



# Телескопы

Шевченко В.Г.

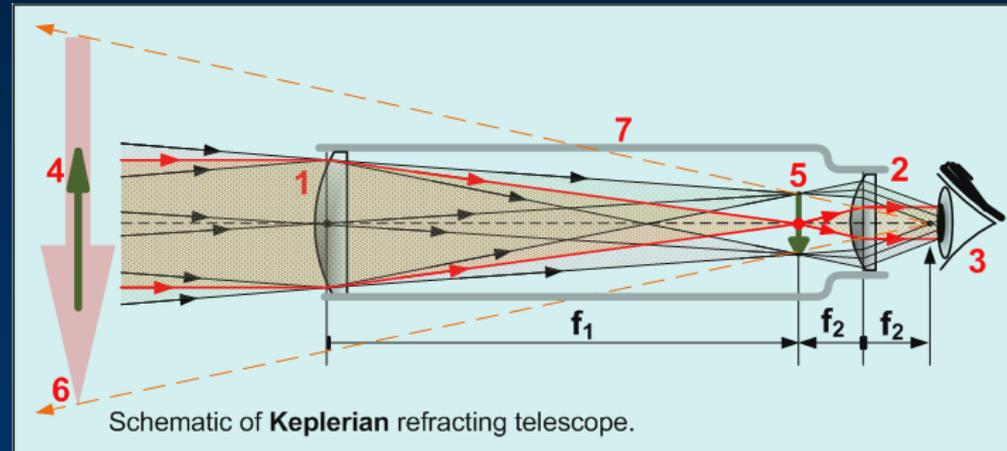
*Кафедра астрономии  
ХНУ имени В.Н. Каразина*

# Типы телескопов: рефракторы и рефлекторы

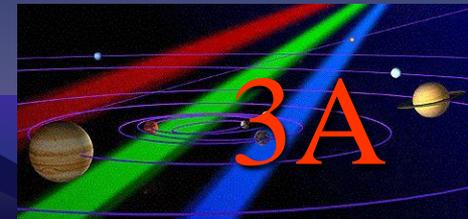
Йеркский 102 см рефрактор



Схематическое изображение  
телескопа Кеплера



1 – объективная линза; 2 – окулярная линза; 3 –  
зрачок; 4 – предмет наблюдения;  
5 – изображение предмета (фокальная  
плоскость);

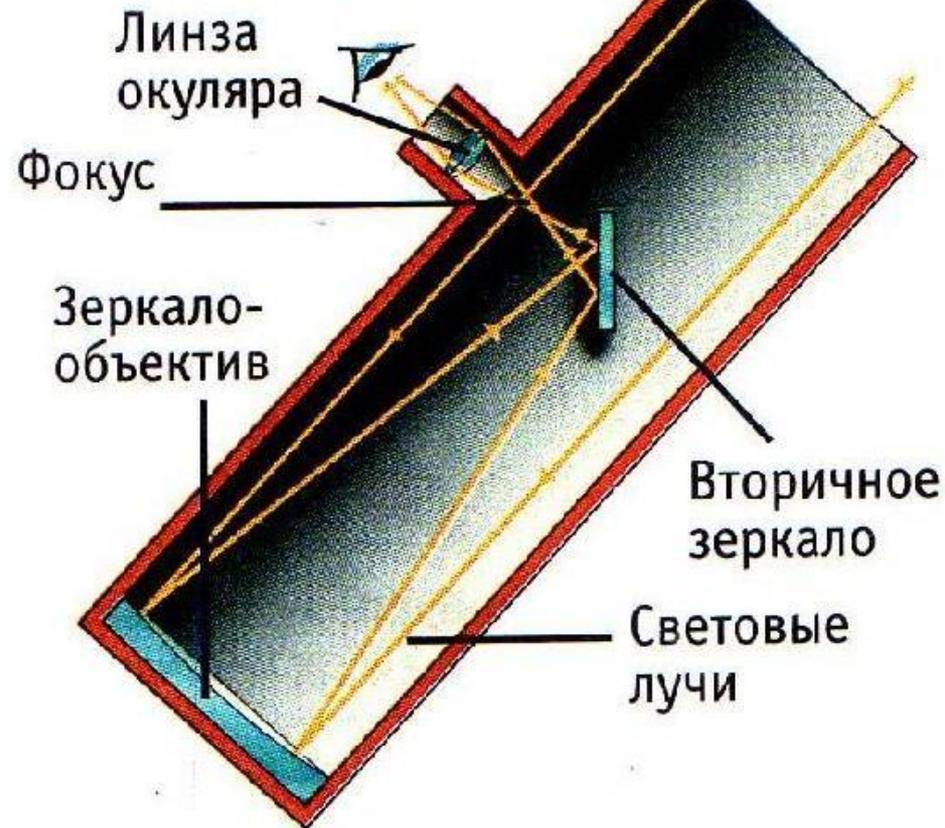


# Типы телескопов: рефракторы и рефлекторы

70 см рефлектор  
Института астрономии ХНУ



## Телескоп-рефлектор



# Некоторые характеристики телескопов

Увеличение:

Светосила:

Масштаб:

Разрешающая способность:

$$G = F_1/F_2$$

$$A = D_1/F_1$$

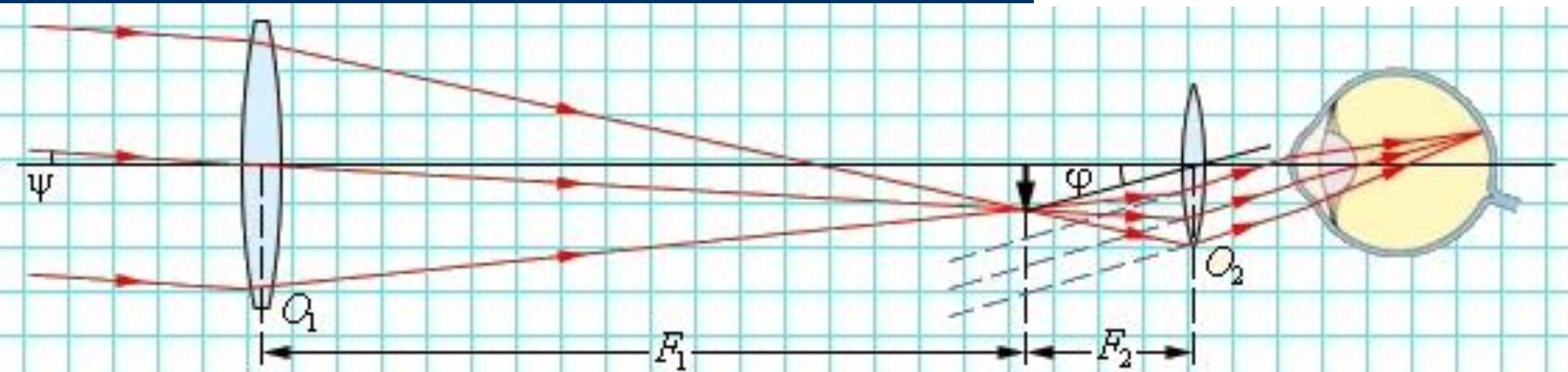
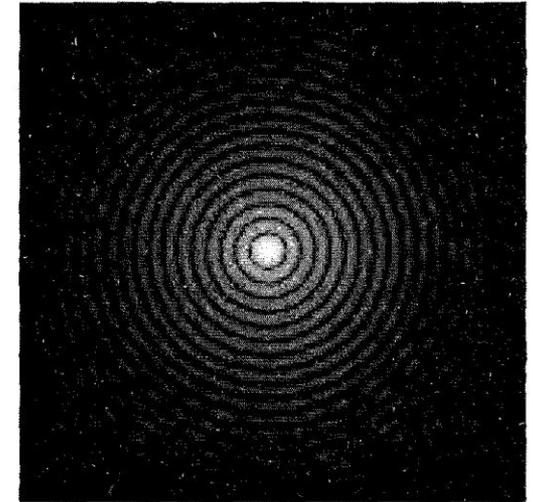
$$L = F_1 \operatorname{tg} \Psi$$

$$\alpha'' = 1.22 \lambda/D_1 \cdot 206265$$

$$G = D_1/D_2$$

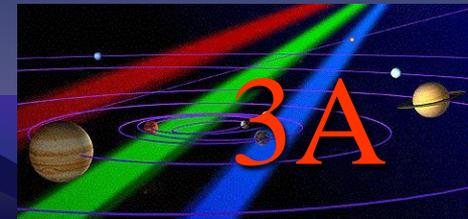
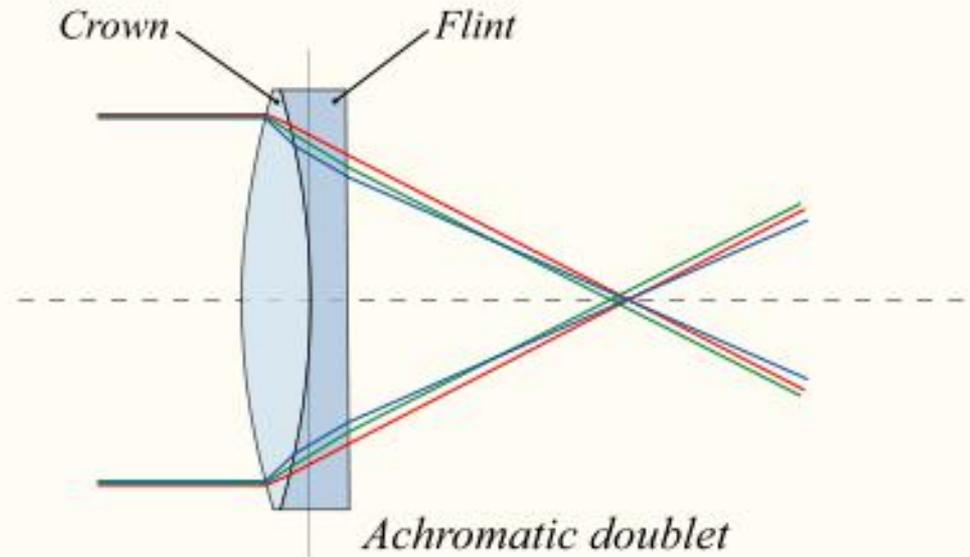
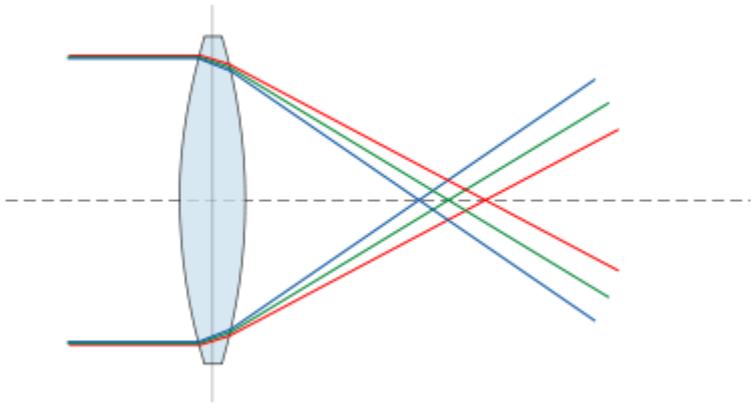
Проницающая сила  
(визуальные наблюдения):

$$m = 7.1 + 5 \lg D_1(\text{cm})$$



# Аберрации телескопов

Физическая:  
хроматическая



Различные сорта стекла, которых сейчас более сотни, характеризуются следующими постоянными:

