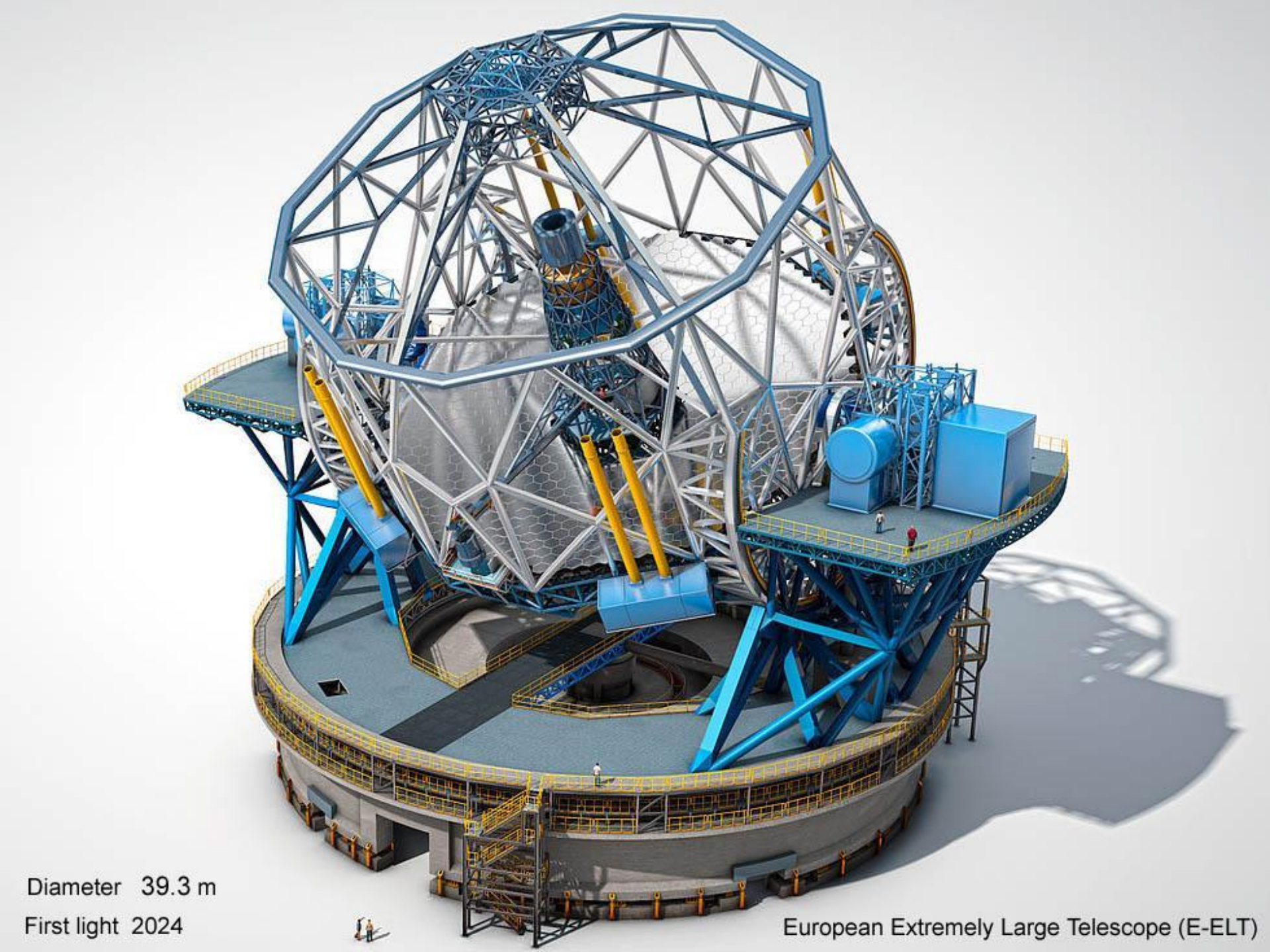
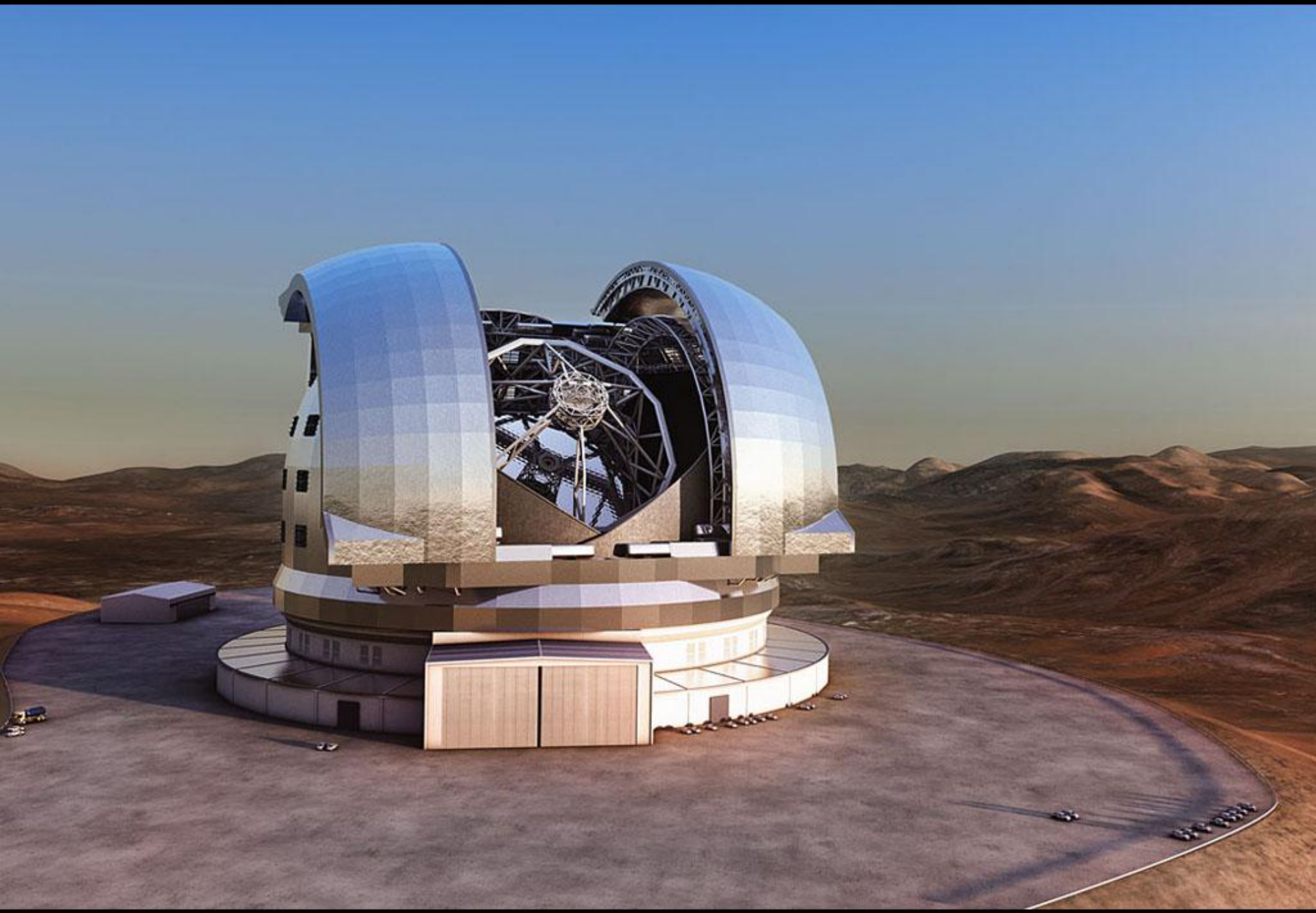


Table 1: The giant telescopes 2012

	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	0.31–28μm	0.31–28μm	0.35–14μm
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

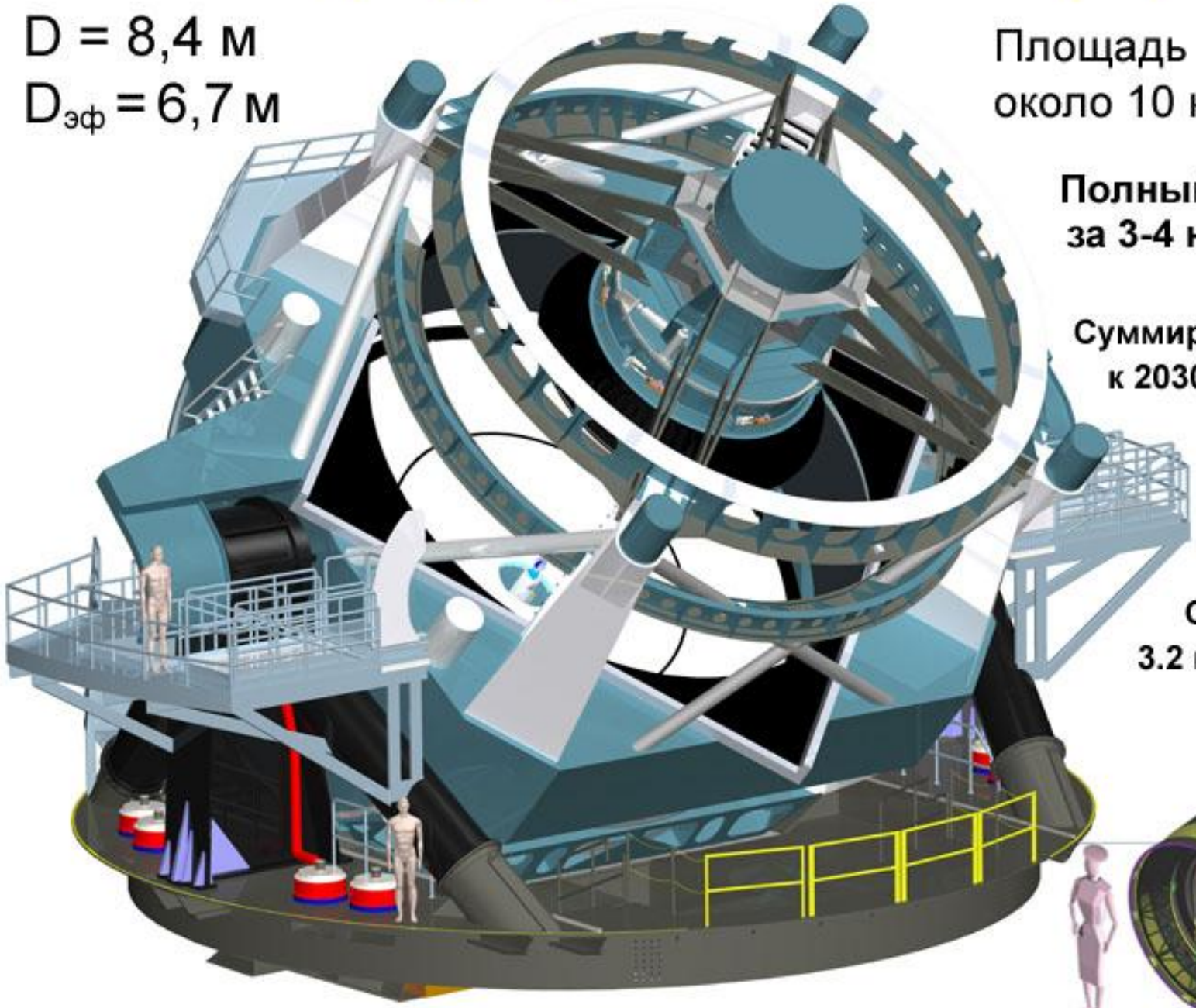
$D_{эф}$ = 6,7 м

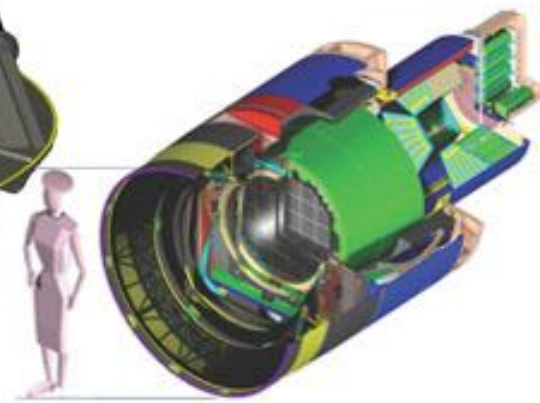
Площадь поля зрения около 10 кв. градусов

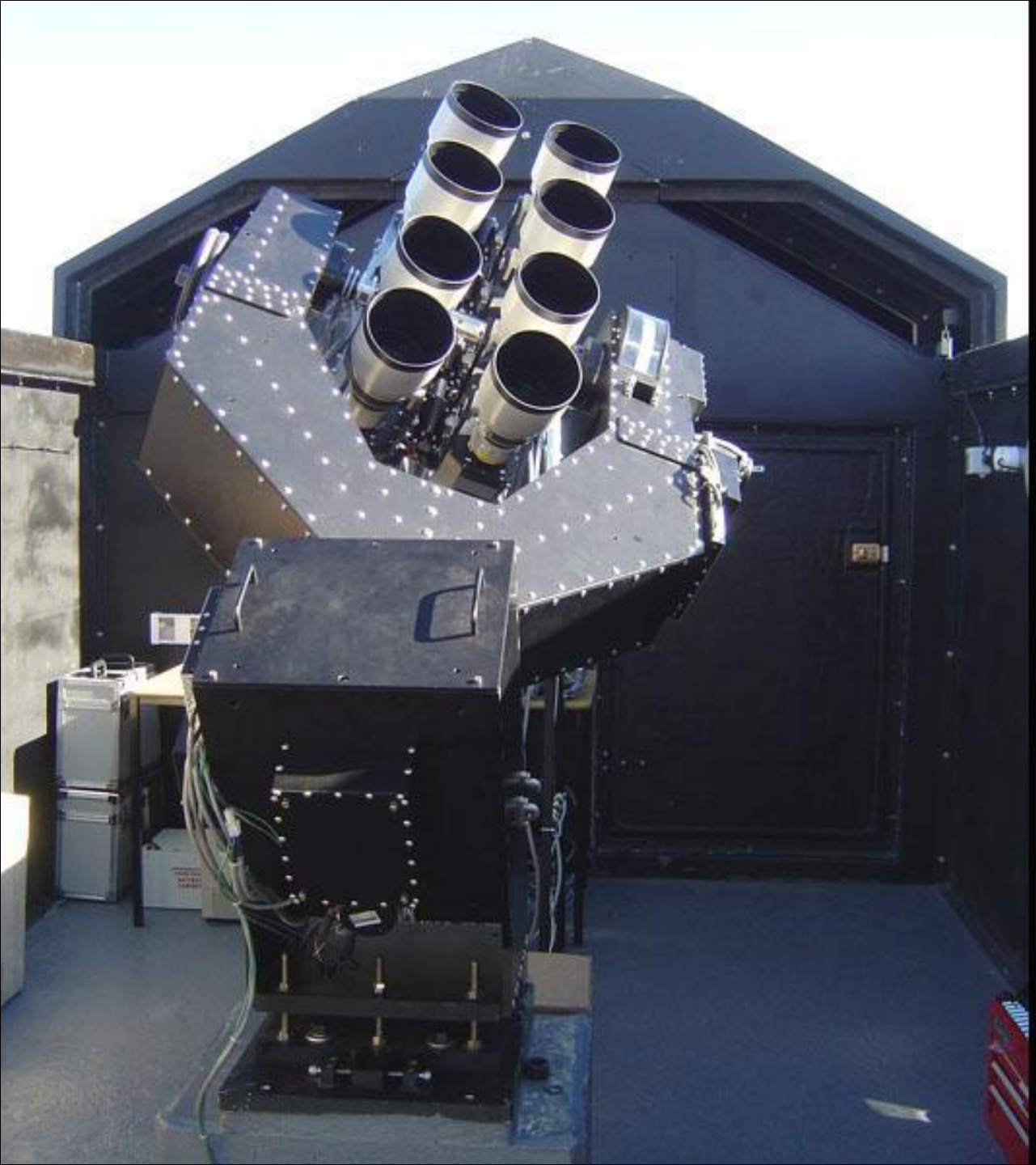
Полный обзор неба за 3-4 ночи до $24{,}5^m$

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.

Телескоп квалифицированного астронома-любителя

Лучшие снимки доцифровой эпохи

Современный любительский цифровой снимок

Любительский

Профессиональный

Saturn - Nordic Optical Telescope

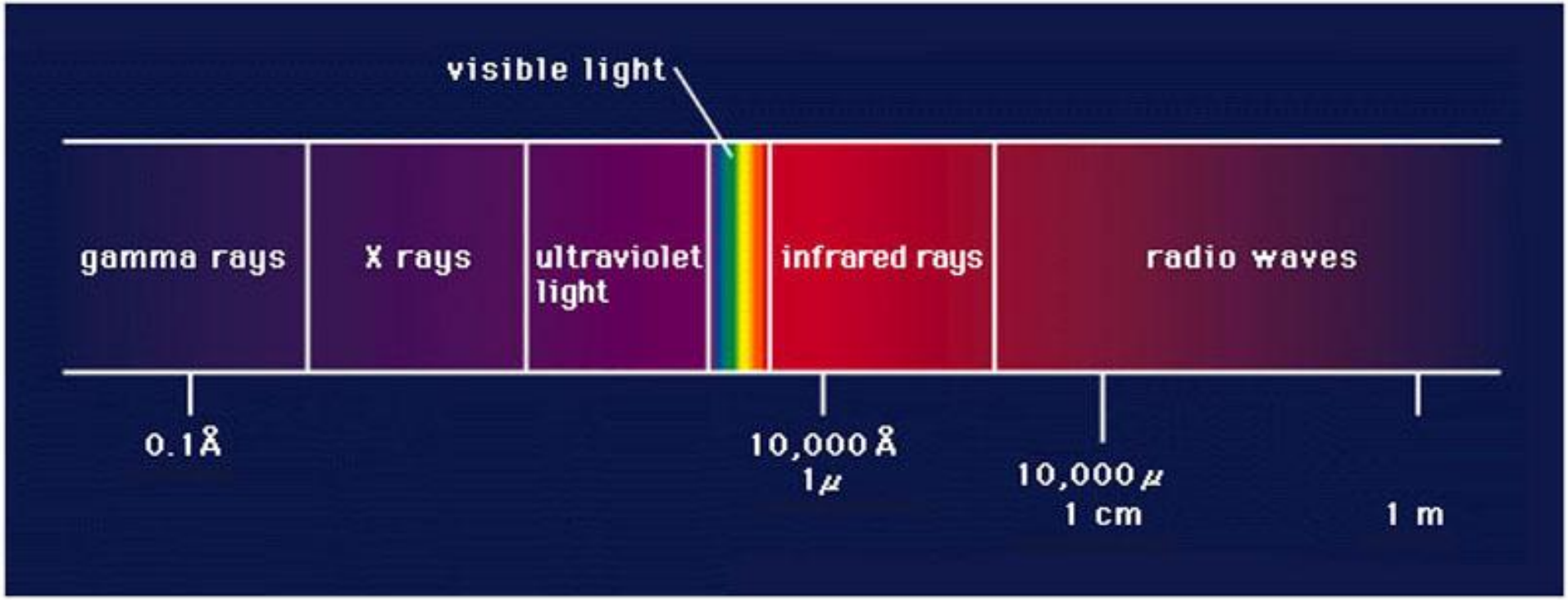
Телескоп Celestron 14"
CCD камера
Выбраны лучшие кадры
из 4800 экспозиций

