

# Современное состояние и развитие астрономических методов исследования



Сурдин В. Г. ГАИШ МГУ



# Чего мы хотим от оптики?

- ▶ Различить  
мелкие детали

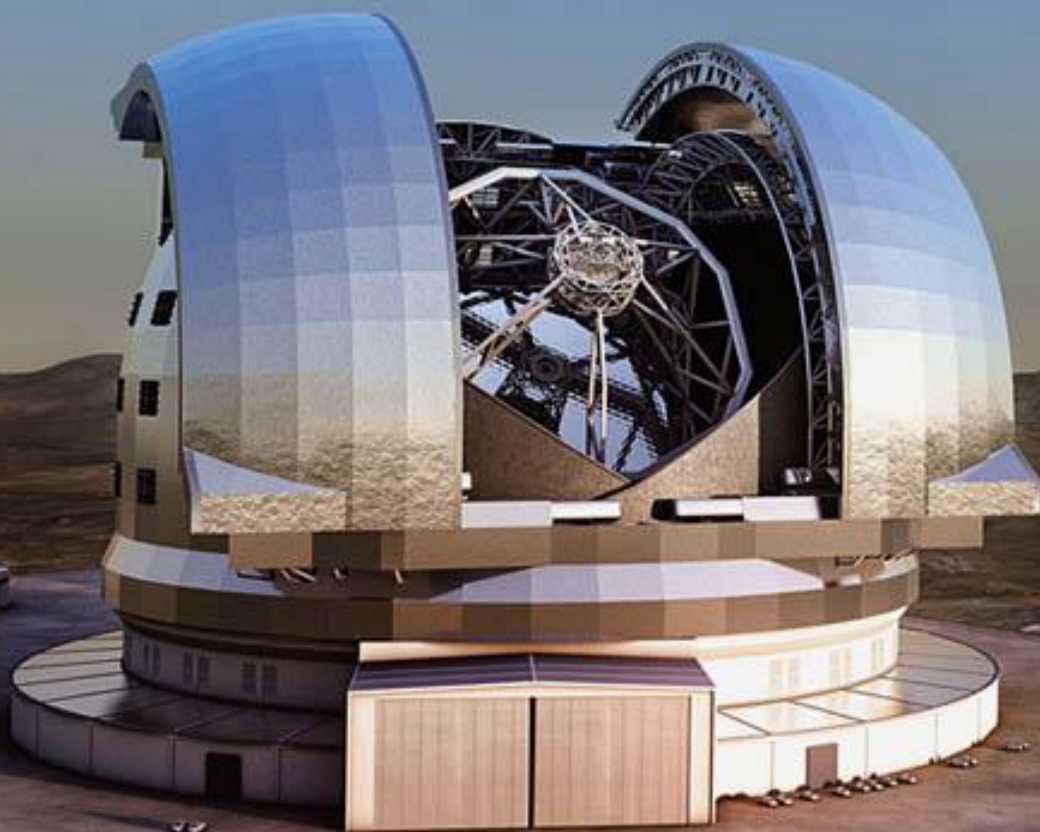


- ▶ Заметить  
тусклые объекты

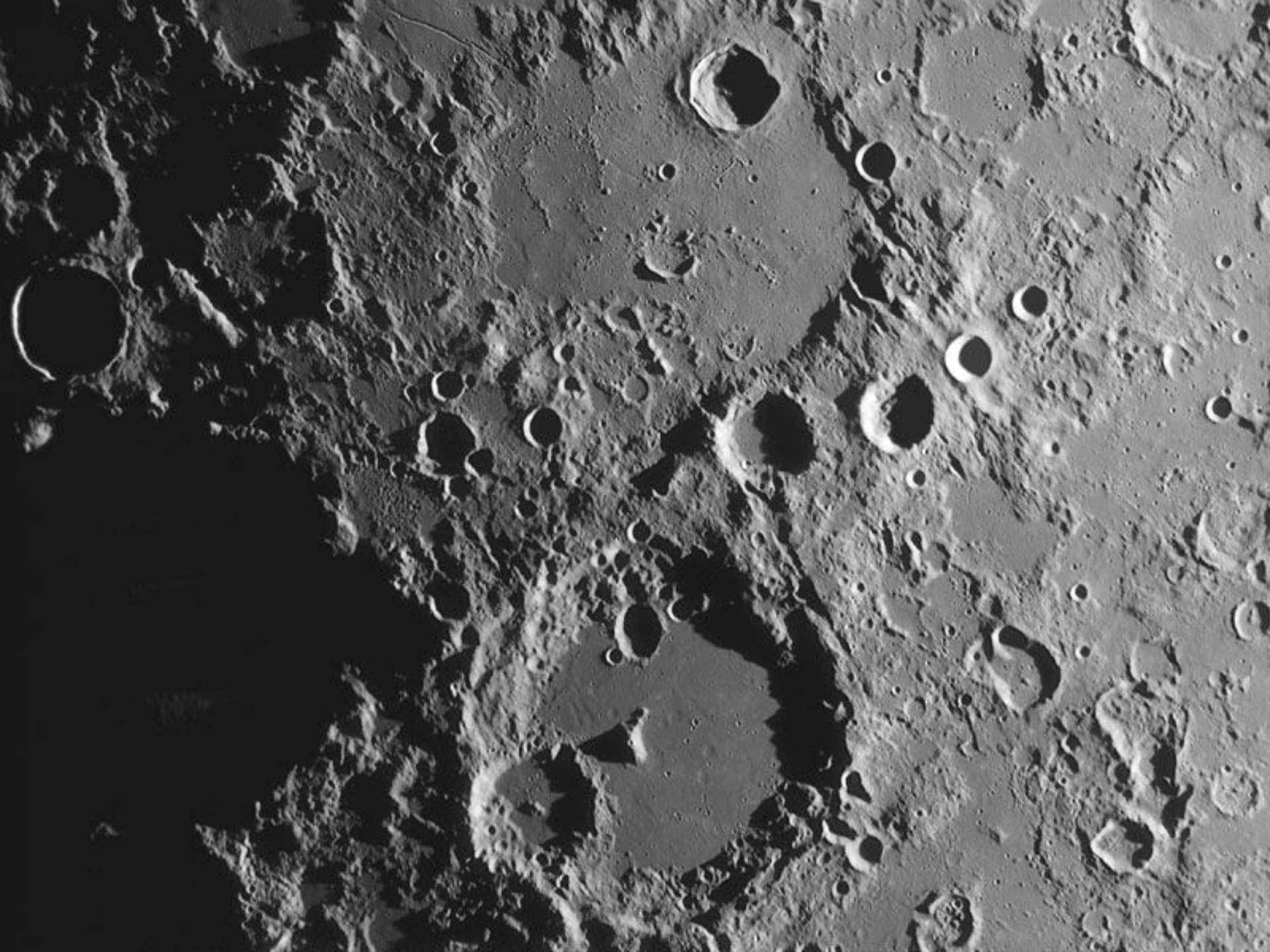


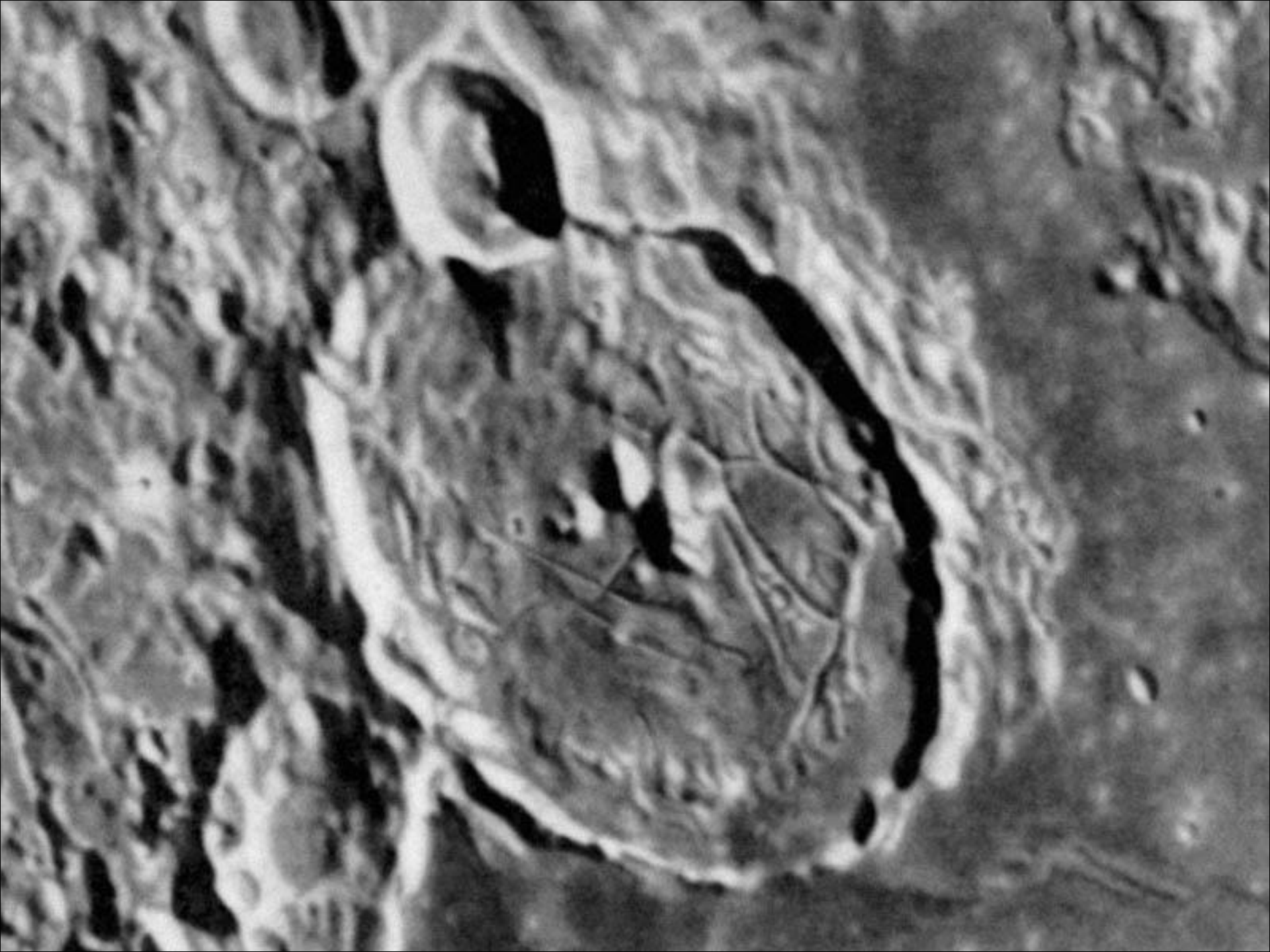
Чего мы хотим от телескопа?