1) *средний показатель преломления*  $n_\lambda$  для некоторой длины волны  $\lambda$  (прежде его давали для линии D); величина его заключена в пределах от 1,47 до 1,92 для различных сортов, причем можно написать интерполяционную формулу

$$n_\lambda = n_0 + \frac{c}{(\lambda - \lambda_0)^\alpha},$$

где  $c$ ,  $\lambda_0$ ,  $\alpha$  — постоянные для данного сорта стекла;

2) *полная дисперсия*  $n_{A'} - n_H$ ;

3) *средняя дисперсия*  $n_F - n_C$ ;

4) *частная дисперсия*  $n_D - n_C$ ,  $n_F - n_D$ ,  $n_{G'} - n_F$ ;

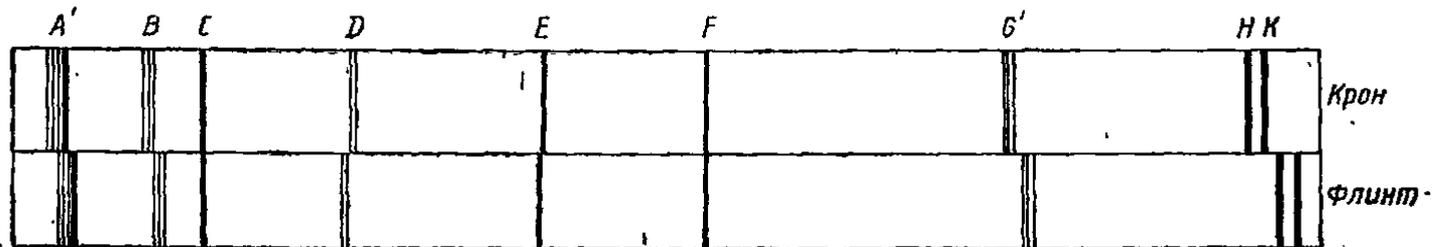
5) *относительная средняя дисперсия*  $\omega = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$ ;

6) *коэффициент средней дисперсии* (число Аббе)  $\nu = \frac{1}{\omega} = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$  в пределах от 70 до 20 для различных сортов стекла;

7) *относительная частная дисперсия*

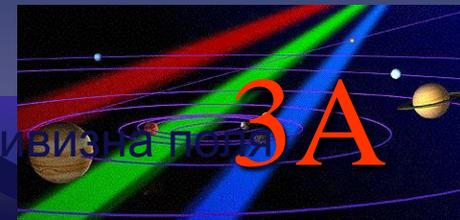
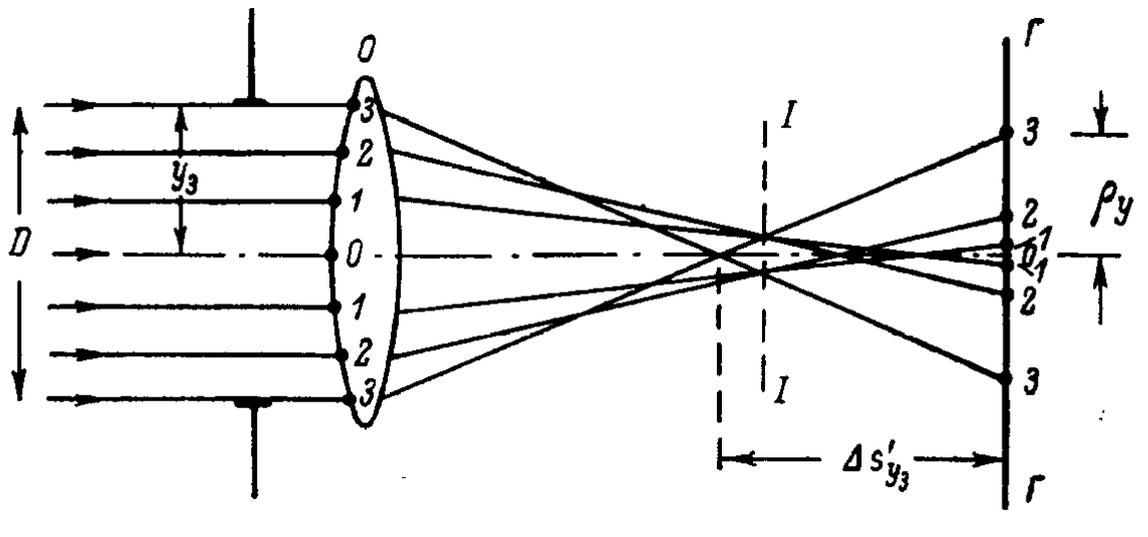
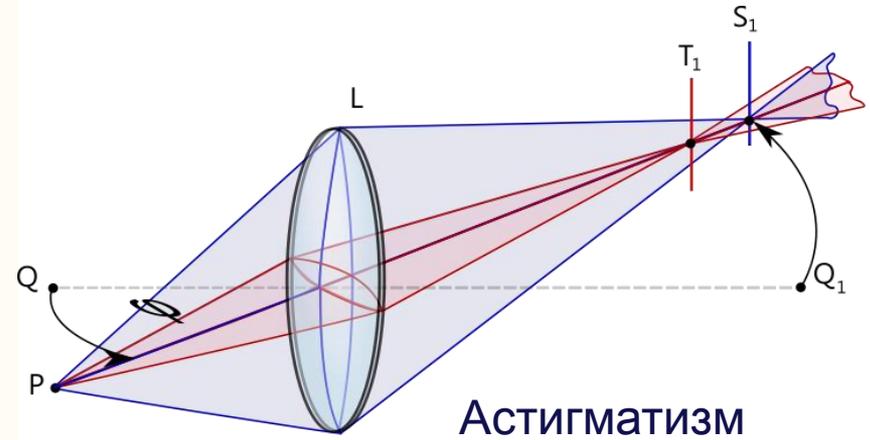
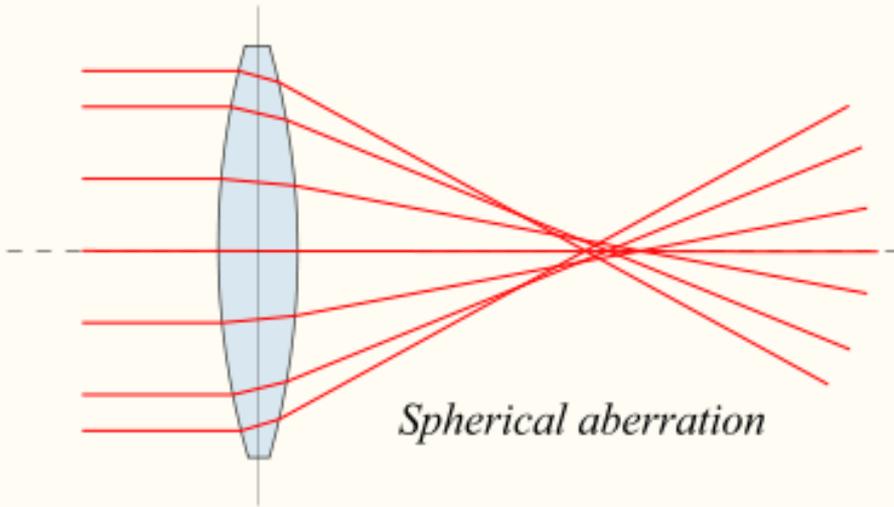
$$p_{DC} = \frac{n_D - n_C}{n_F - n_C}, \quad p_{FD} = \frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}, \quad p_{G'F} = \frac{n_{G'} - n_F}{n_F - n_C}.$$

Стекла с равными относительными частными дисперсиями в соответствующих участках спектра называются *стеклами с пропорциональными спектрами*.