14 March, 2011
05:07 UT

B. Combs
Buena Vista, GA USA

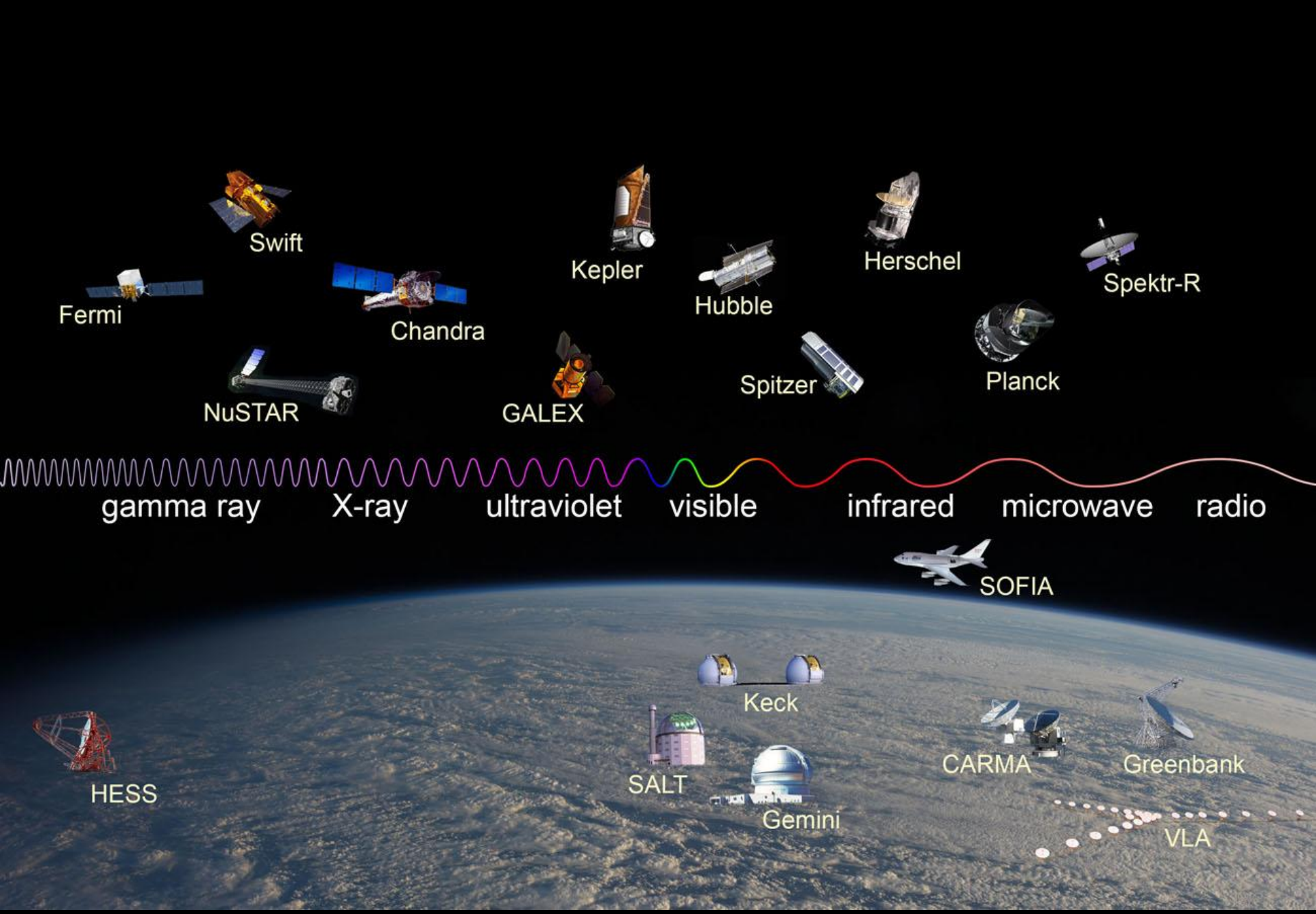
Неоптическая Астрономия

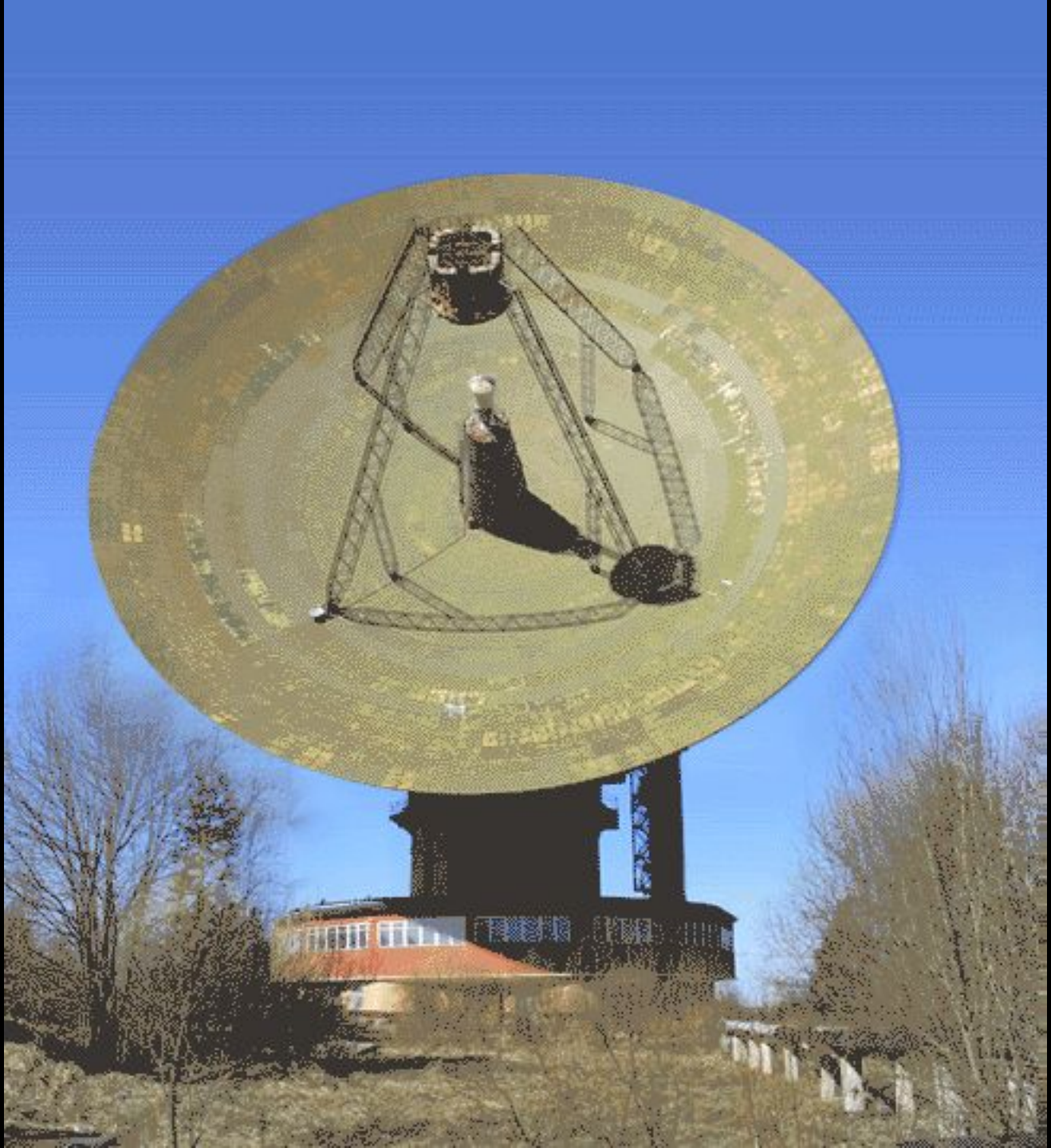
Электромагнитный спектр

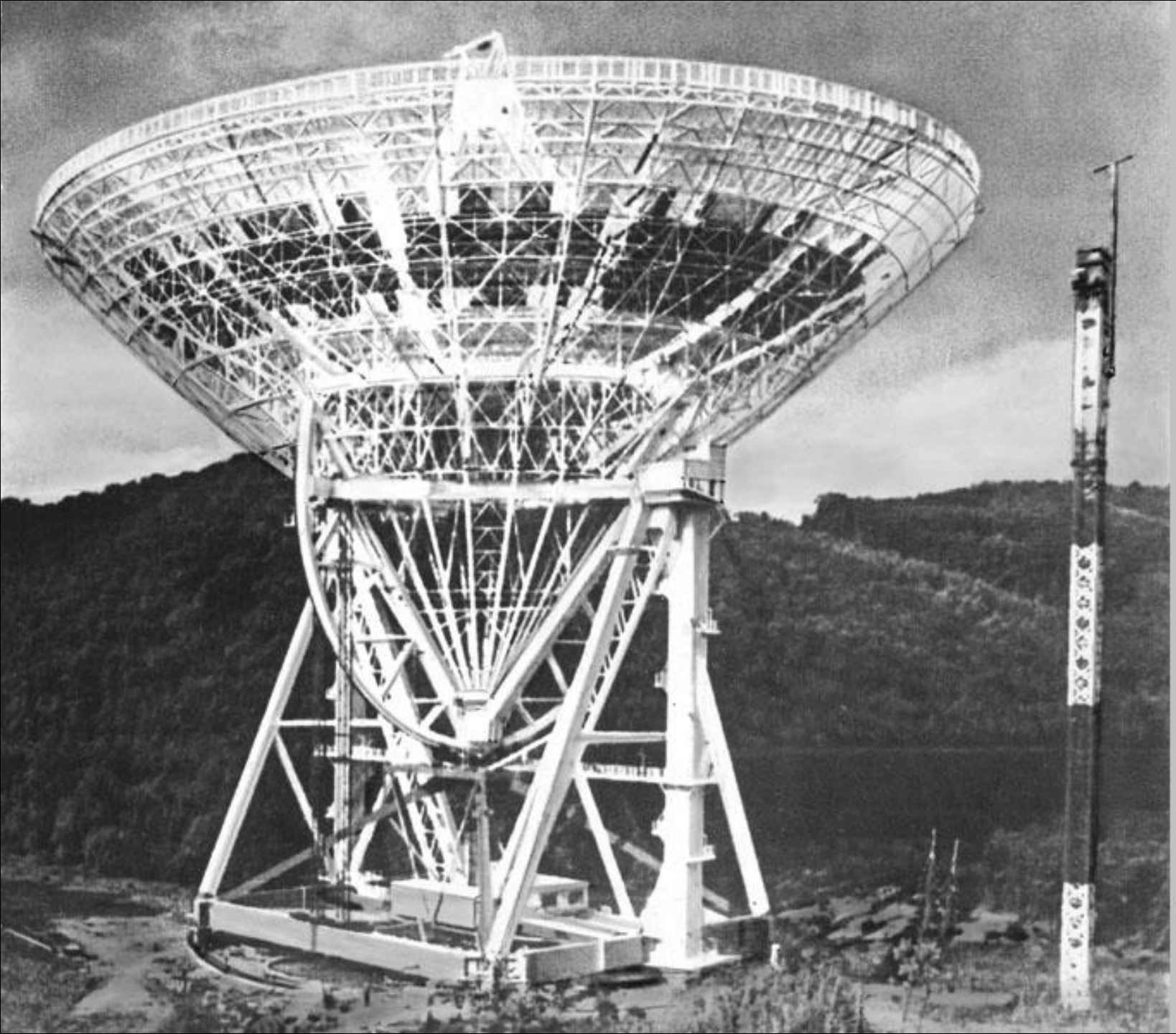


Видимый свет (3500-7000 Å) = 1 октава

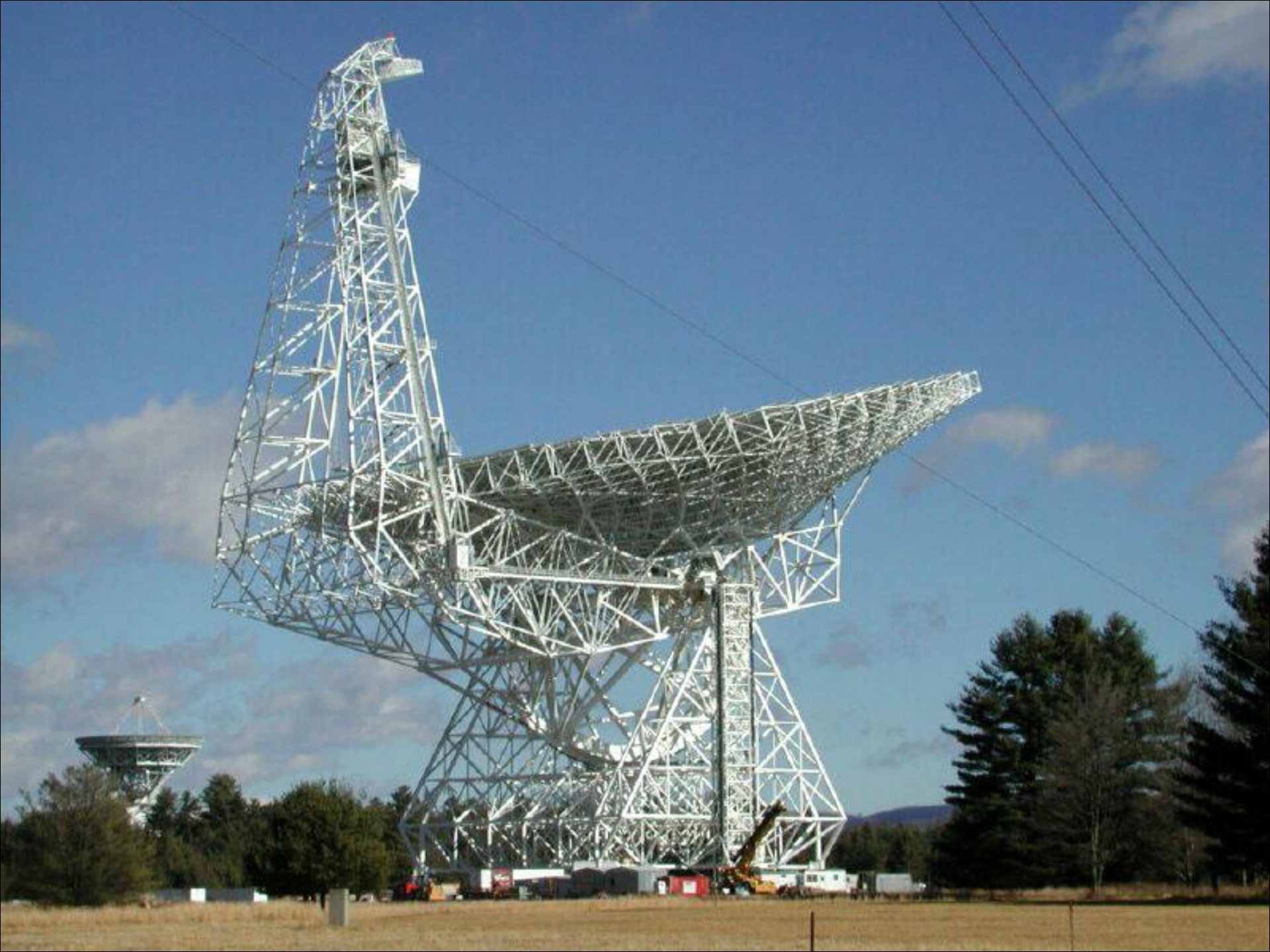
От гамма (0,1Å) до радио (10 м) = 40 октав


Swift
Fermi
Chandra
NuSTAR
Kepler
Hubble
GALEX
Herschel
Spektr-R
Spitzer
Planck
gamma ray
X-ray
ultraviolet
visible
infrared
microwave
radio
SOFIA
Keck
HESS
SALT
Gemini
CARMA
Greenbank
VLA





100-м
Германия



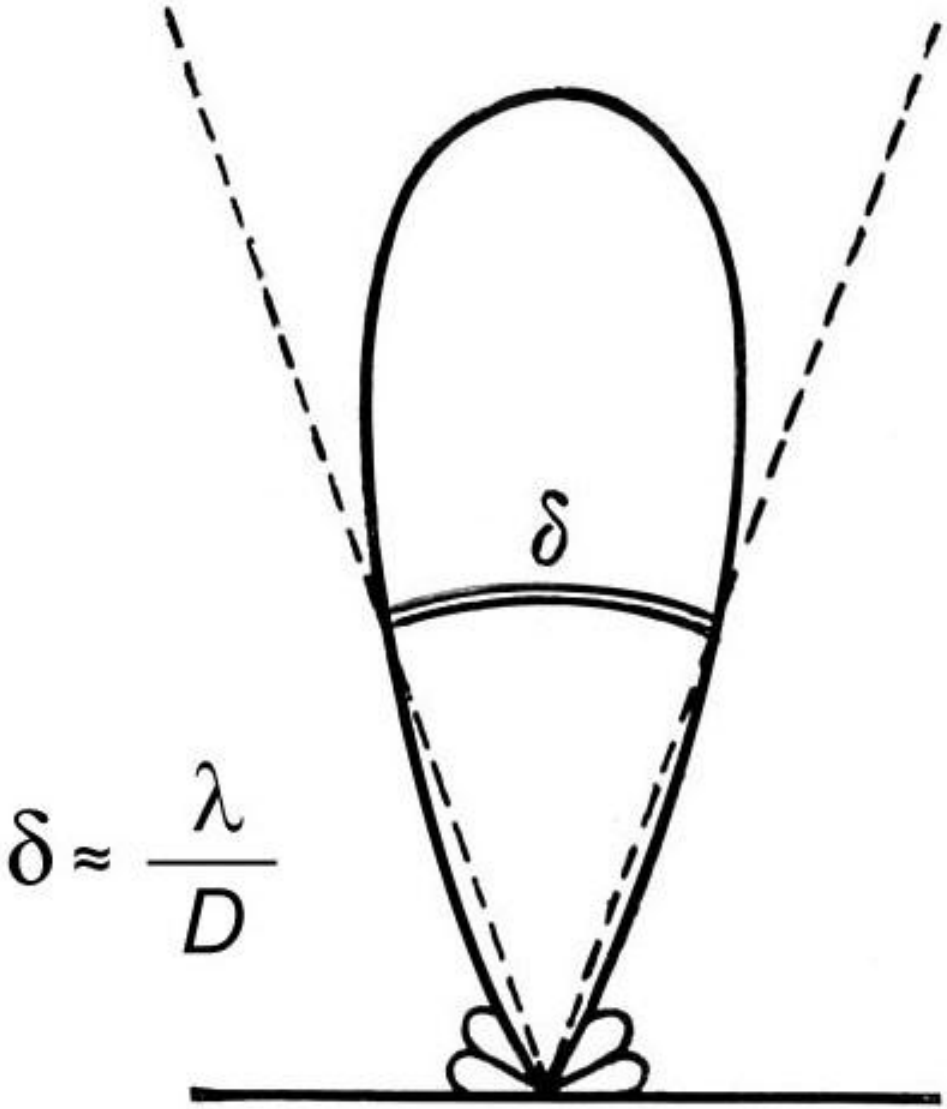
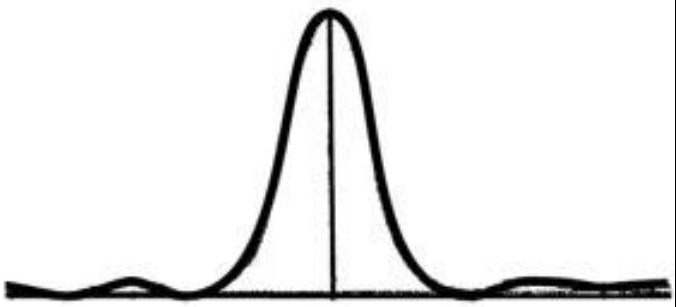


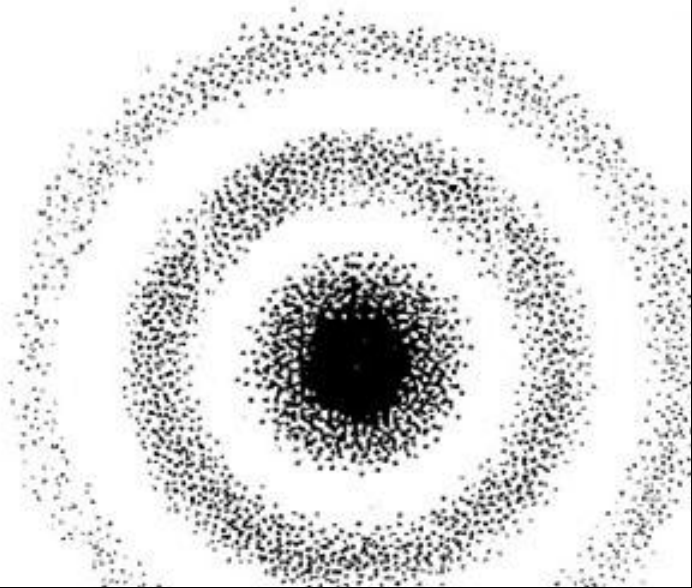
Диаграмма направленности параболической антенны