**Каждое мгновение  
контролировать всё небо!**



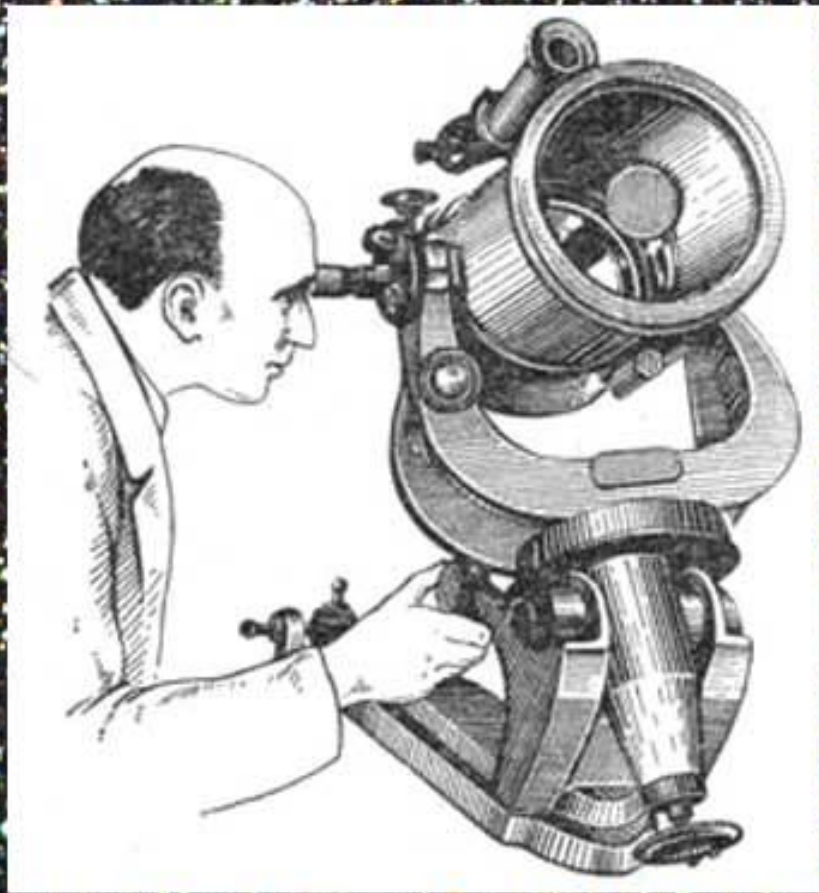


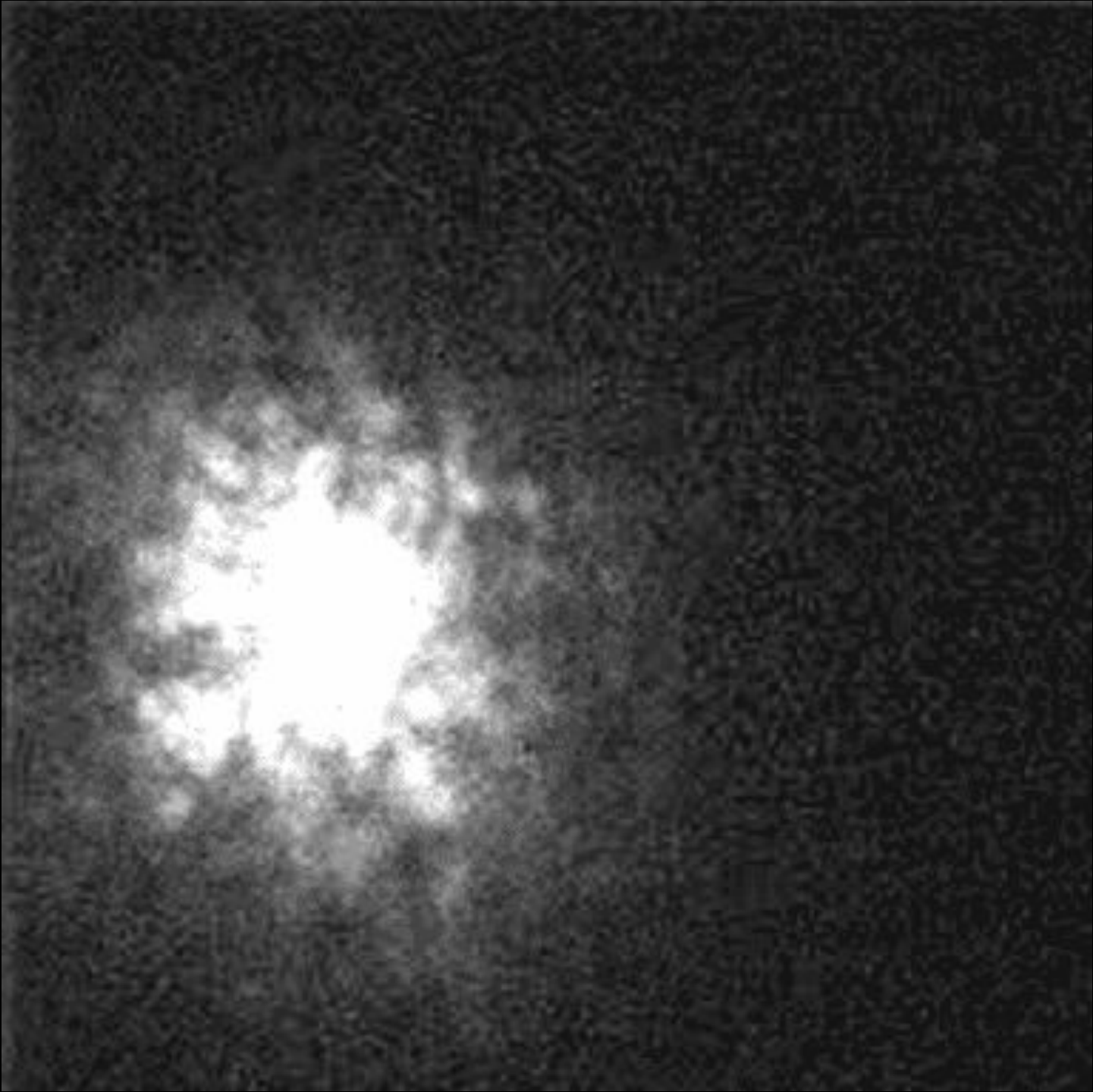
















*Мауна-Кеа, о.Гавайи, 4130 м*



SO 2000  
SOFIA

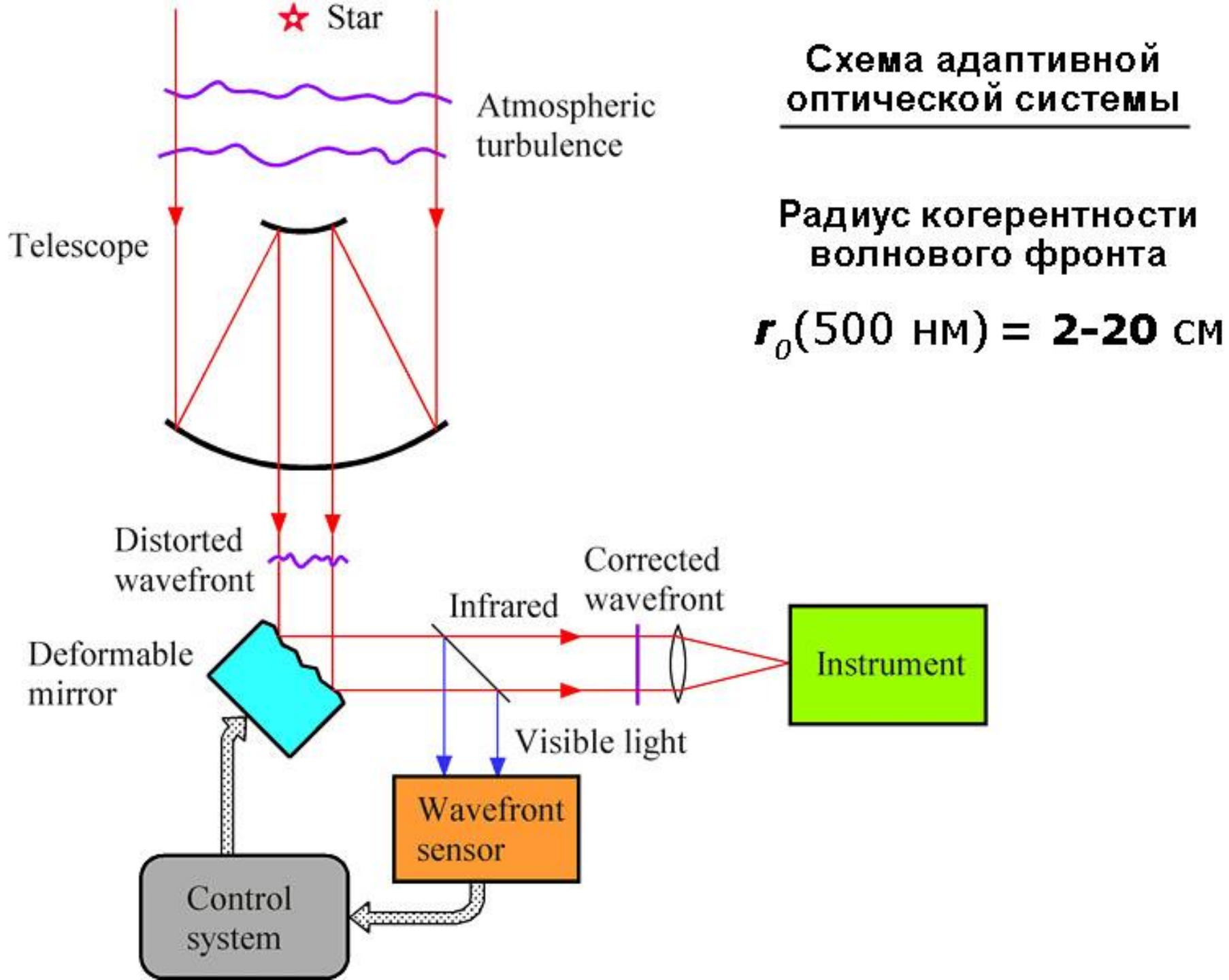
NASA

DLR

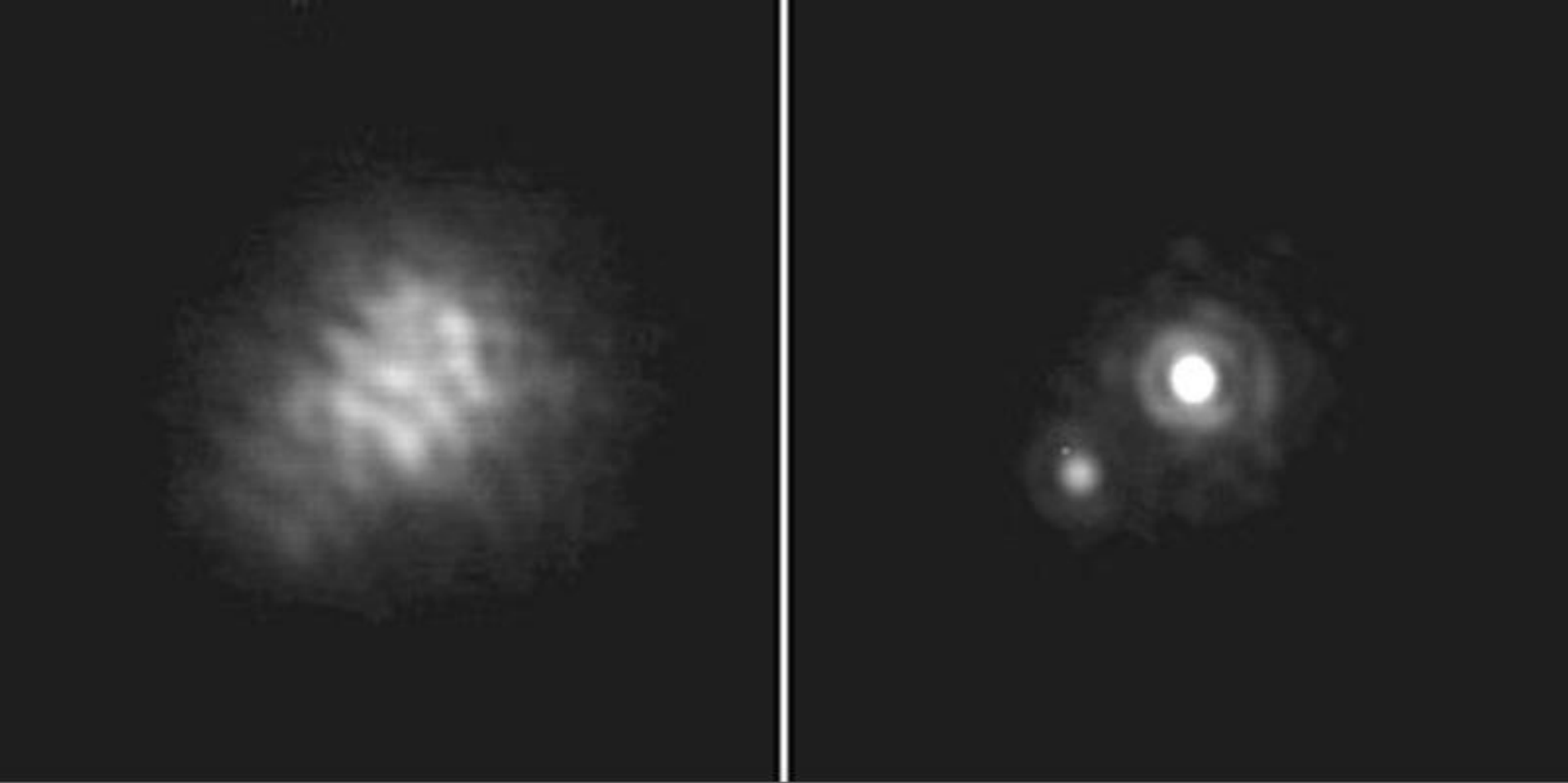
SOFIA







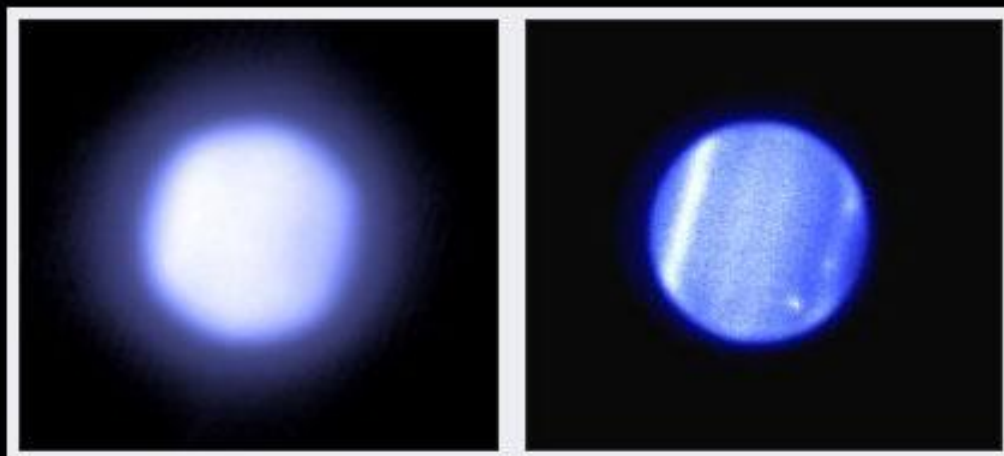




**Изображение двойной звезды,  
исправленное адаптивной оптикой  
телескопа “Субару” (Япония)**

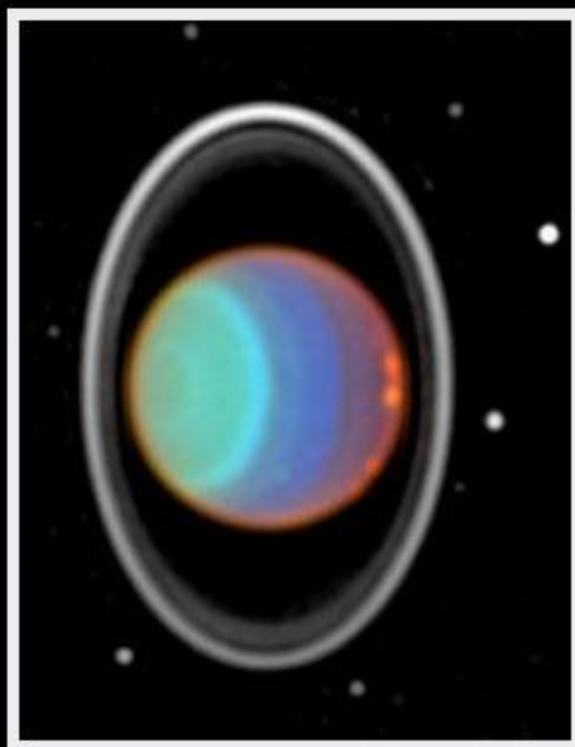
# Планета Уран

До включения



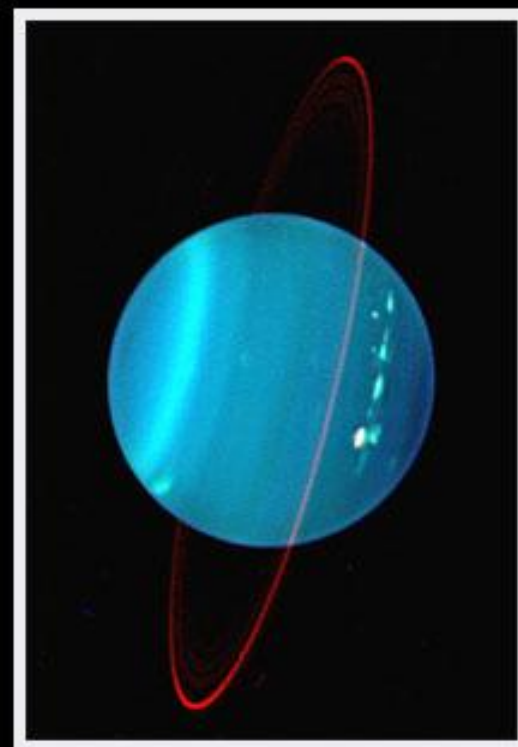
После включения

## Система адаптивной оптики



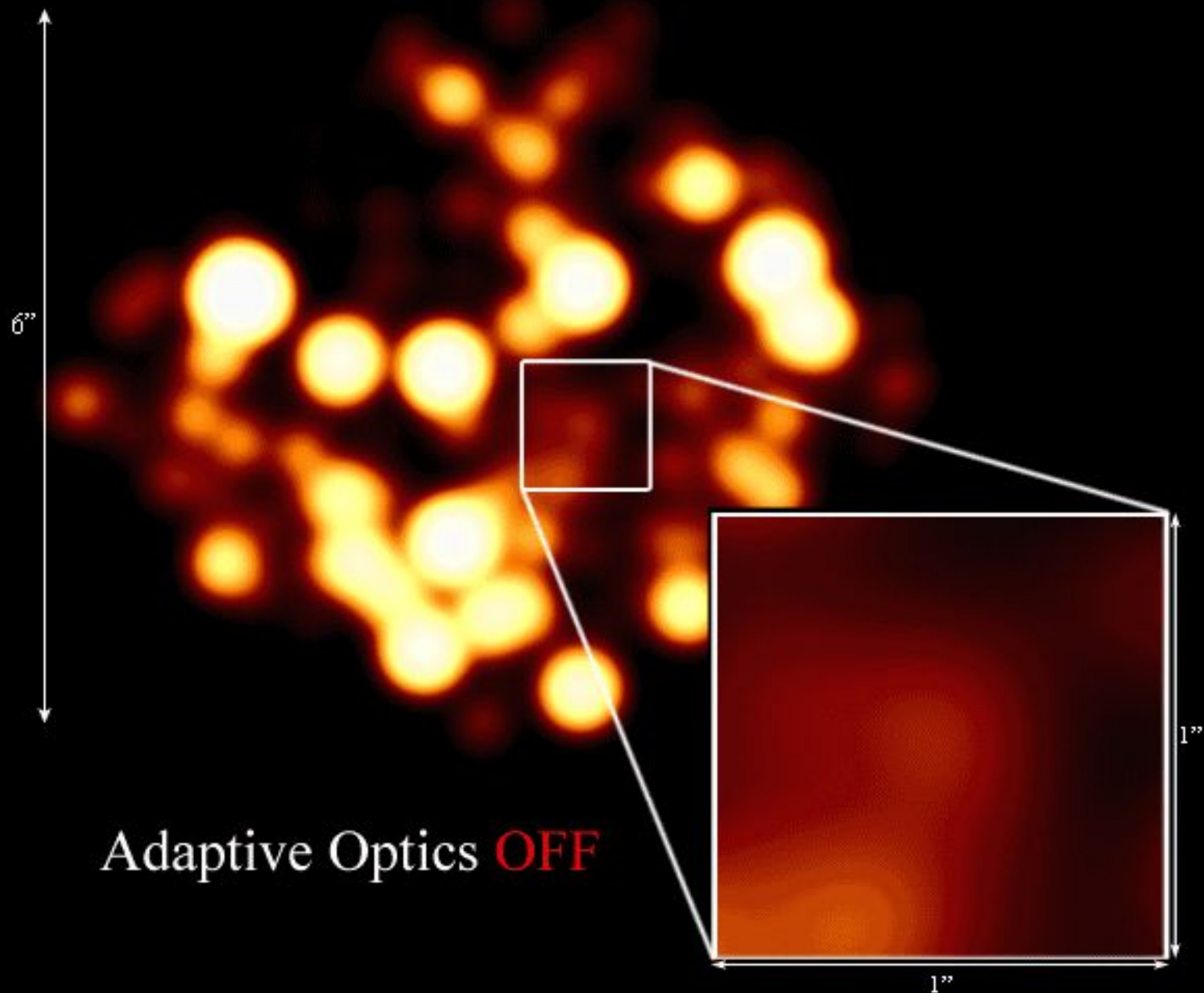
Космический  
телескоп  
"Хаббл"

Наземный  
телескоп  
"Кек" (10 м)  
с системой  
АО

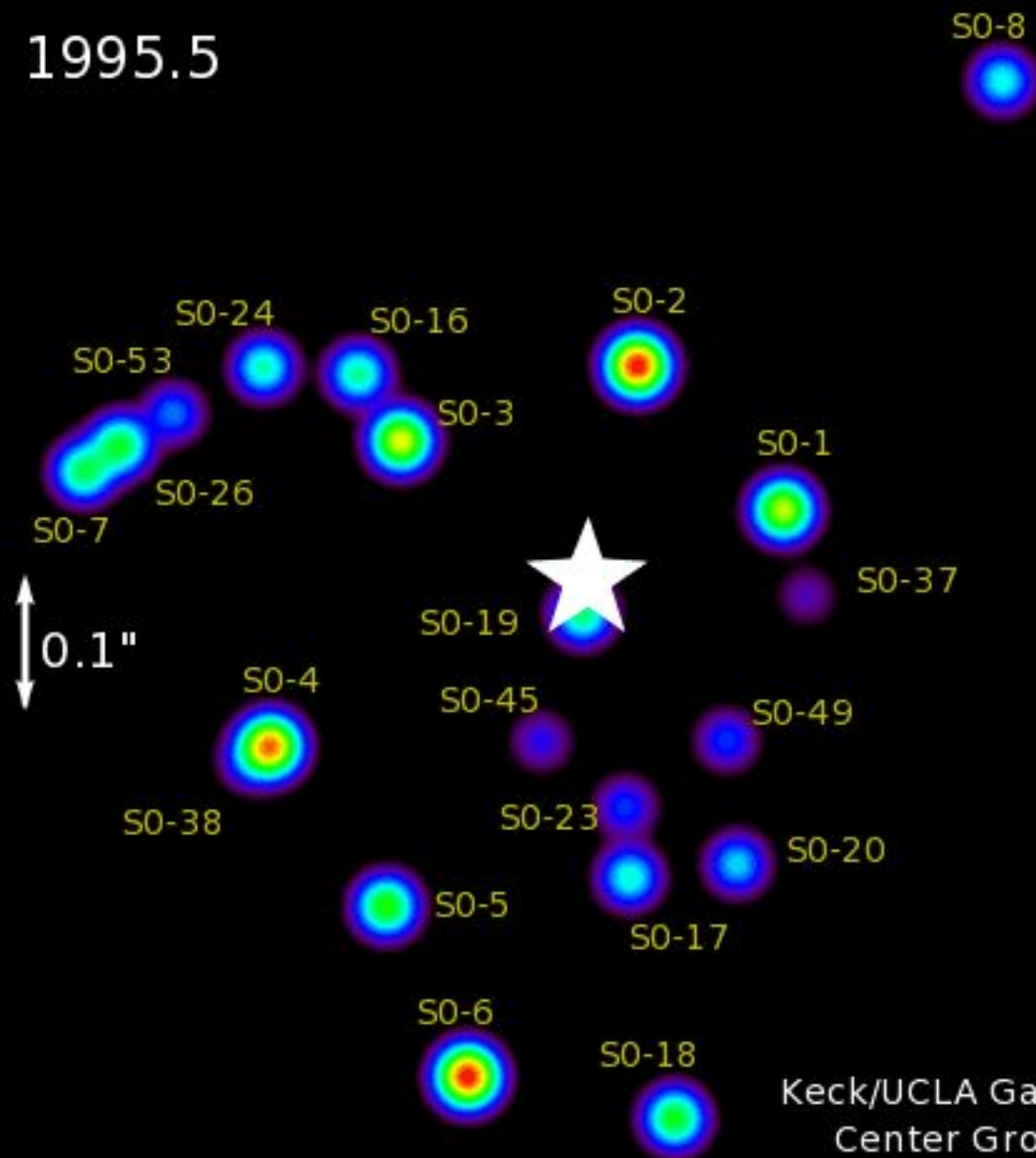




# The Galactic Center at 2.2 microns

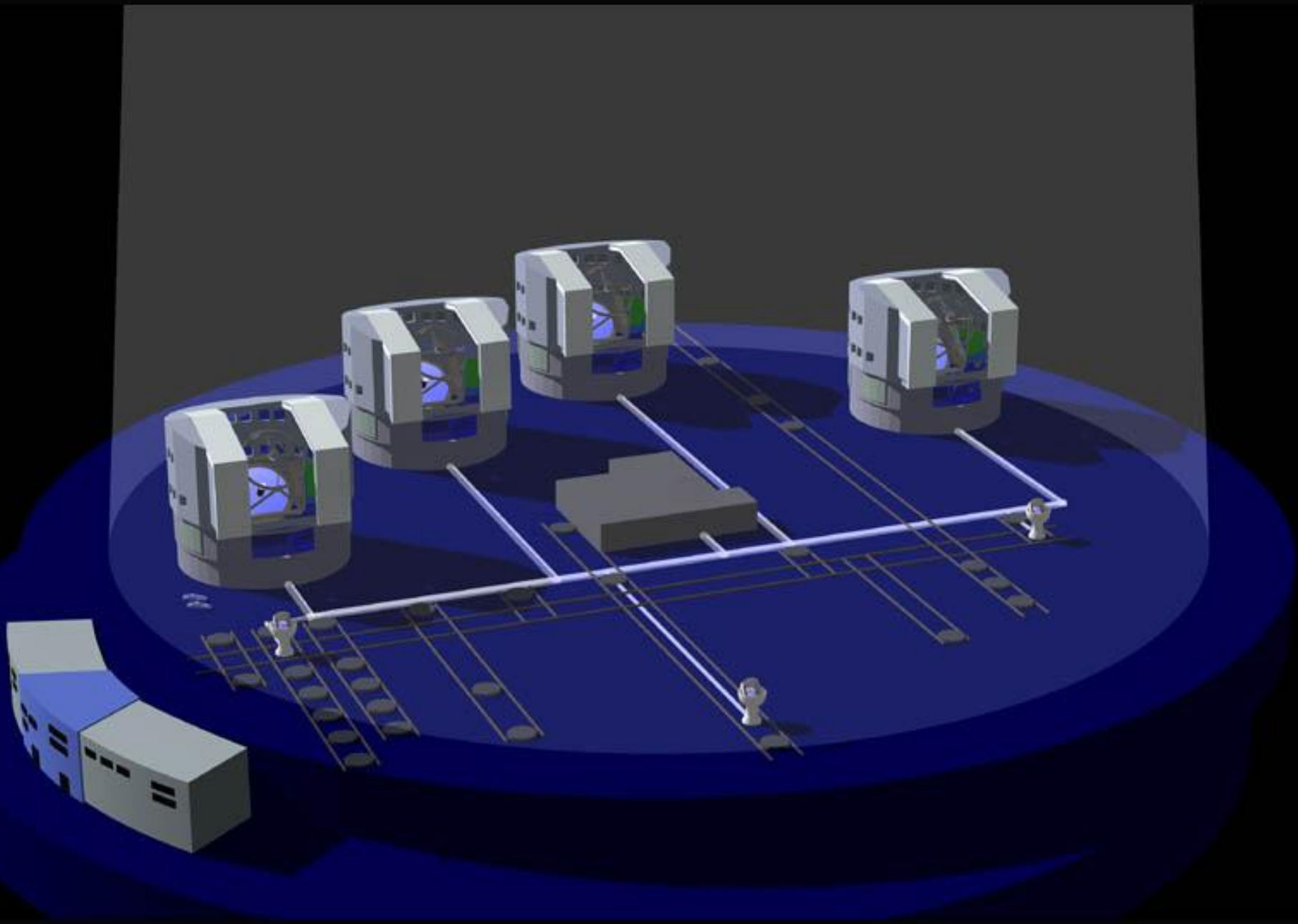


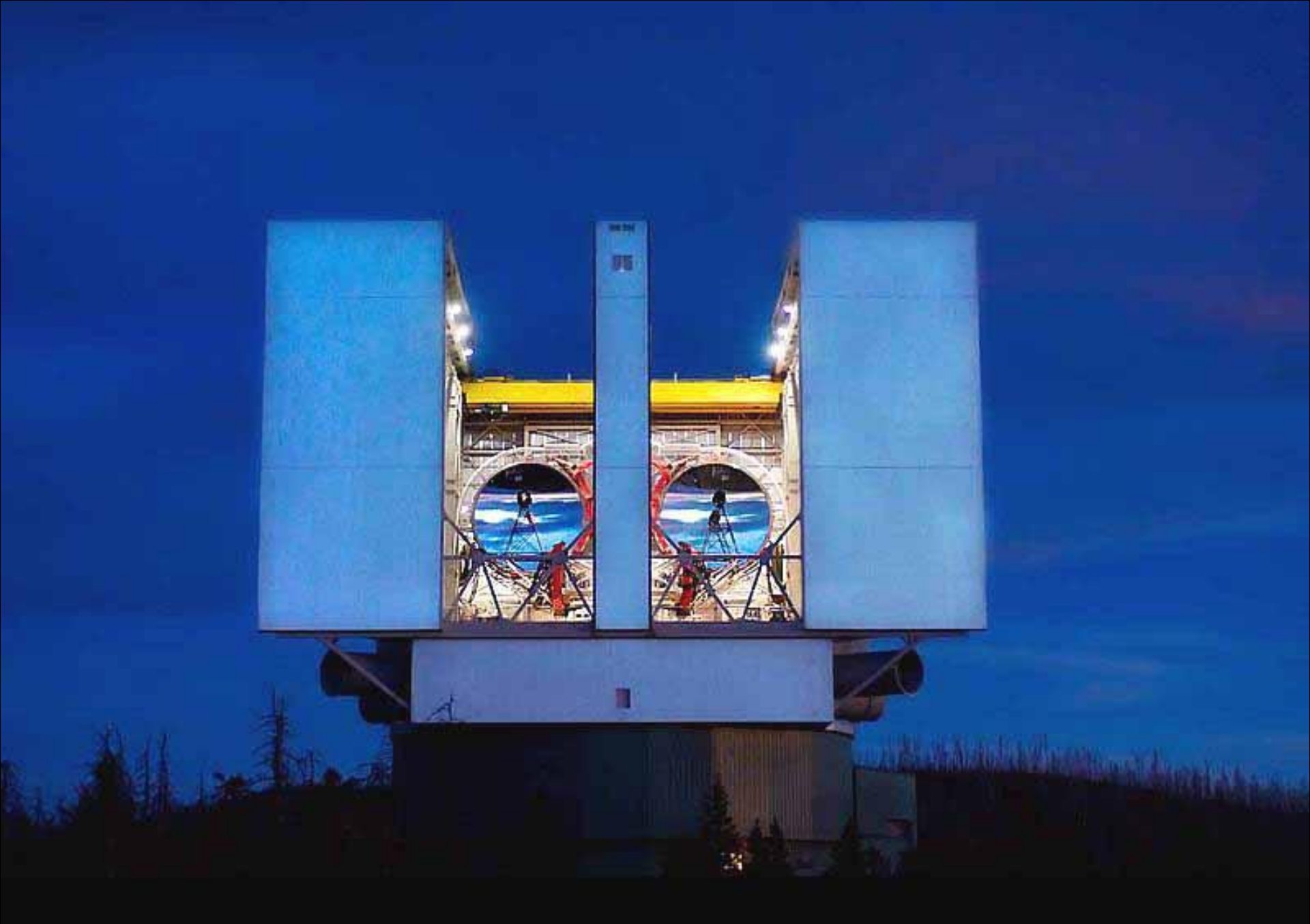
1995.5



Keck/UCLA Galactic  
Center Group





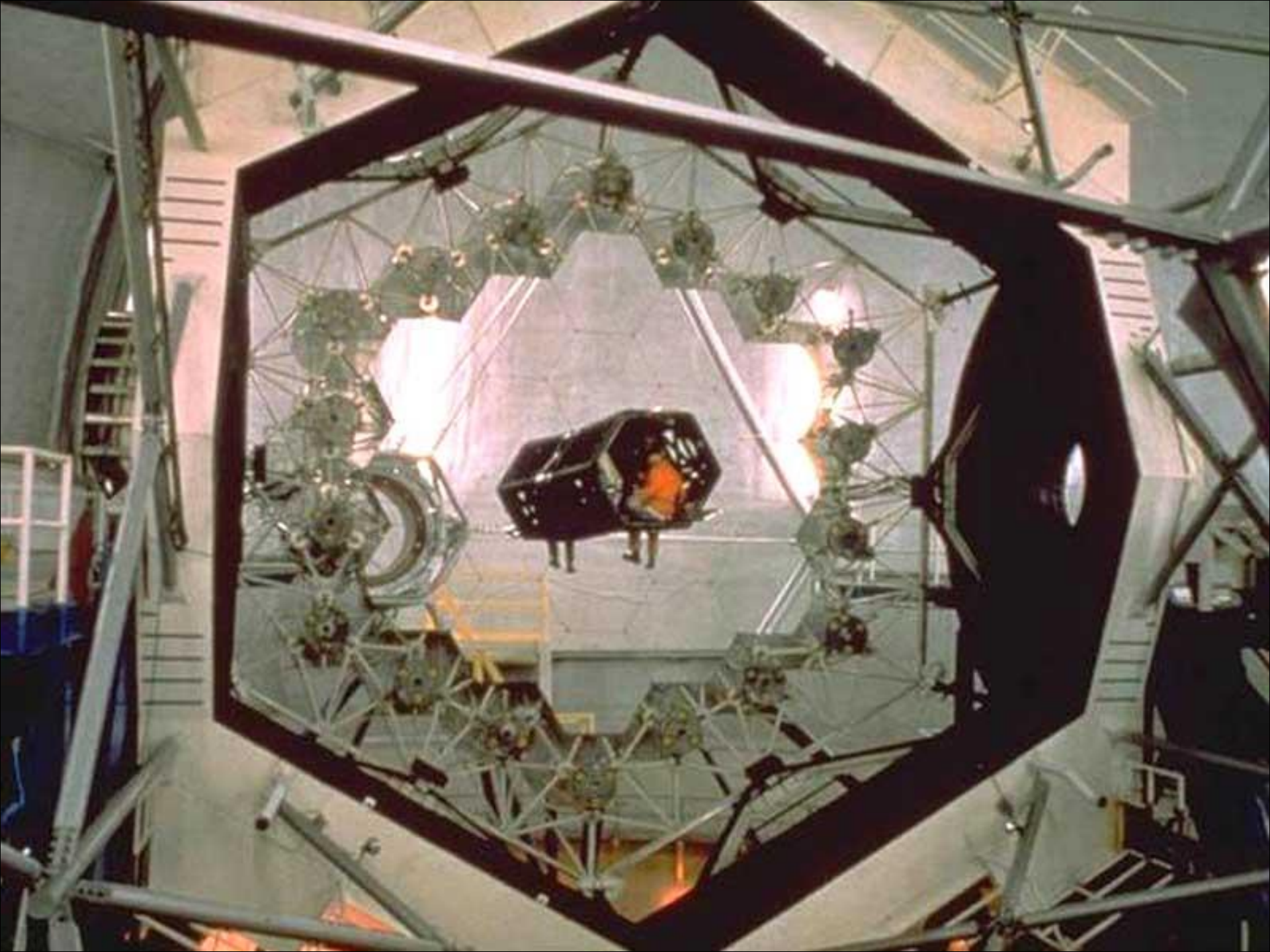


Large Binocular Telescope 2 x 8,4 m

Маунт Грэхем, Аризона

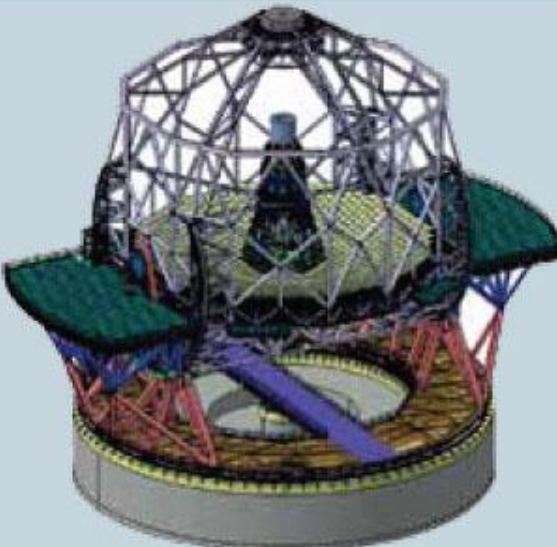
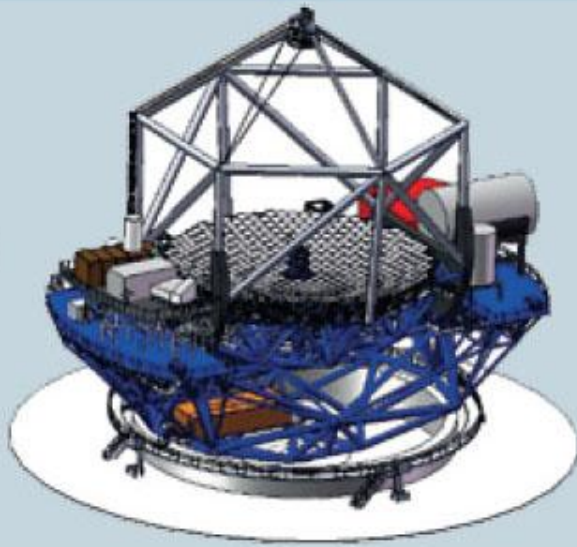