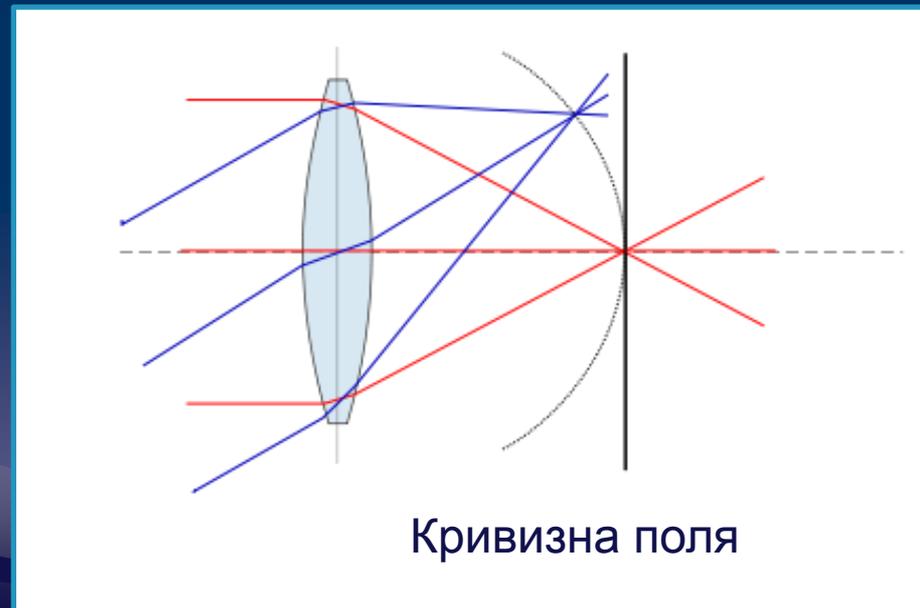
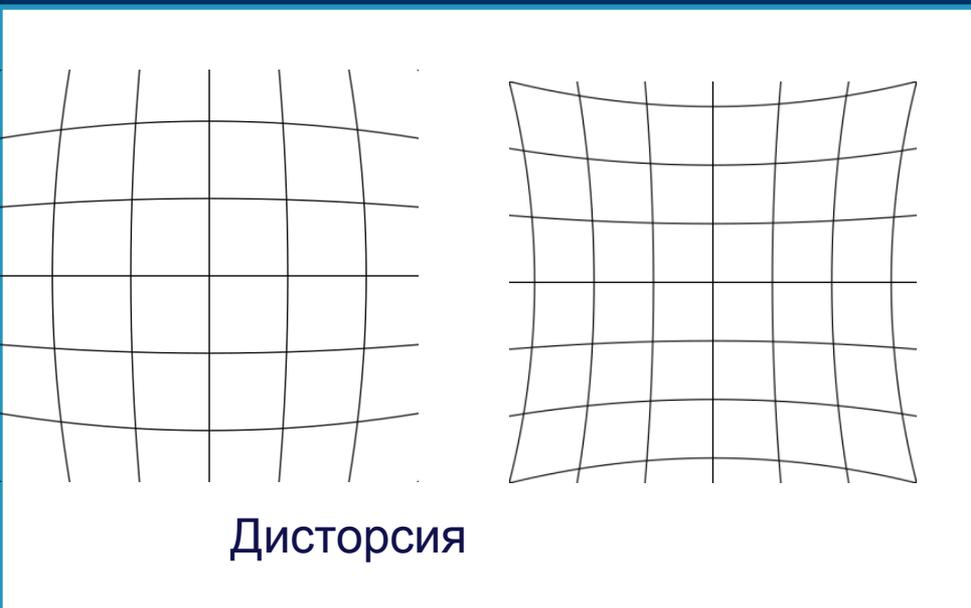
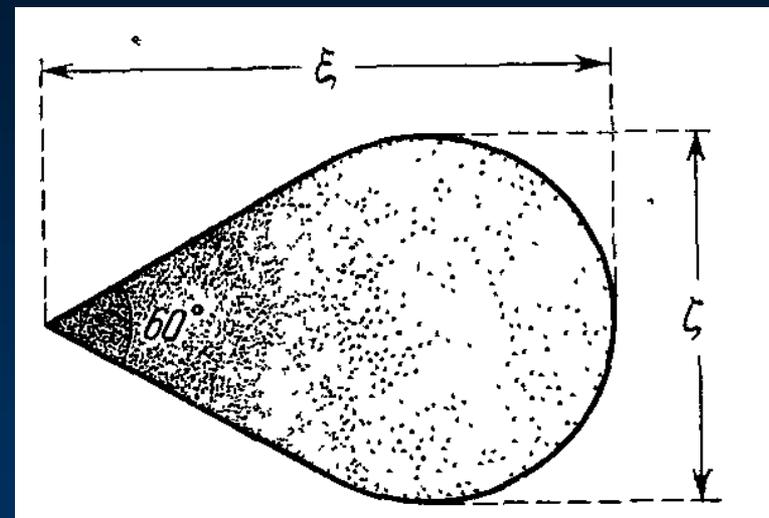
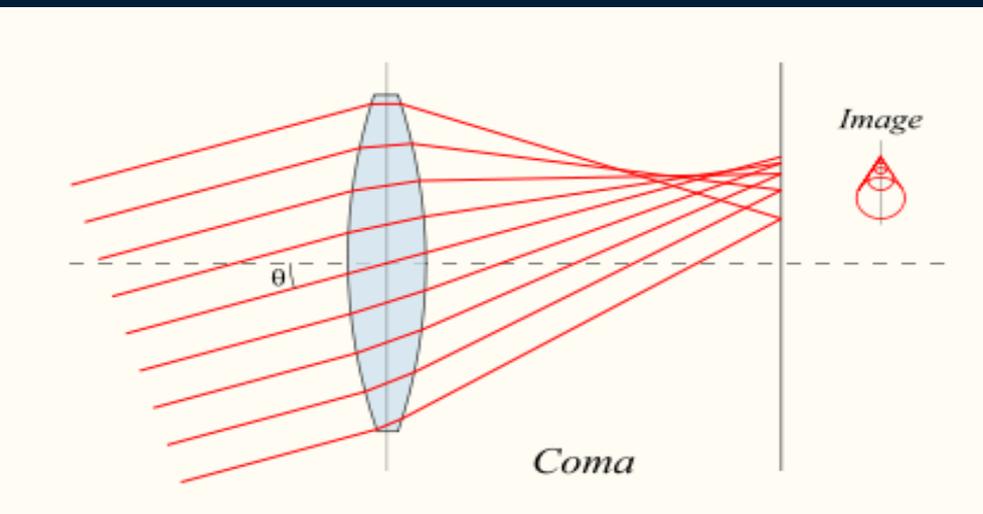
# Аберрации телескопов

Геометрические (осевые):



# Аберрации телескопов

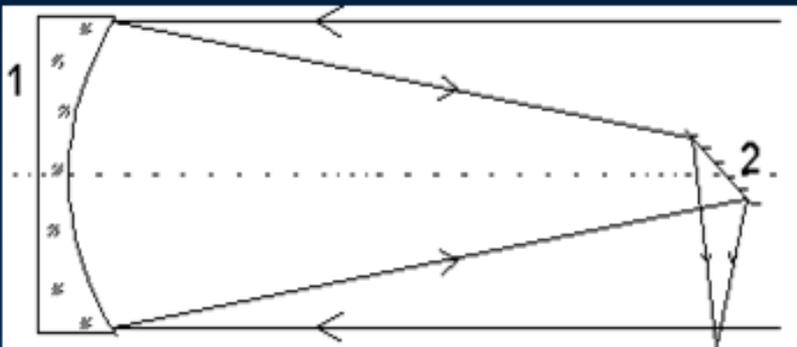
Геометрические (внеосевые):



# Некоторые системы телескопов - рефракторов

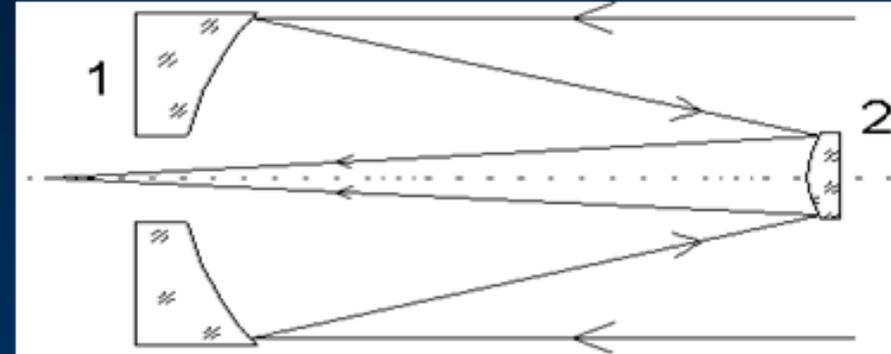
$$F = \frac{F_1 F_2}{F_1 + F_2 - d},$$

Система Ньютона (1662)



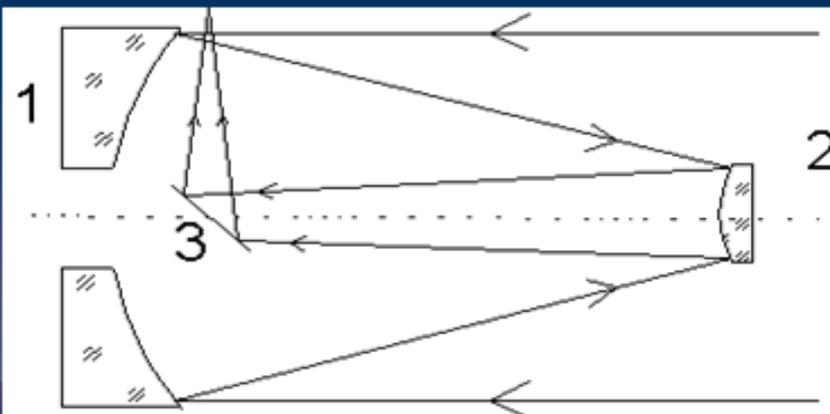
1 - парабола; 2 - плоскость (зеркало 1 можно делать сферическим при маленьком относительном отверстии)

Система Кассегрена (1676)



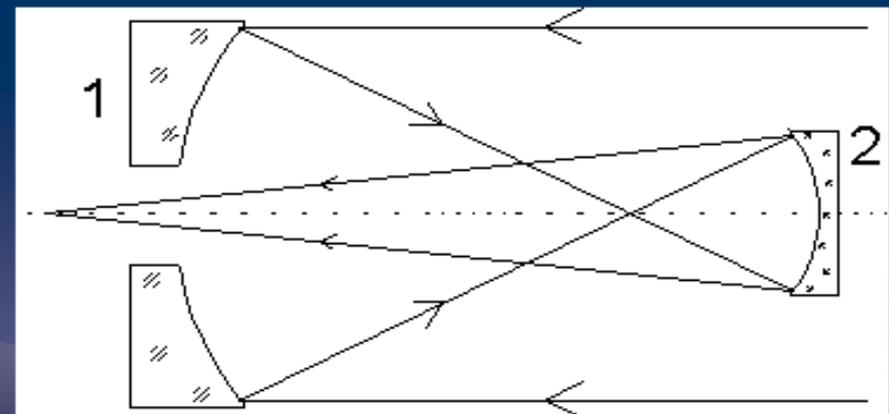
1 - парабола; 2 - гипербола (хорошее качество изображения при небольшом поле зрения)