Функция рассеяния точки (ФРТ, PSF) круглой апертуры

диск Эри

кольца Эри



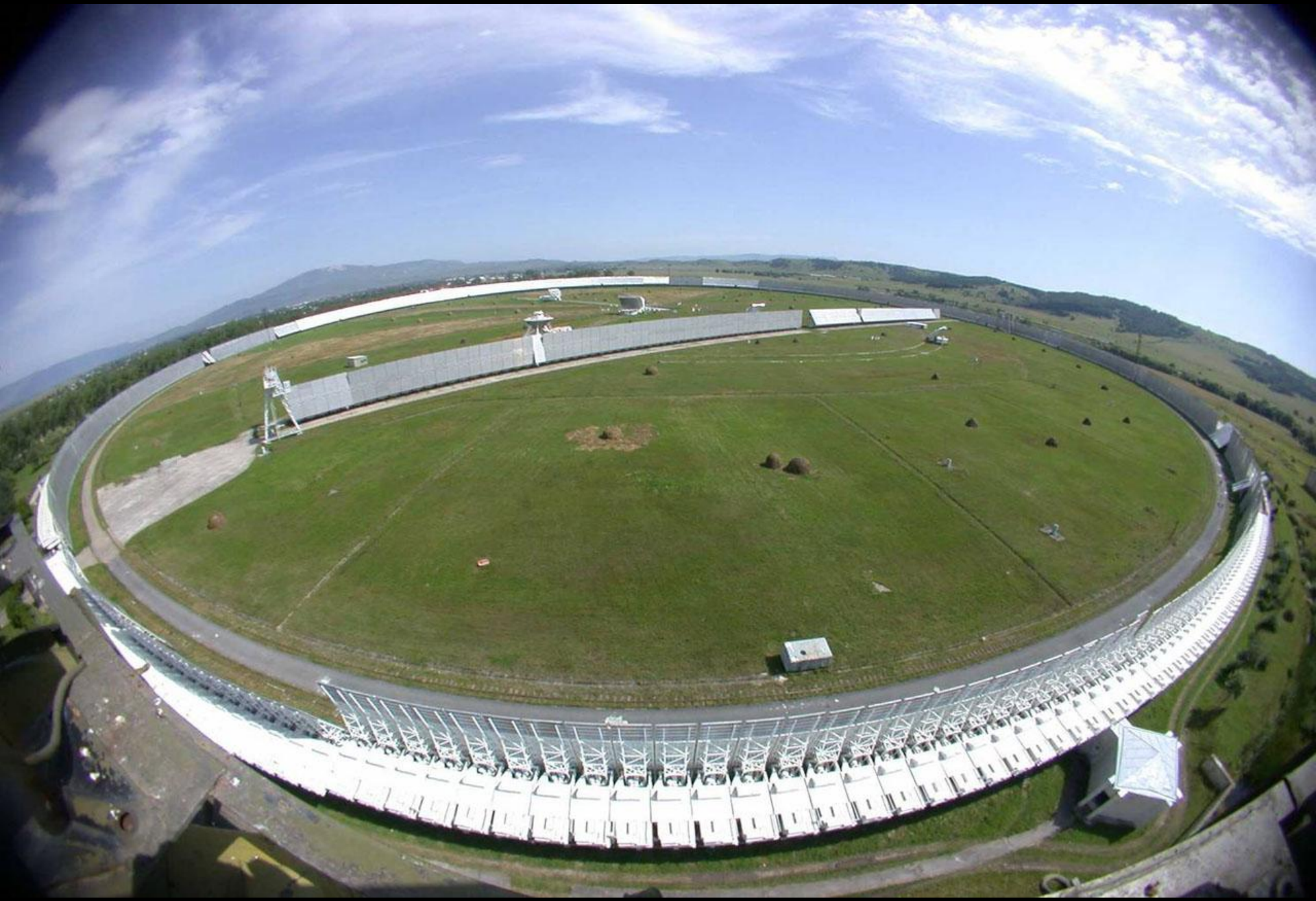


FAST (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope) 500 m China 2016

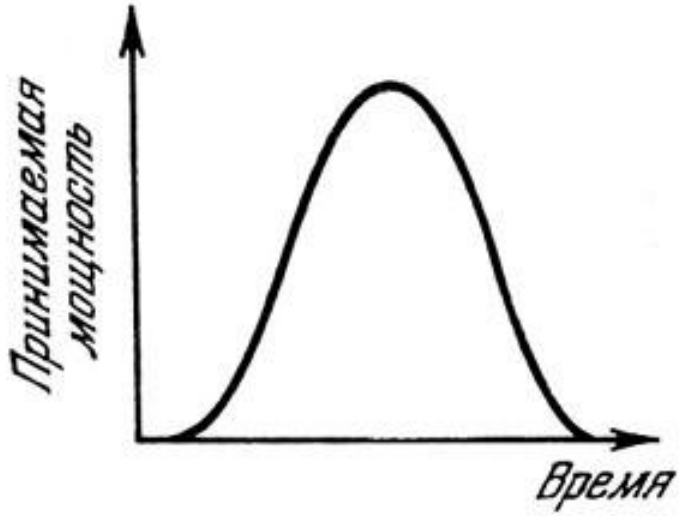
Самый крупный радиотелескоп
РАТАН-600
РАдиоТелескоп Академии Наук

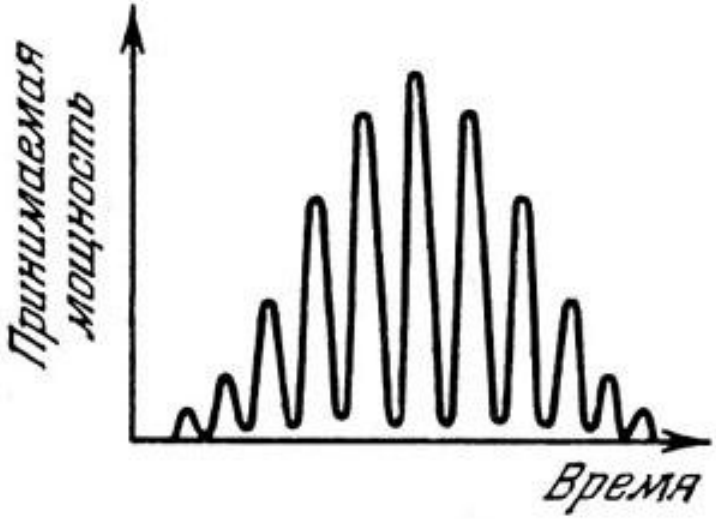
Обсерватория «Зеленчукская», Северный Кавказ, Карачаево-Черкесия, Россия.

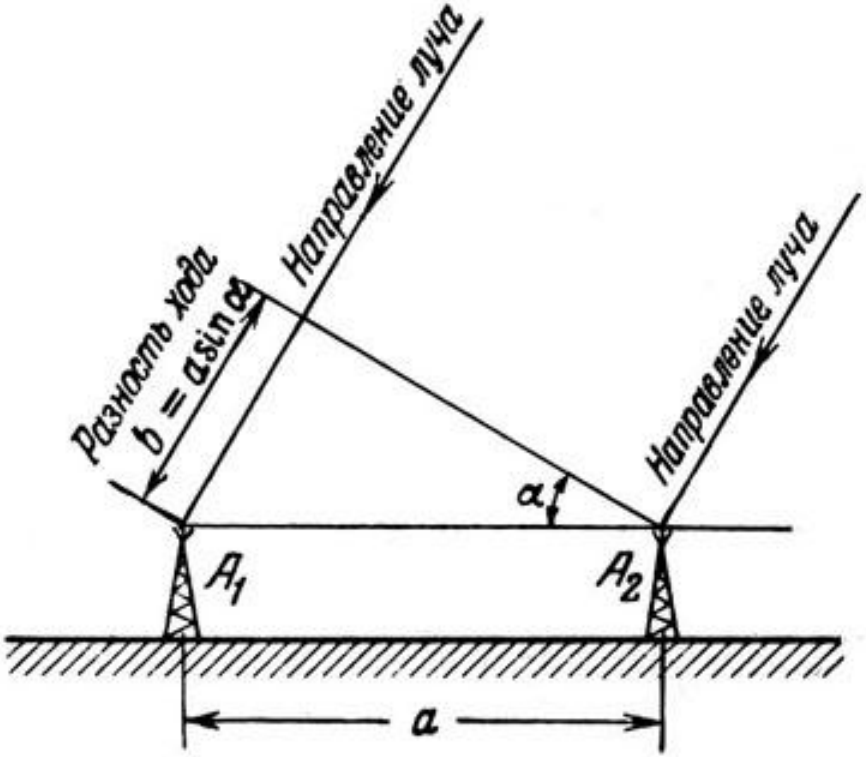
1974 г

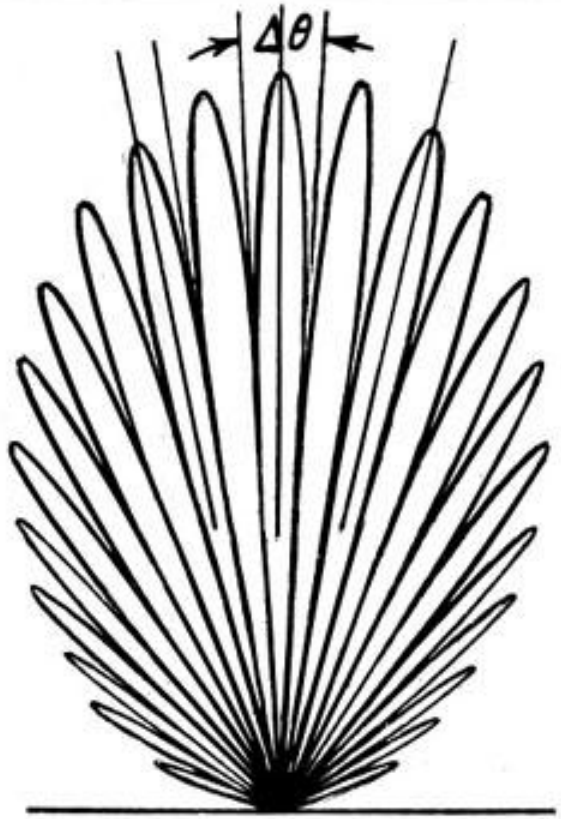


ДКР-1000 *Пущино-на-Оке*
Крест из двух параболических цилиндров
2 x 1000 x 40 м


Принимаемая мощность
Время

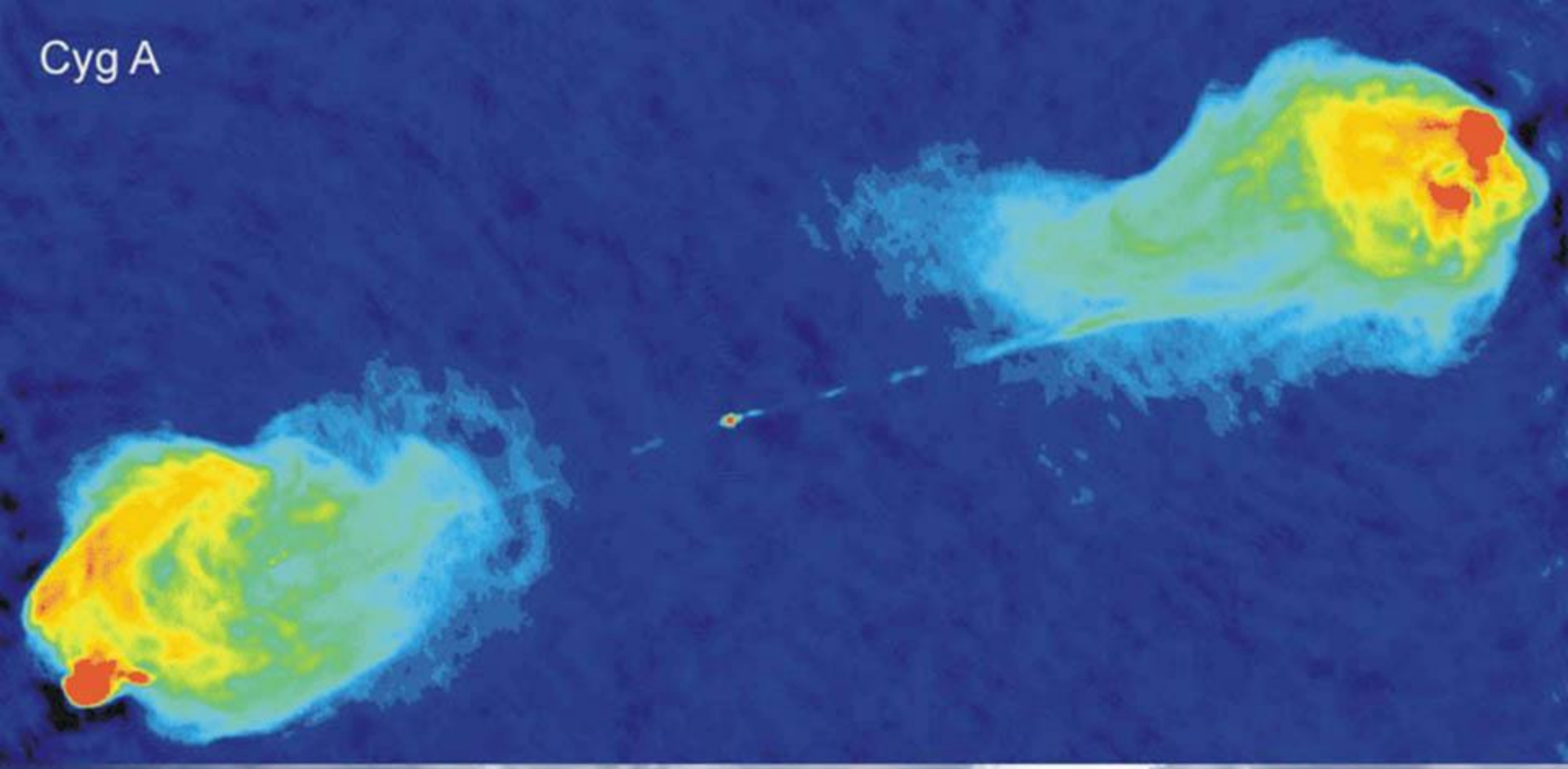

Принимаемая мощность
Время


Направление луча
Направление луча
Разность хода
b = a sin α
α
A1
A2
a

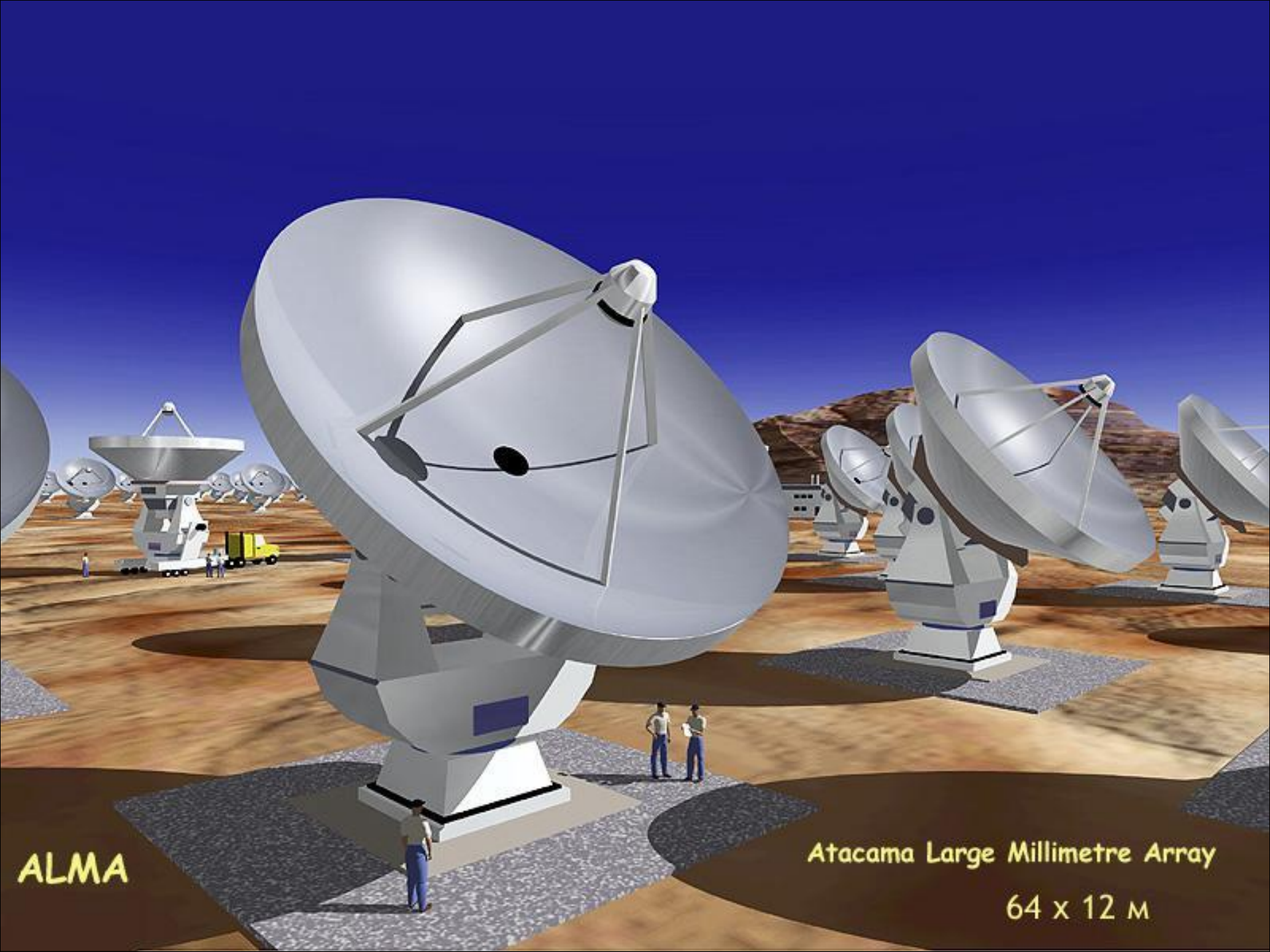

Δθ

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 м

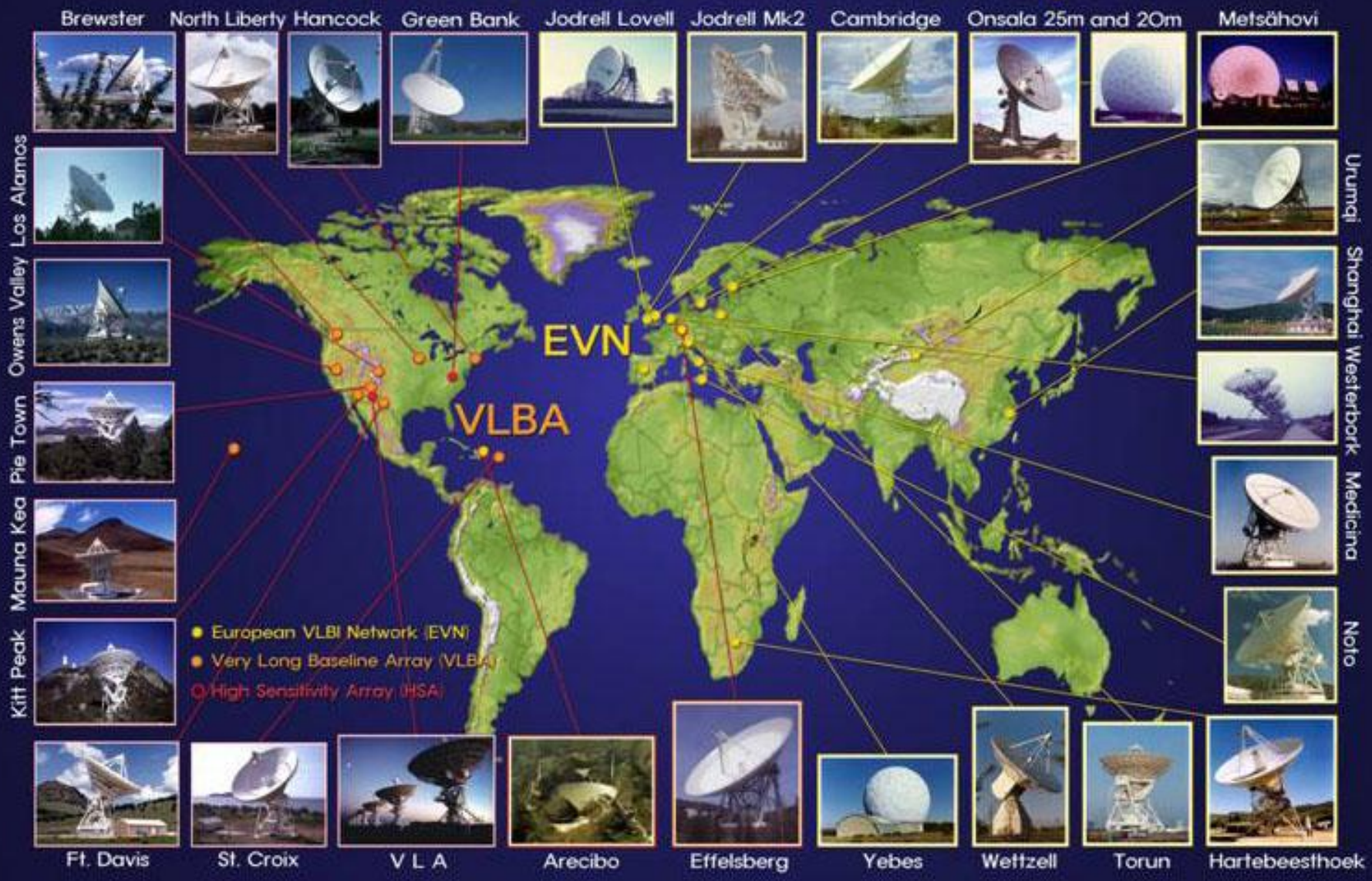
ALMA 1 mm continuum image of the disk surrounding HL Tau.
The disk is 0.8 arcsec in radius, corresponding to about 100 AU