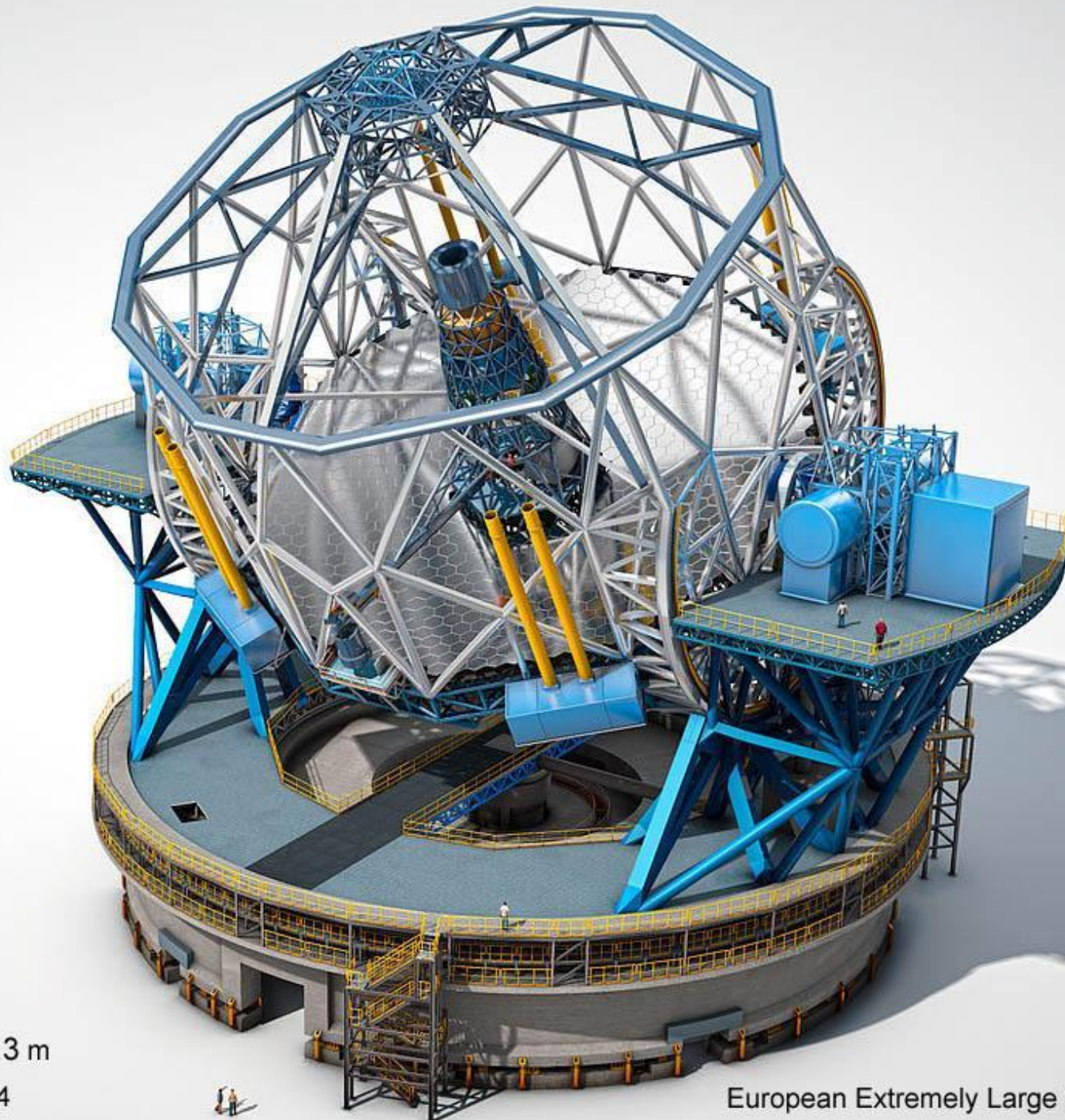






# Table 1: The giant telescopes 2012

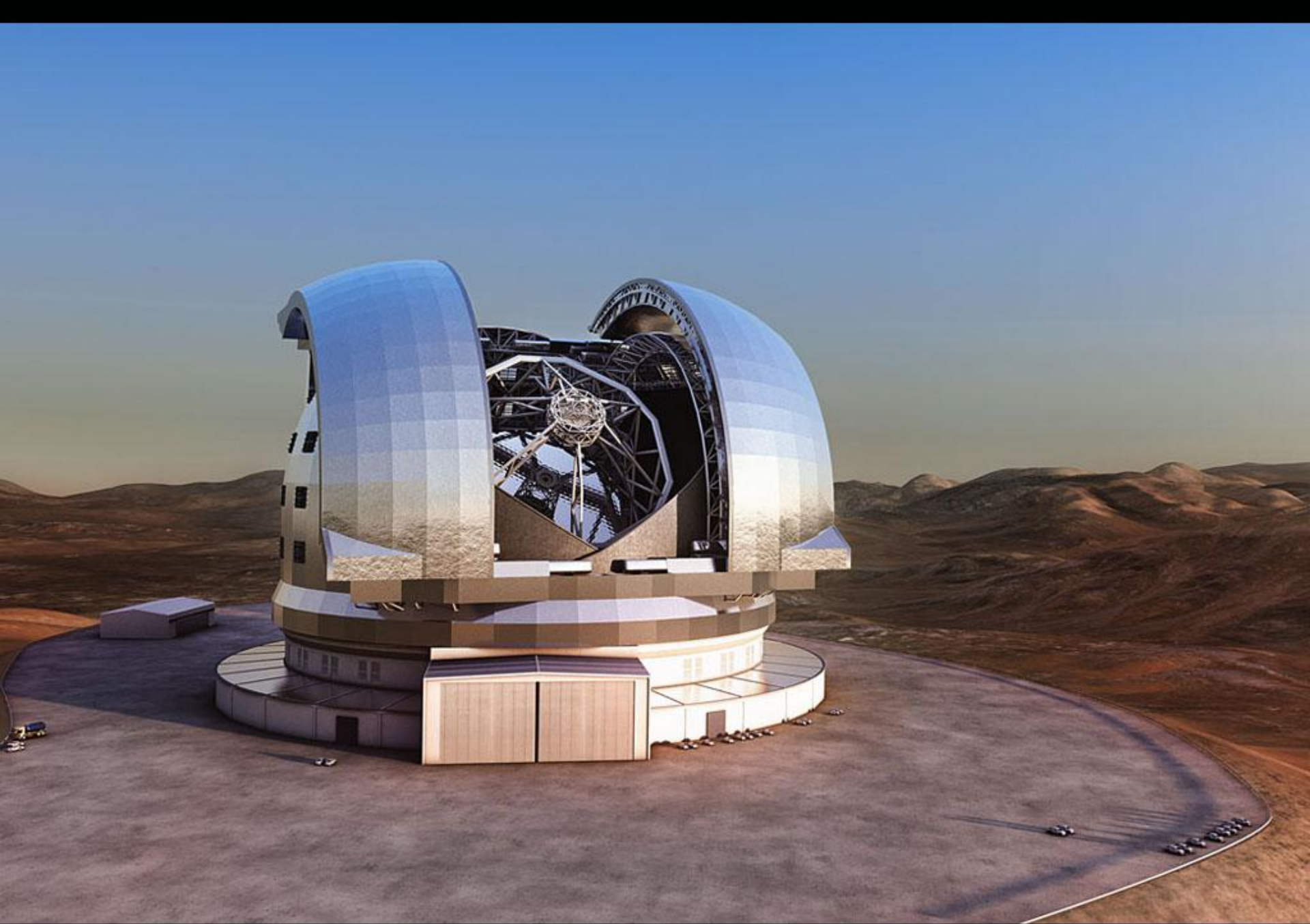
	E-ELT	TMT	GMT
			
<b>aperture</b>	39m filled aperture	30m filled aperture	25.4m unfilled aperture
<b>primary</b>	798 × 1.4m segments	492 × 1.4m segments	7 × 8.4m BSG
<b>site</b>	Cerro Armazones, Chile	Mauna Kea, Hawaii	Las Campanas, Chile
<b>field of view</b>	10 arcminutes	15–20 arcminutes	20 arcminutes
<b>wavelength</b>	0.31–28 $\mu$ m	0.31–28 $\mu$ m	0.35–14 $\mu$ m
<b>optics</b>	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
<b>first light</b>	2021/2022	2021	2019–2022
	<b>European Extremely Large Telescope</b> ESO	<b>Thirty Meter Telescope</b> Калтех, Калифорнийский ун-т, Канада, Япония, Китай, Индия	<b>Giant Magellan Telescope</b> 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  $2\mu$  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 ( $3^\circ$ ), способные за неделю сфотографировать всё доступное небо.





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

$D = 8,4 \text{ м}$

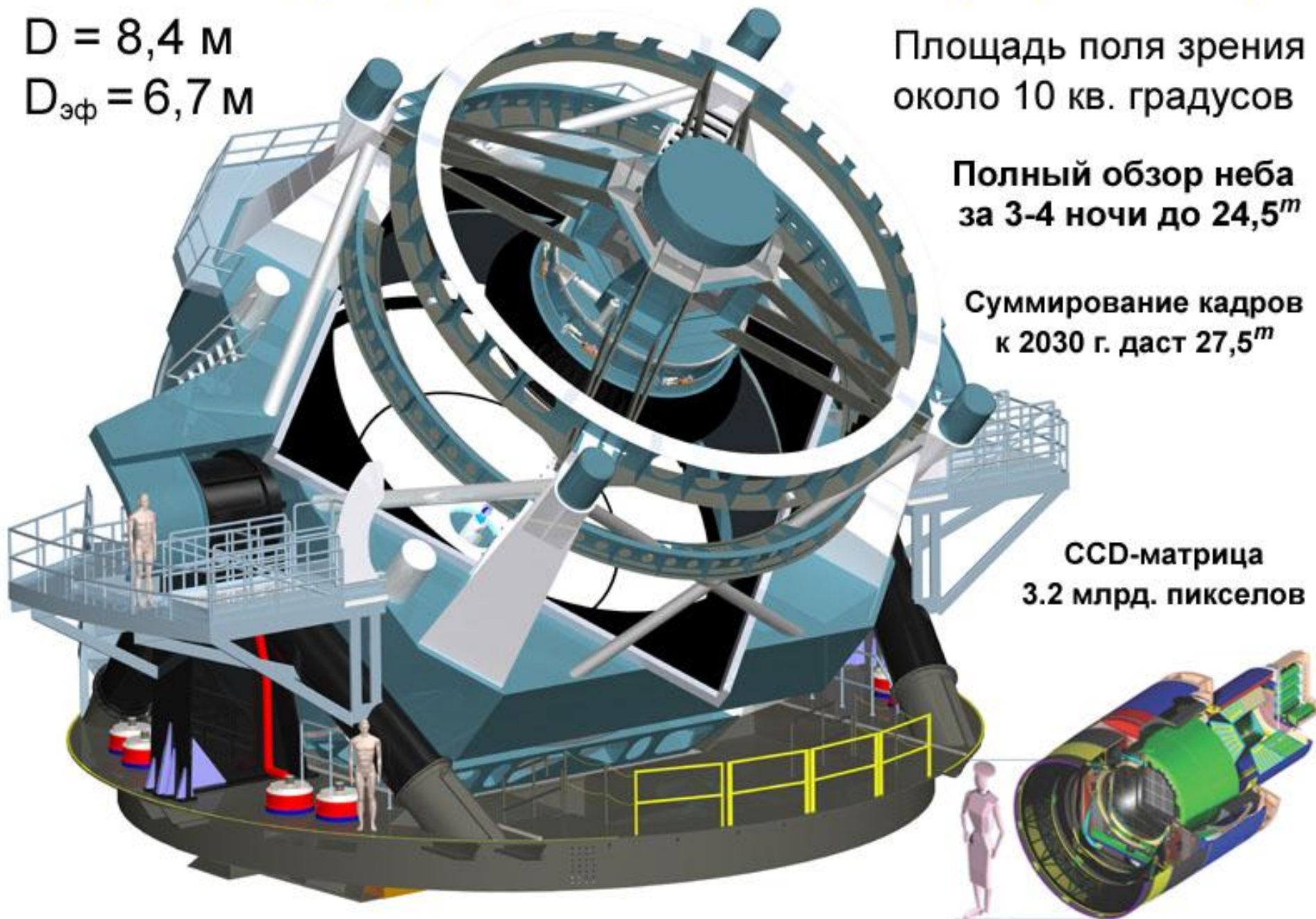
$D_{\text{эф}} = 6,7 \text{ м}$

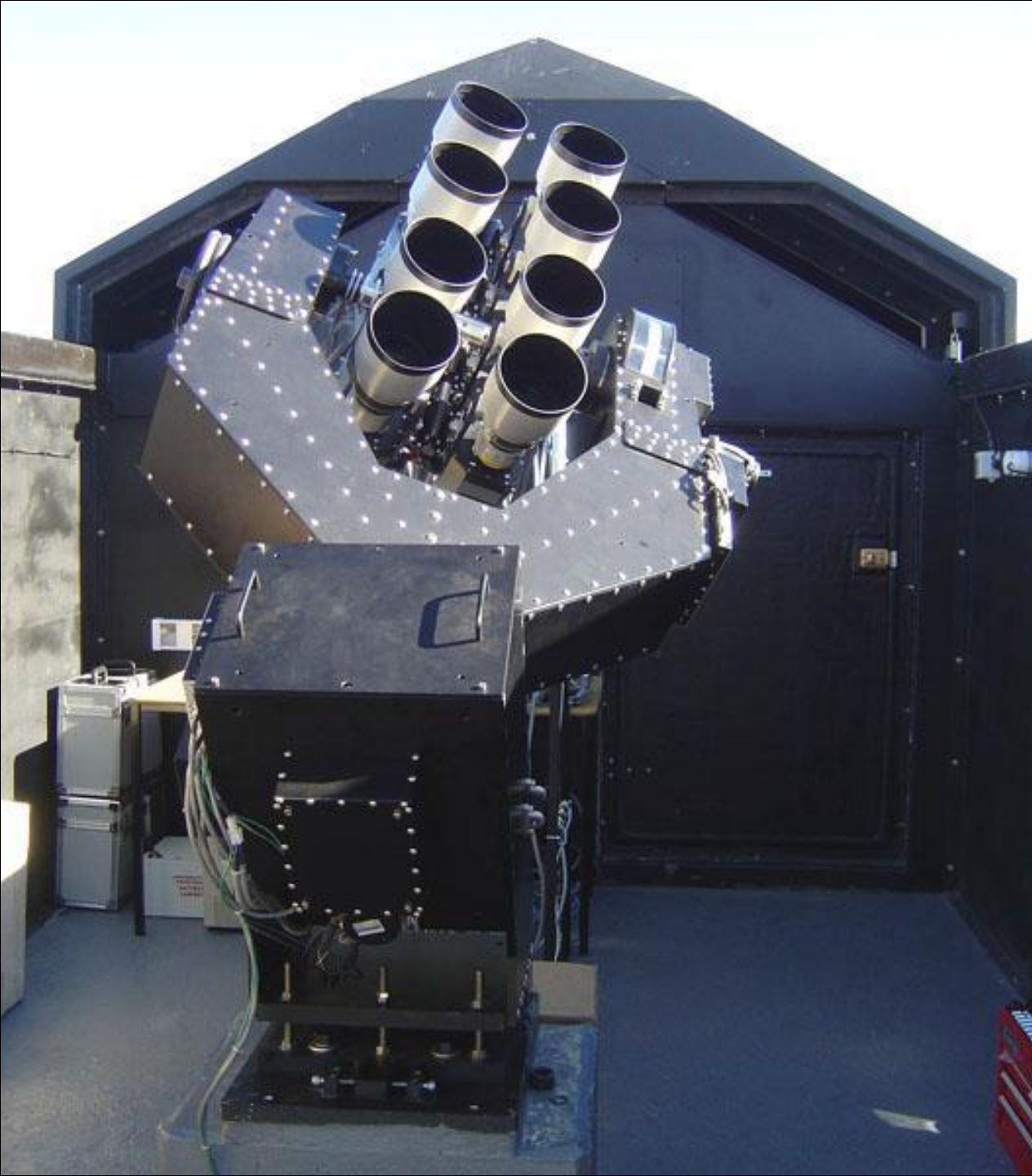
Площадь поля зрения  
около 10 кв. градусов

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.

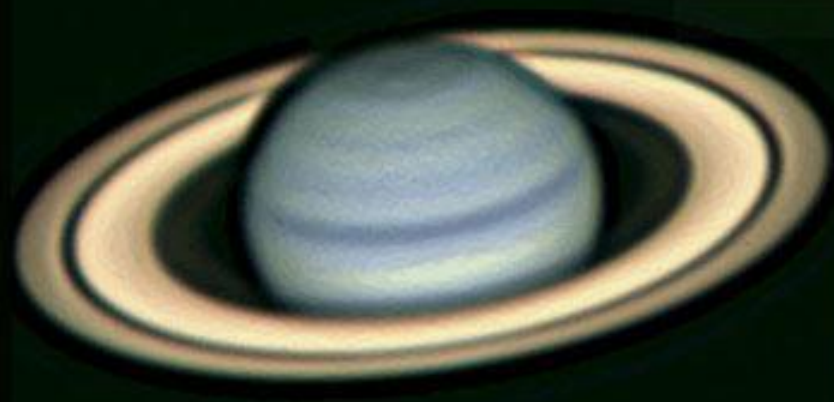


*Телескоп квалифицированного астронома-любителя*

Лучшие снимки  
доцифровой эпохи



Любительский



Профессиональный

Saturn - Nordic Optical Telescope

Современный любительский  
цифровой снимок



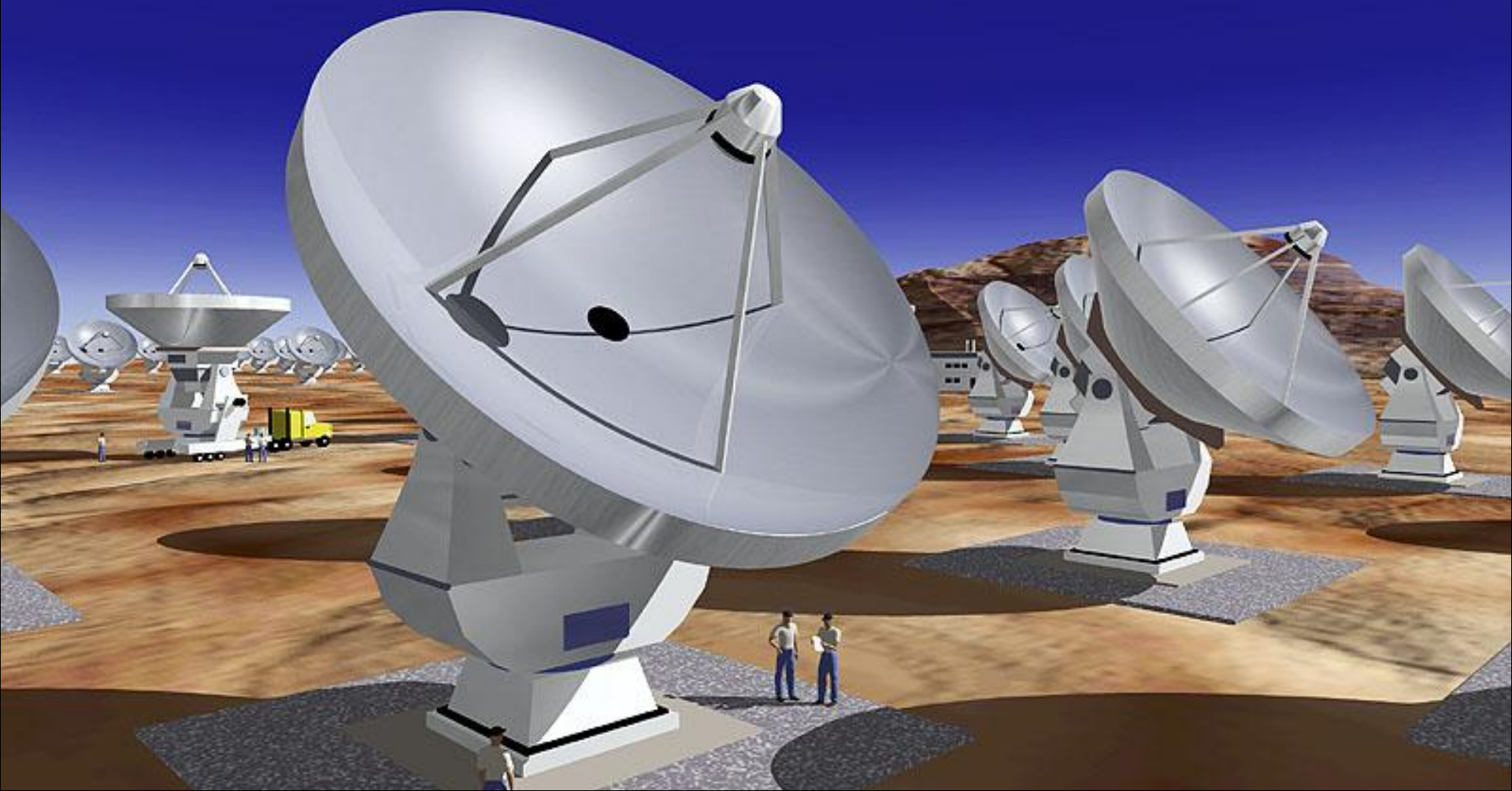
Телескоп Celestron 14"  
CCD камера  
Выбраны лучшие кадры  
из 4800 экспозиций

14 March, 2011  
05:07 UT

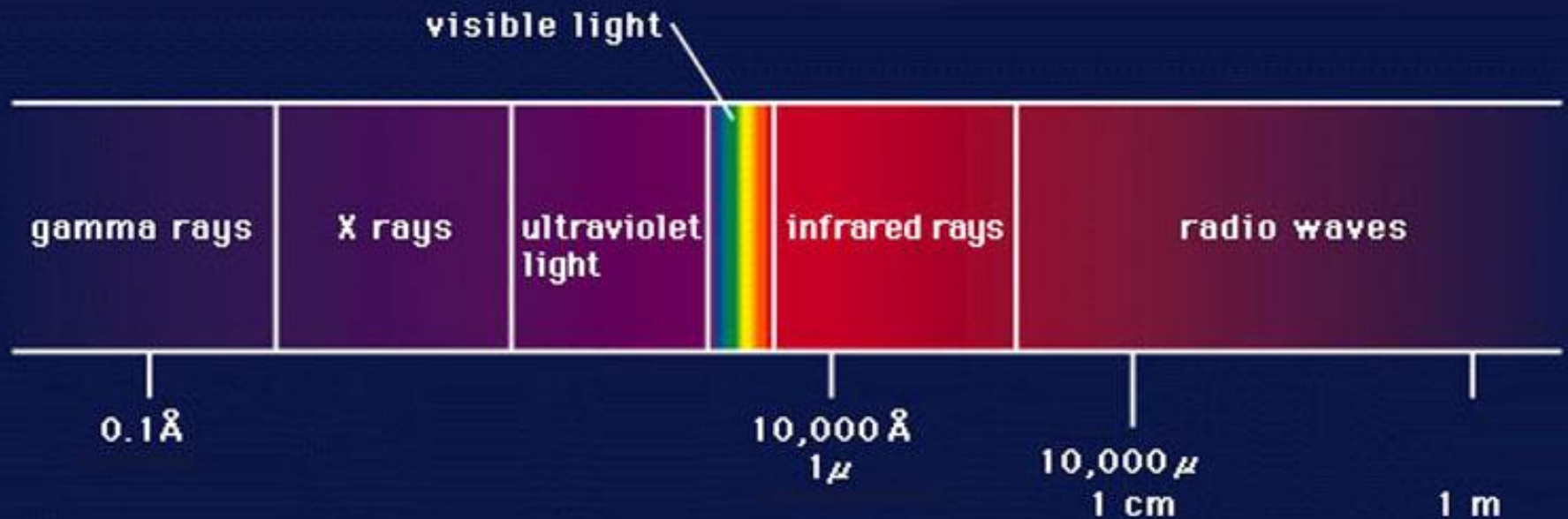
B. Combs  
Buena Vista, GA USA



# *Неоптическая Астрономия*

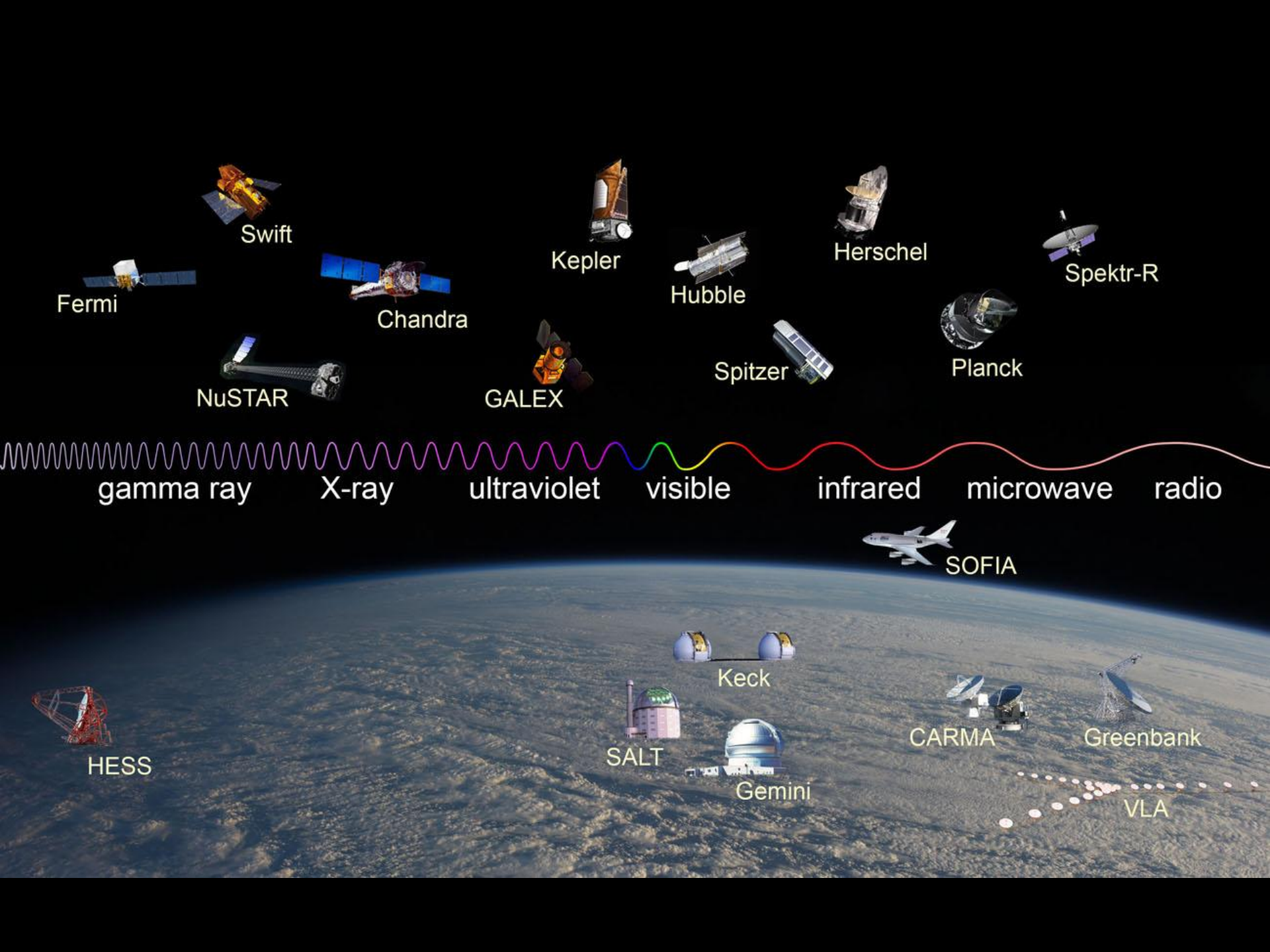


# Электромагнитный спектр



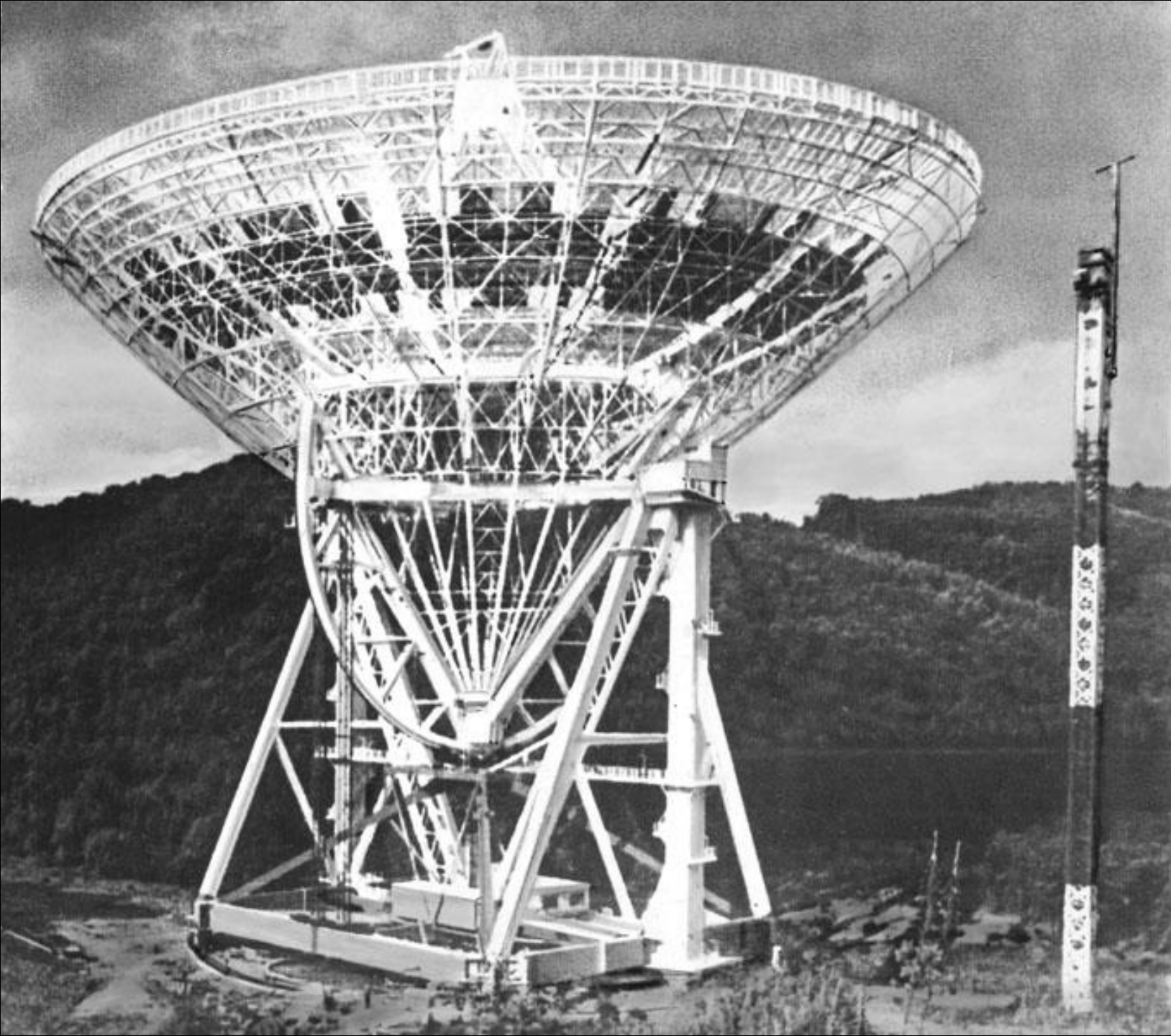
**Видимый свет (3500-7000 Å) = 1 октава**