Система Несмита



1 - парабола; 2 - гипербола; 3 - плоскость

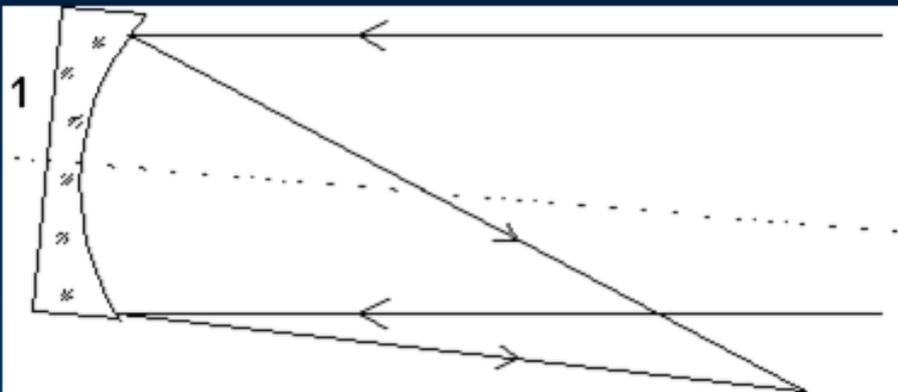
Система Грегори



1 - парабола; 2 - эллипс

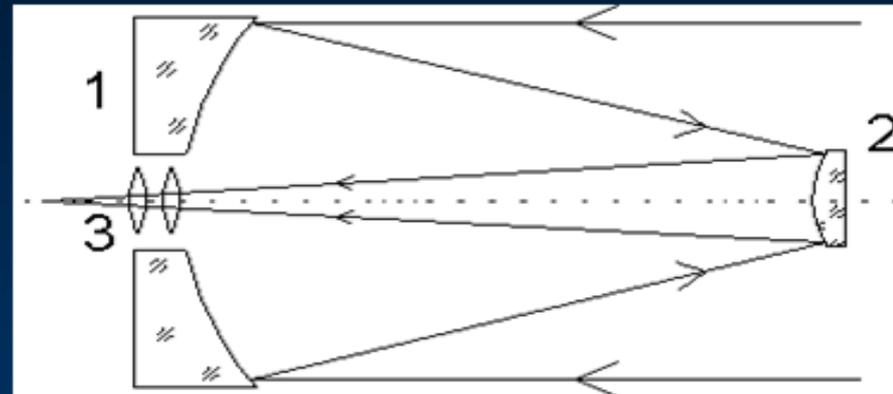
# Некоторые системы телескопов - рефракторов

Система Ломоносова-Гершеля



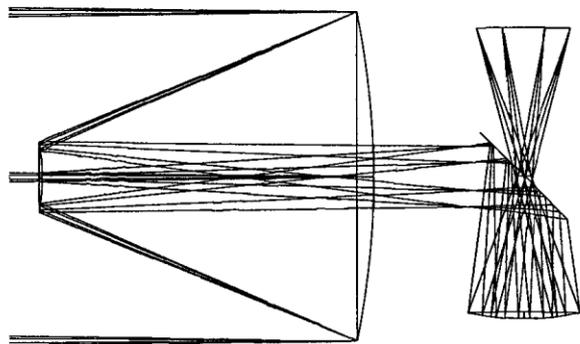
1 - парабола (зеркало 1 может быть сферическим при маленьком относительном отверстии)

Система Ричи-Кретьена (1922)

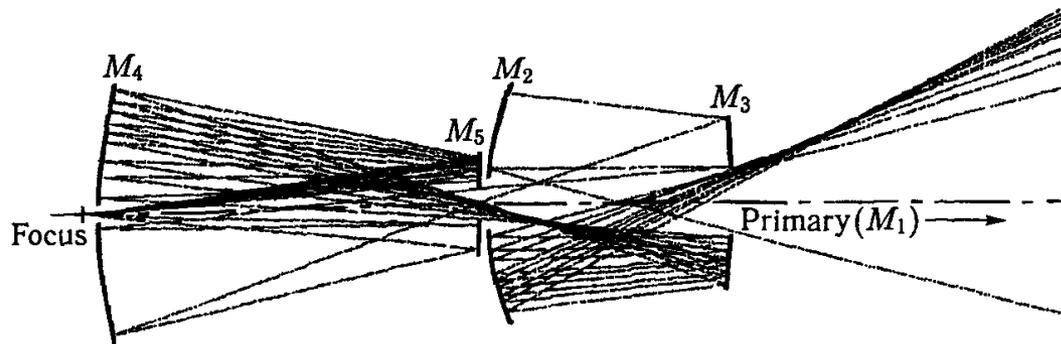


1, 2 - гипербола; 3 - корректор (при использовании двухлинзового корректора дает большое поле с хорошим изображением)

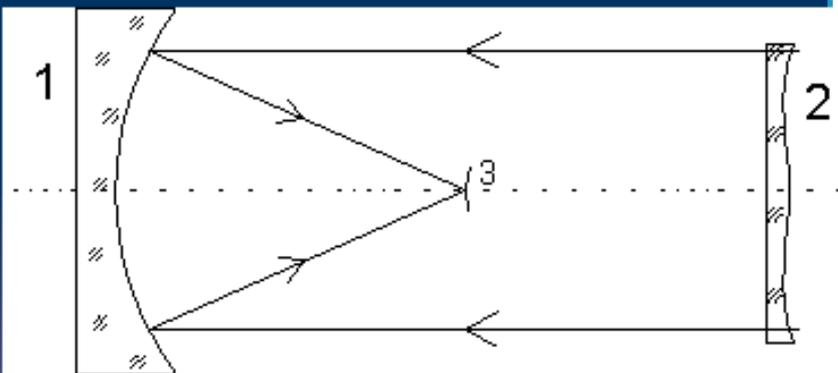
Оптическая схема трехзеркального телескопа