ALMA Partnership et al. (2015)

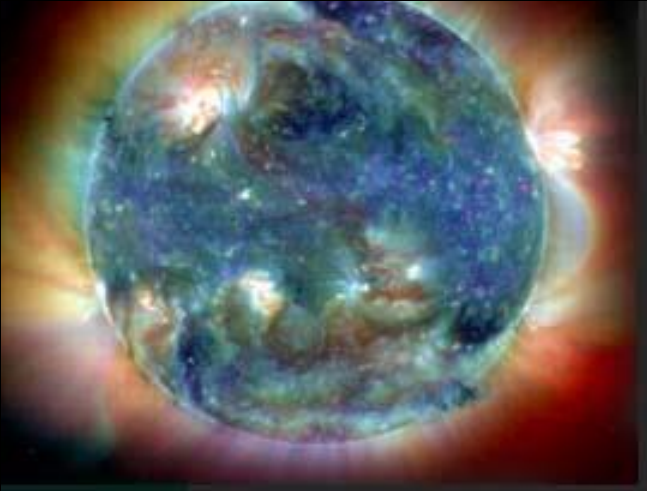
Протопланетный диск у звезды типа T Tau, проходящей стадию гравитационного сжатия

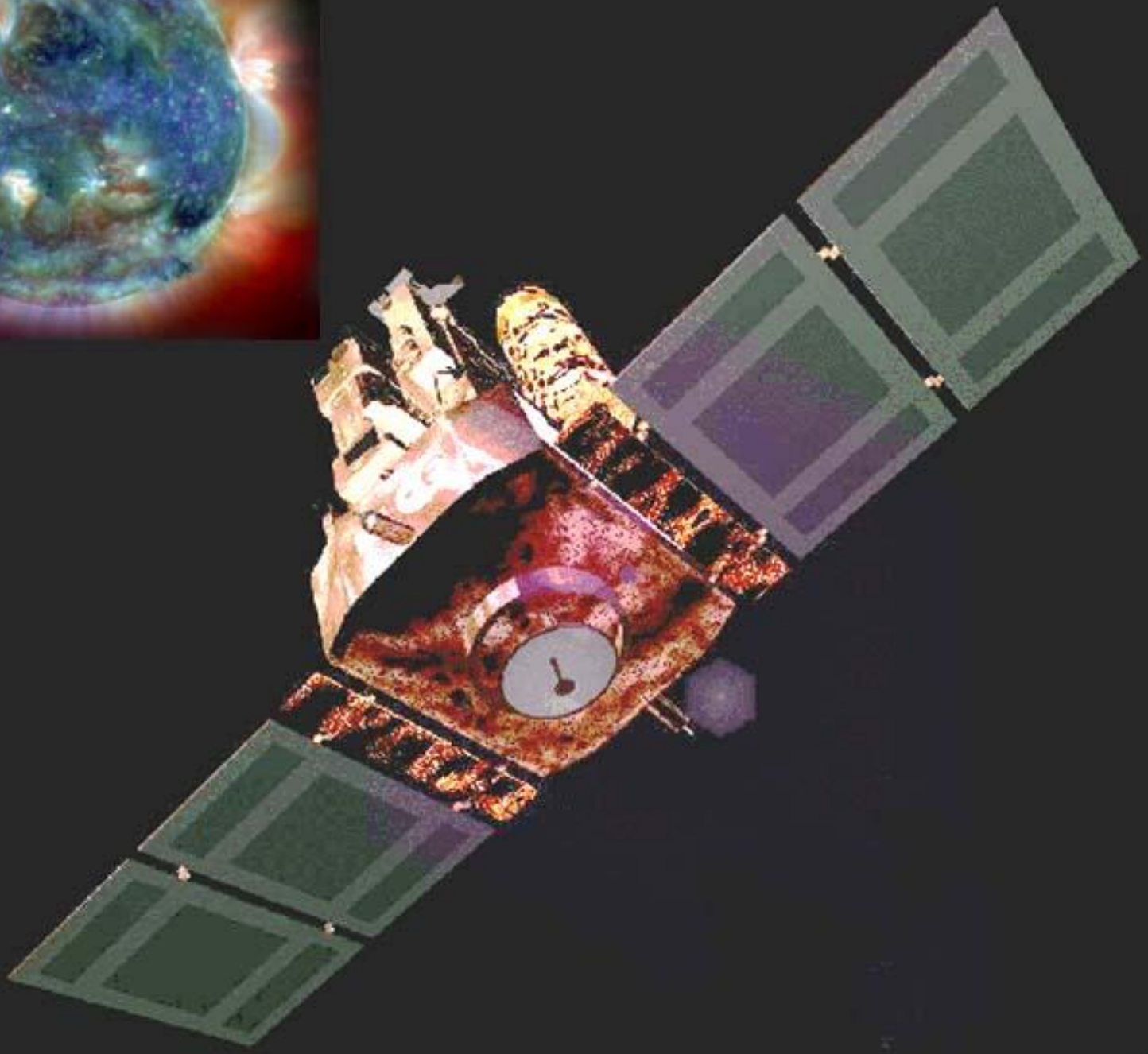
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ D. Fedele et al. 2018

The Global VLBI – Array

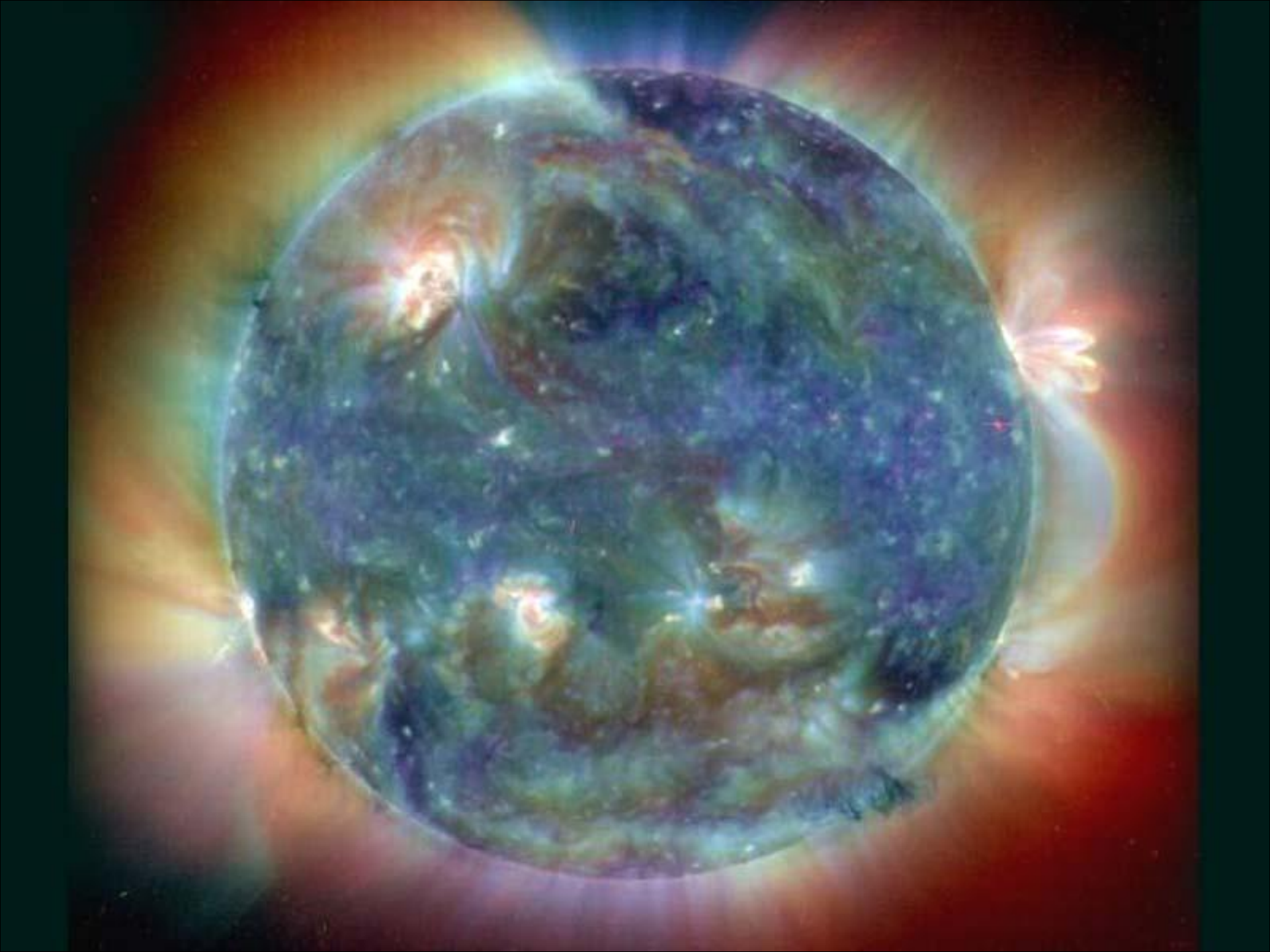


РадиоАстрон 2011 г.





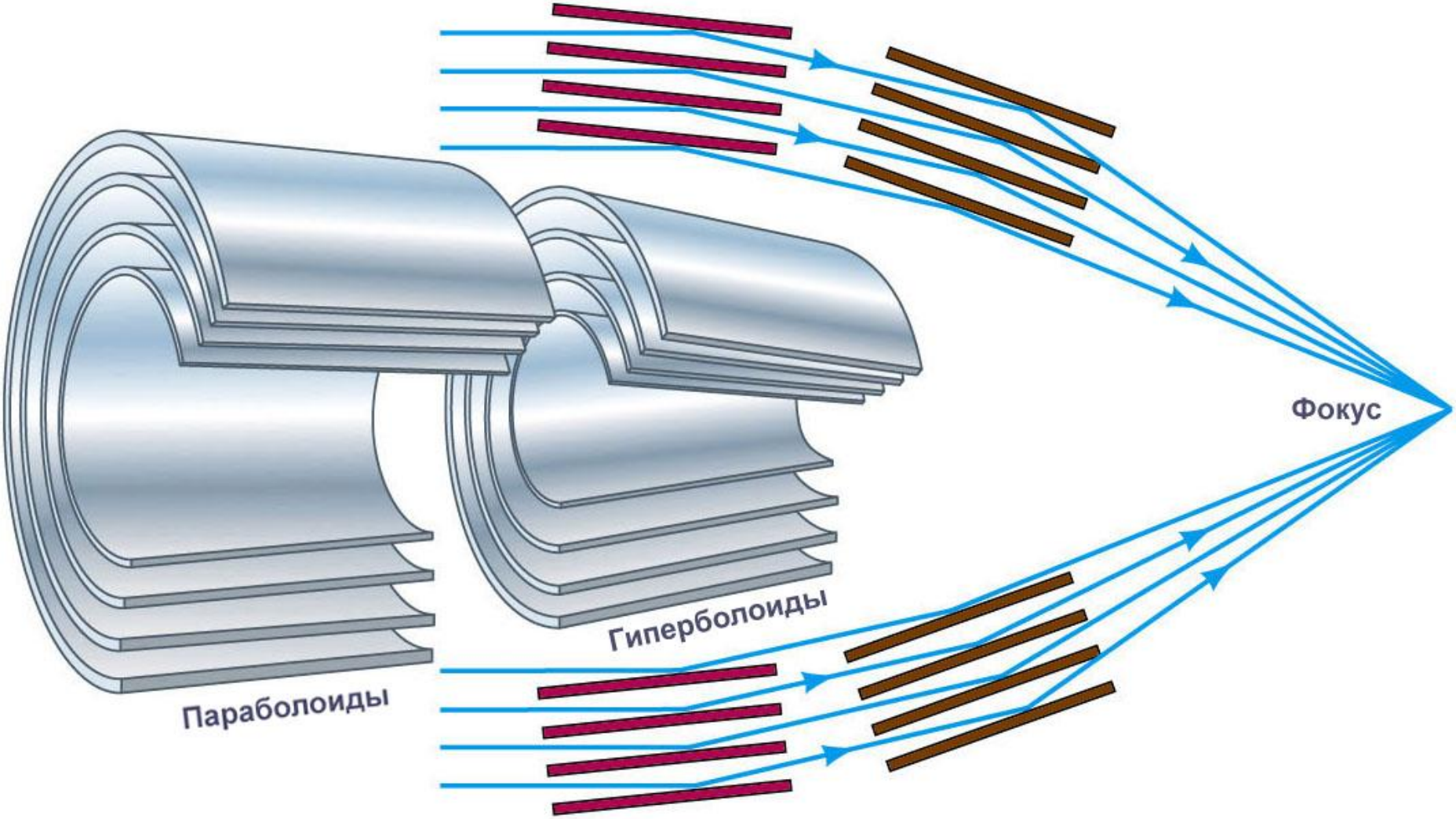
SOHO

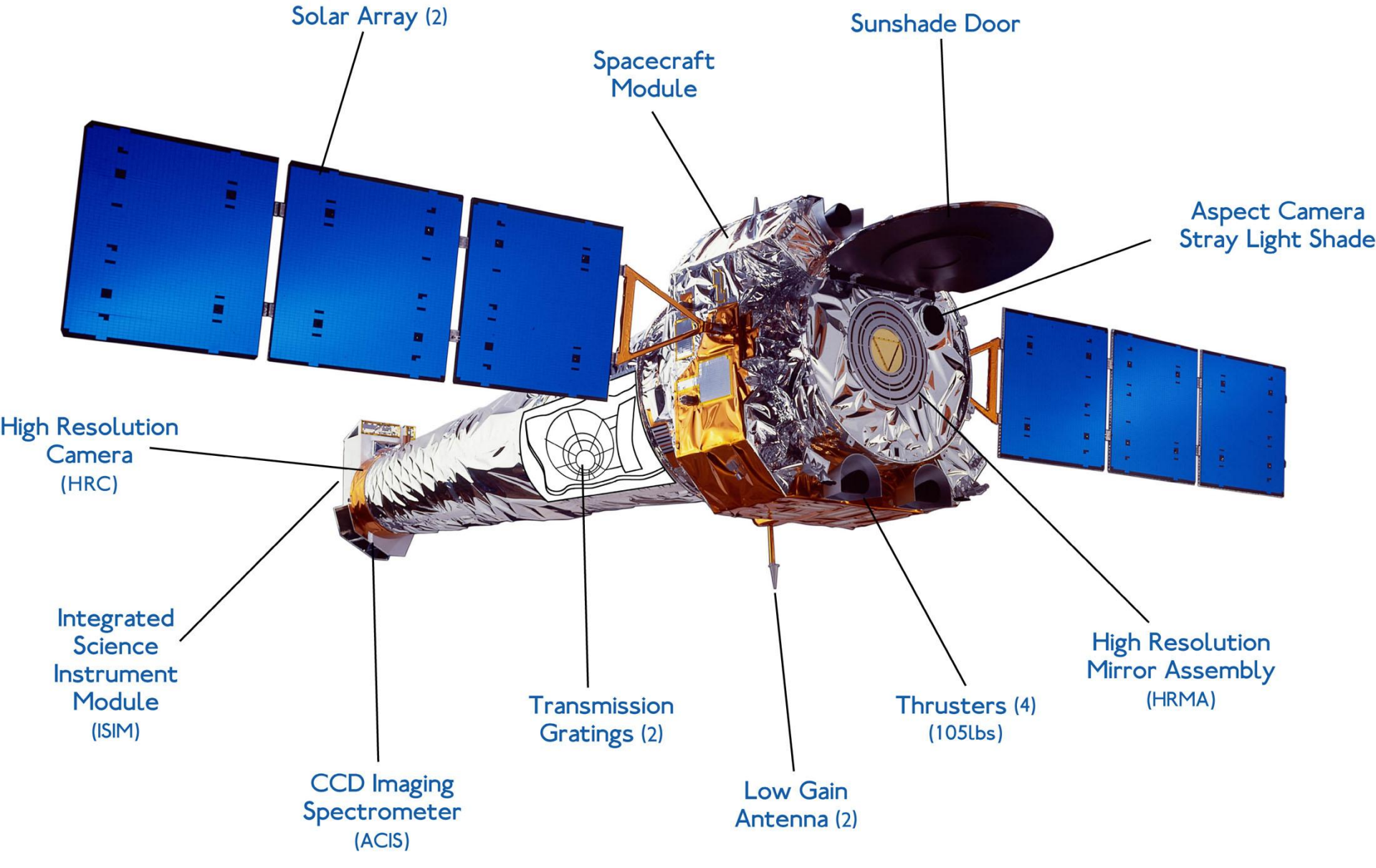


Принцип скользящего удара используется при пускании камнем “блинчиков” на воде

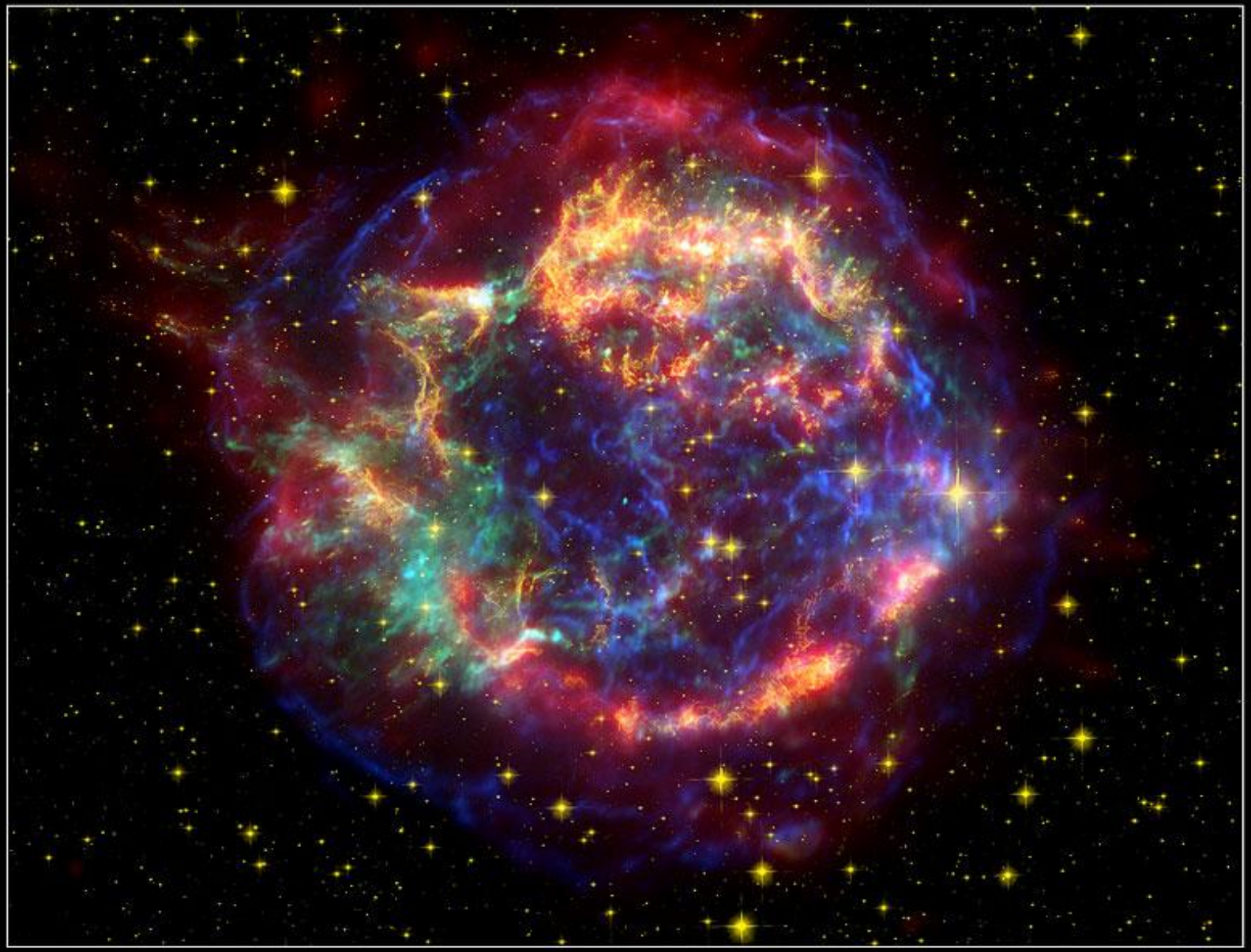
Кванты мягкого рентгеновского диапазона (0,1-10 кэВ) при малых углах падения на металлическую поверхность отражаются от нее