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

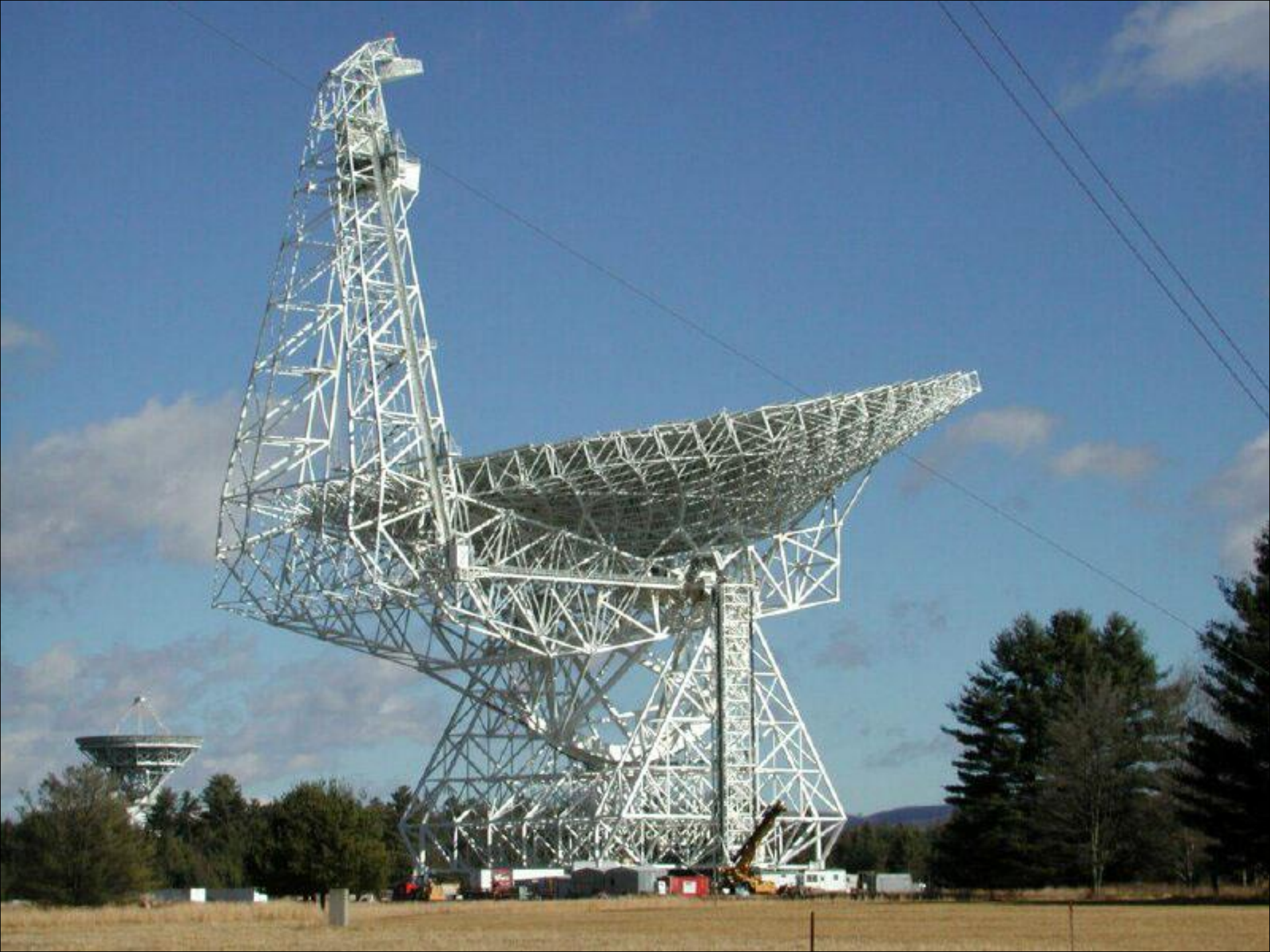








100-м  
Германия



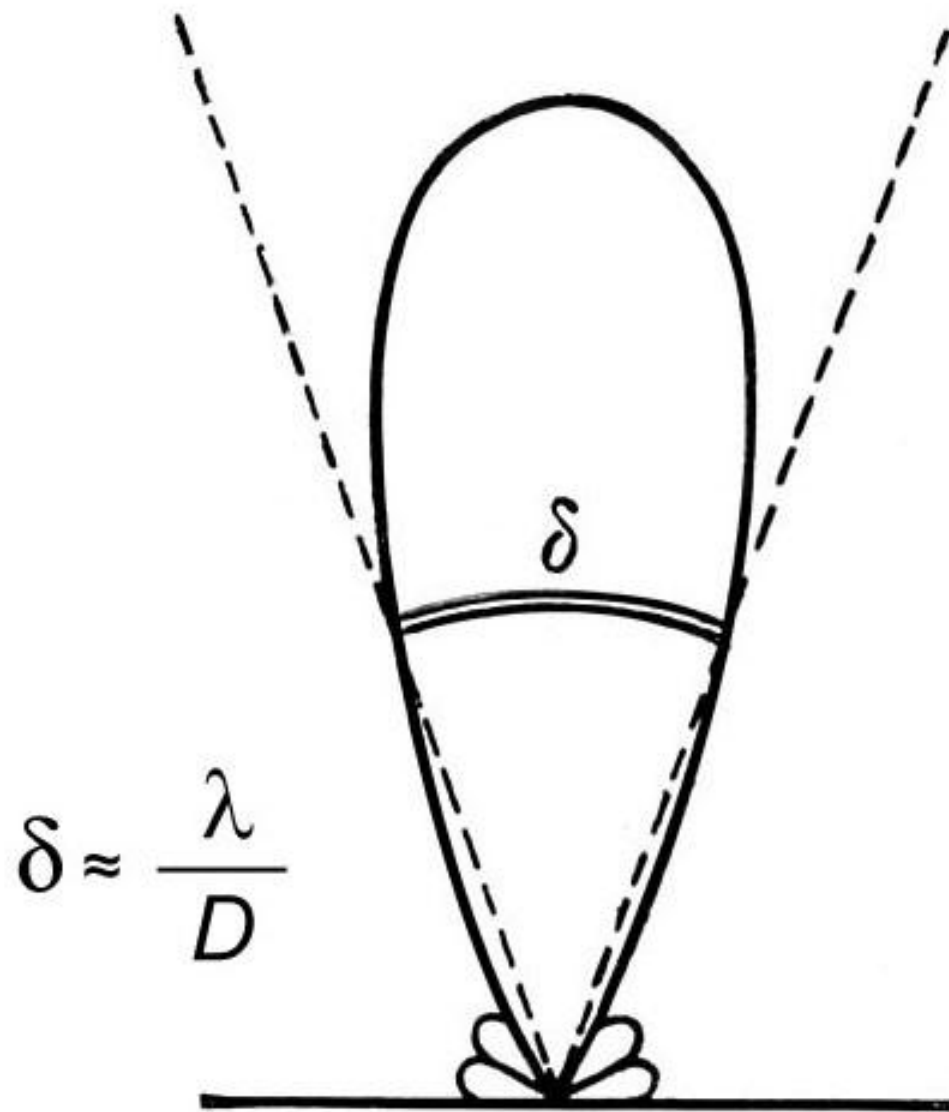
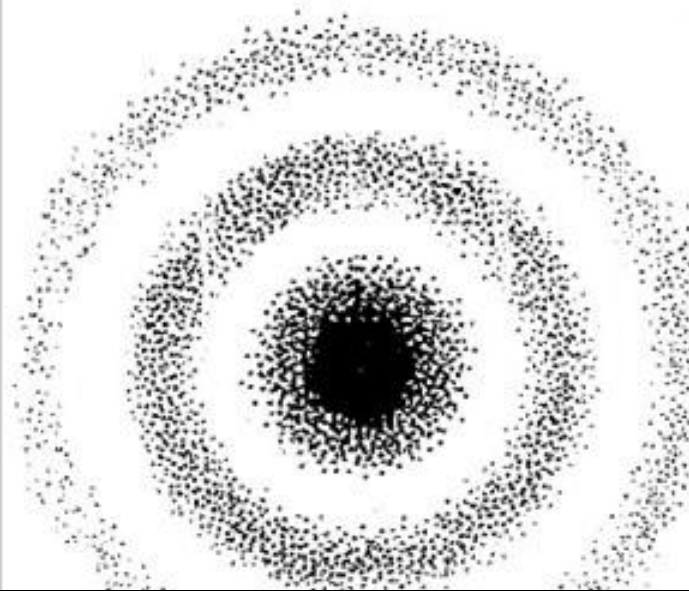
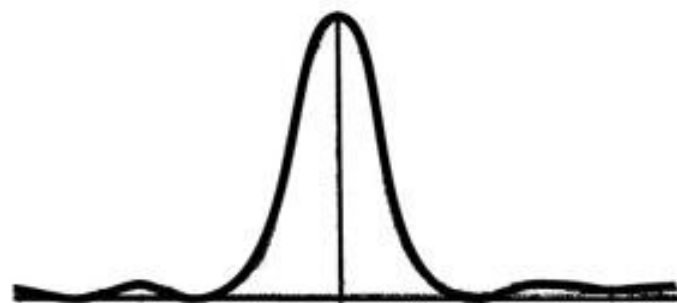


Диаграмма  
направленности  
параболической  
антенны

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.*

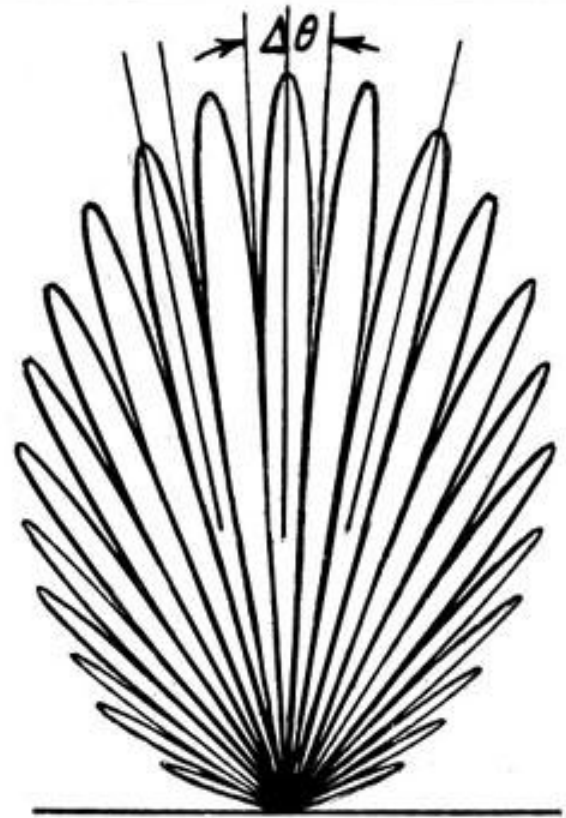
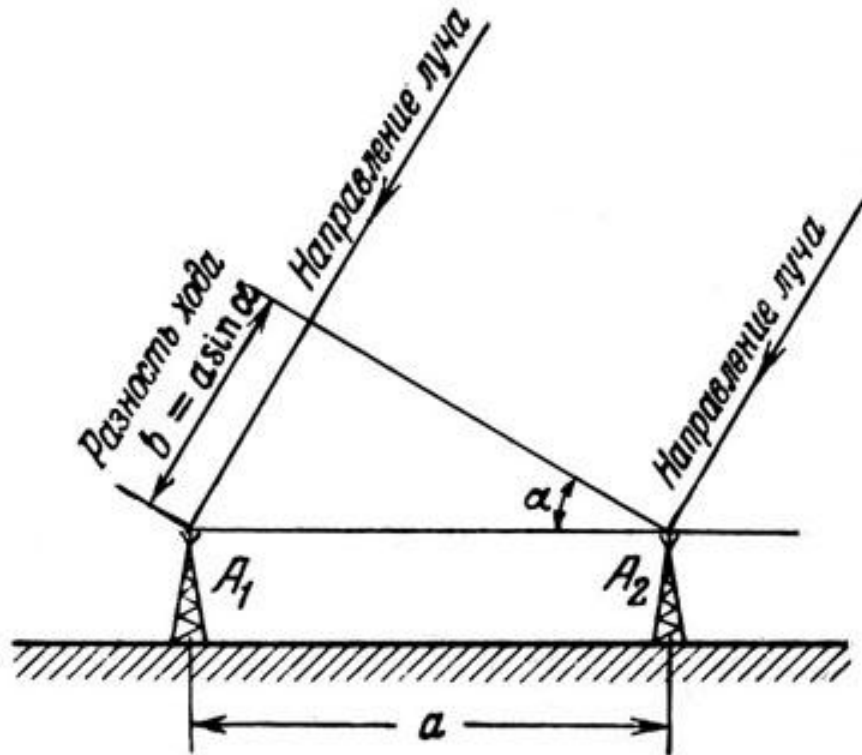
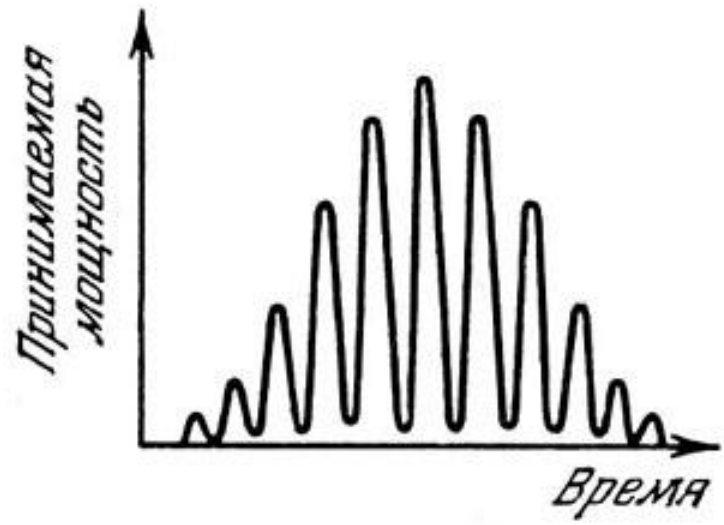
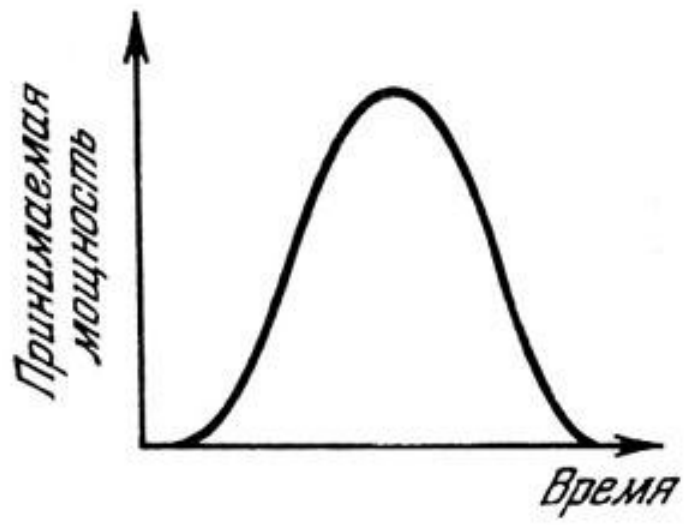
1974 г