Четырехзеркальный корректор НЕТ



# Коррекционная пластинка Шмидта



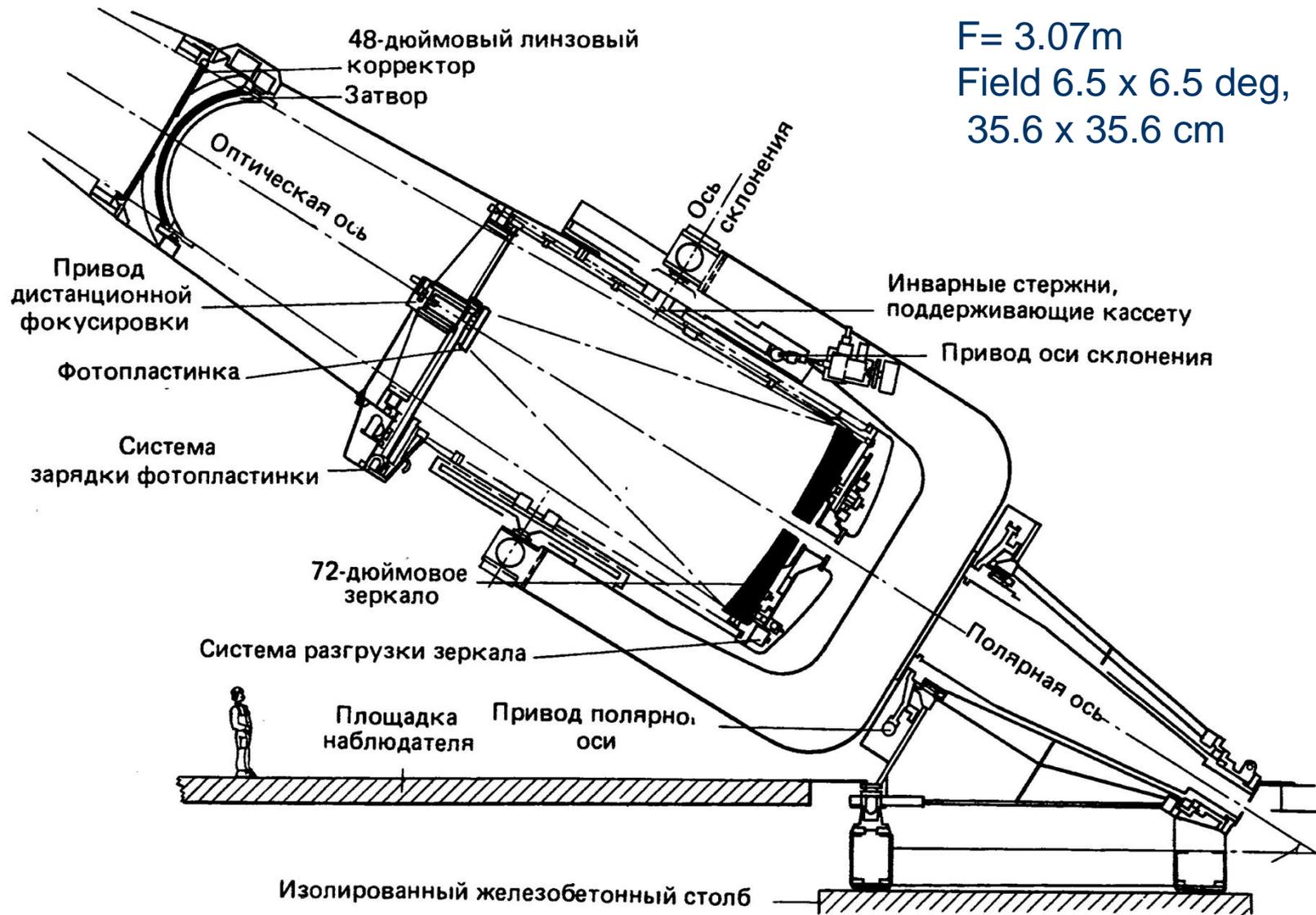
$$\delta = (v - v')t$$

$$\frac{\delta}{\Delta} = \frac{v - v'}{v'} = n - 1$$

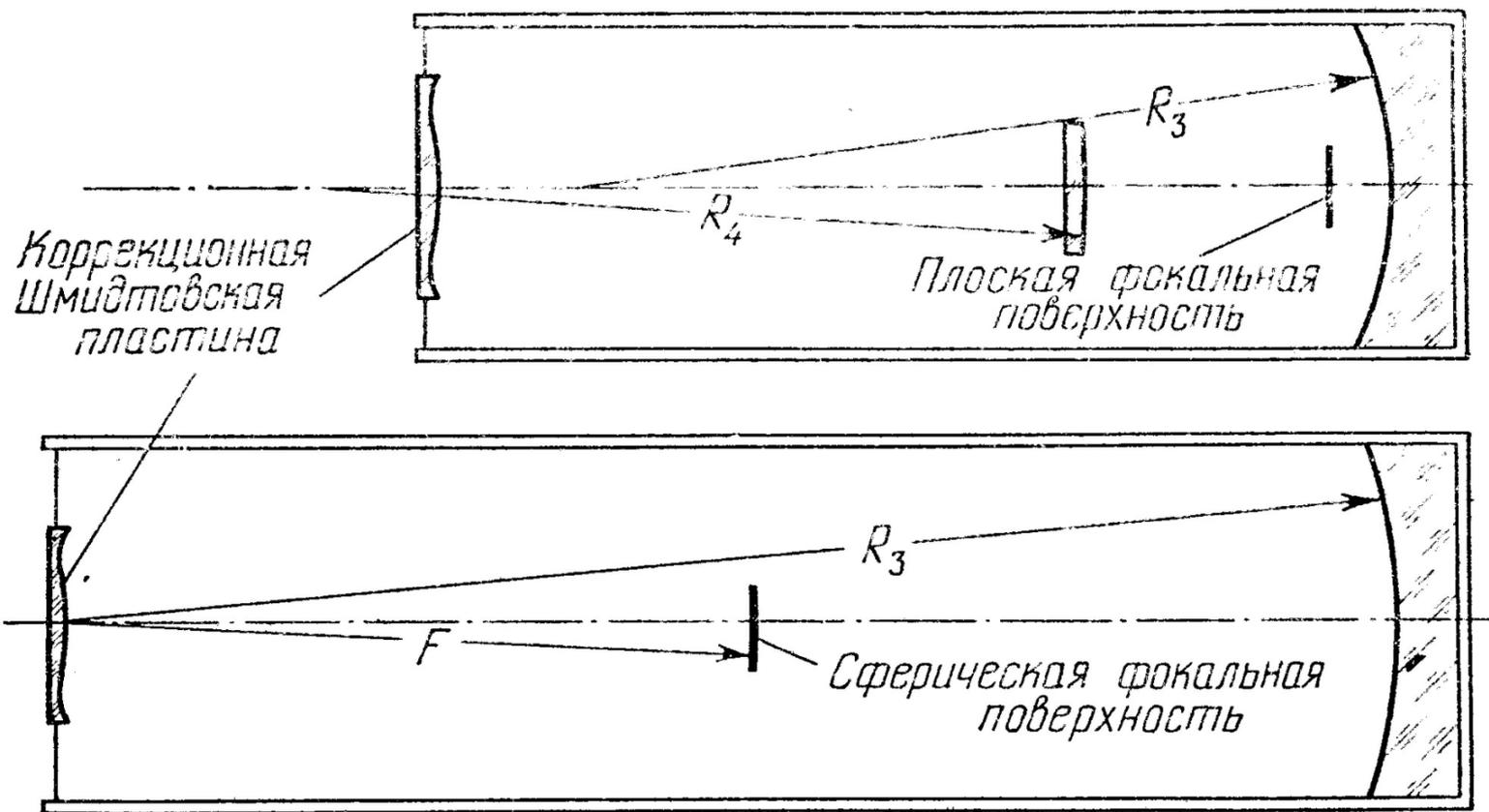
$$\Delta = \frac{\delta}{n - 1}$$

1 - сфера; 2 - коррекционная пластинка;  
3 - ПЗС-камера

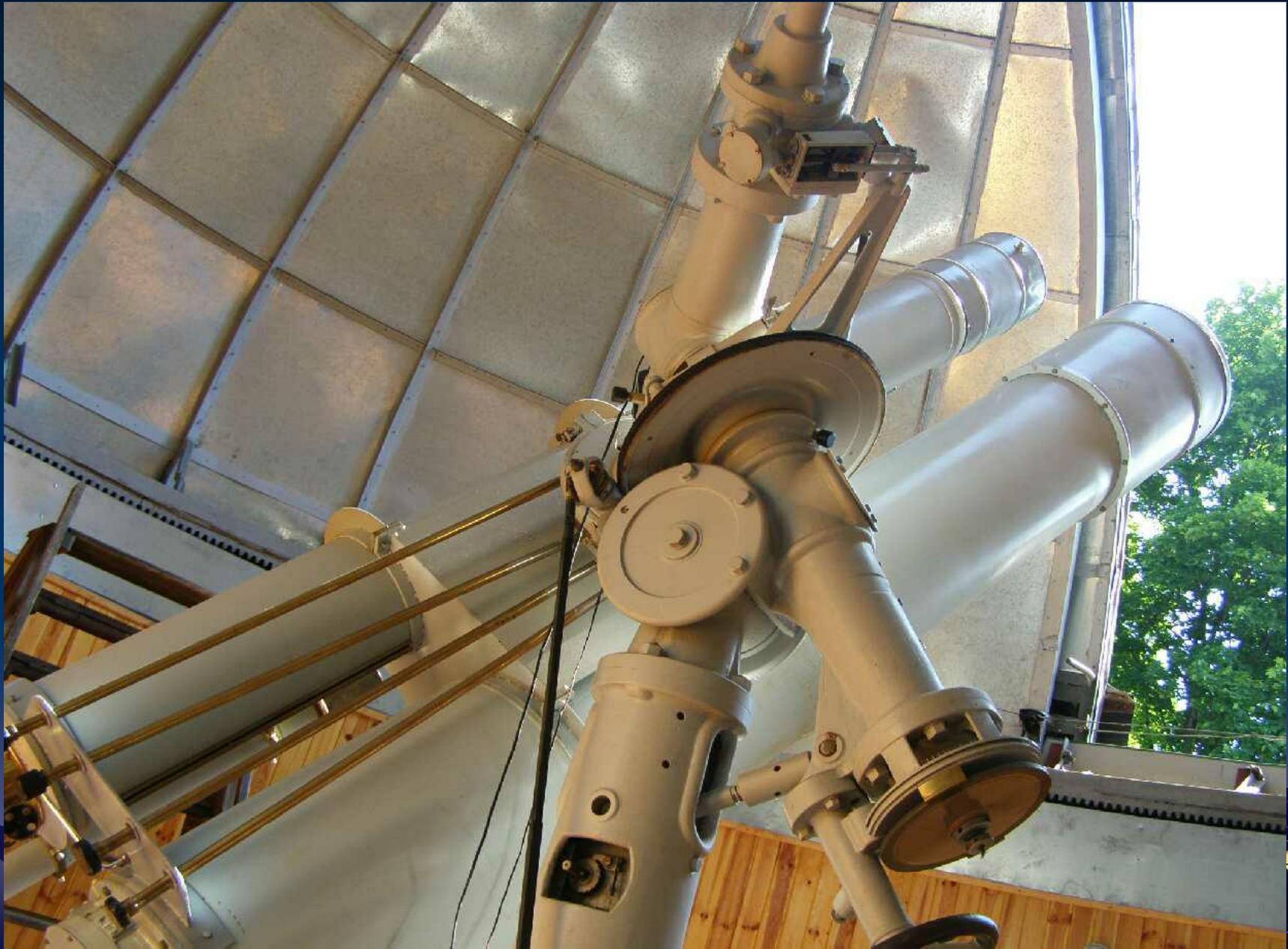
# Телескоп Шмидта 1.2/1.8м обсерватории Сайдинг-Спрингс (Австралия)

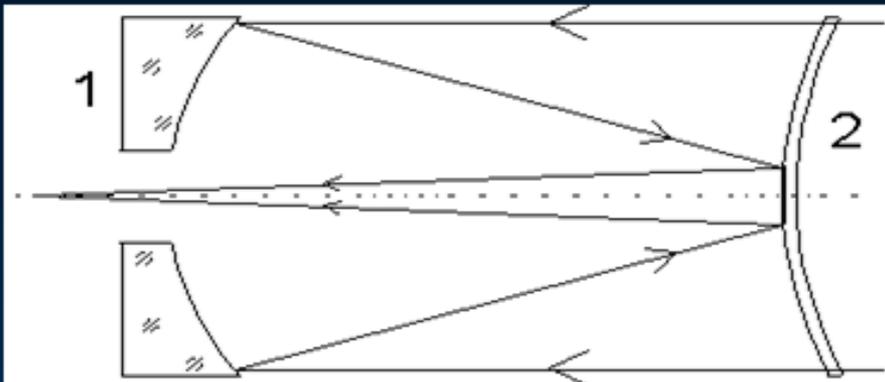


# Беккер-Шмидт по сравнению с традиционным телескопом Шмидта



40-см телескоп системы Беккер-Шмидта НИИ Астрономии ХНУ,  
изготовленный ст. научным сотрудником А.П. Железняком