Вложенные зеркала рентгеновского телескопа





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

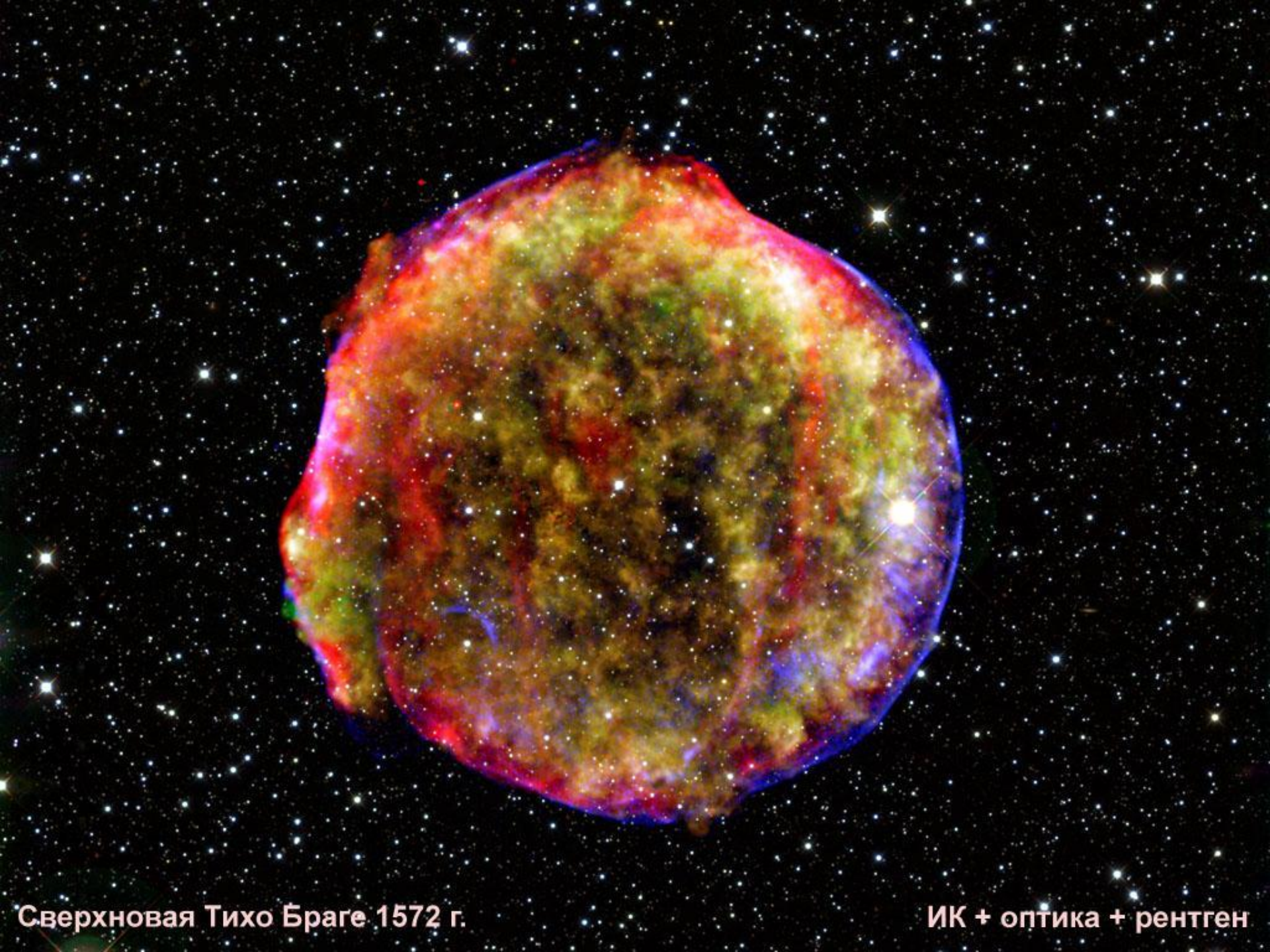


Cassiopia A Supernova Remnant

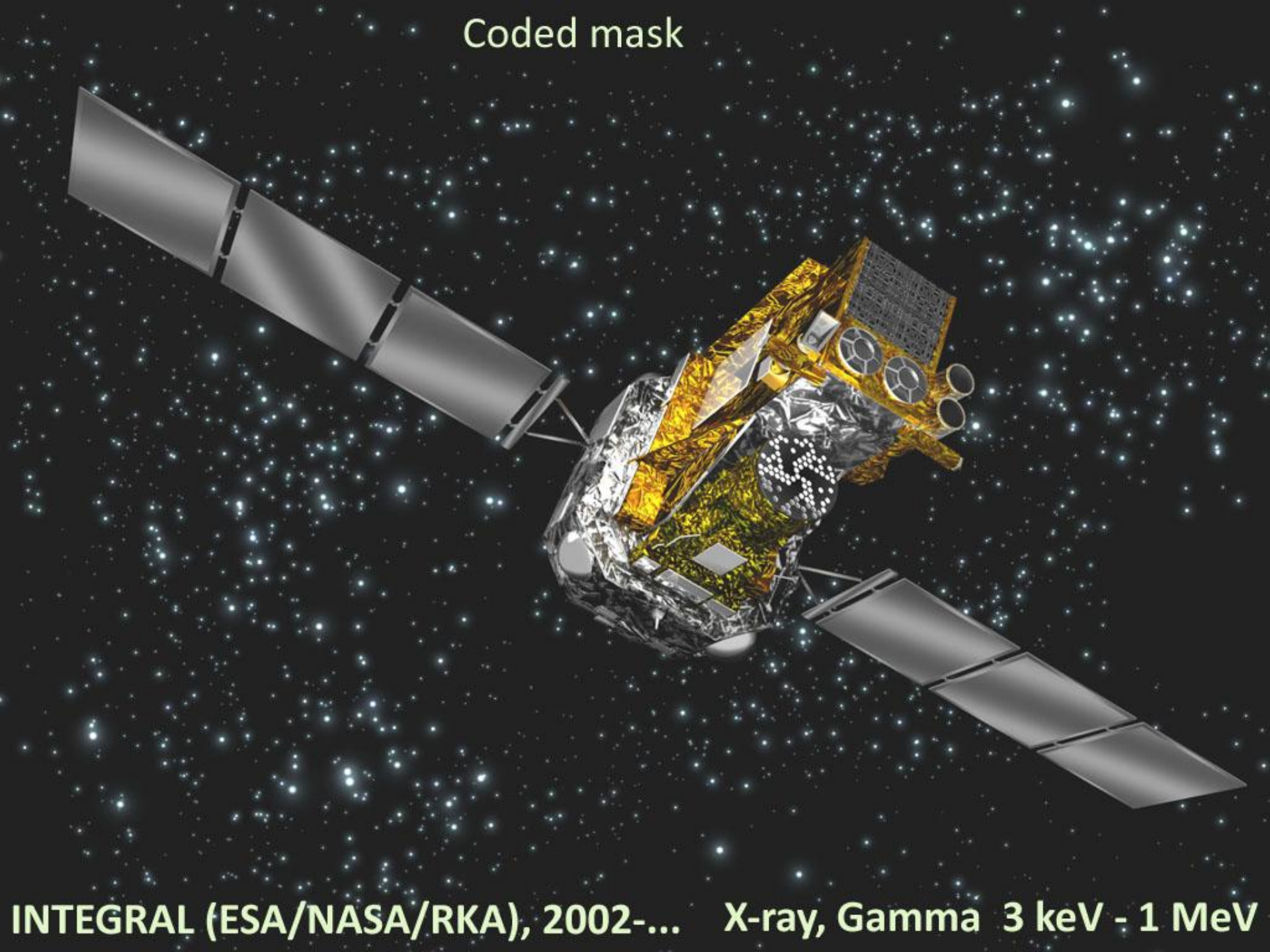
NASA / JPL-Caltech / O. Krause (Steward Observatory)

ssc2005-14c

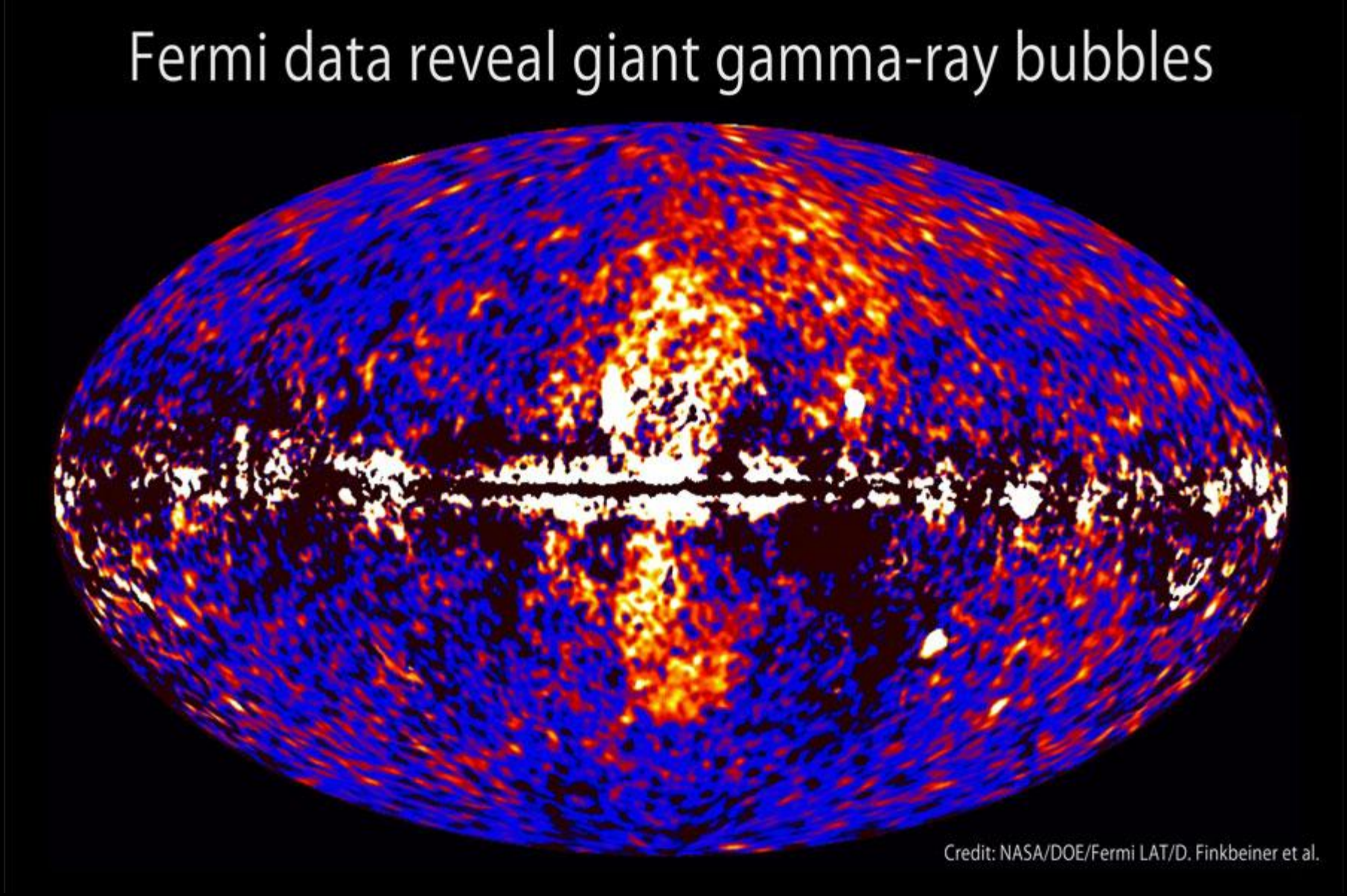
Spitzer Space Telescope • MIPS
Hubble Space Telescope • ACS
Chandra X-Ray Observatory


Сверхновая Тихо Браге 1572 г.
ИК + оптика + рентген

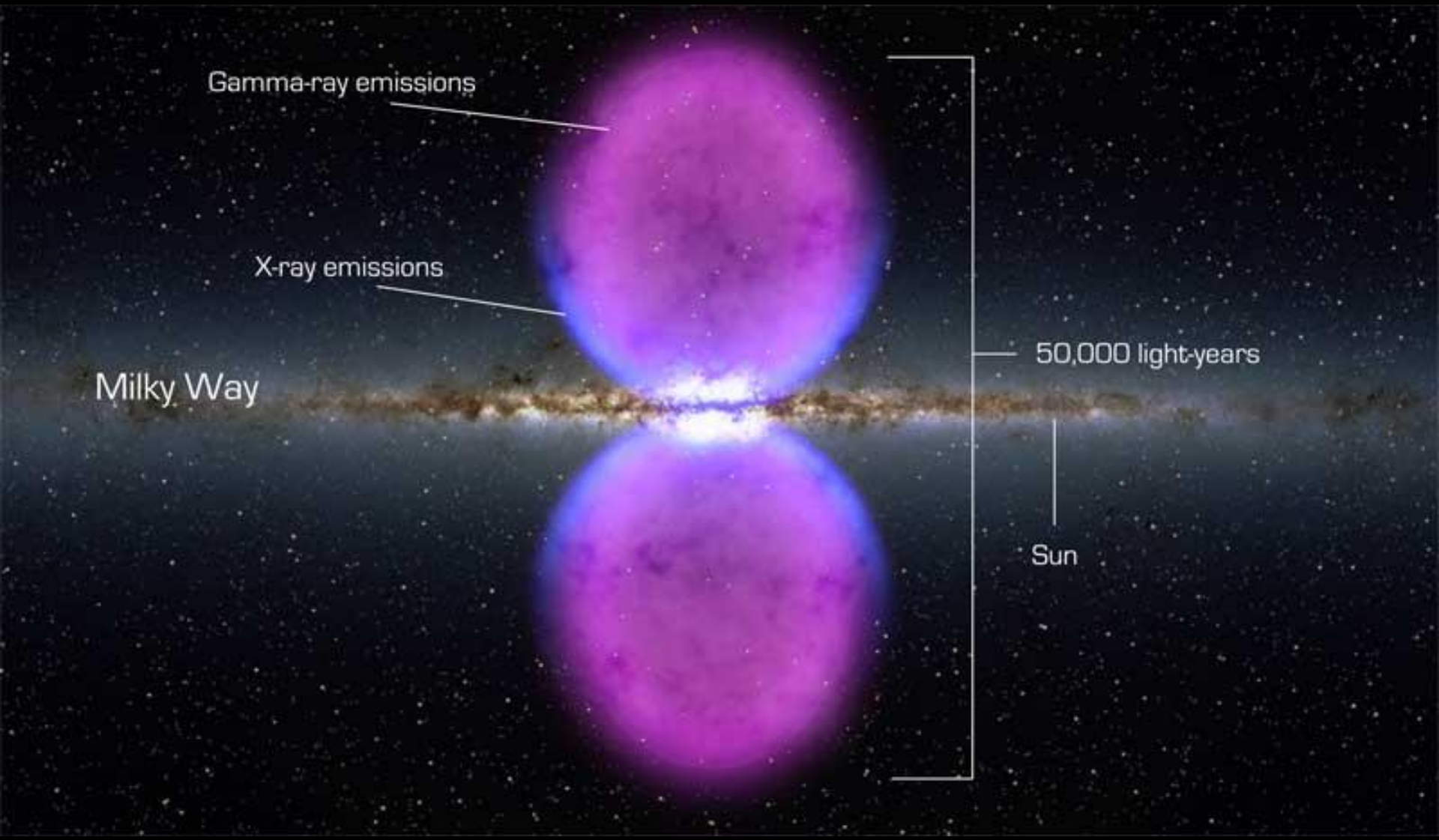
Coded mask



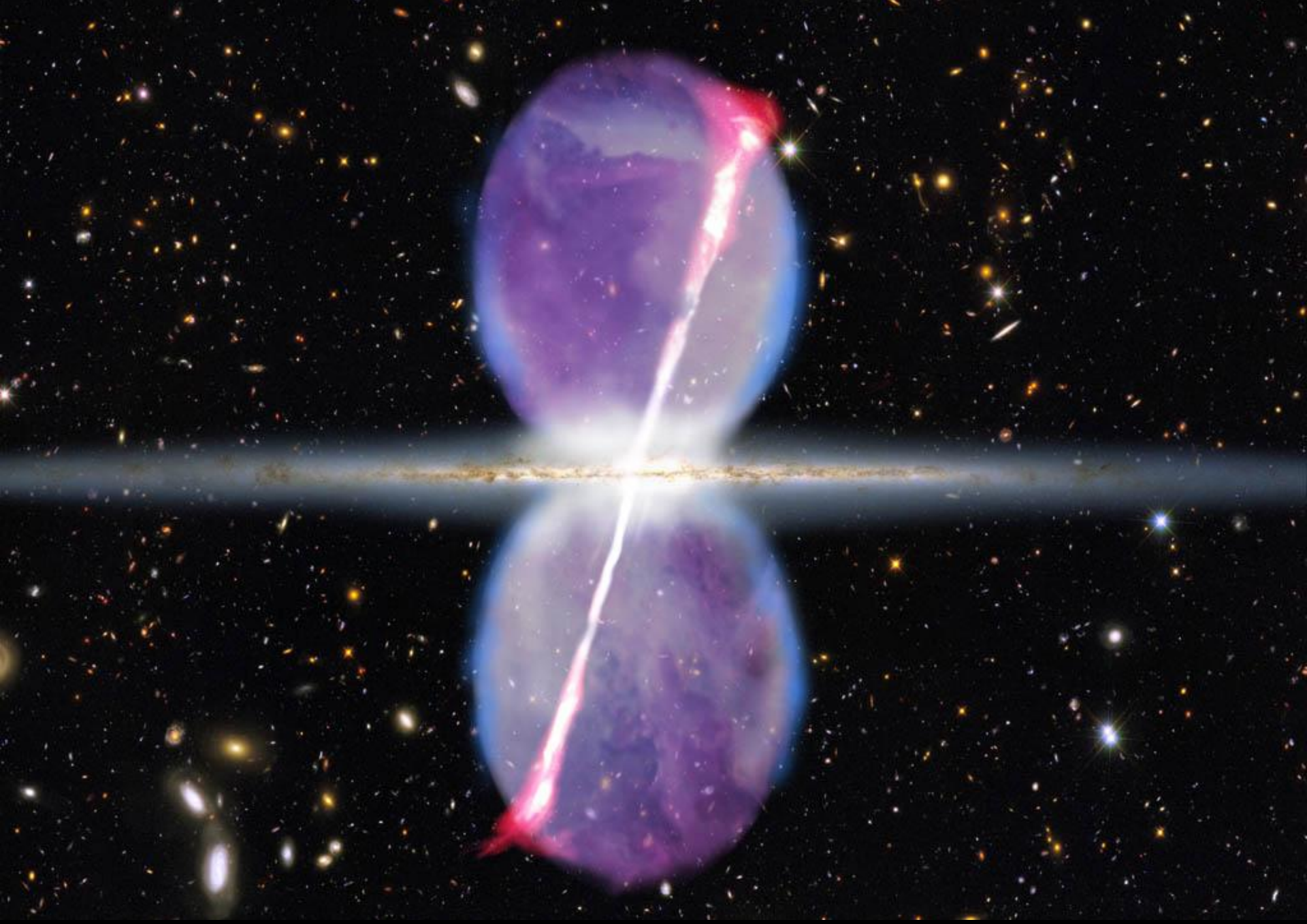
INTEGRAL (ESA/NASA/RKA), 2002-... X-ray, Gamma 3 keV - 1 MeV