**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



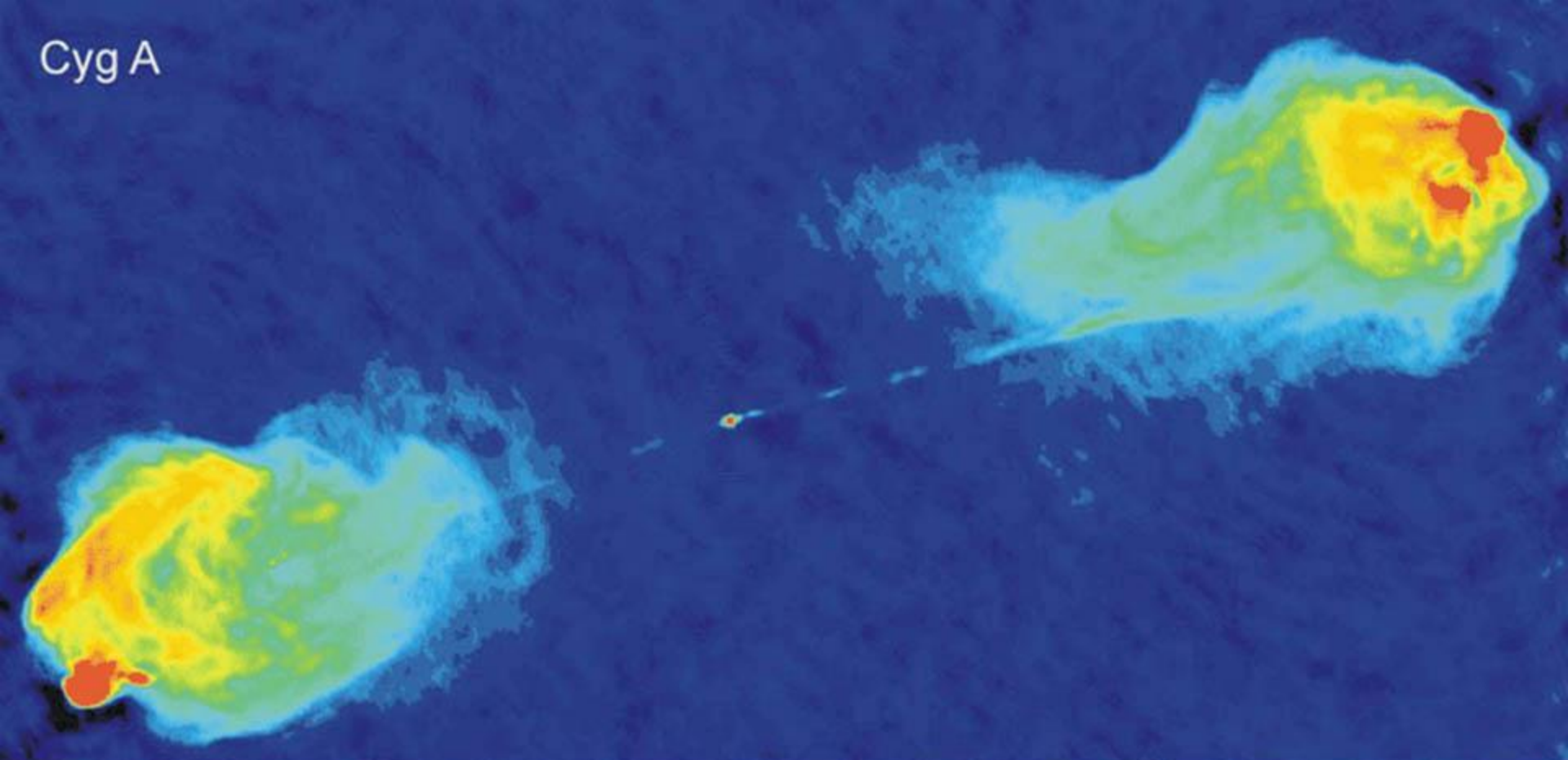
Наррабри, Австралия

ATCA – Australia Telescope Compact Array

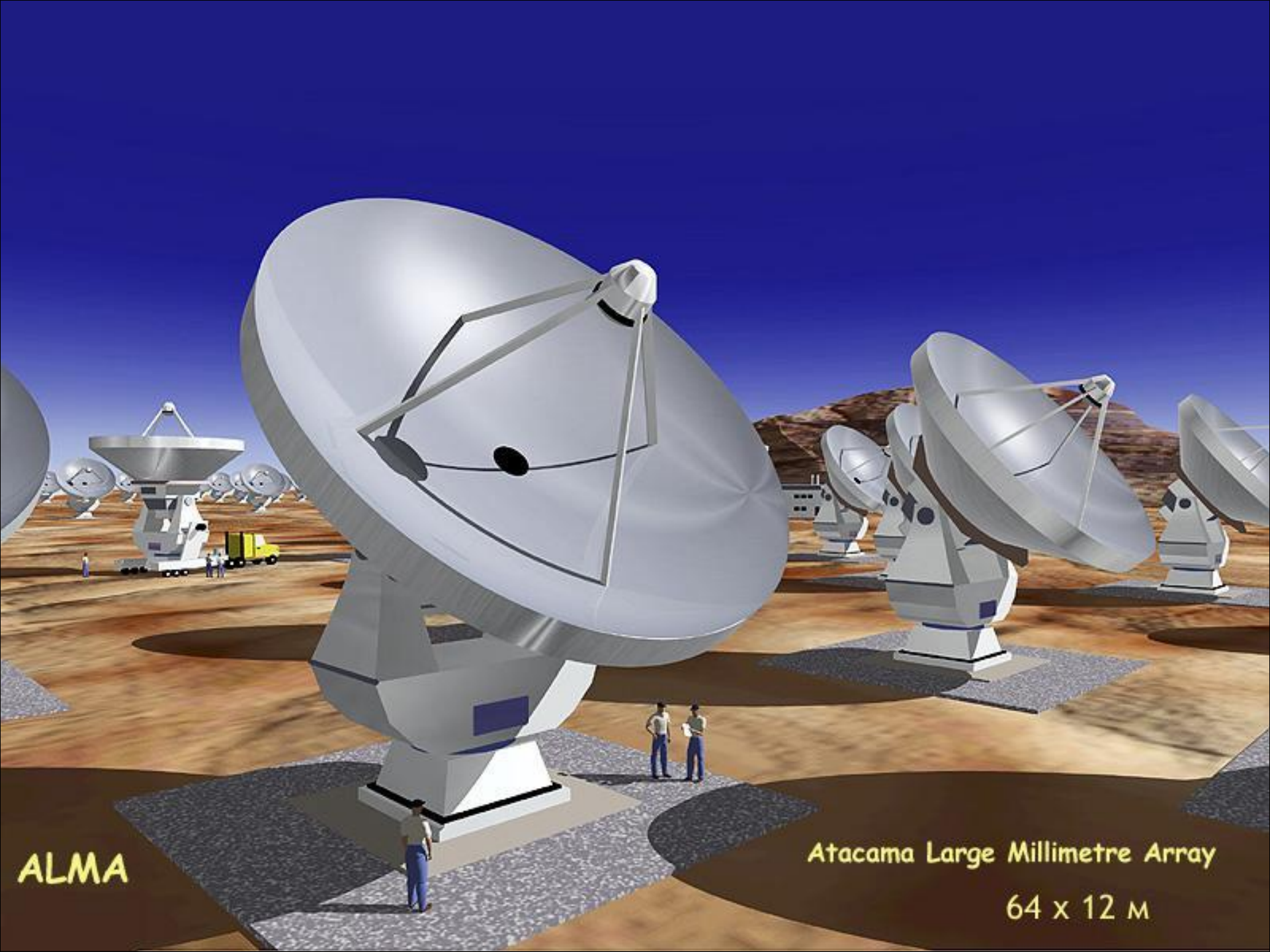


**VLA - 27 антенн диаметром 25 м, 3 плеча (Y) по 22,4 км**

Cyg A



VLA



ALMA

Atacama Large Millimetre Array

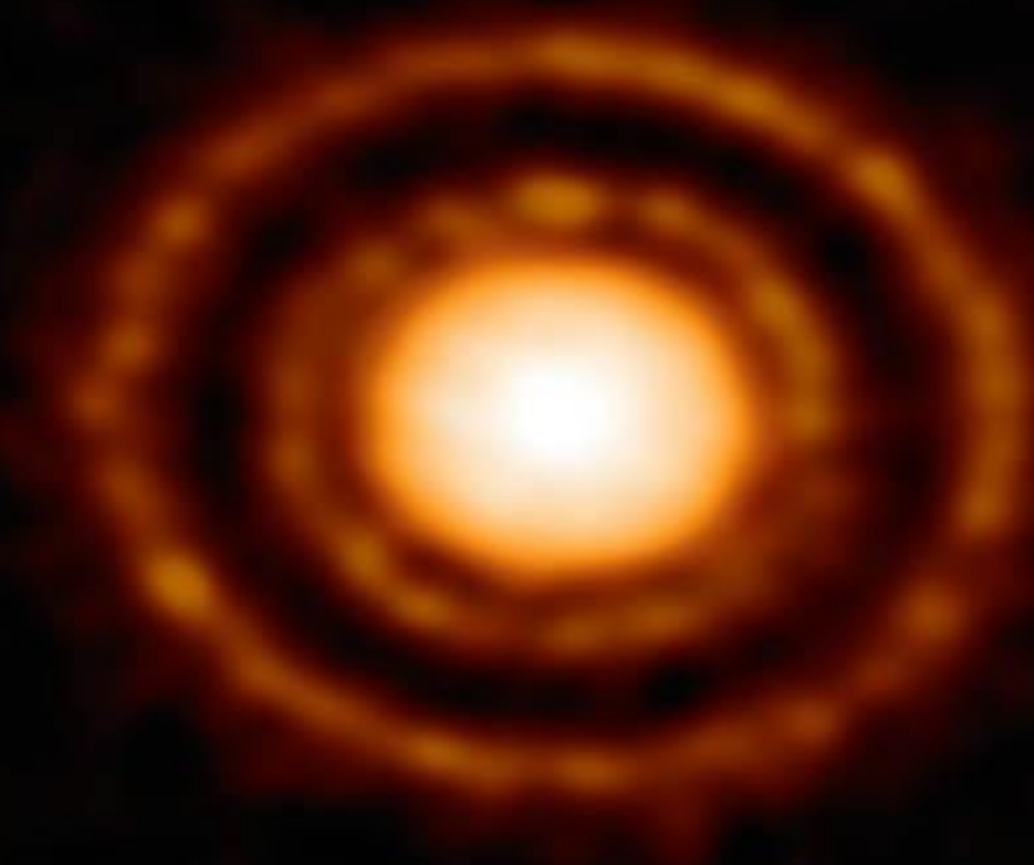
64 x 12 M



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



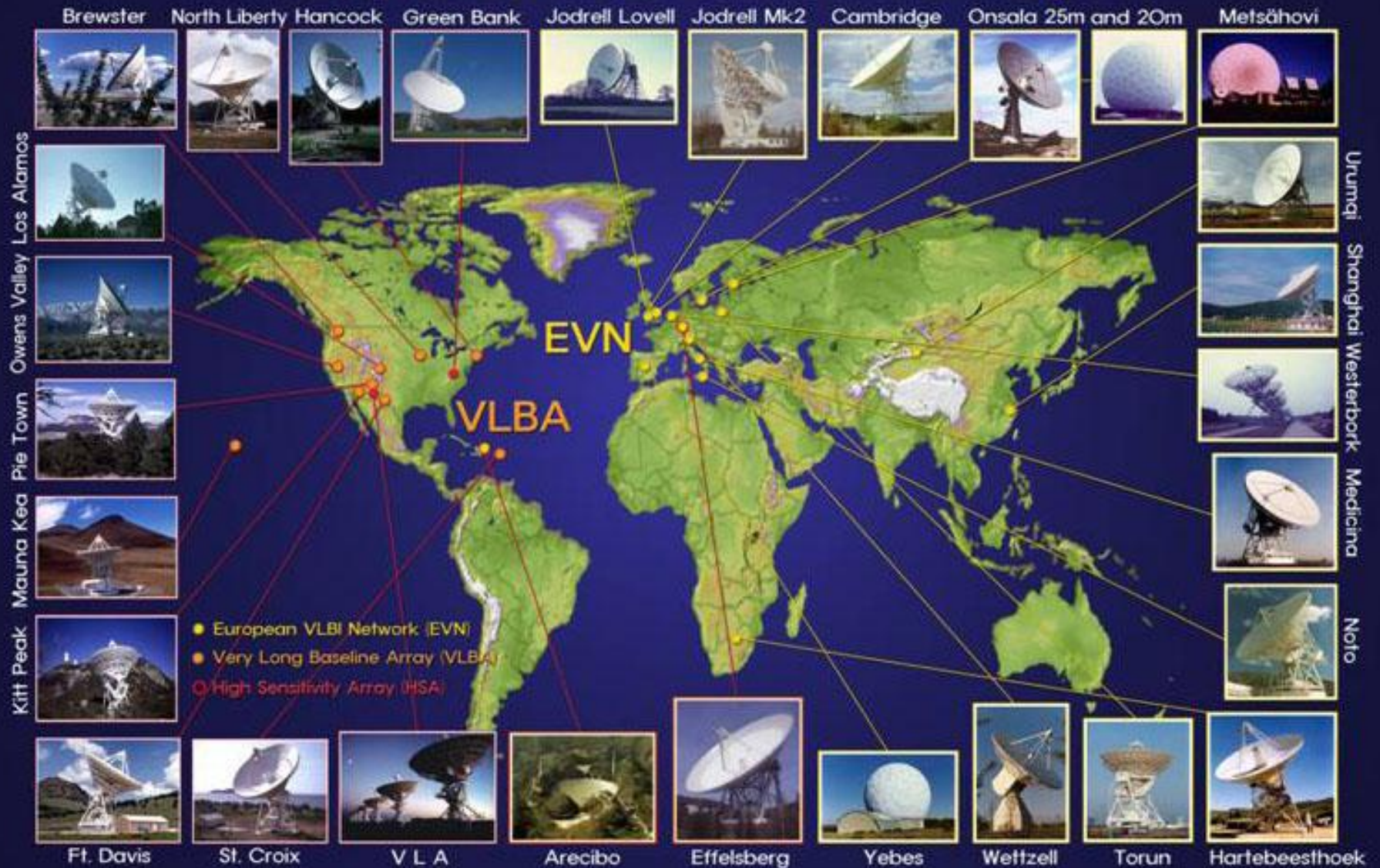
AS 209



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

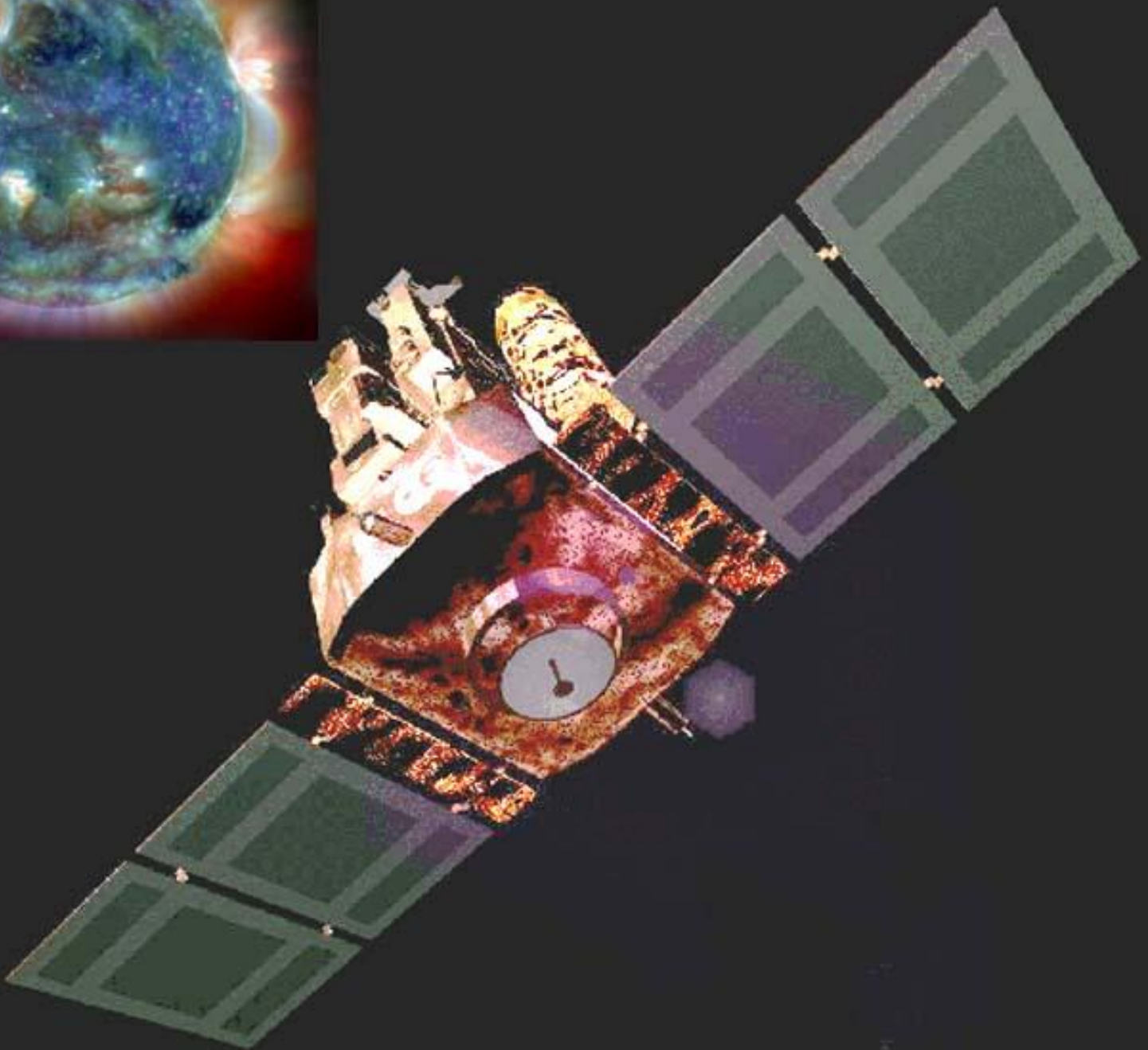
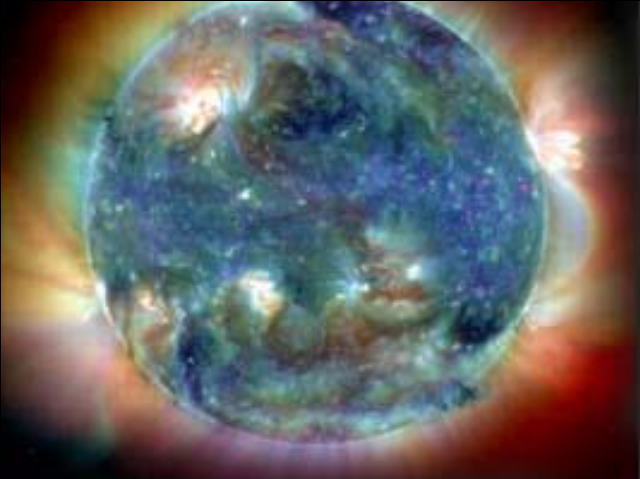


# The Global VLBI - Array





РадиоАстрон 2011 г.



SOHO



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



Параболоид

Гиперболоид

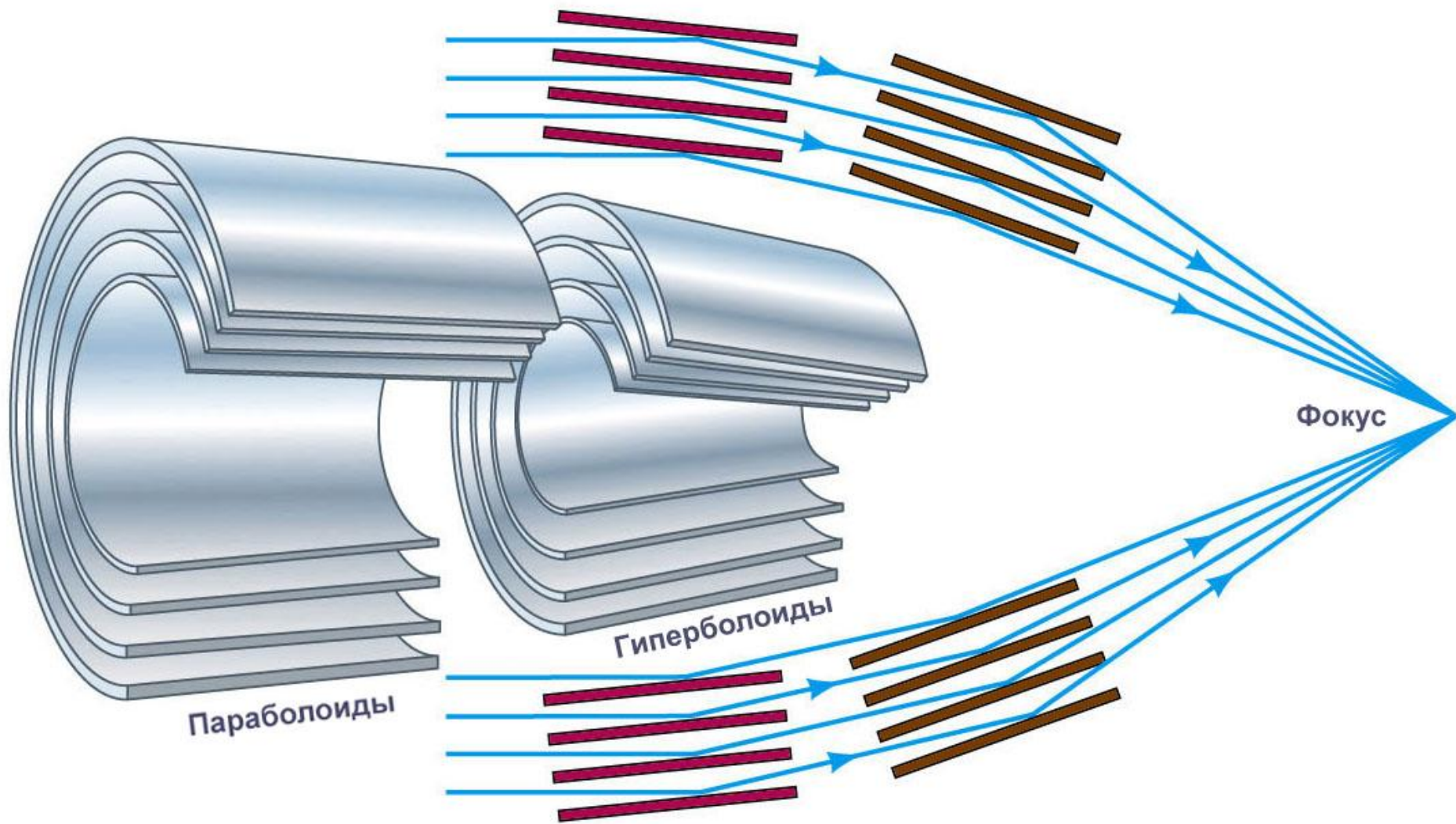
Падающее излучение

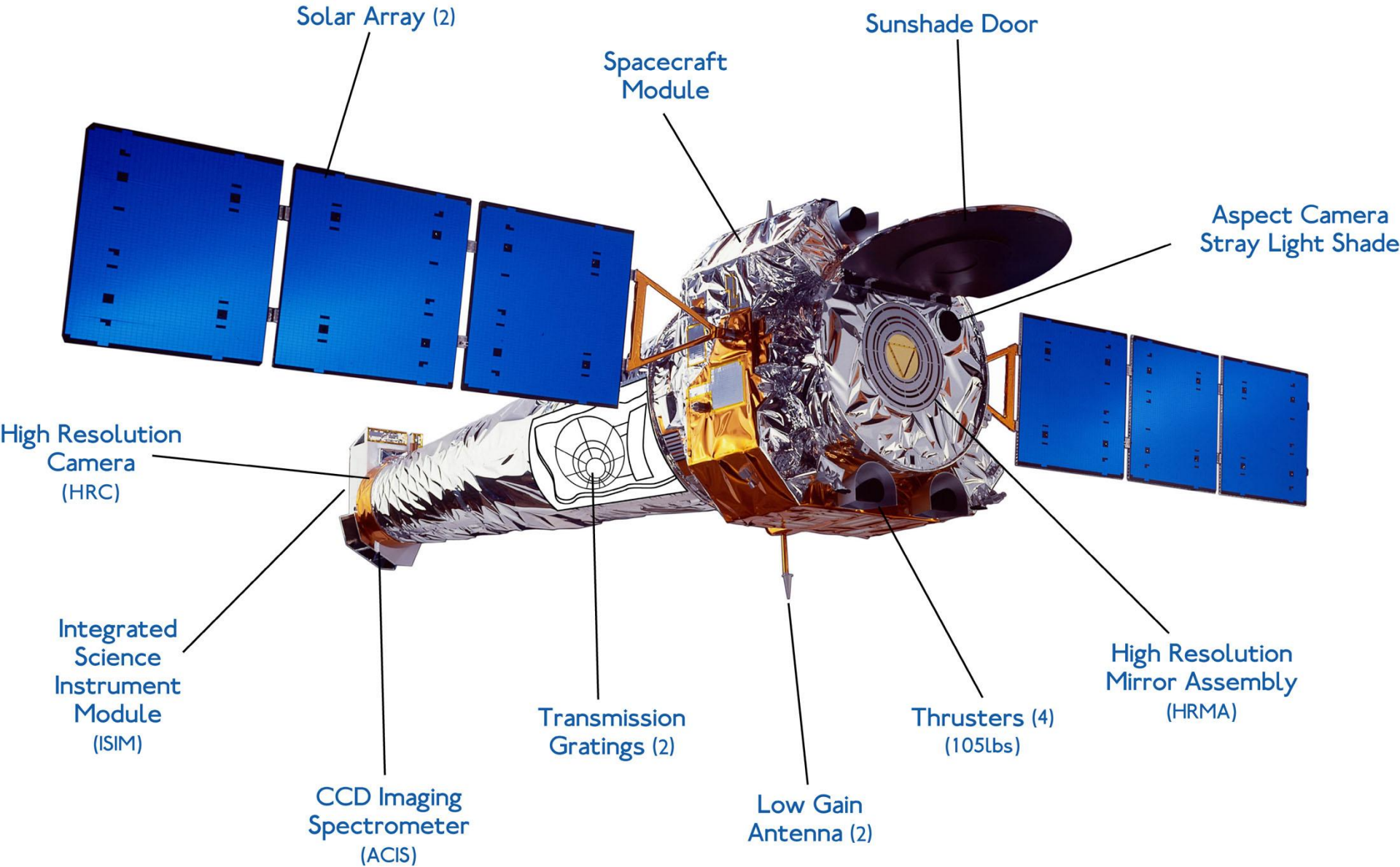
Кванты мягкого рентгеновского диапазона (0,1-10 кэВ) при малых углах падения на металлическую поверхность отражаются от нее

Гиперболоид

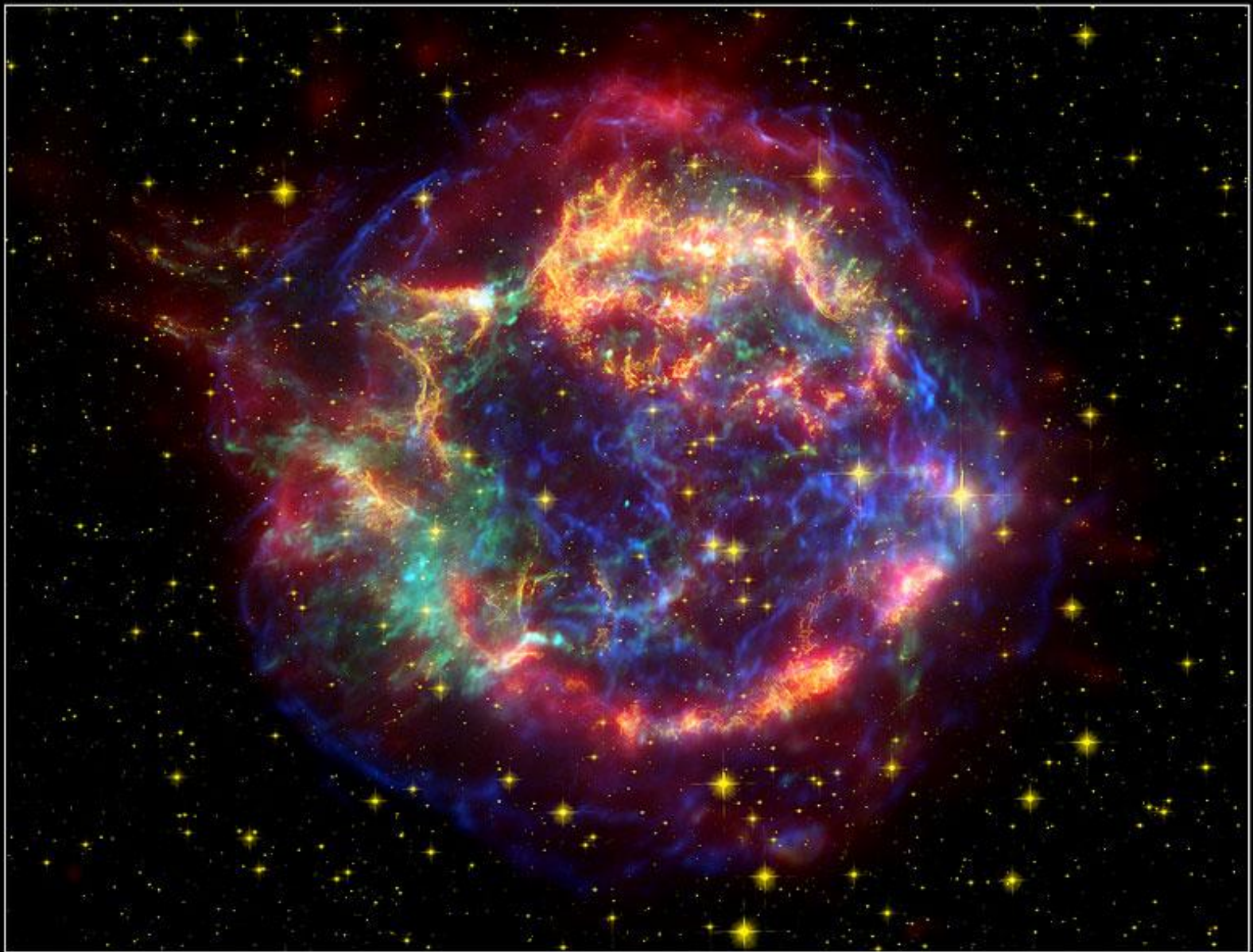
фокальная поверхность

## 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)

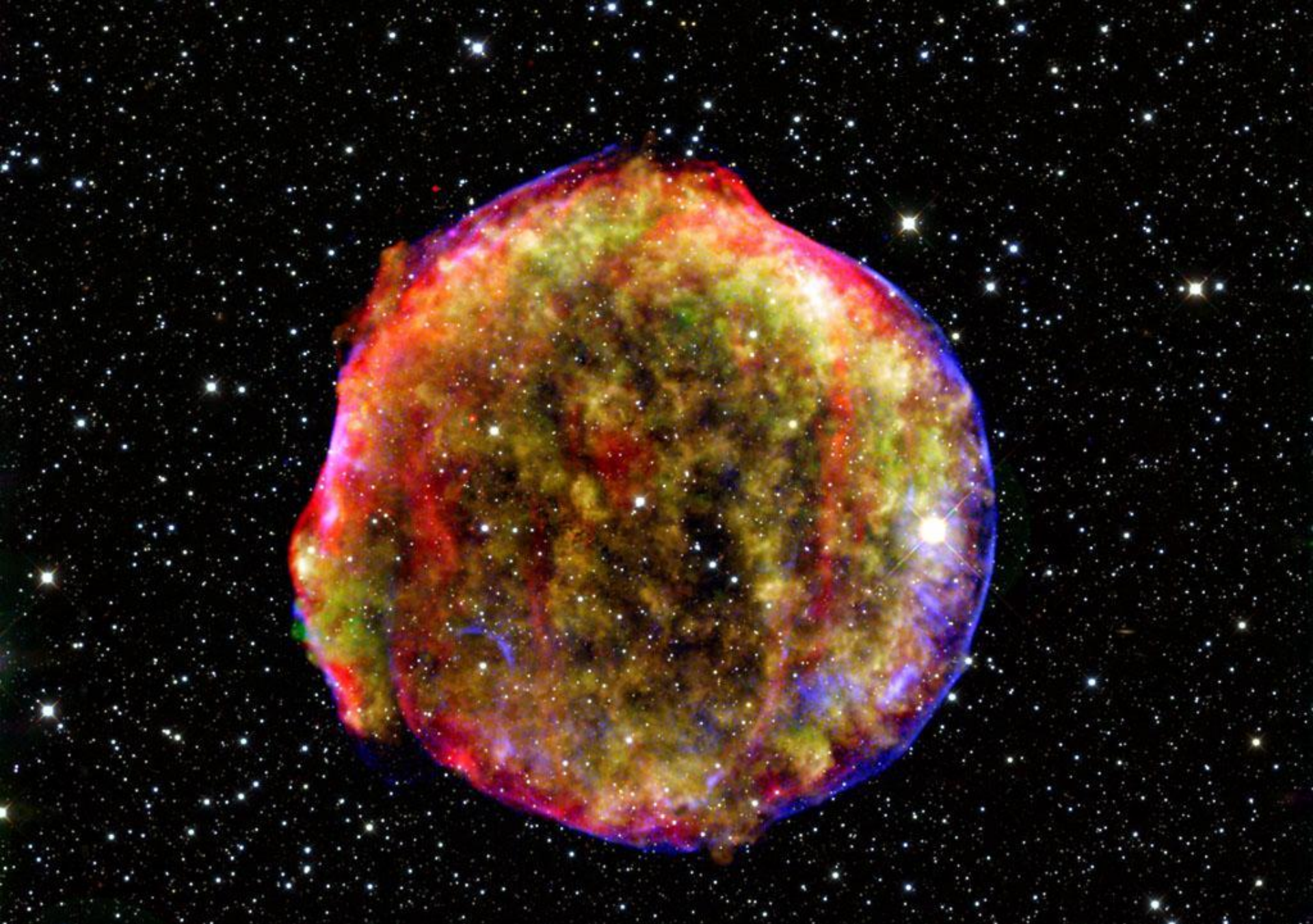
ssc2005-14c

Spitzer Space Telescope • MIPS

Hubble Space Telescope • ACS

Chandra X-Ray Observatory

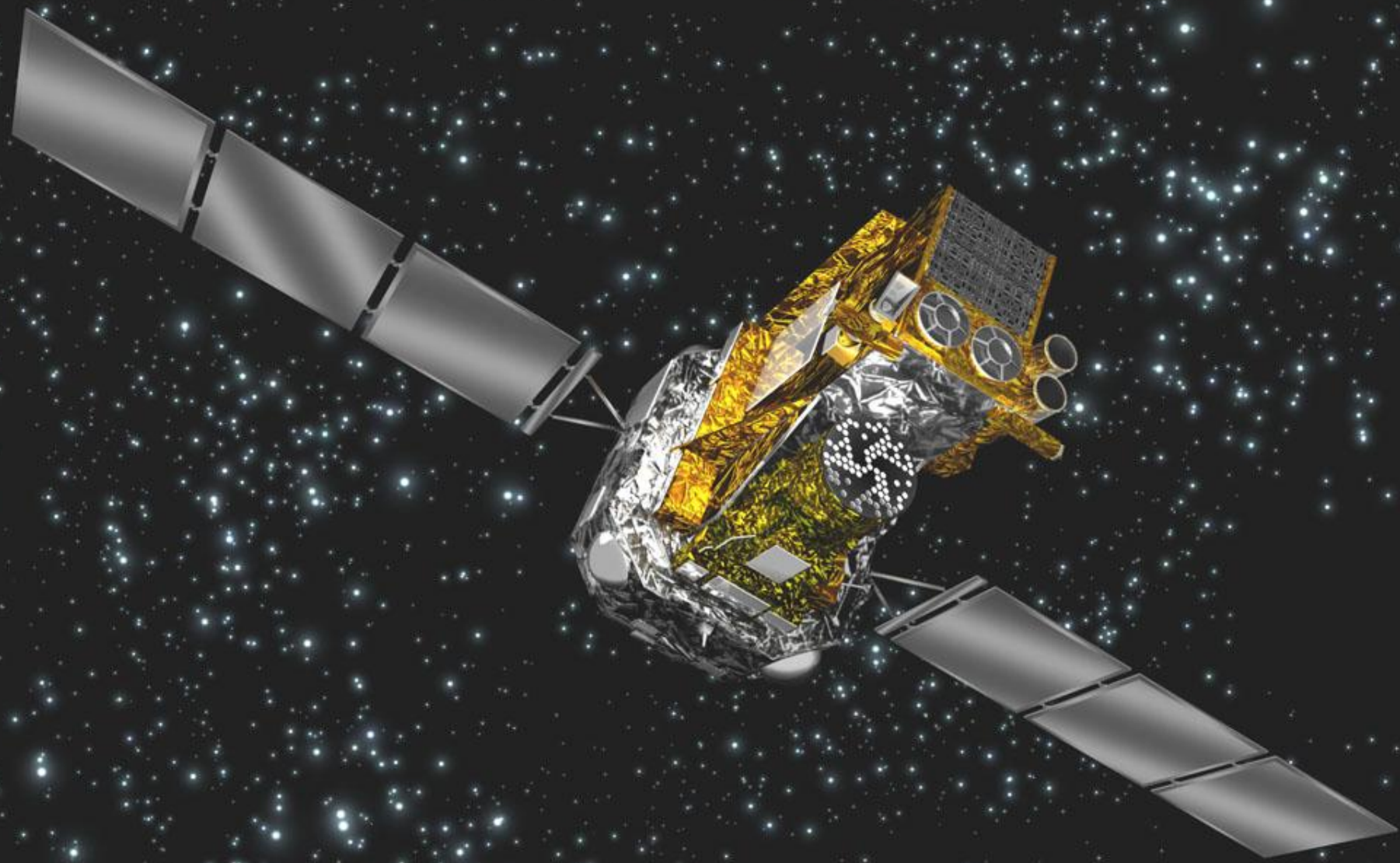




Сверхновая Тихо Браге 1572 г.