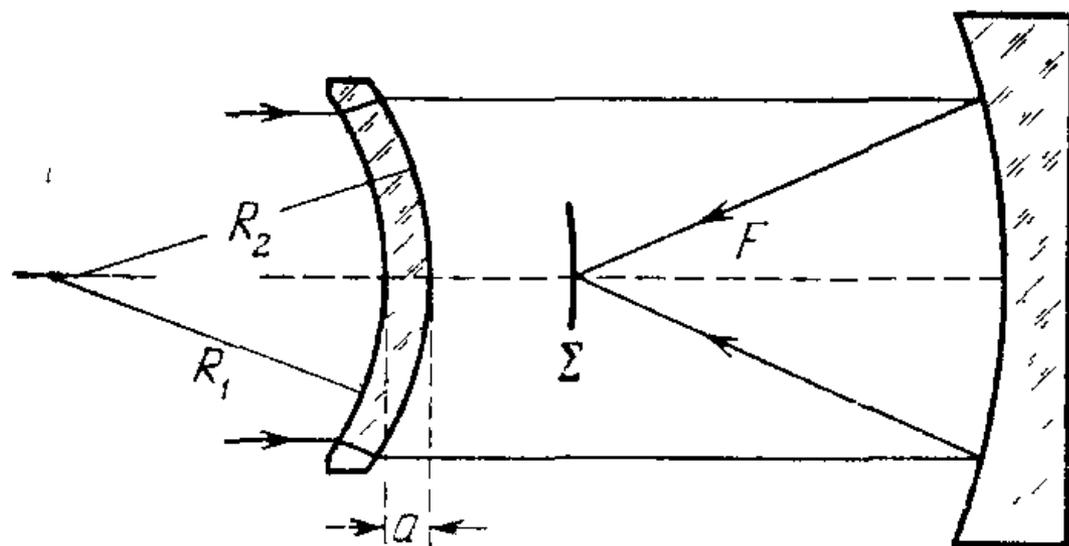
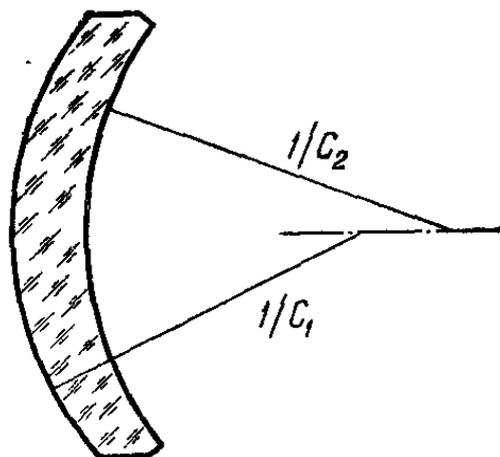




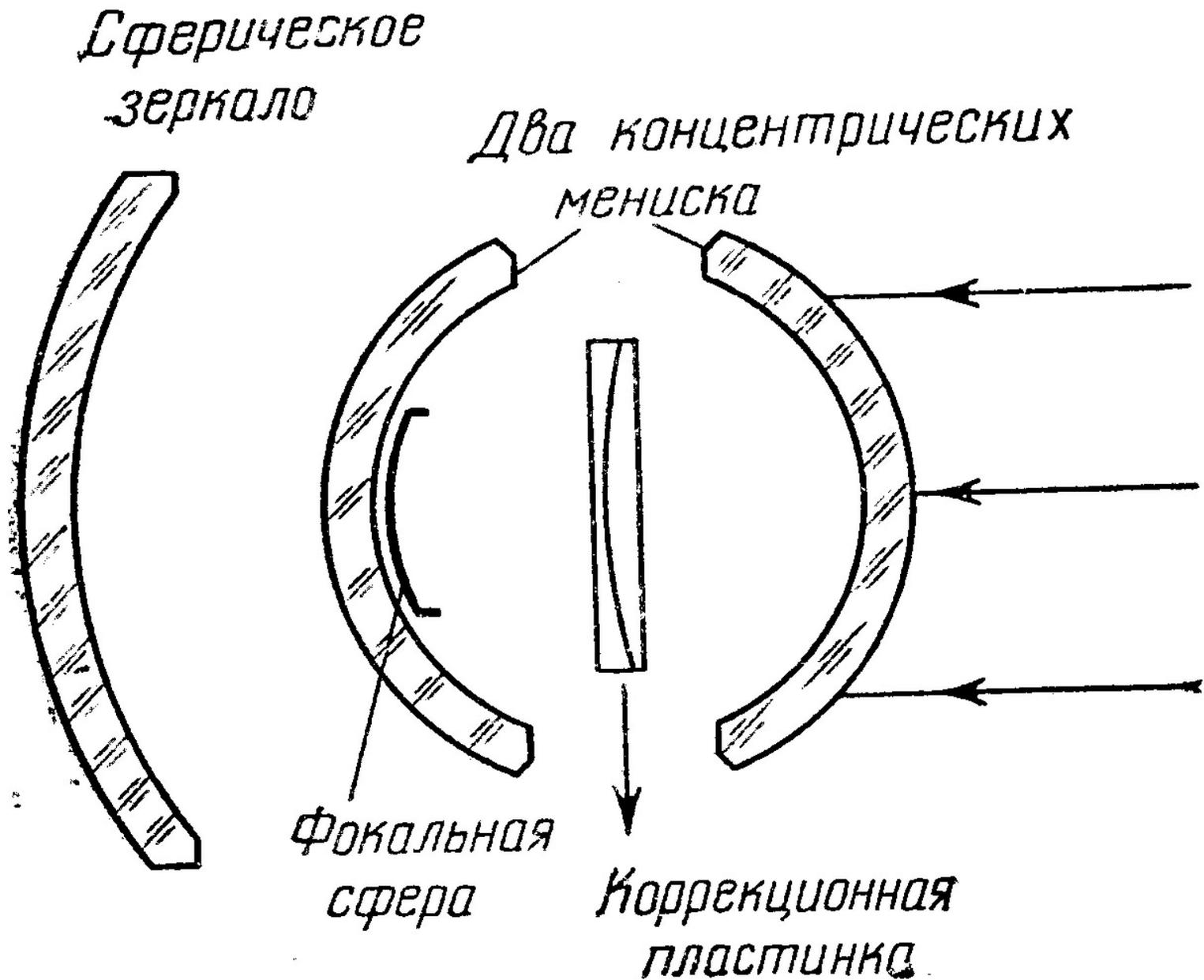
## Менисковые системы Максутова

1 - сфера; 2 - мениск с посеребренной  
центральной частью

Диаметр мениска  $D = 700$  мм  
 Диаметр главного зеркала  $D = 966$  мм  
 Фокусное расстояние системы  $F = 210$  см  
 Общая длина трубы \*) 320 см



# Супер Шмидт



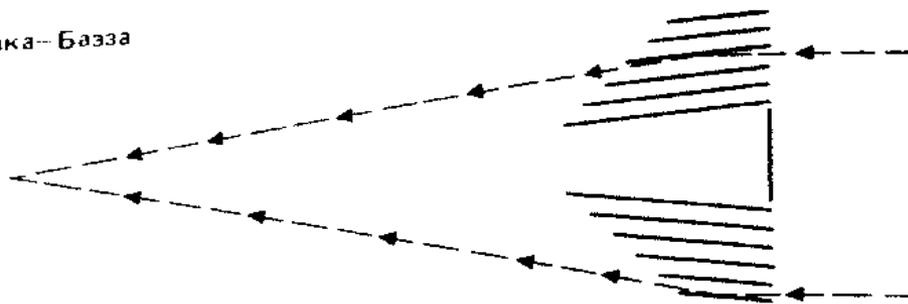
# Схемы телескопов в рентгеновском диапазоне

Критический угол определяется соотношением:

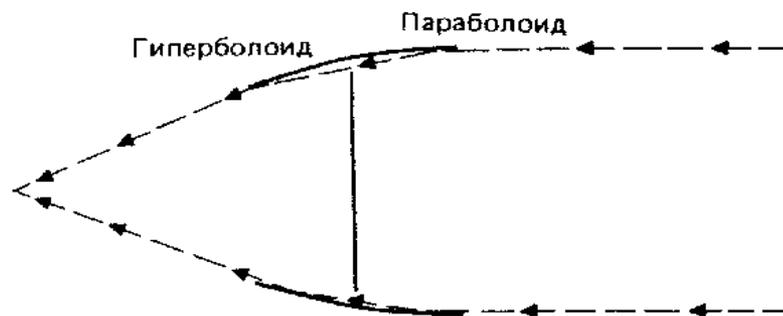
$$\Theta = 2 \cdot \lambda \cdot (\pi r_0 N(e))^{1/2}$$

Зеркала покрываются, в зависимости от принимаемых длин волн, для 3-30 Å – никель и хром, для меньших длин волн – иридий.