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



Гамма-пузыри: интерпретация гамма-лепестков



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

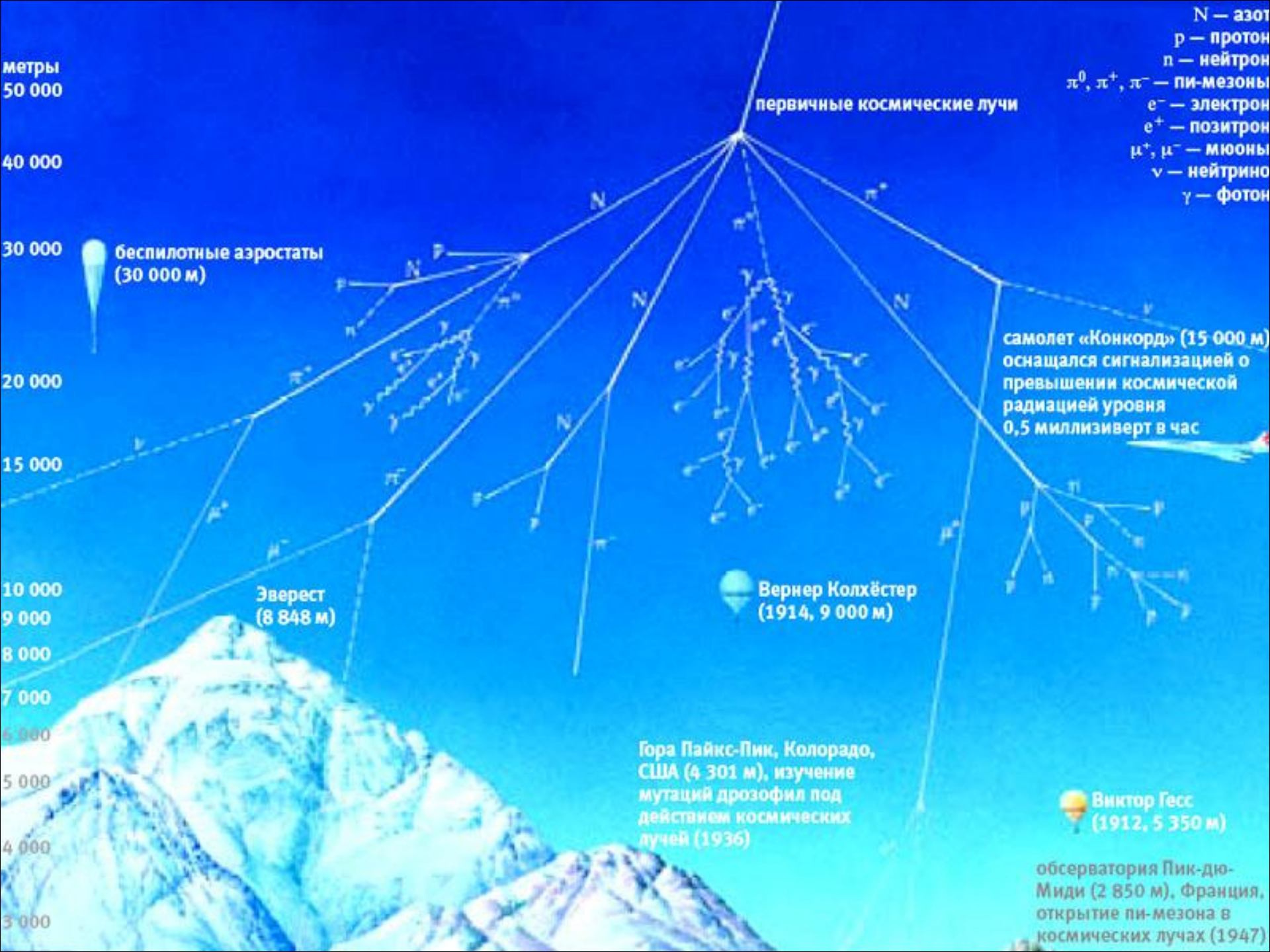
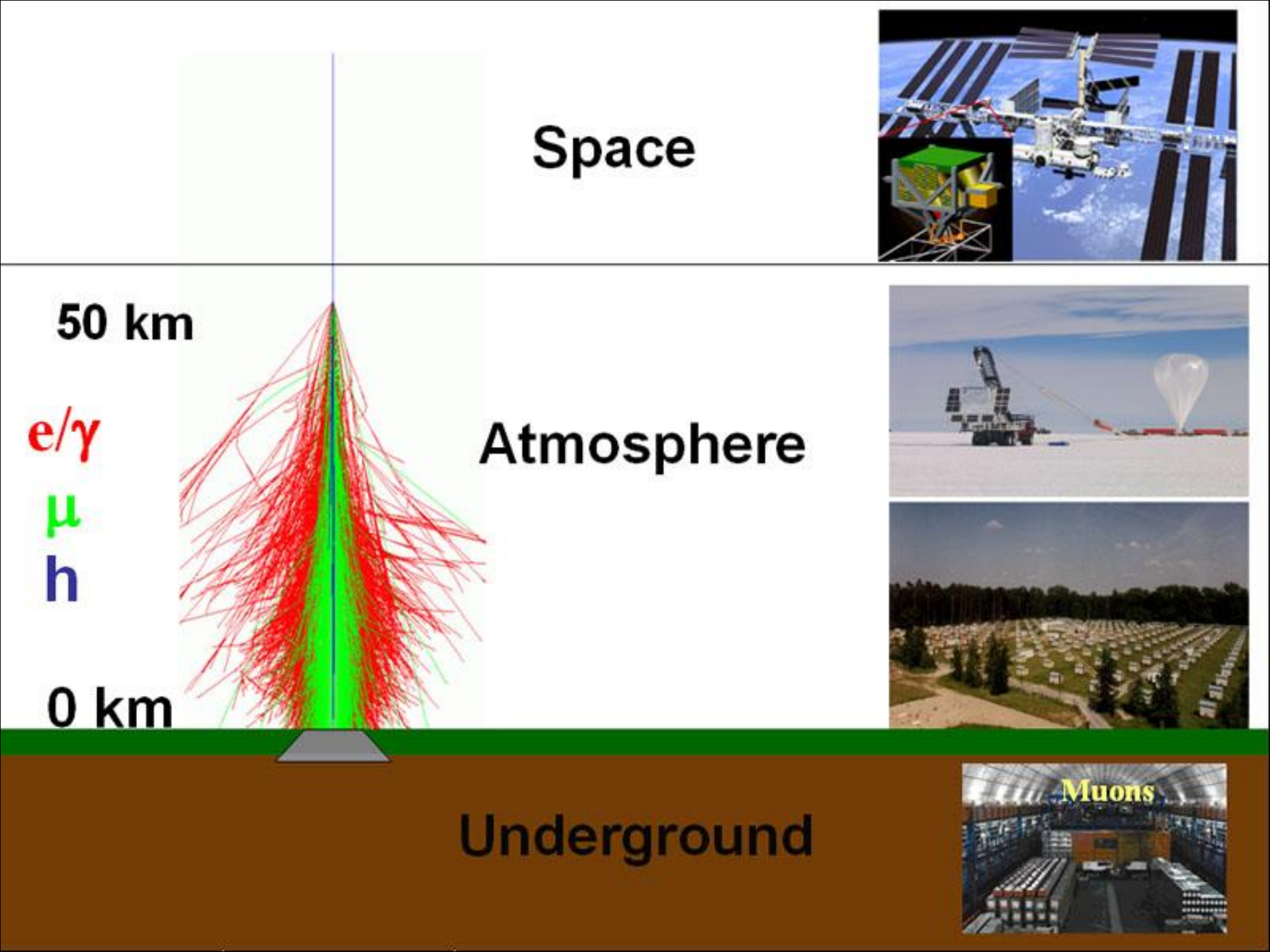
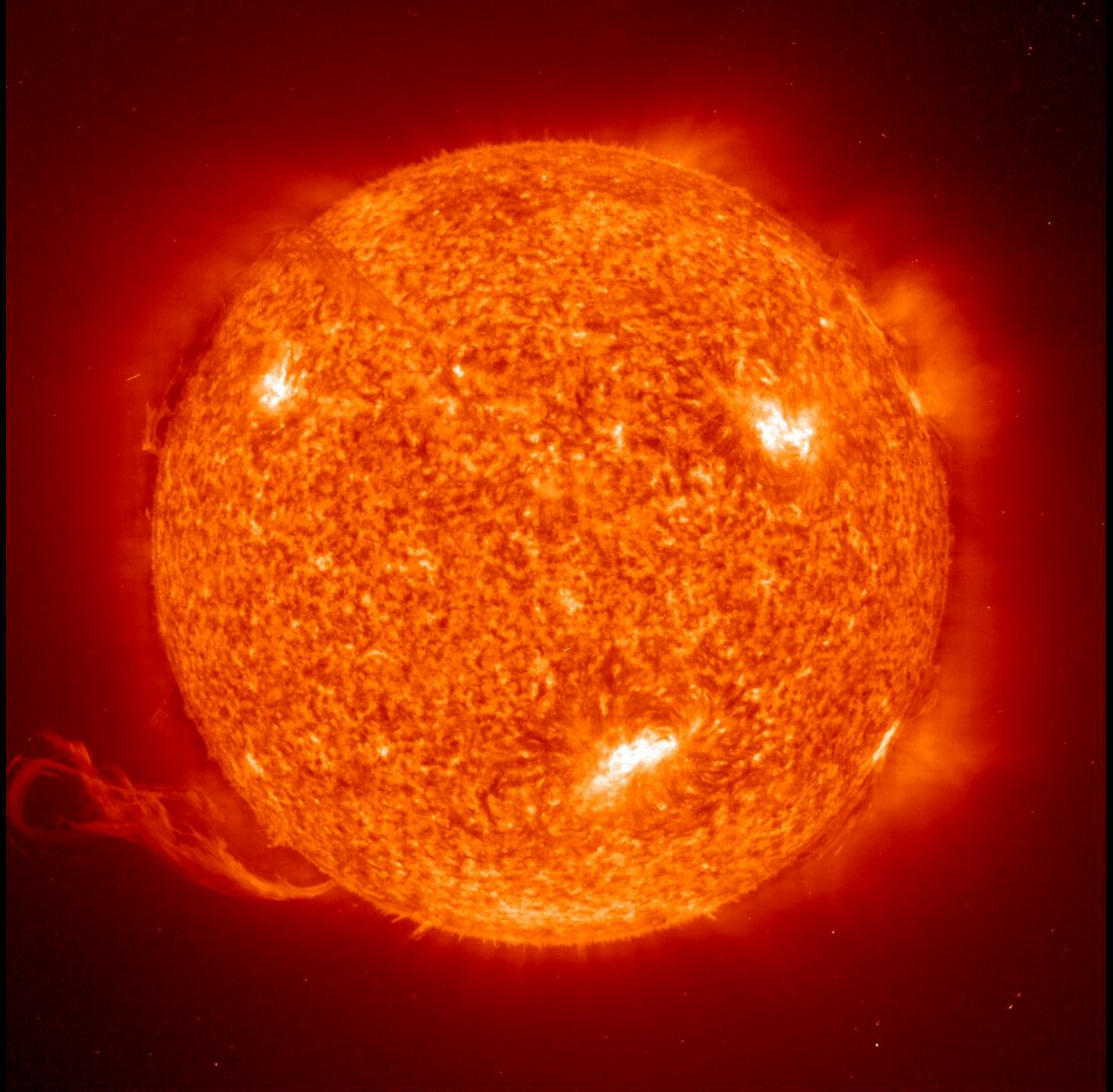
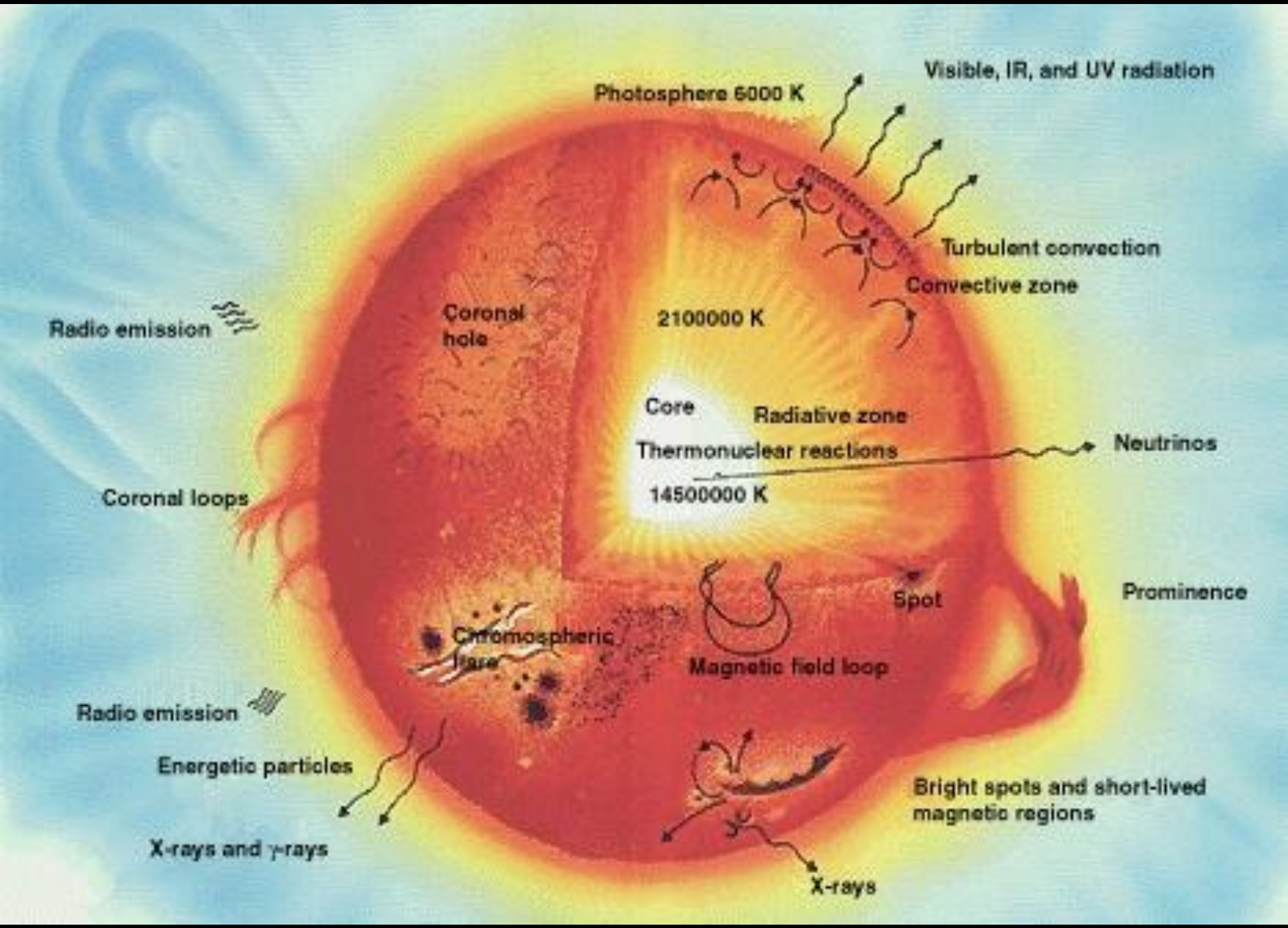

метры
50 000
40 000
30 000
20 000
15 000
10 000
9 000
8 000
7 000
6 000
5 000
4 000
3 000
N — азот
p — протон
n — нейтрон
π^0, π^+, π^- — пи-мезоны
e^- — электрон
e^+ — позитрон
μ^+, μ^- — мюоны
ν — нейтрино
γ — фотон
первичные космические лучи
беспилотные аэростаты (30 000 м)
самолет «Конкорд» (15 000 м) оснащался сигнализацией о превышении космической радиацией уровня 0,5 миллизиверт в час
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)

Схема развитияатмосферного ливня, вызванного энергичной космической частицей. Сверхэнергичные частицы порождают гораздо более интенсивные ливни из миллиардов частиц


Space
50 km
e/γ
μ
h
Atmosphere
0 km
Underground
Muons

Место взаимодействия
~15-20 км
Первичная частица
ШАЛ
Фронт черенковского излучения
Ультрафиолет
Наземная установка – коллектор света



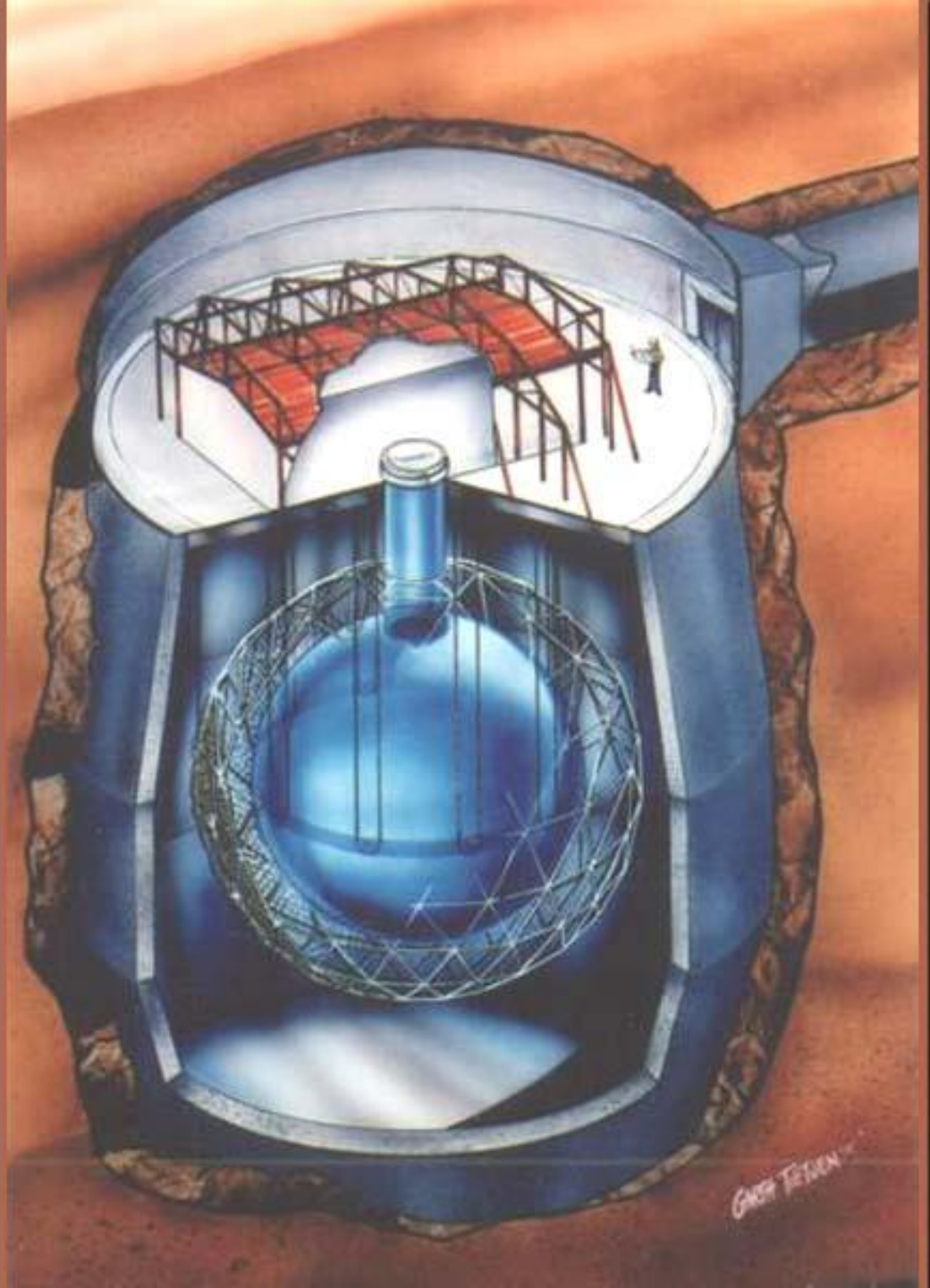

Visible, IR, and UV radiation
Photosphere 6000 K
Turbulent convection
Convective zone
Radio emission
Coronal hole
2100000 K
Core
Radiative zone
Thermonuclear reactions
Neutrinos
14500000 K
Coronal loops
Spot
Prominence
Chromospheric flare
Magnetic field loop
Radio emission
Energetic particles
Bright spots and short-lived magnetic regions
X-rays and γ-rays
X-rays

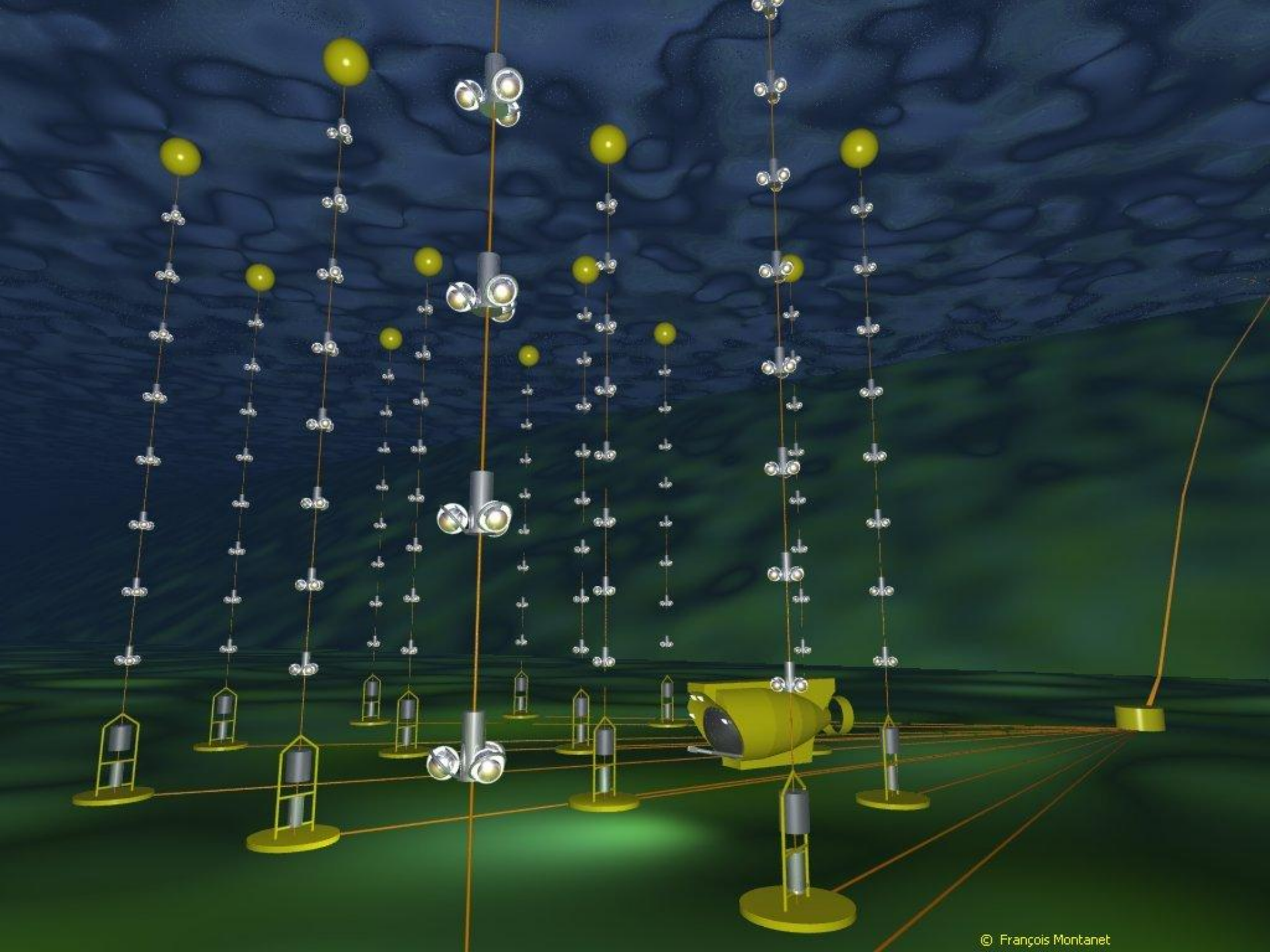
Садберийская нейтринная обсерватория (г.Садбери, провинция Онтарио, Канада). 1000 тонн тяжелой воды (D_2O) в прозрачном акриловом (плексигласовом) шаре диаметром 12 м, окруженном 9600 ФЭУ на геодезической сфере, диаметром 18 м, погруженной в резервуар с чистой водой на глубине 2 км.