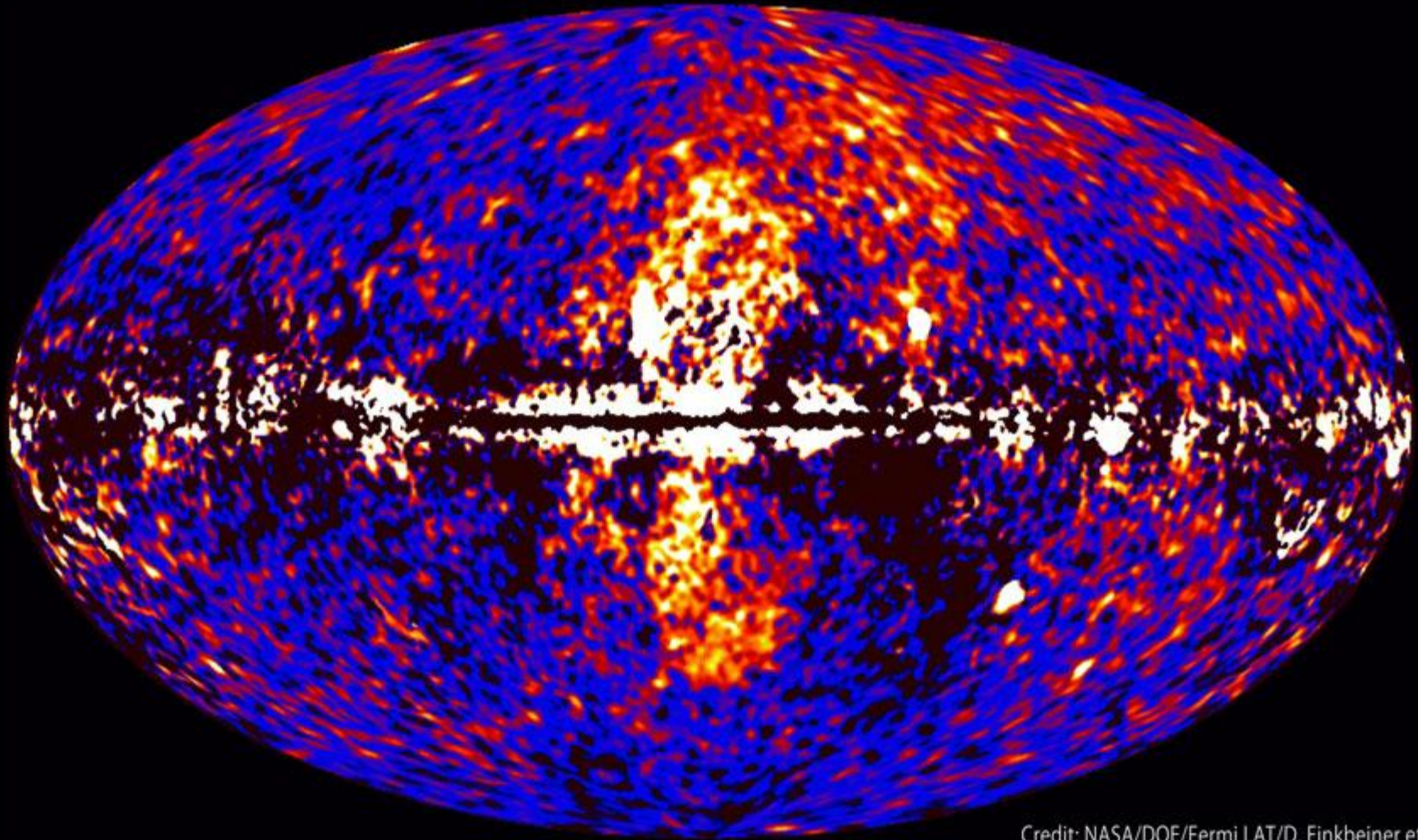
ИК + оптика + рентген

Coded mask

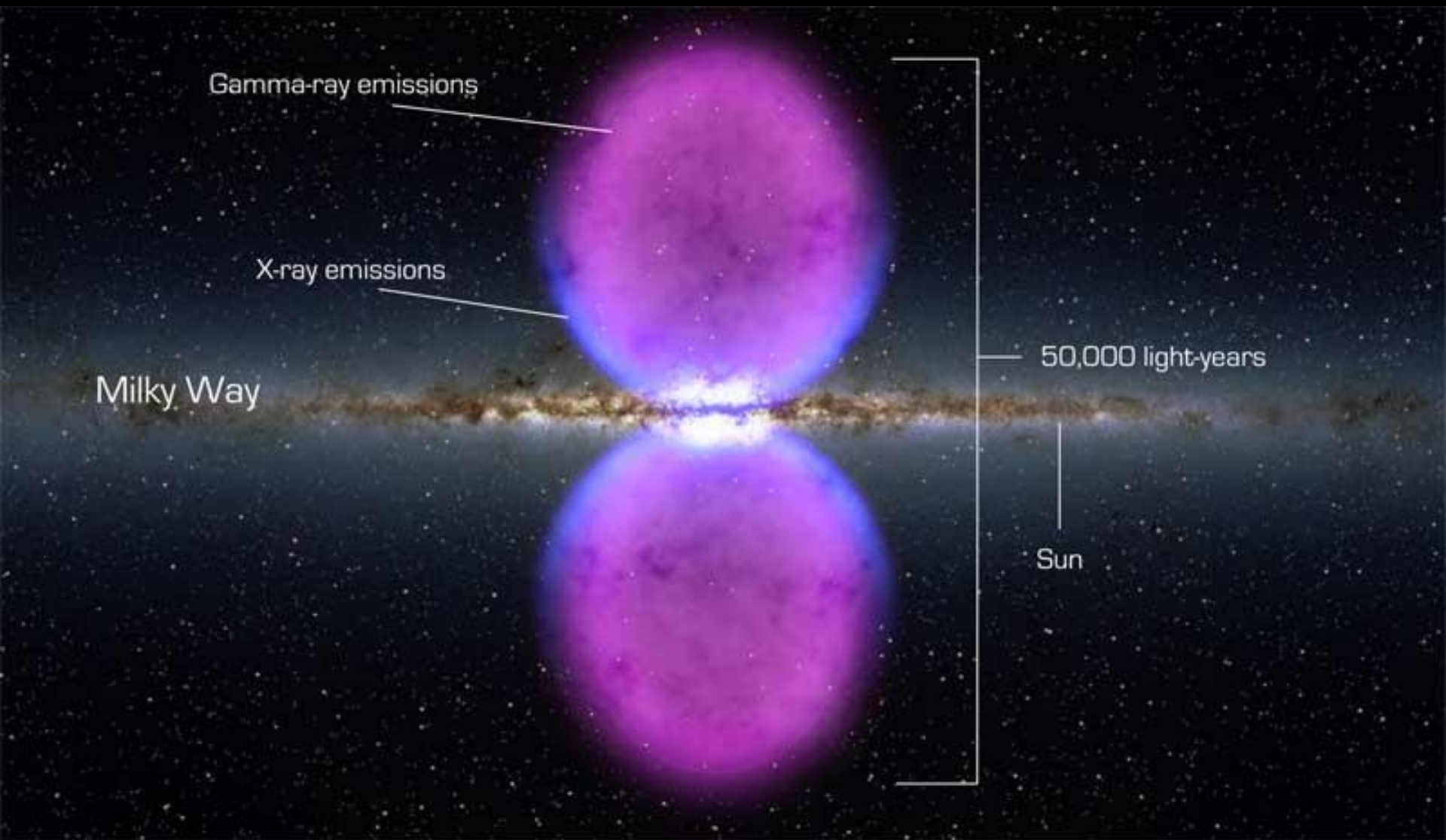


INTEGRAL (ESA/NASA/RKA), 2002-... X-ray, Gamma 3 keV - 1 MeV

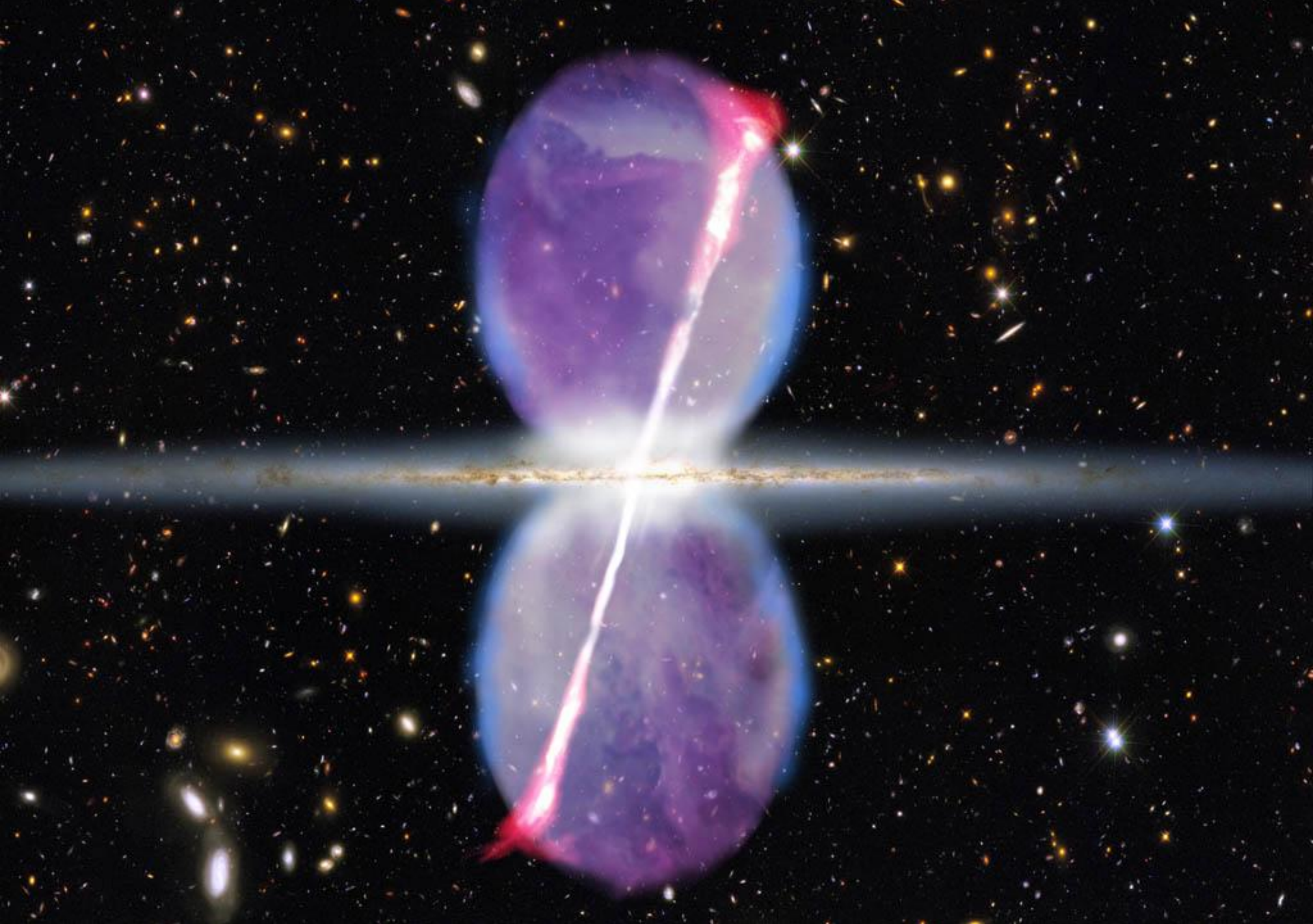
# Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



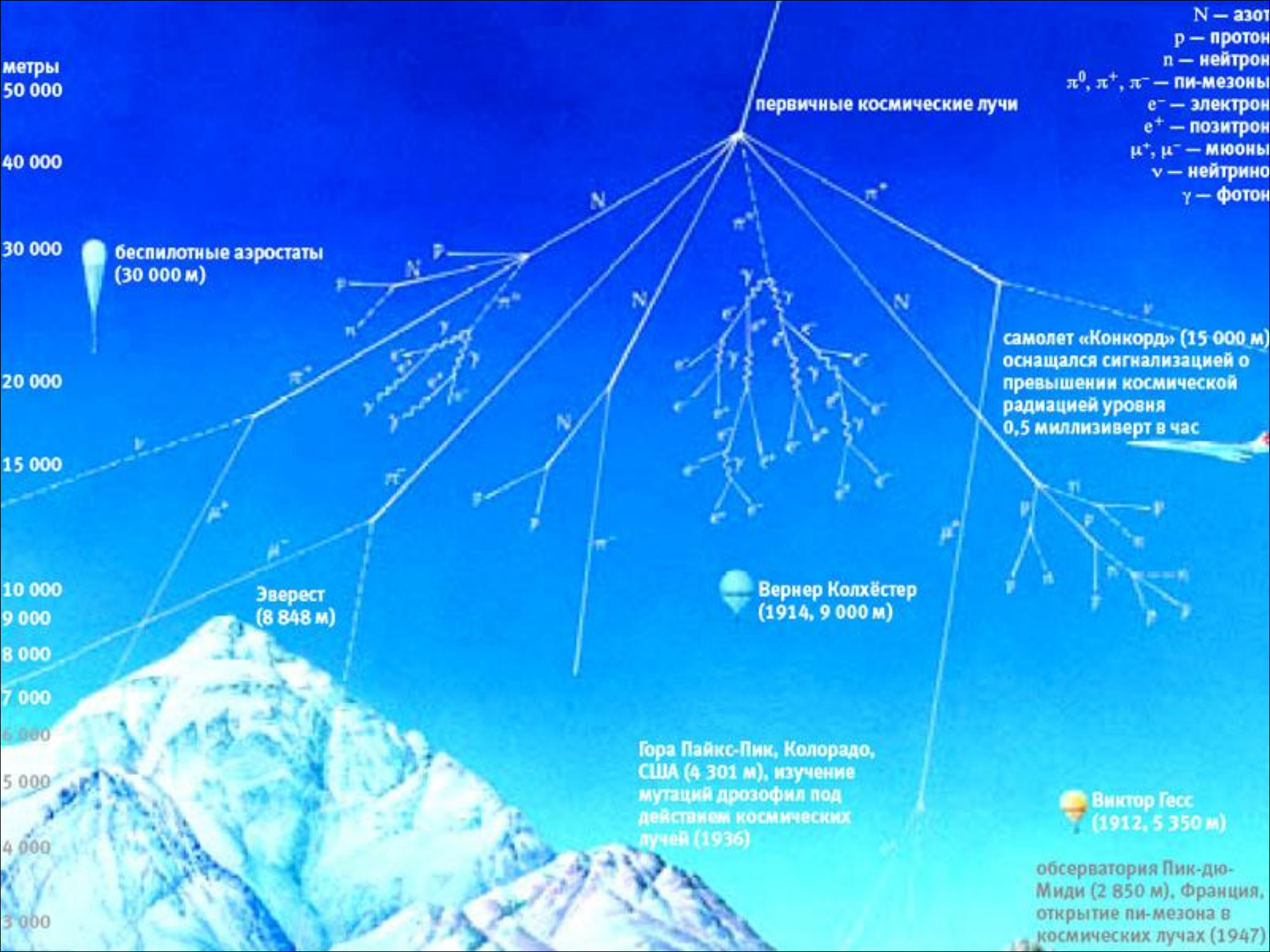
Гамма-лепестки над Млечным Путем (над центром Галактики?)

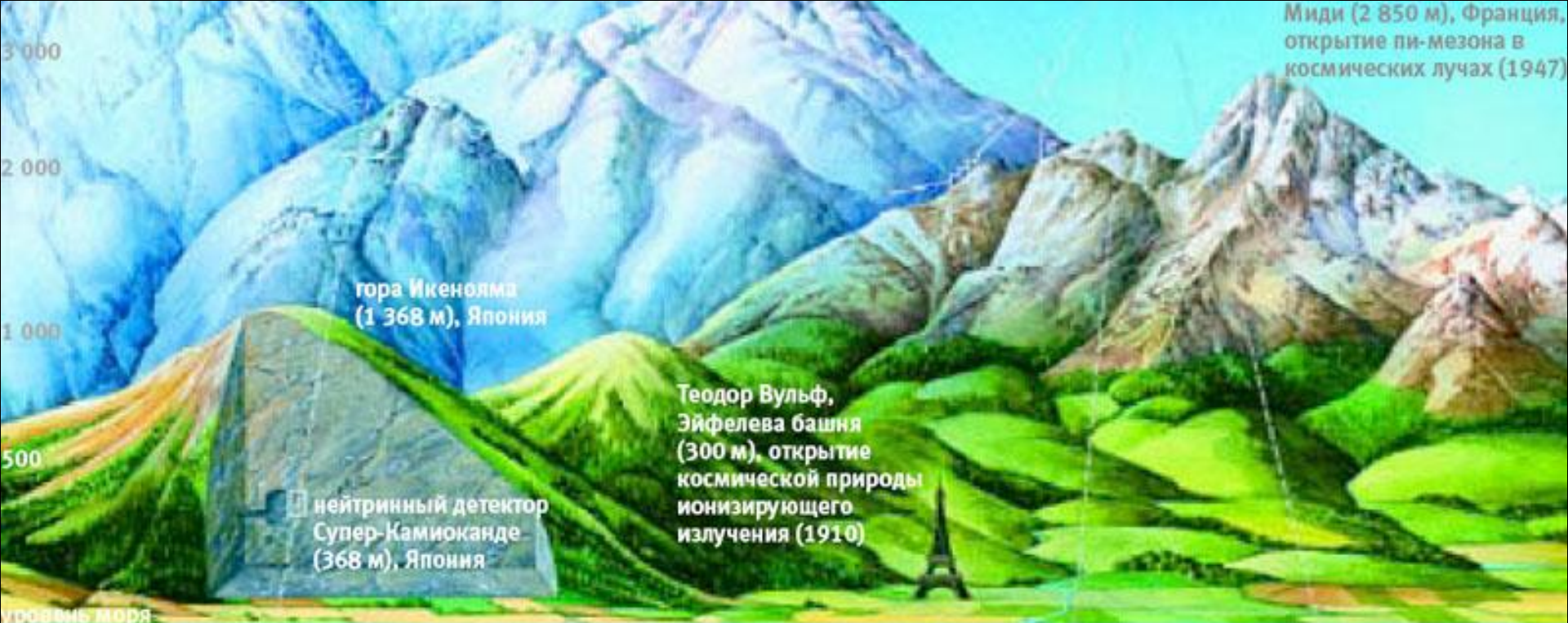


Гамма-пузыри: интерпретация гамма-лепестков



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





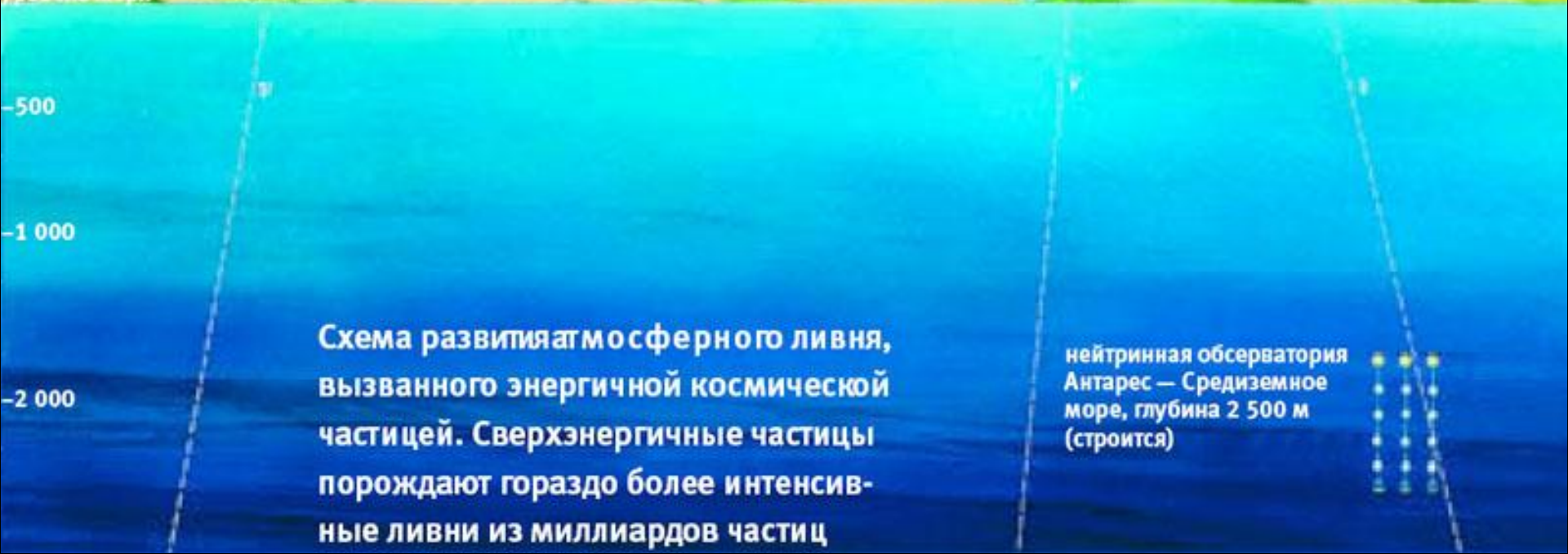
Миди (2 850 м), Франция, открытие пи-мезона в космических лучах (1947)

гора Икенояма (1 368 м), Япония

нейтринный детектор Супер-Камиоканде (368 м), Япония

Теодор Вульф, Эйфелева башня (300 м), открытие космической природы ионизирующего излучения (1910)

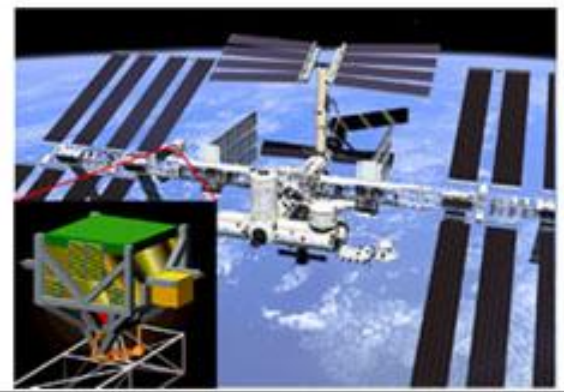
уровень моря



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

нейтринная обсерватория Антарес — Средиземное море, глубина 2 500 м (строится)