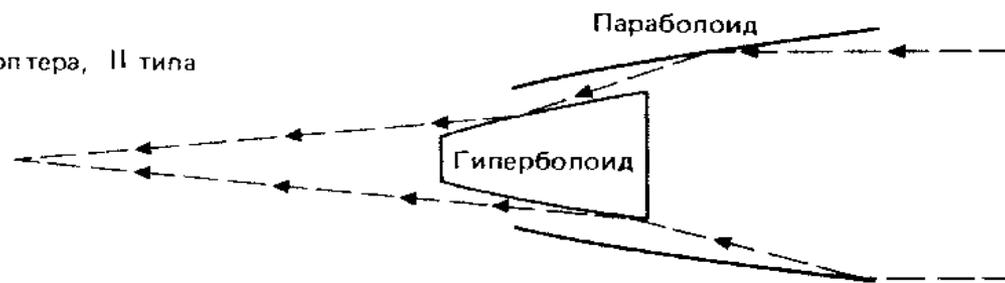
а) Киркпатрика–База



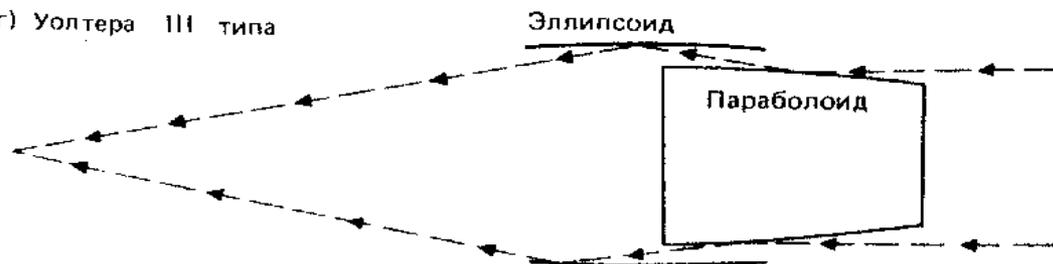
б) Уолтера, I типа



в) Уолтера, II типа



г) Уолтера III типа

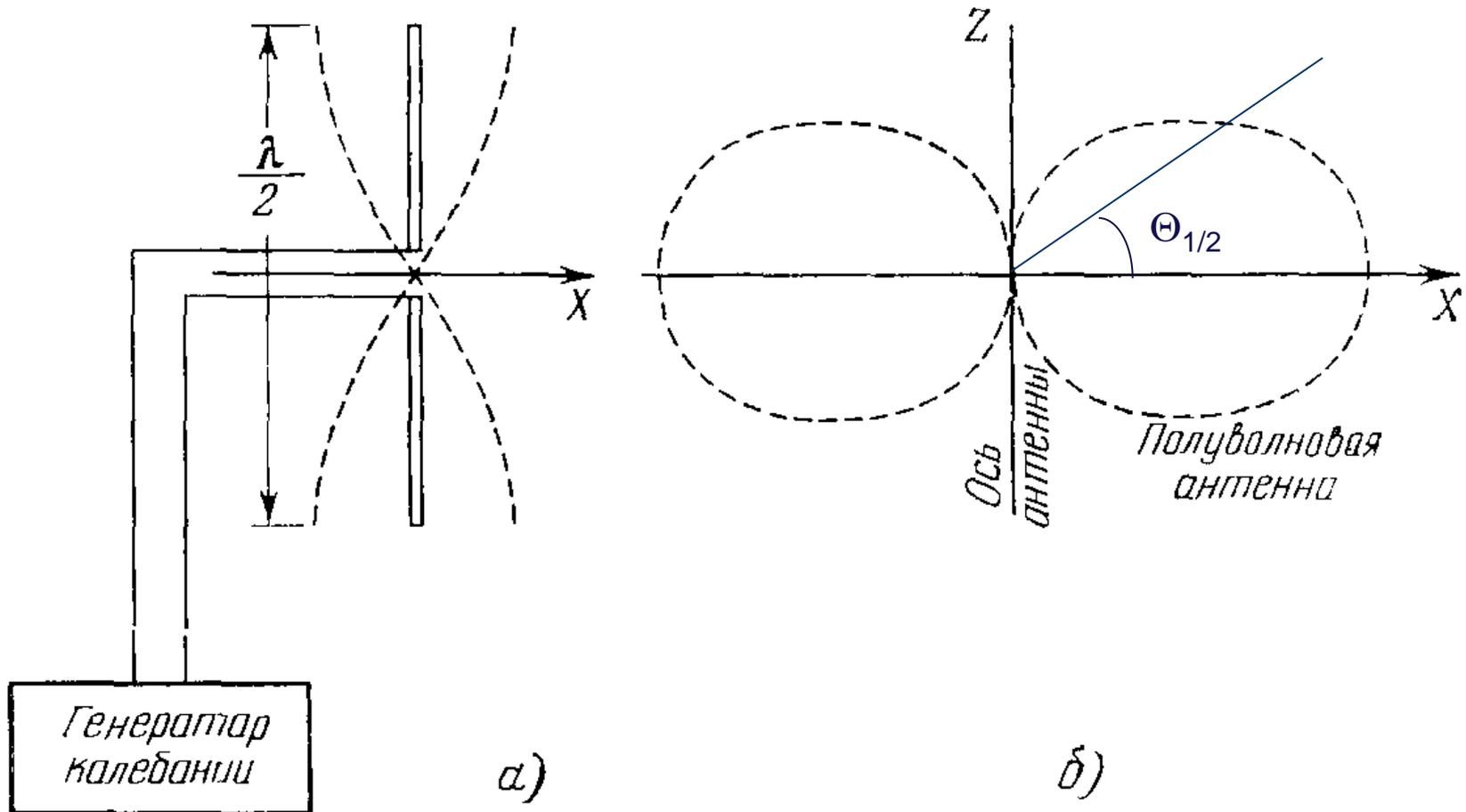


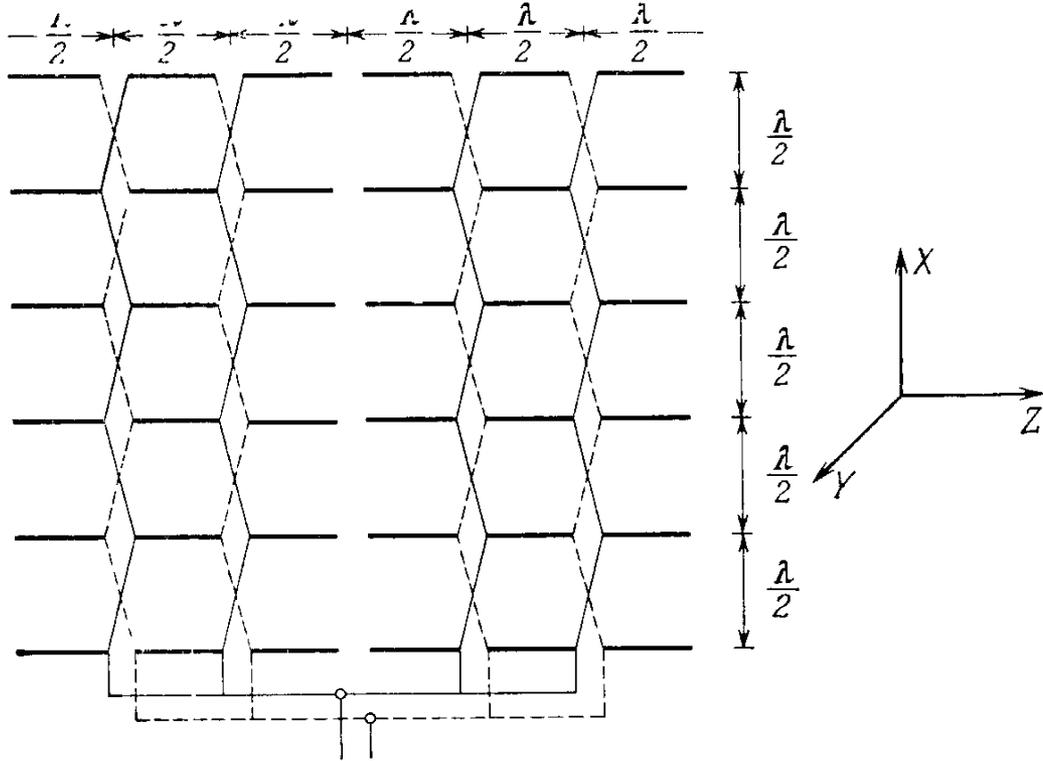
# Телескопы в радио диапазоне

$S = G \lambda^2 / (4\pi)$  – эффективная площадь антенны

$G$  - коэффициент направленности, (для диполя  $G=1.64$ )

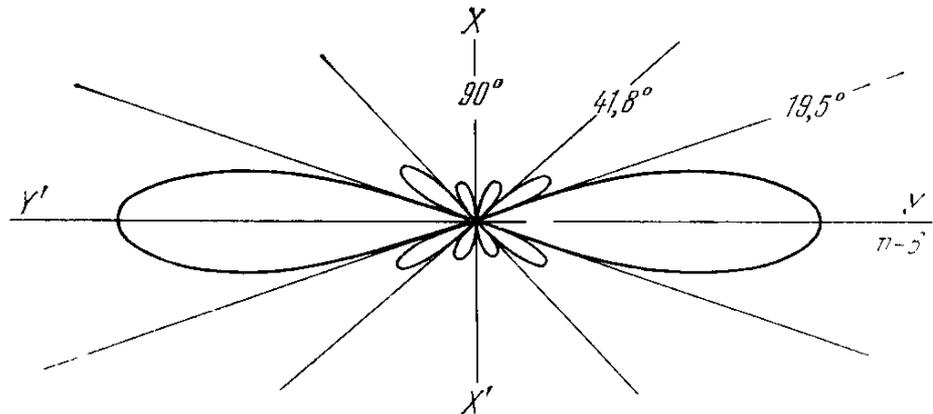
$\Theta_{1/2} = 65^\circ \lambda / l$  – ширина диаграммы по половинной мощности





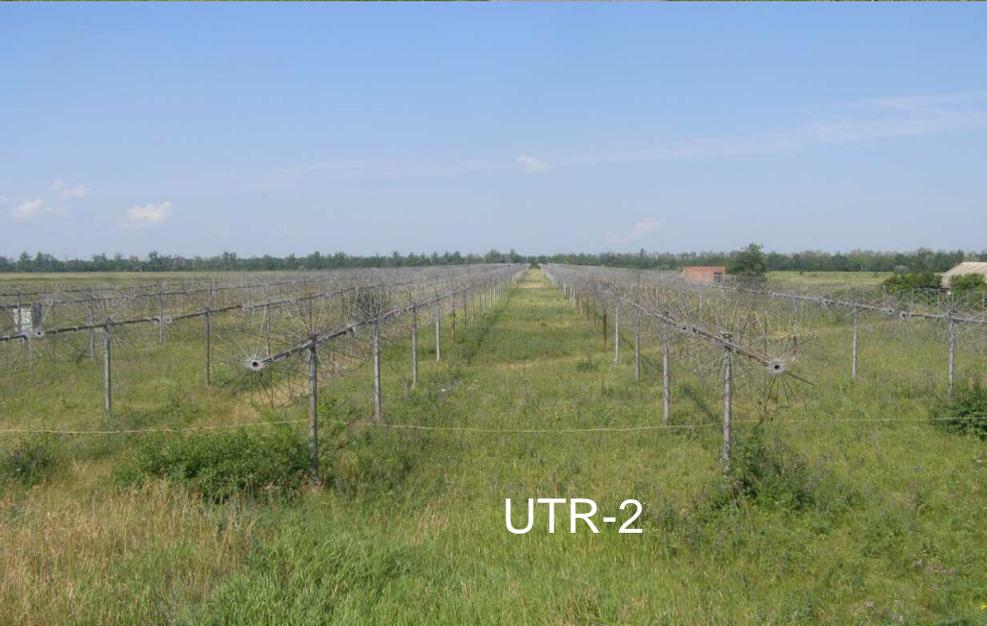
**Рис. 102.** Схема соединения 36 полуволновых диполей, питаемых с концов, причем часть питается с одного конца. Все они не имеют разрыва посередине.