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

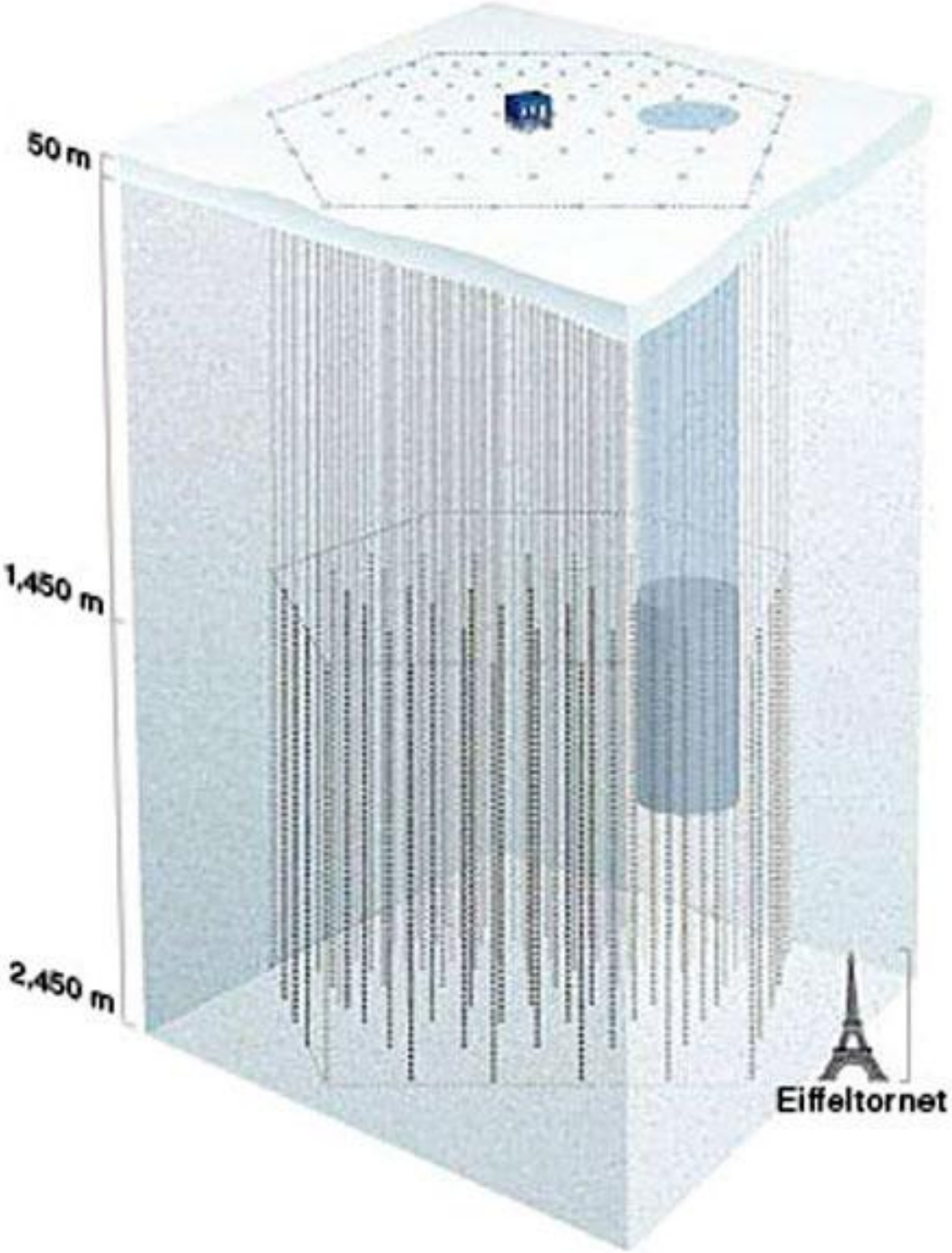
Тем самым доказано, что:

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



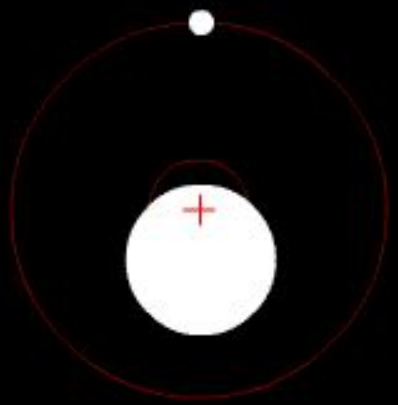

© François Montanet

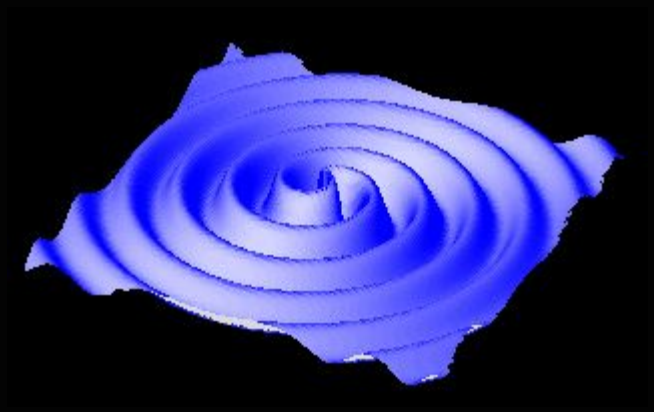
Антарктида
Скотт-Амундсен
IceCube

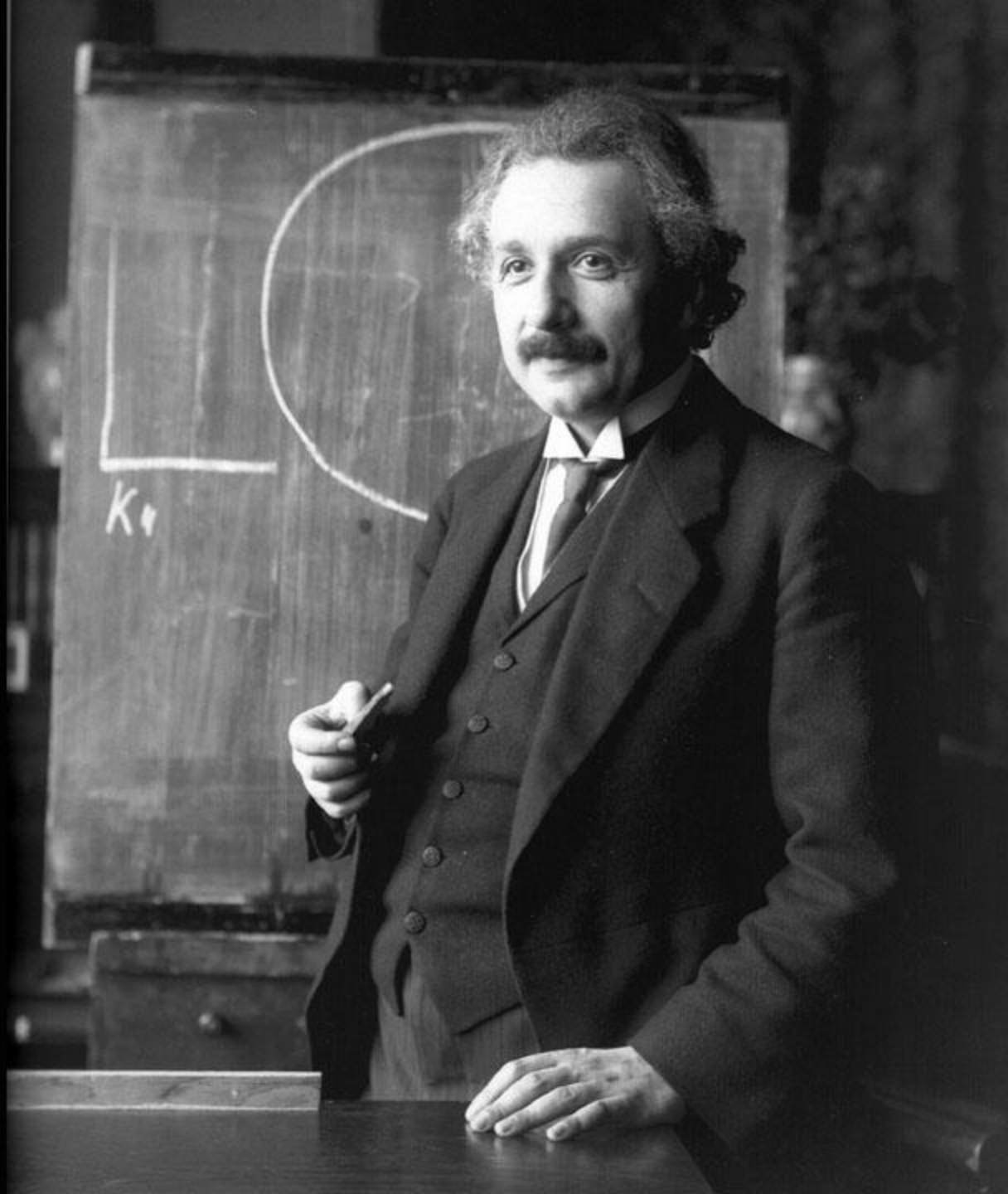


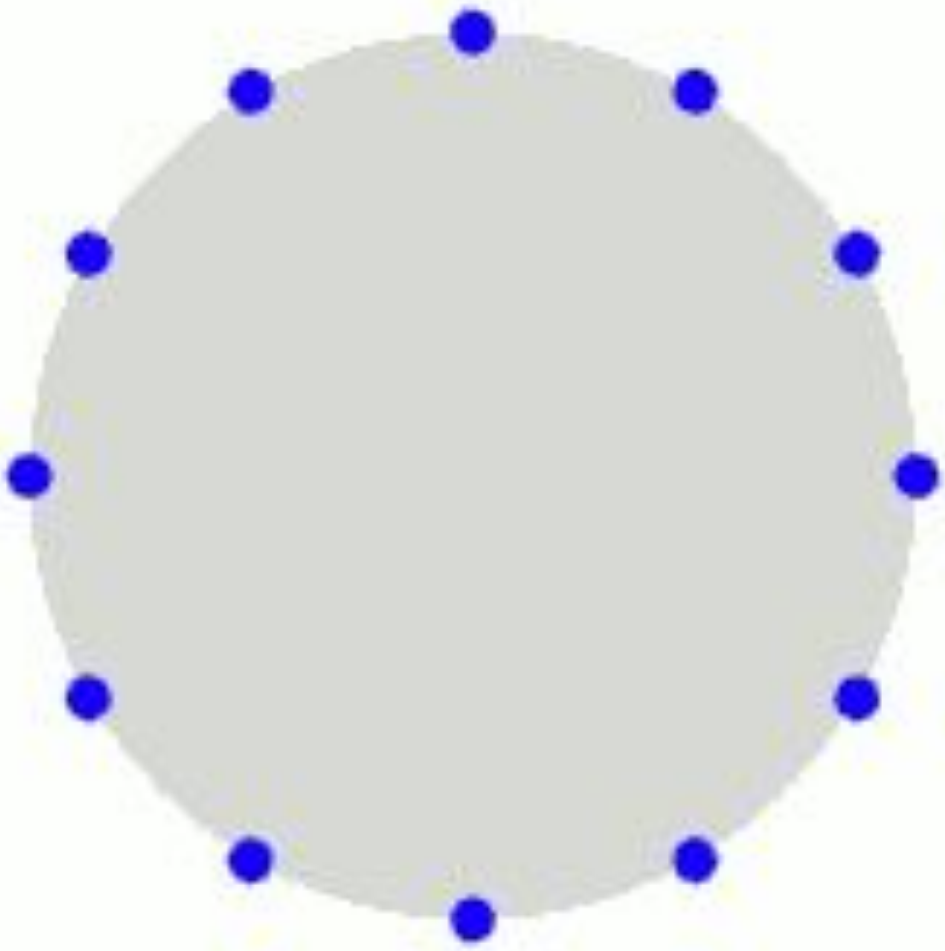
Гравитационные волны

1916 → 2016



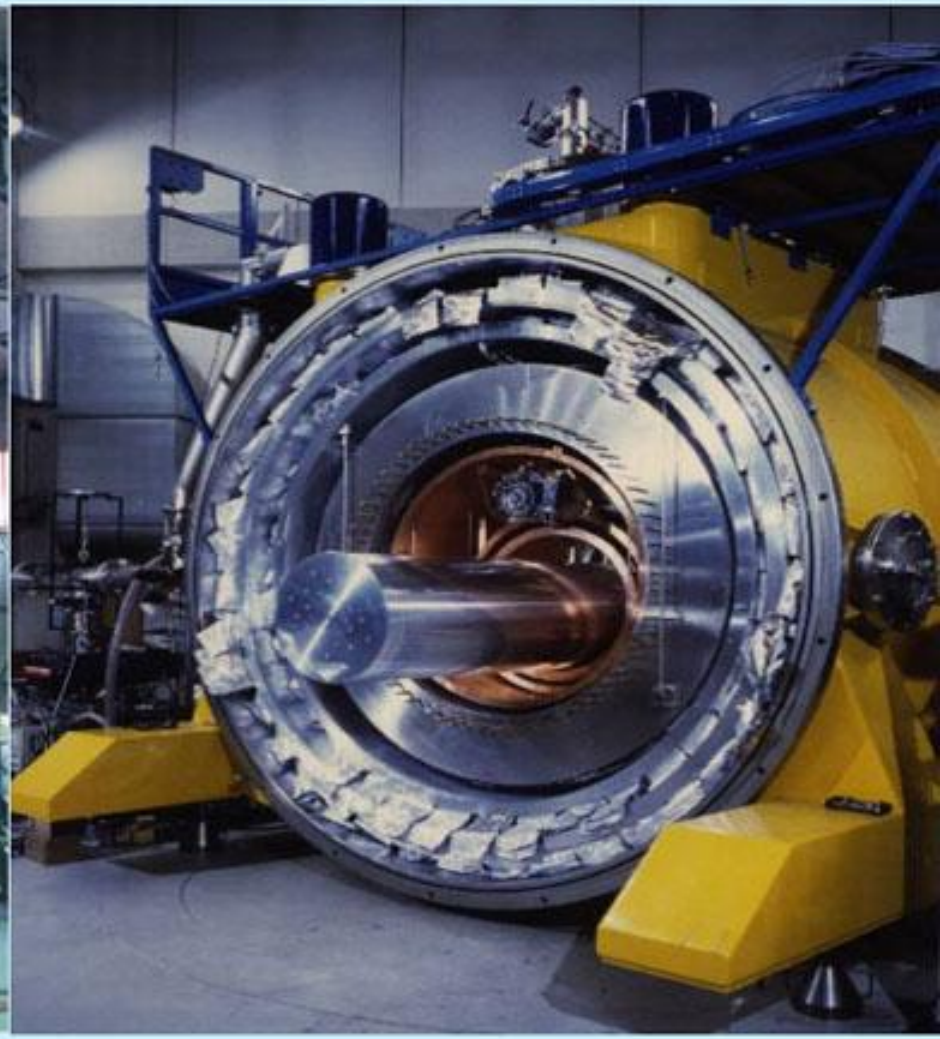


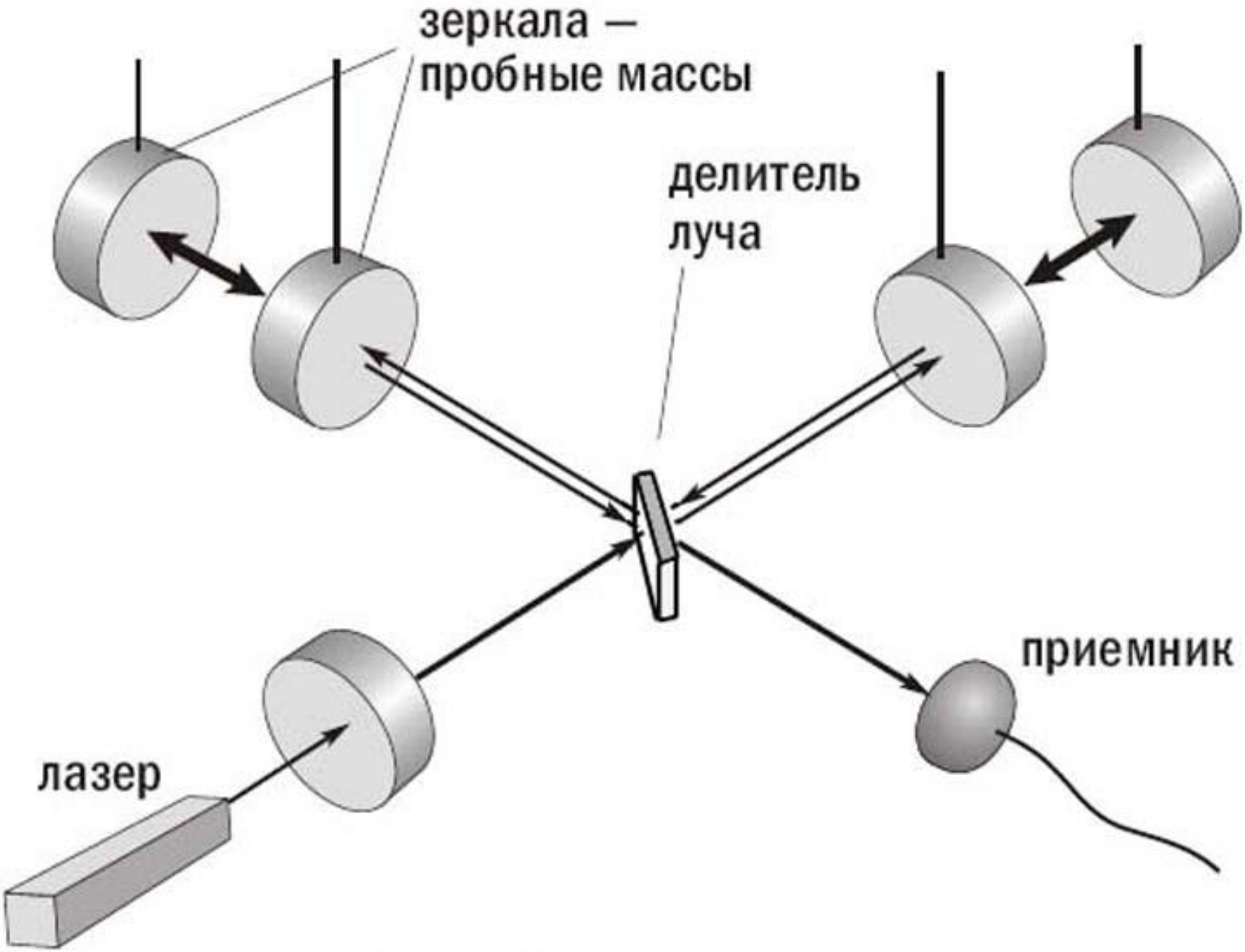




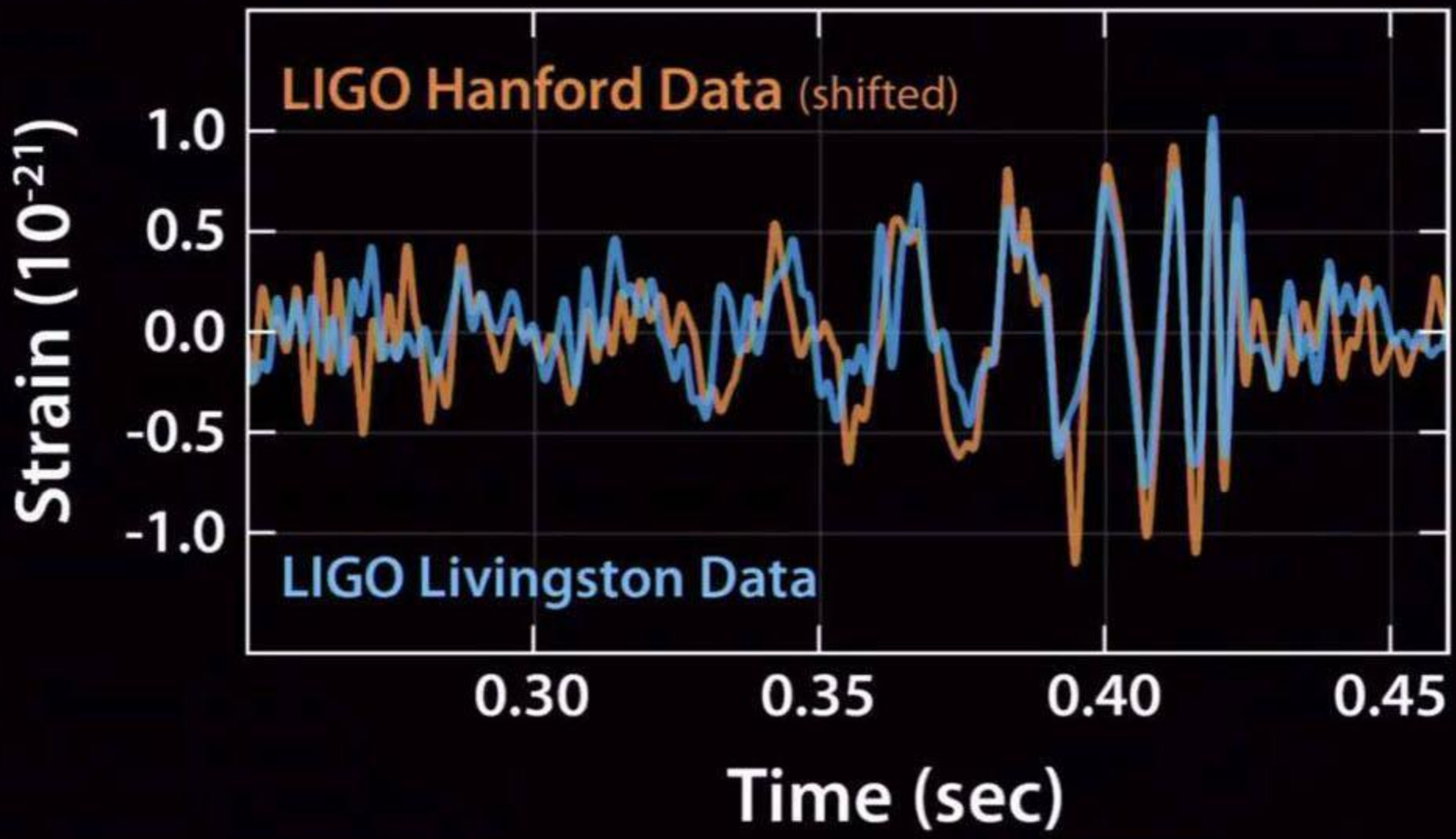
JOSEPH WEBER WITH
GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR

детекторы Наутилус (слева) и Аурига

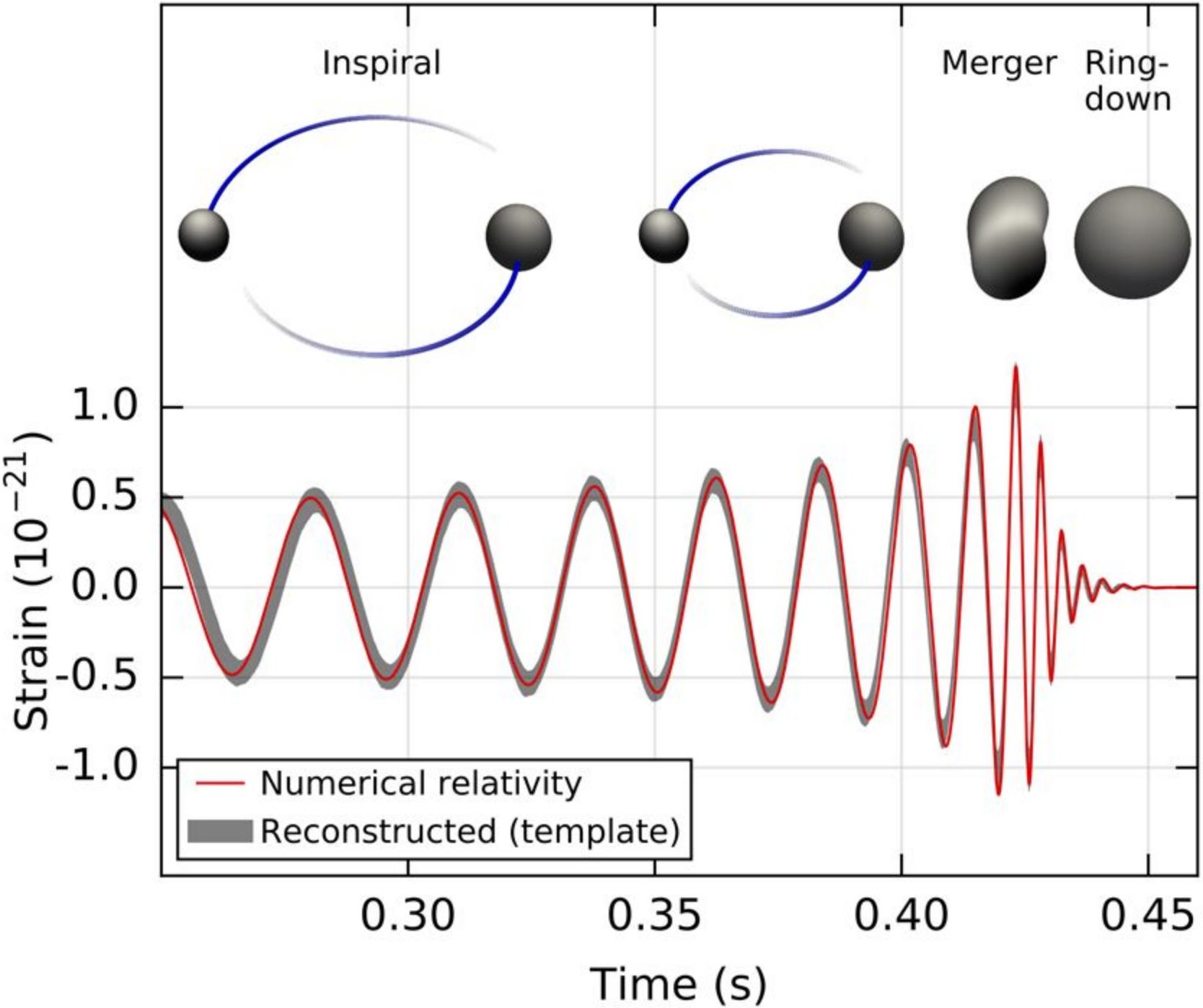




Гравитационный интерферометр на подвесных зеркалах



14 September 2015


Inspiral
Merger
Ring-
down
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
Strain (10^{-21})
Numerical relativity
Reconstructed (template)
0.30
0.35
0.40
0.45
Time (s)

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

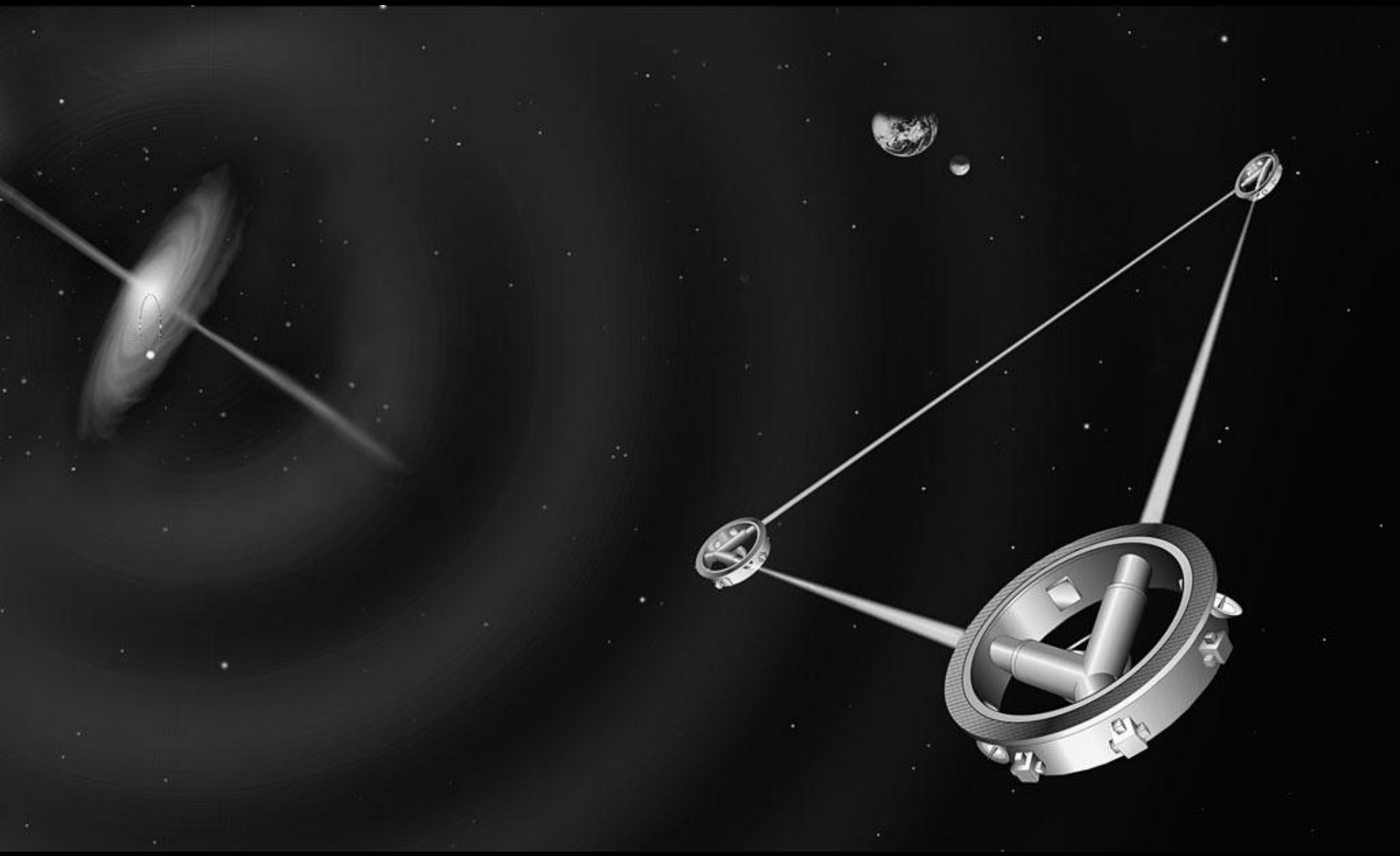
Научные результаты

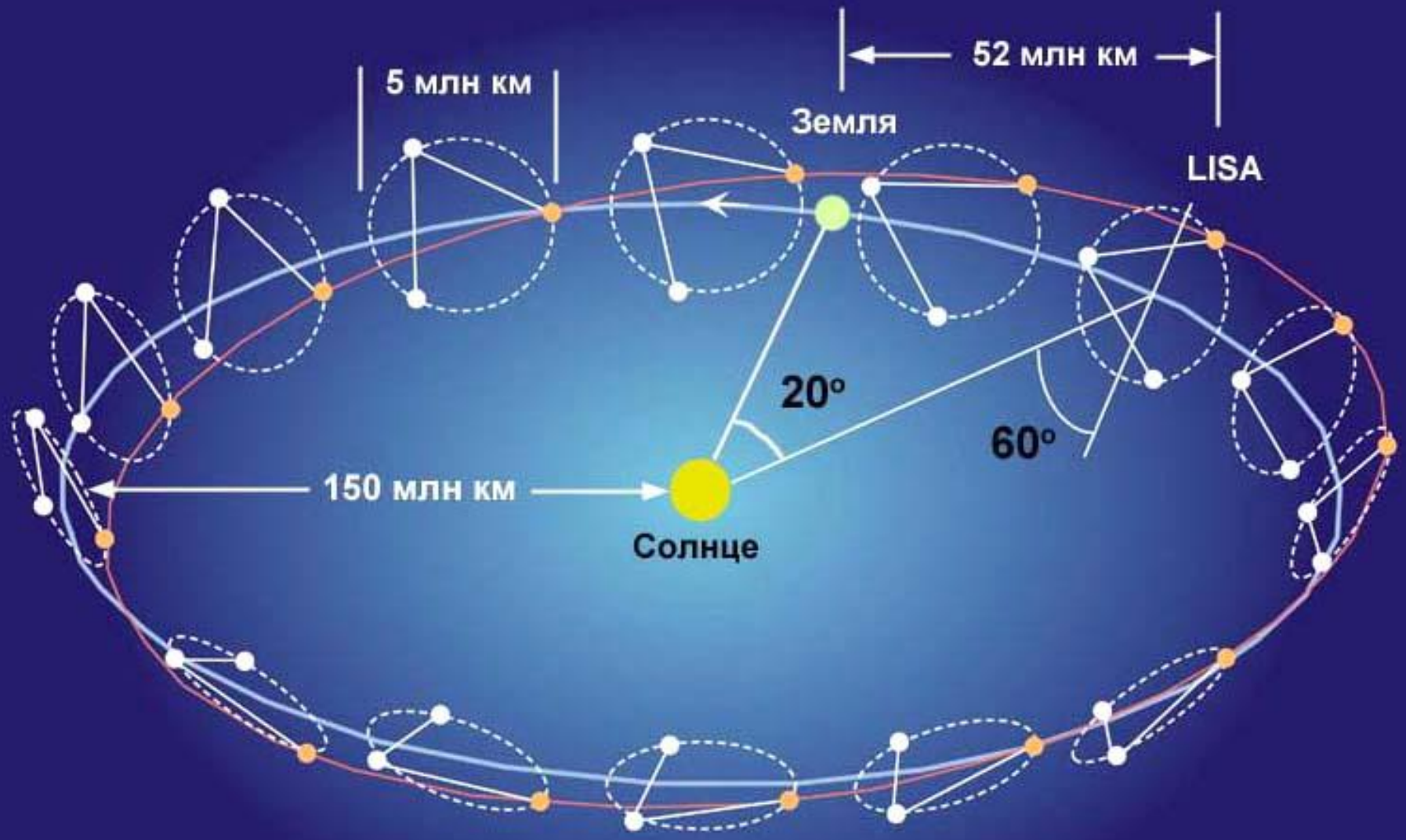
- Прямое обнаружение гравитационных волн.
- Прямое доказательство поперечности гравитационных волн
- Открытие нового способа наблюдения за Вселенной (гравитационно-волновая астрономия).
- Объяснение проблемы гравитационного дальнодействия.
- Прямое доказательство существования чёрных дыр.
- Прямое доказательство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

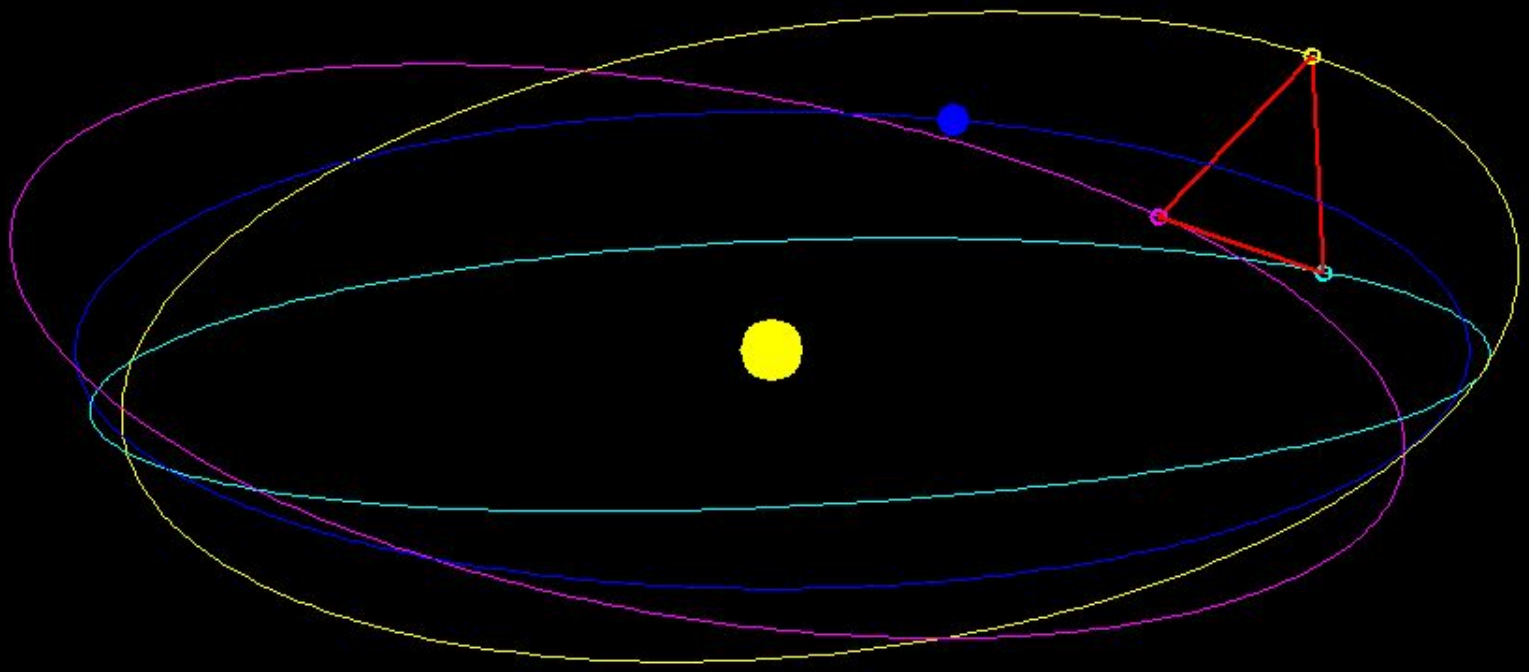
Группа В.Б.Брагинского (МГУ)

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





LISA = Laser Interferometer Space Antenna

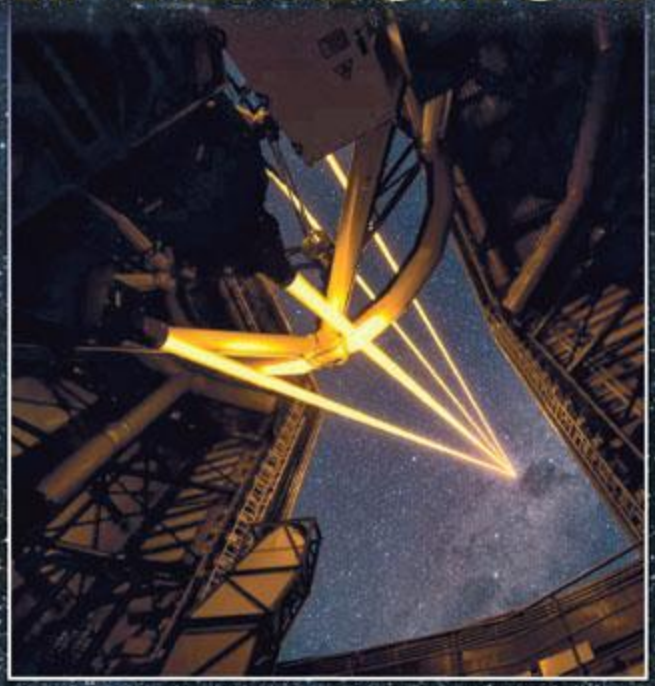


Nicolas Douillet - ARTEMIS

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.

ISBN 978-5-9221-1466-0
9 785922 114660

НЕБО И ТЕЛЕСКОП

АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

НЕБО И ТЕЛЕСКОП