Space



50 km

$e/\gamma$

$\mu$

$h$

Atmosphere



0 km



Underground







Место взаимодействия  $\sim 15-20$  км

Первичная частица

**ШАЛ**

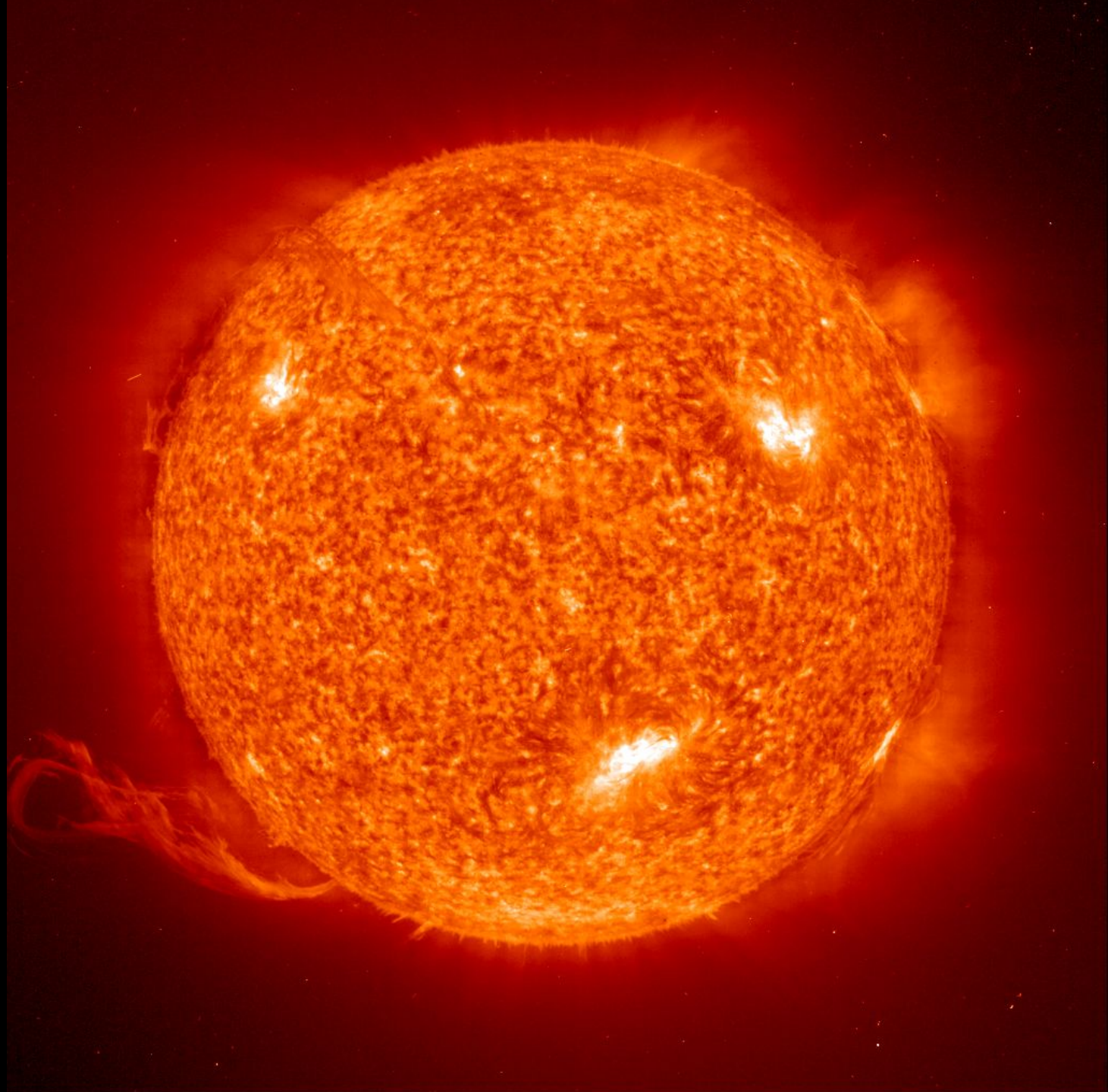
Фронт черенковского излучения

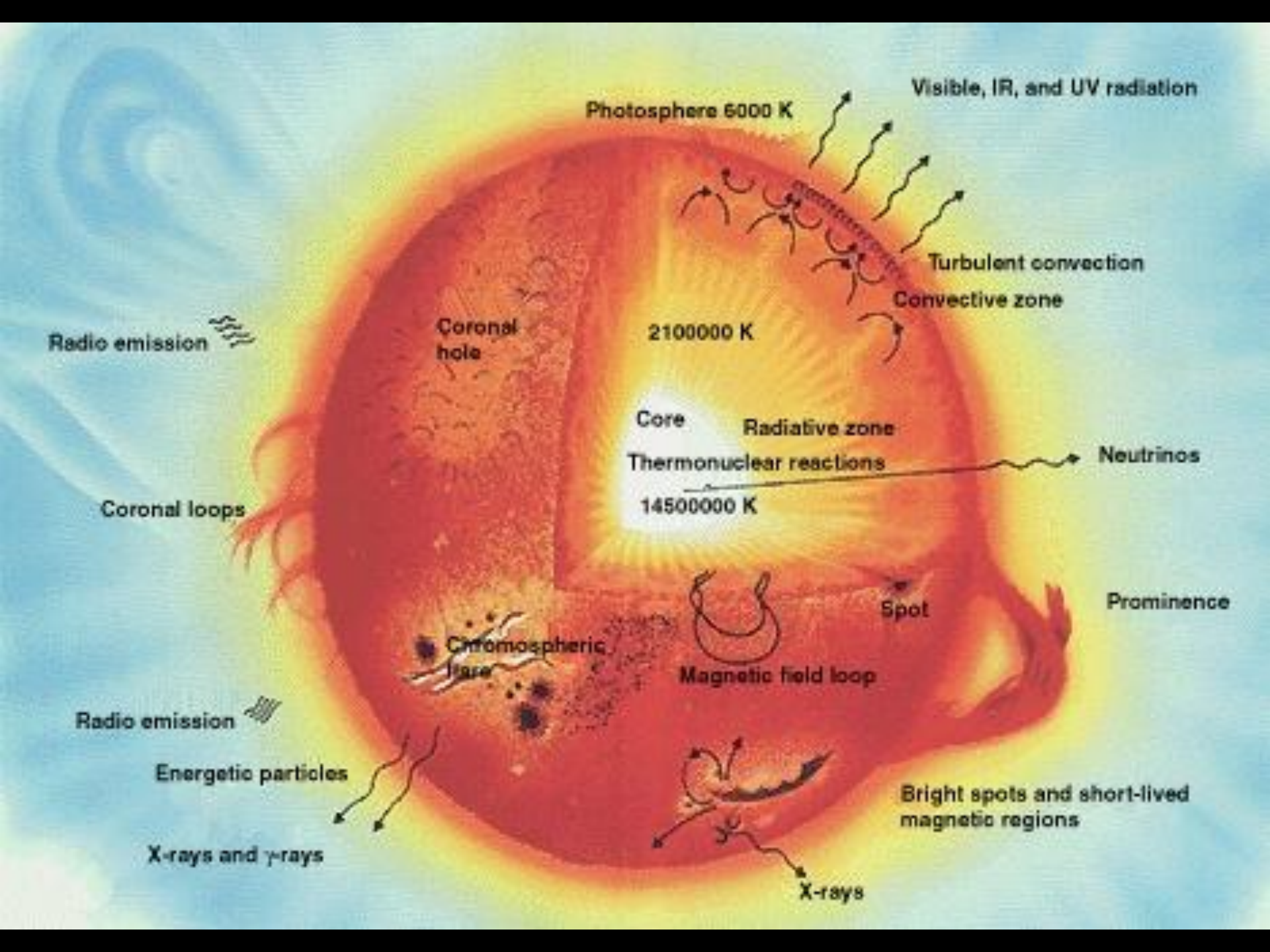
Ультрафиолет

Наземная установка - коллектор света









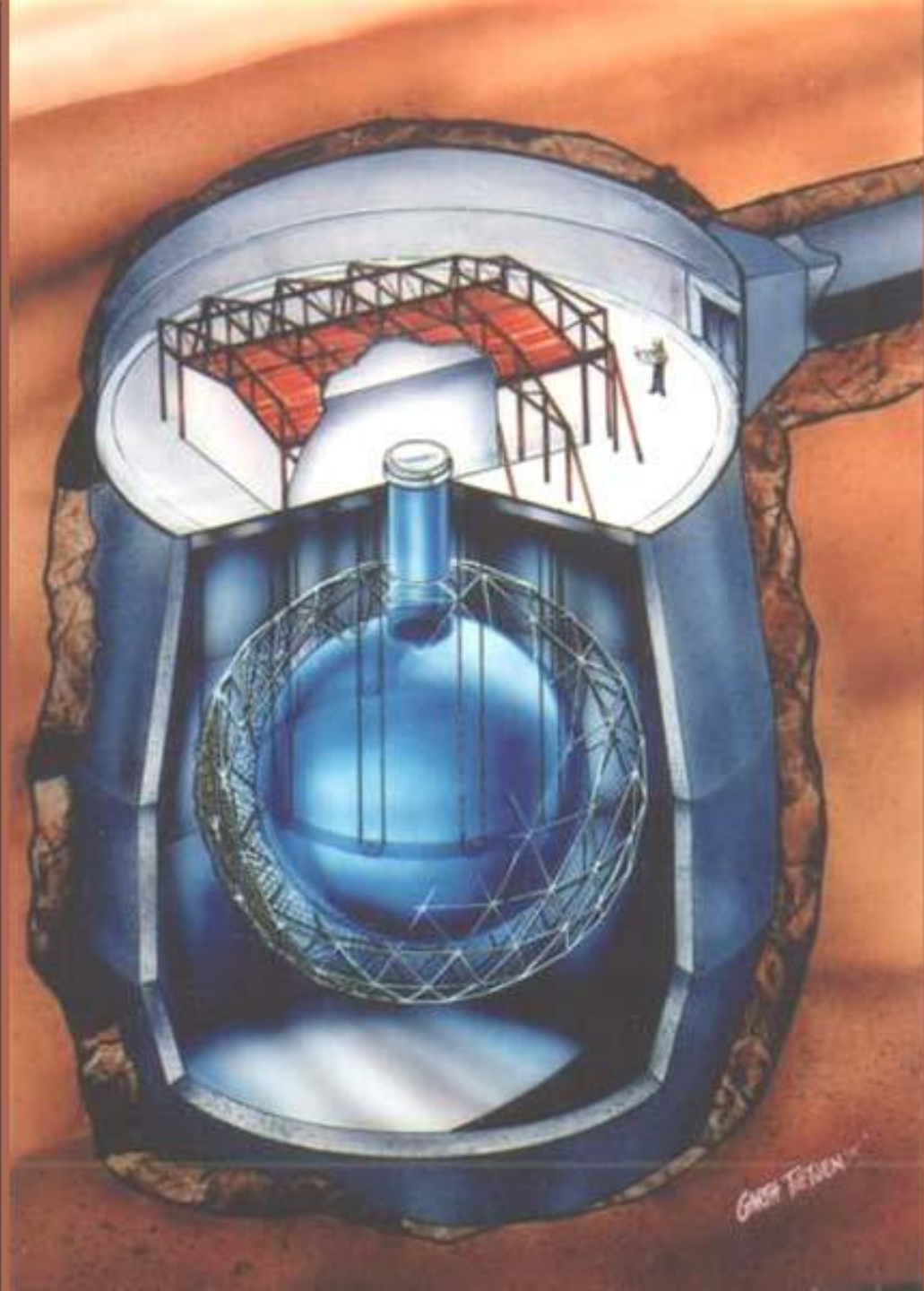
Садберийская нейтринная обсерватория  
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

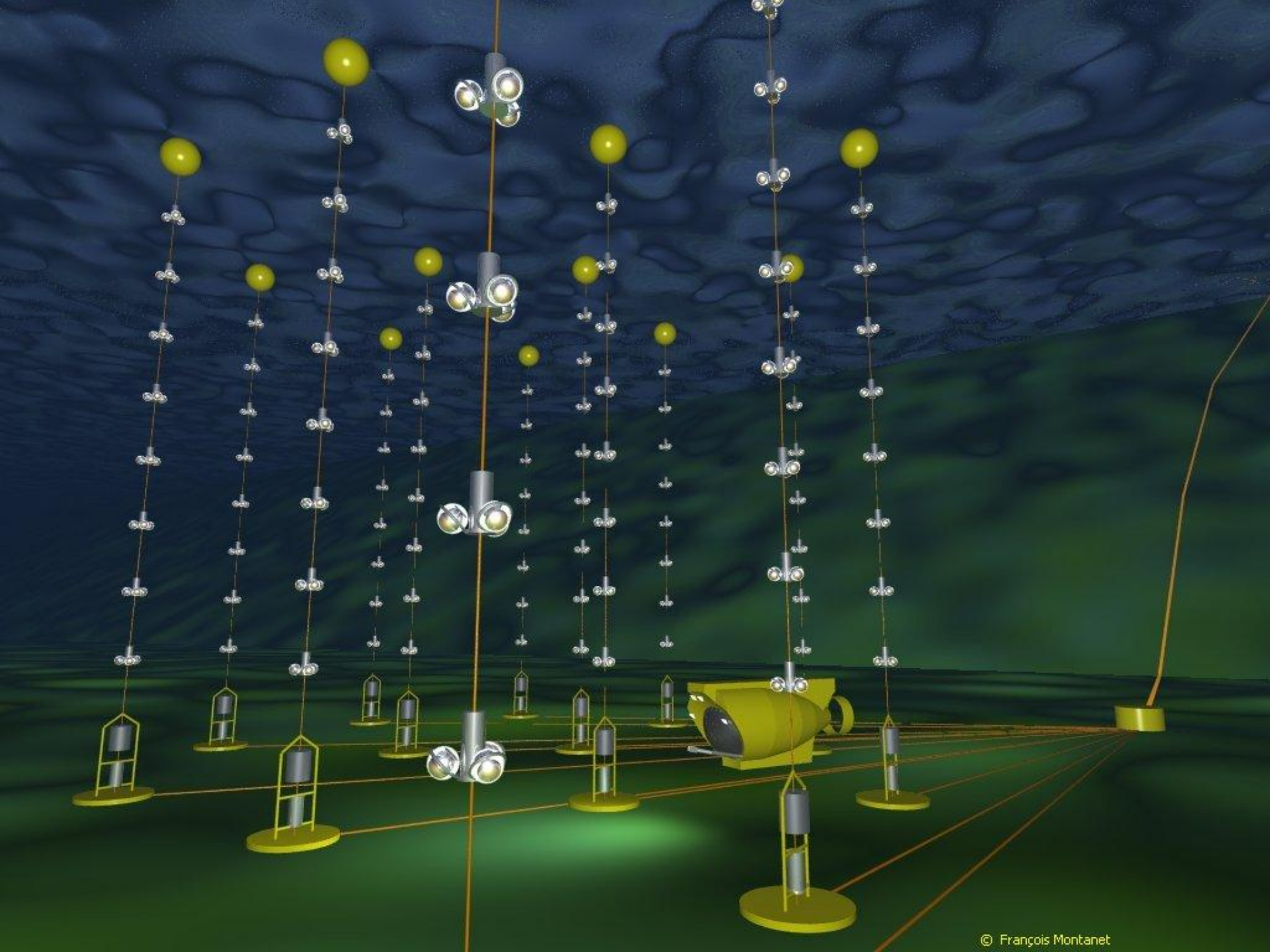
1000 тонн тяжелой воды ( $D_2O$ ) в  
прозрачном акриловом (плексигласовом)  
шаре диаметром 12 м, окруженном  
9600 ФЭУ на геодезической сфере,  
диаметром 18 м, погруженной в  
резервуар с чистой водой  
на глубине 2 км.

В 2002 г. здесь решена проблема  
солнечного нейтрино -  
зарегистрированы все три типа нейтрино  
( $\nu_e$   $\nu_\mu$   $\nu_\tau$ ) в таком общем количестве,  
сколько  $\nu_e$  должно рождаться на Солнце

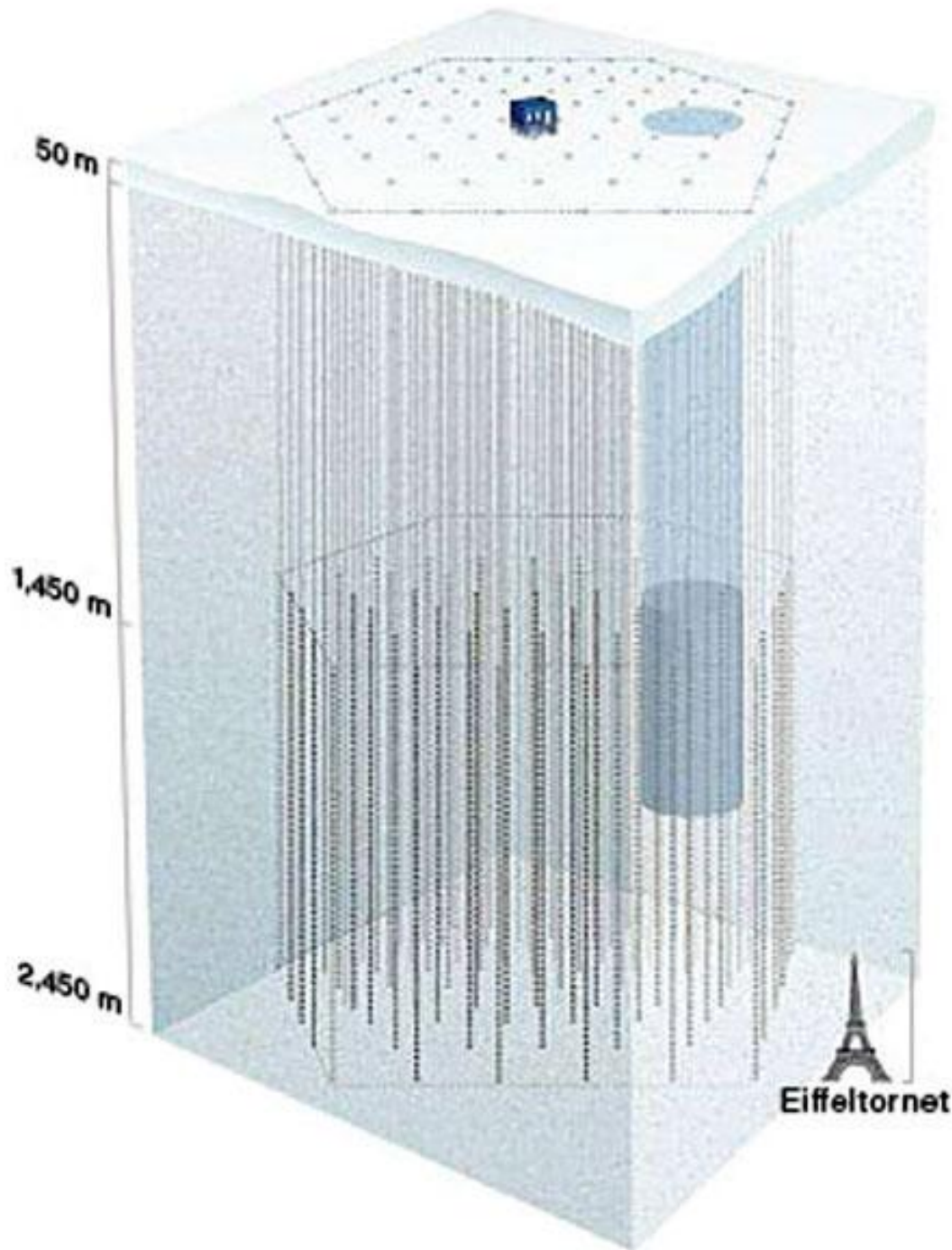
Тем самым доказано, что:

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



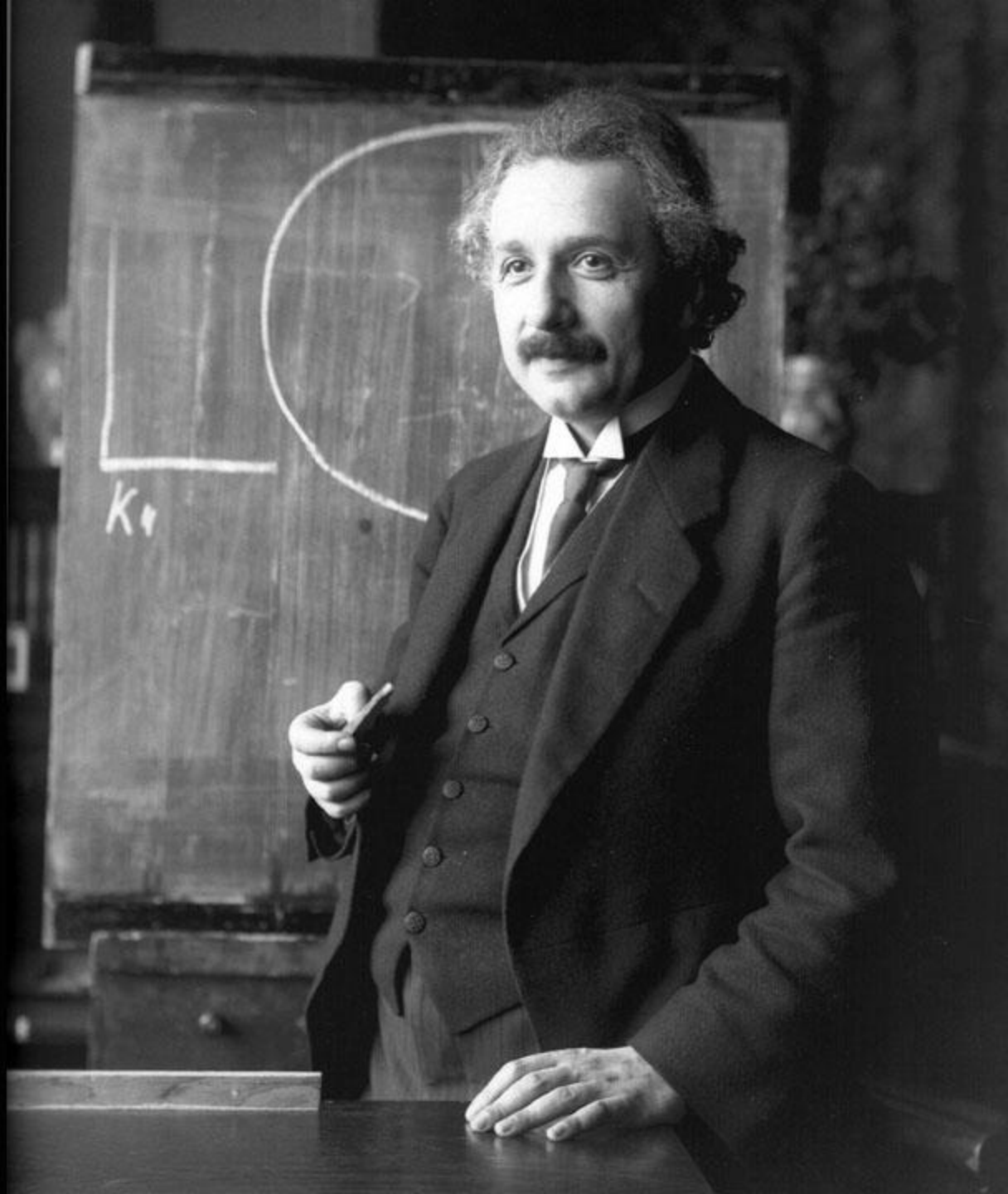
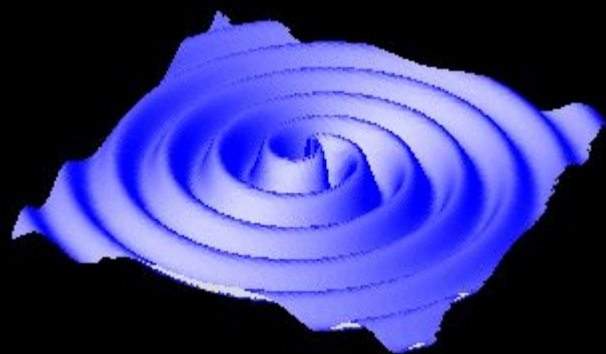
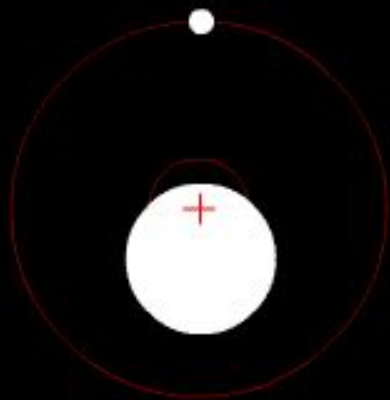


# Антарктида Скотт-Амундсен IceCube

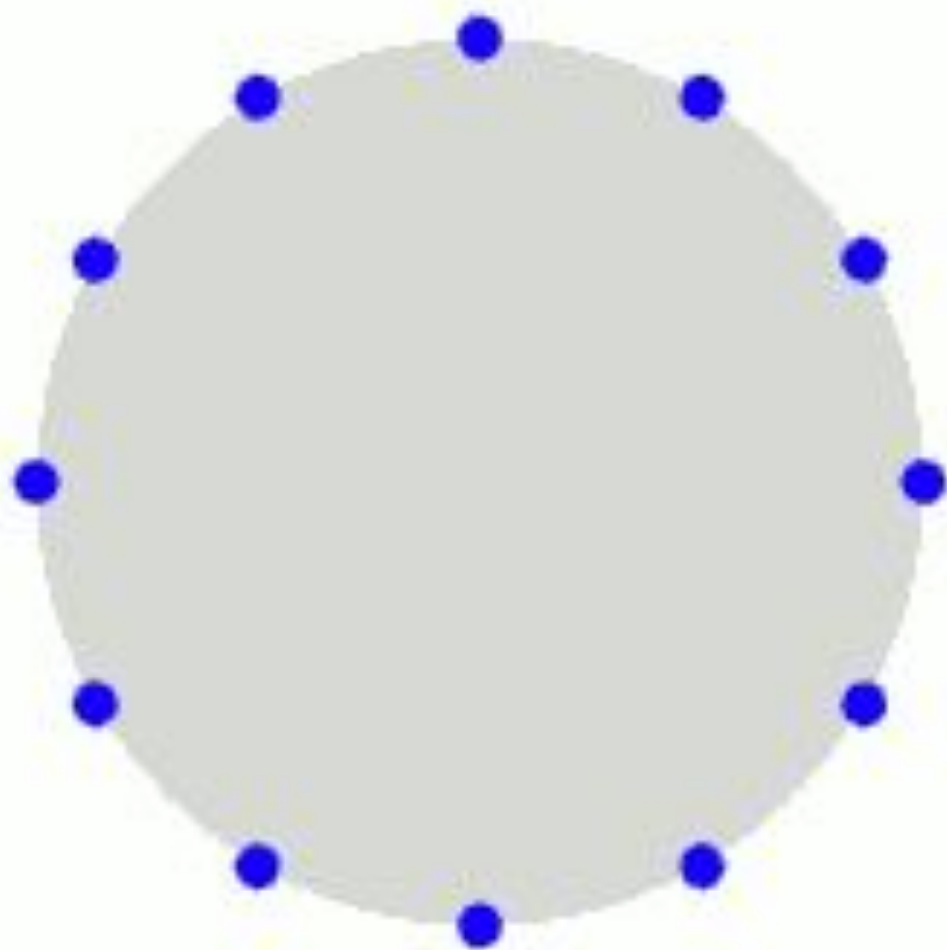


# Гравитационные волны

1916 → 2016



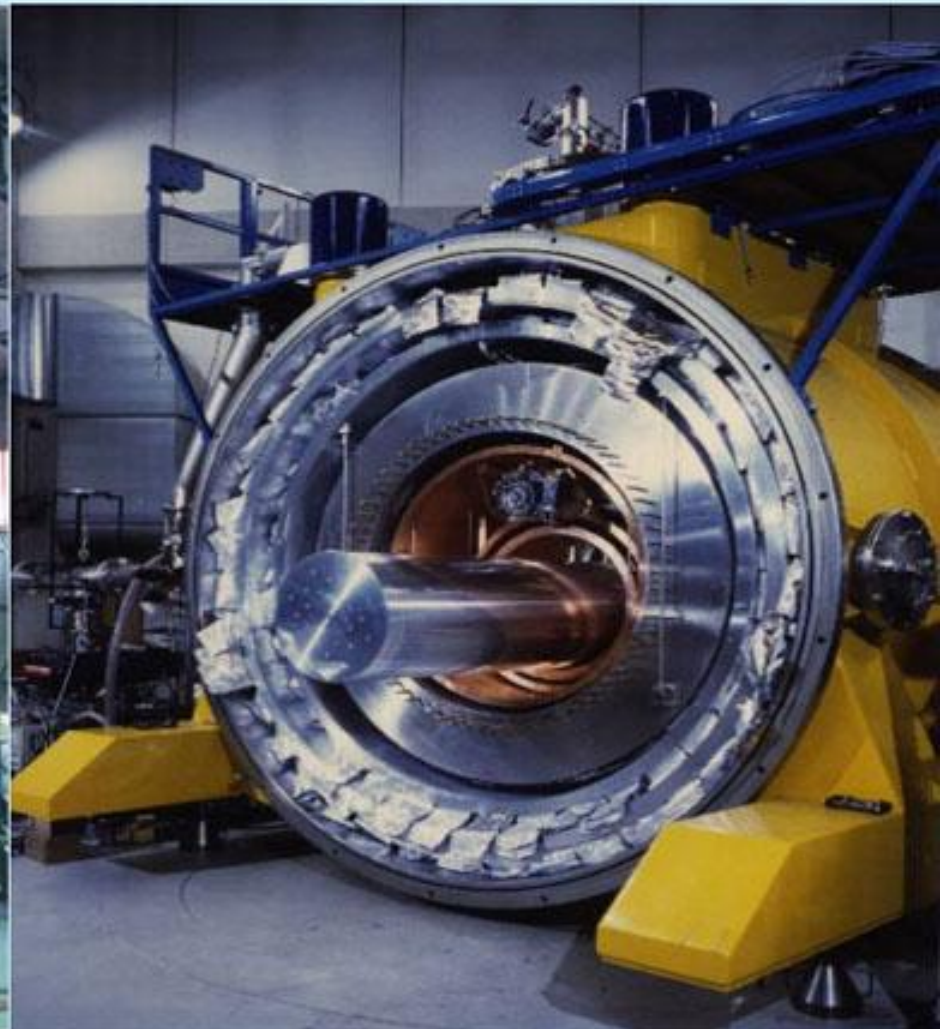






**JOSEPH WEBER WITH  
GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR**

детекторы Наutilus (слева) и Аурига

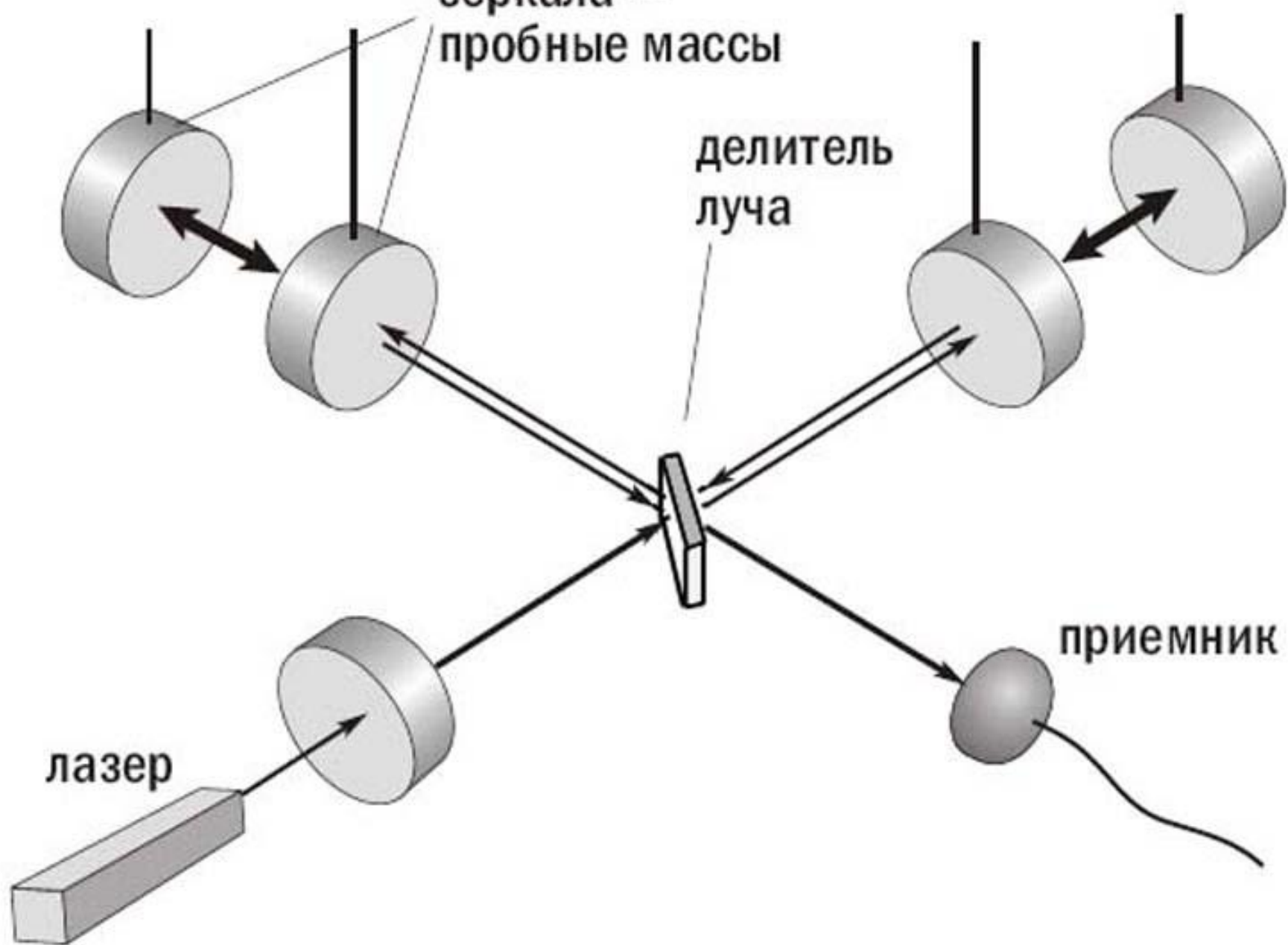


зеркала —  
пробные массы

делитель  
луча

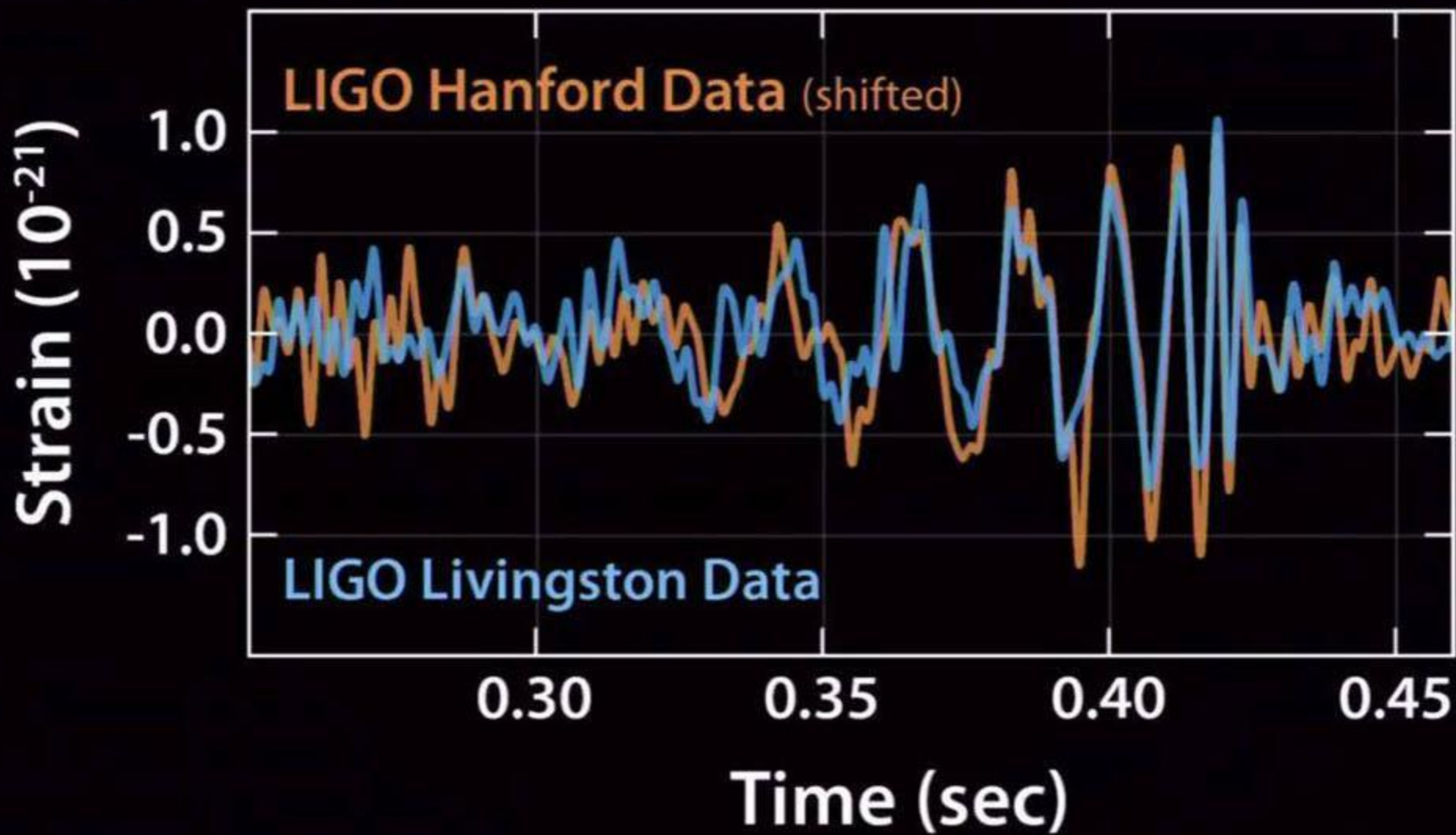
приемник

лазер

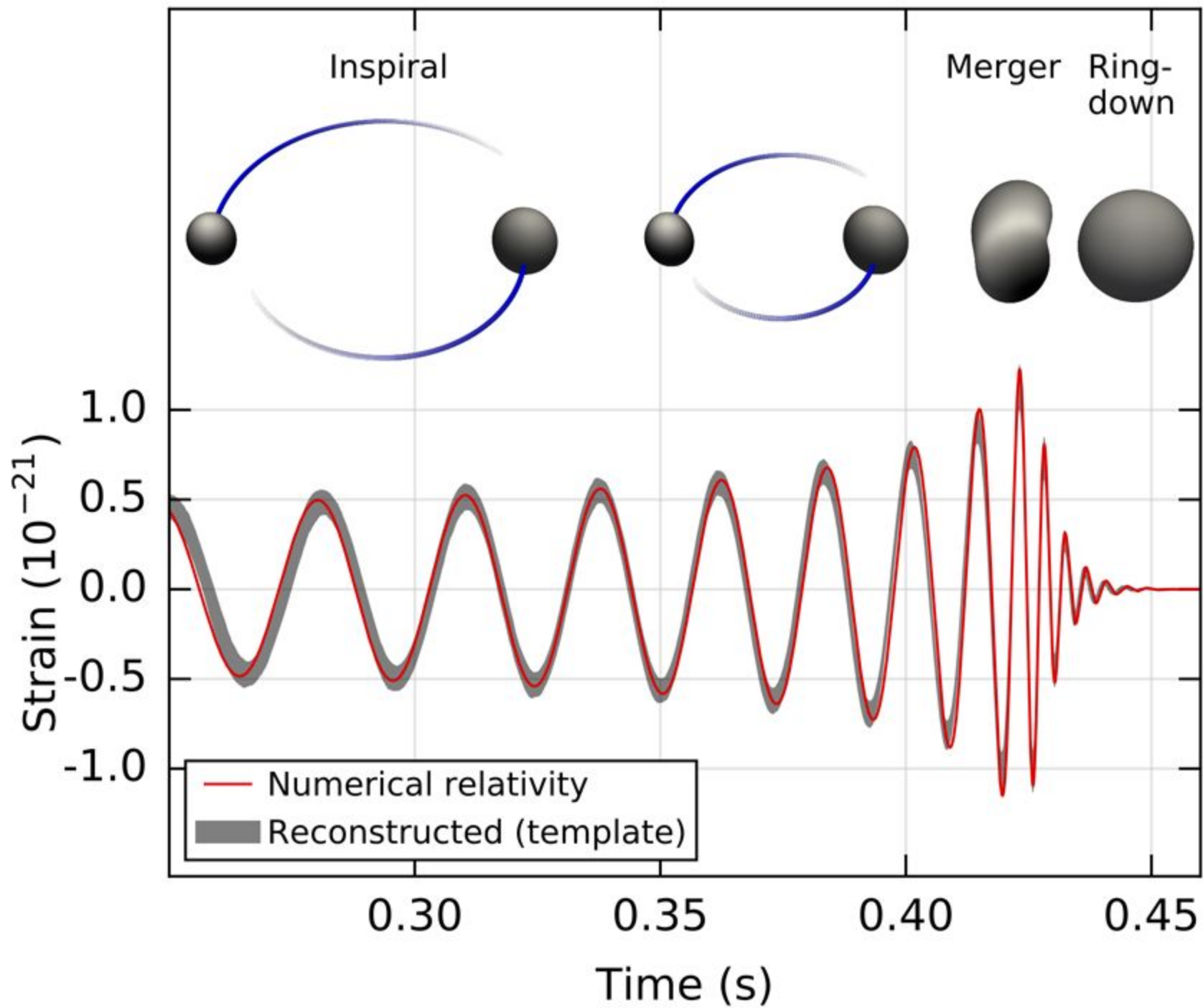


Гравитационный интерферометр на подвесных зеркалах





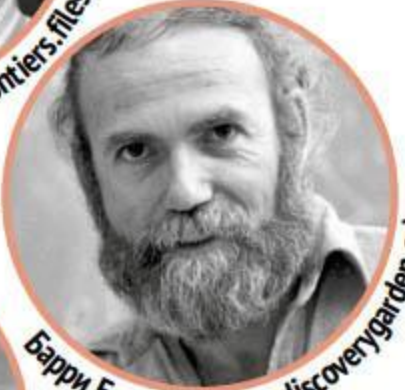
14 September 2015





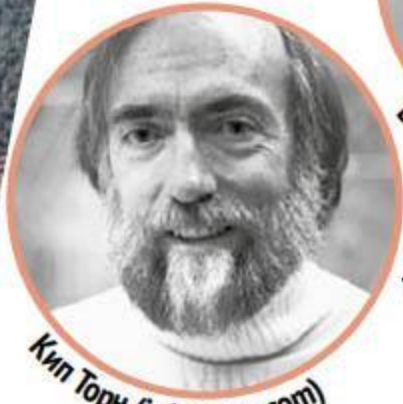
Райнер Вайс ([quantumfrontiers.files.wordpress.com](http://quantumfrontiers.files.wordpress.com))

1932 г.



Барри Барिश ([caltech.discoverygarden.ca](http://caltech.discoverygarden.ca))

1936 г.



Кип Торн ([iv1.lisimg.com](http://iv1.lisimg.com))

1940 г.

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



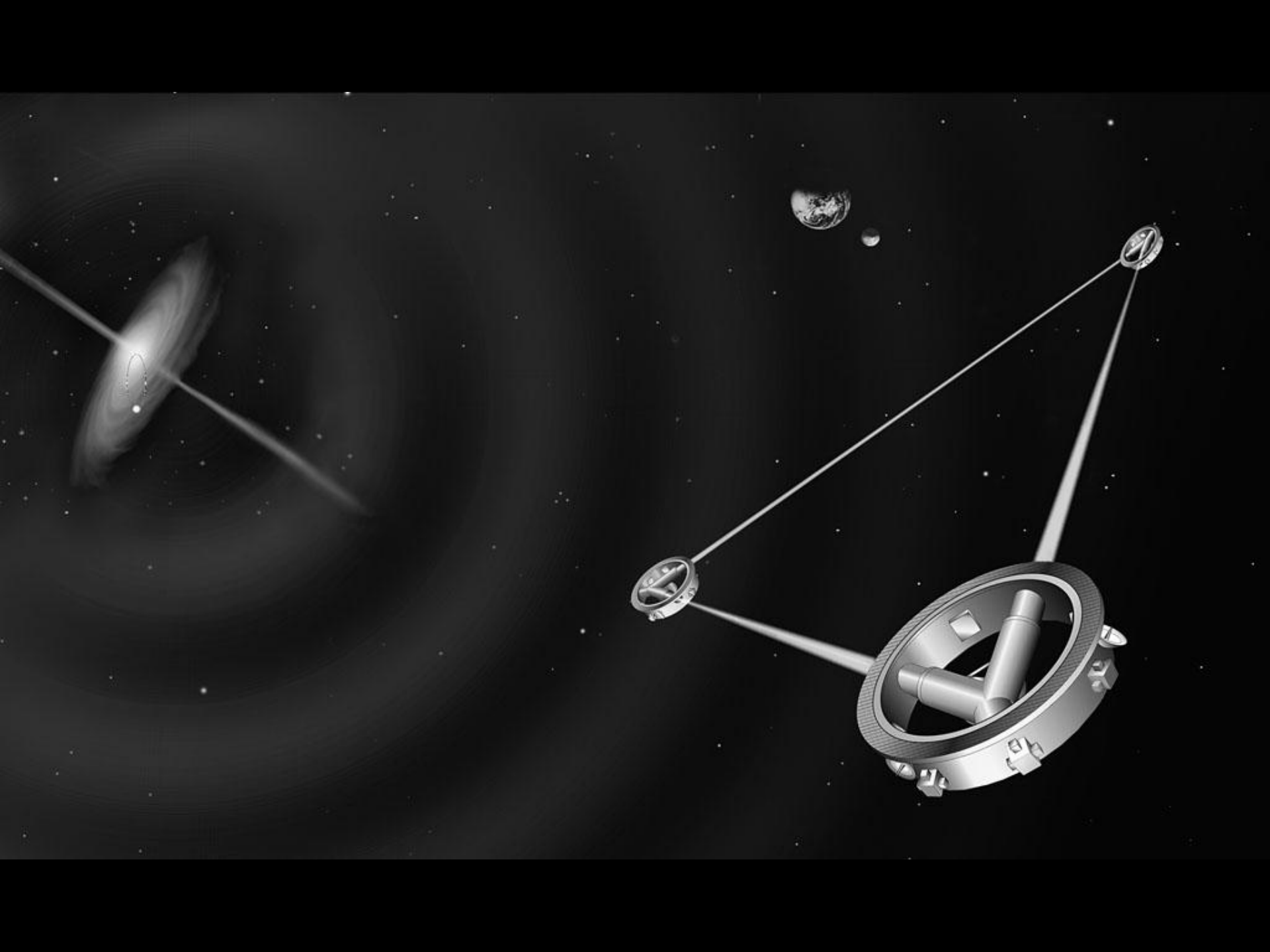
## Научные результаты

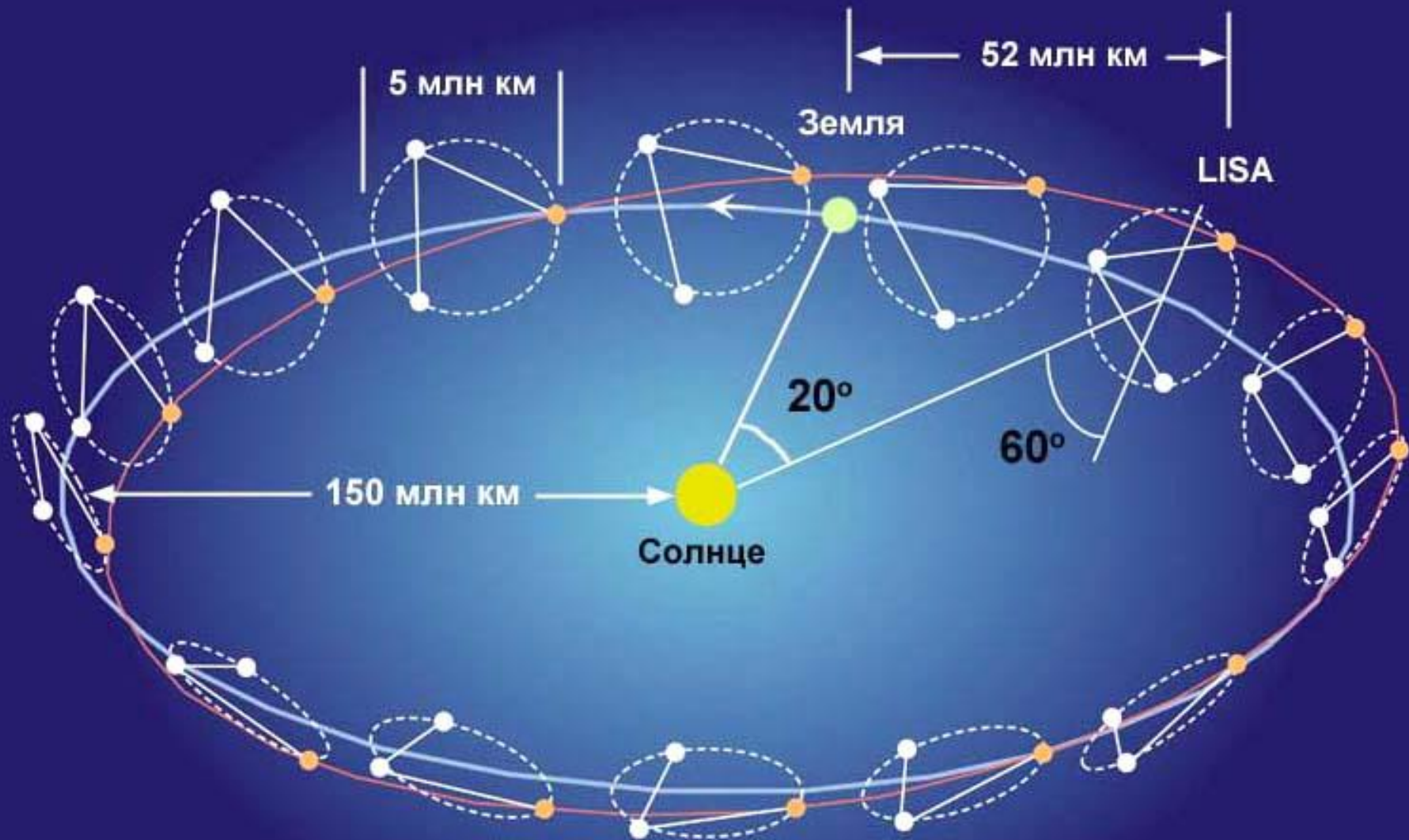
- Прямое обнаружение гравитационных волн.
- Прямое доказательство поперечности гравитационных волн
- Открытие нового способа наблюдения за Вселенной (гравитационно-волновая астрономия).
- Объяснение проблемы гравитационного дальнего действия.
- Прямое доказательство существования чёрных дыр.
- Прямое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

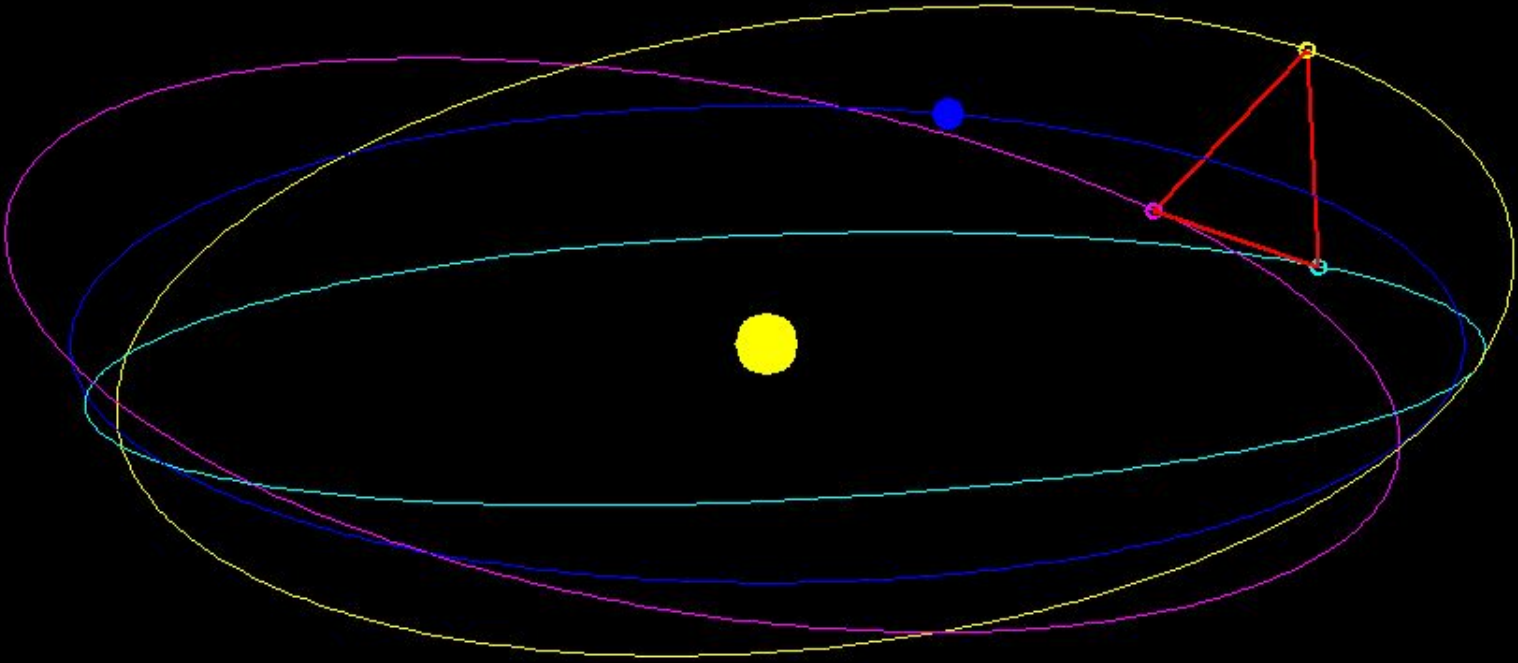
Группа В.Б.Брагинского (МГУ)

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