Телескопы в радио  
диапазоне  
Синфазные решетки

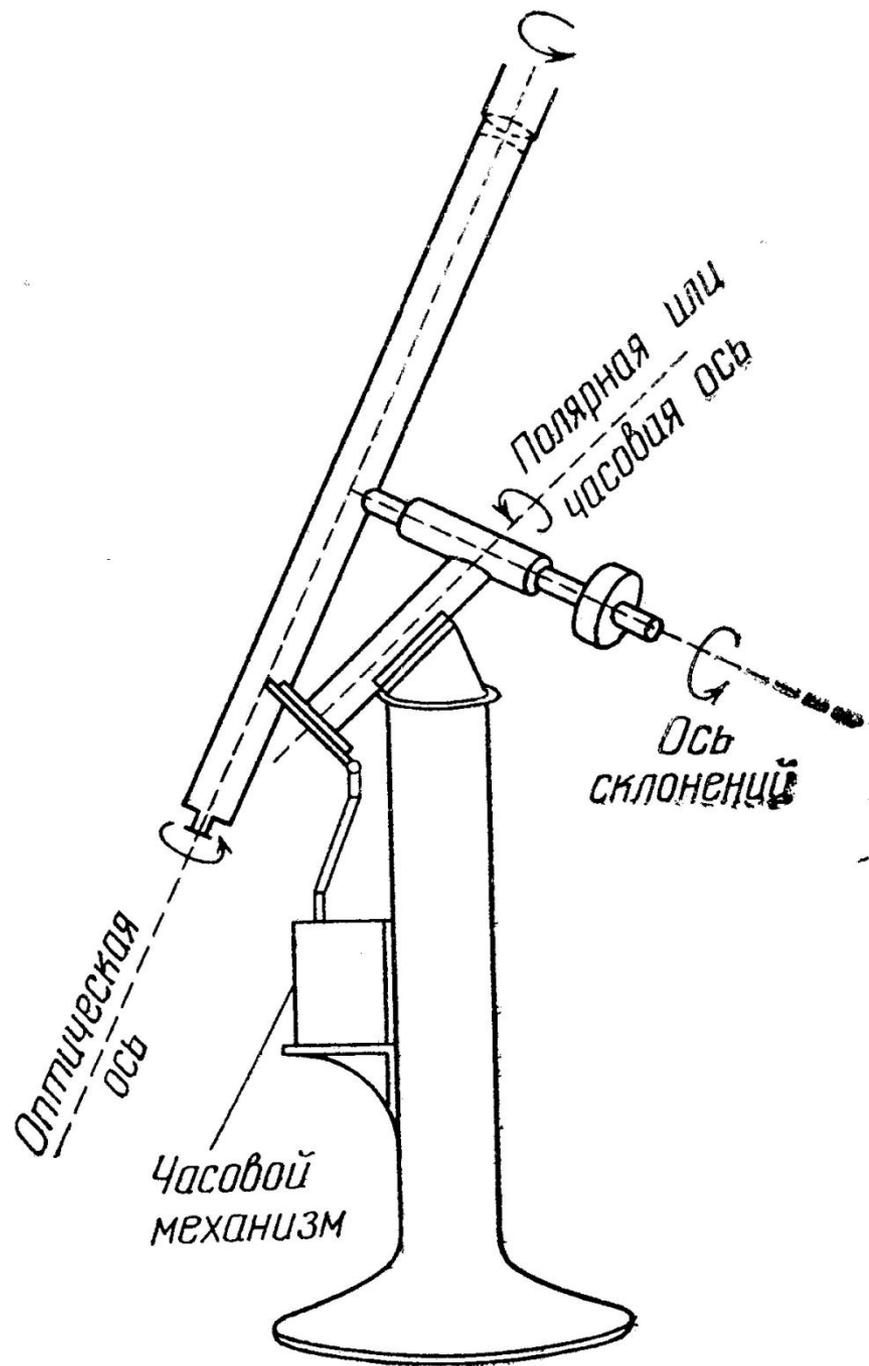


**Рис. 103.** Диаграмма направленности шести диполей (одного вертикального ряда на рис. 102) в плоскости, перпендикулярной к плоскости диполей.

# Схемы телескопов в радио диапазоне



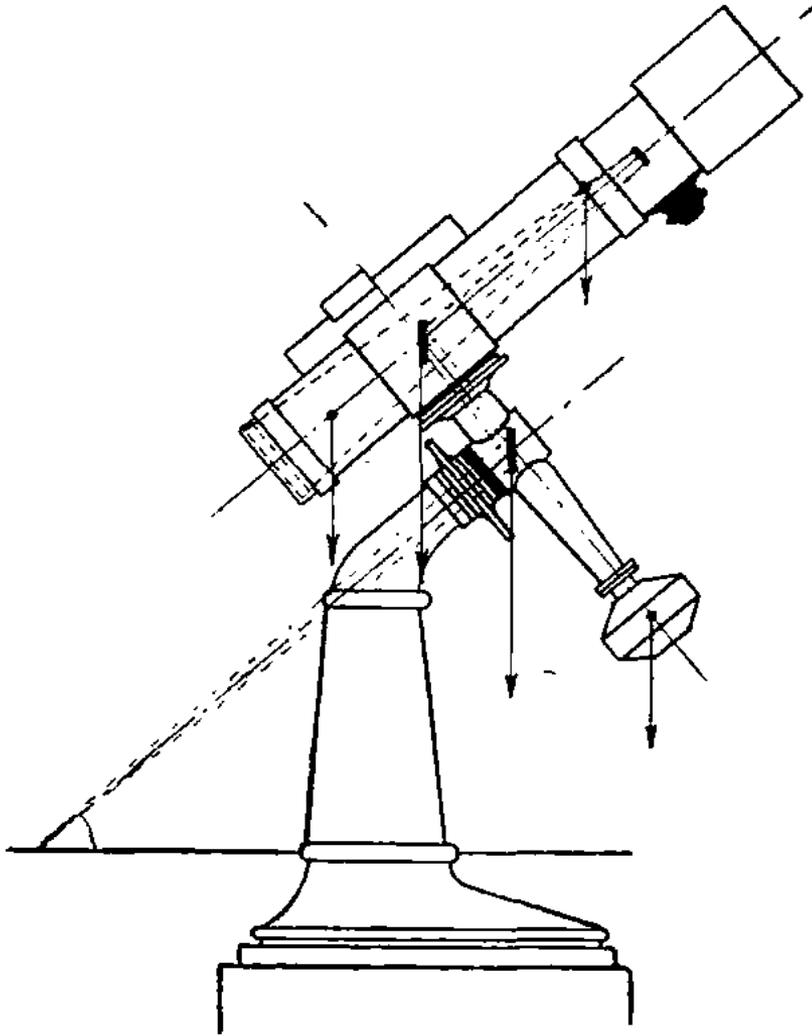
# Экваториальная установка



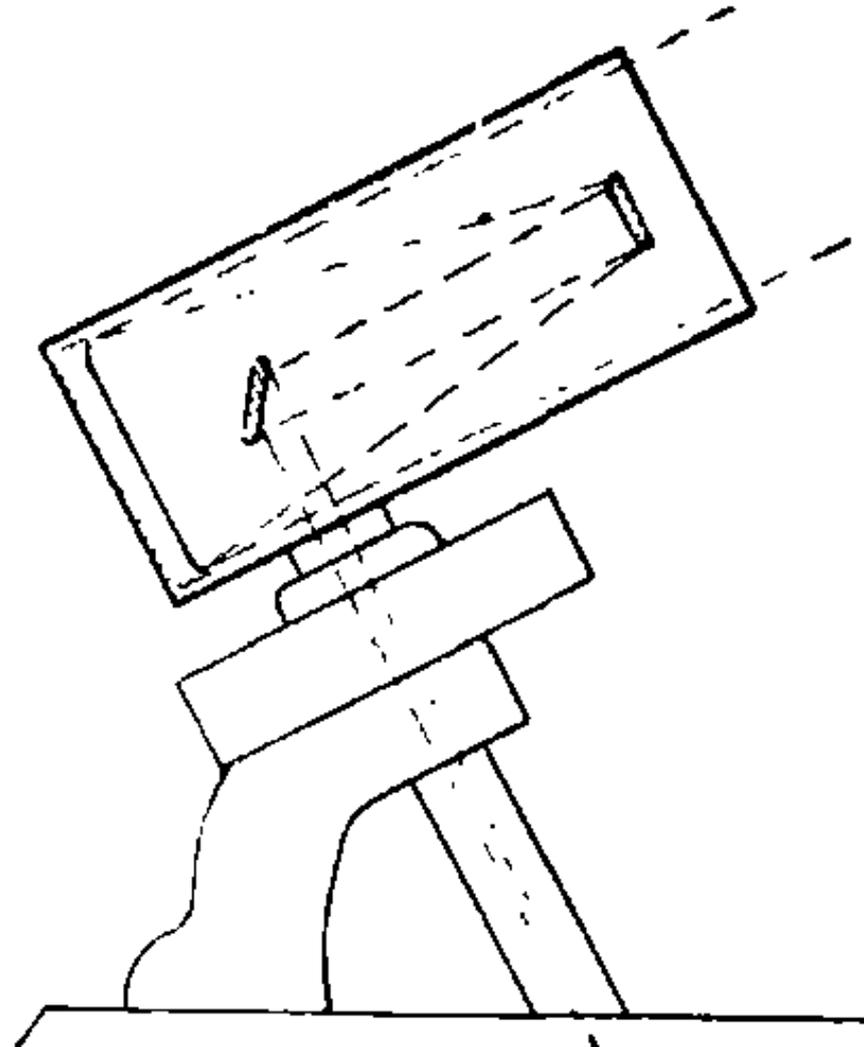
# Монтировки телескопов

## Немецкая монтировка

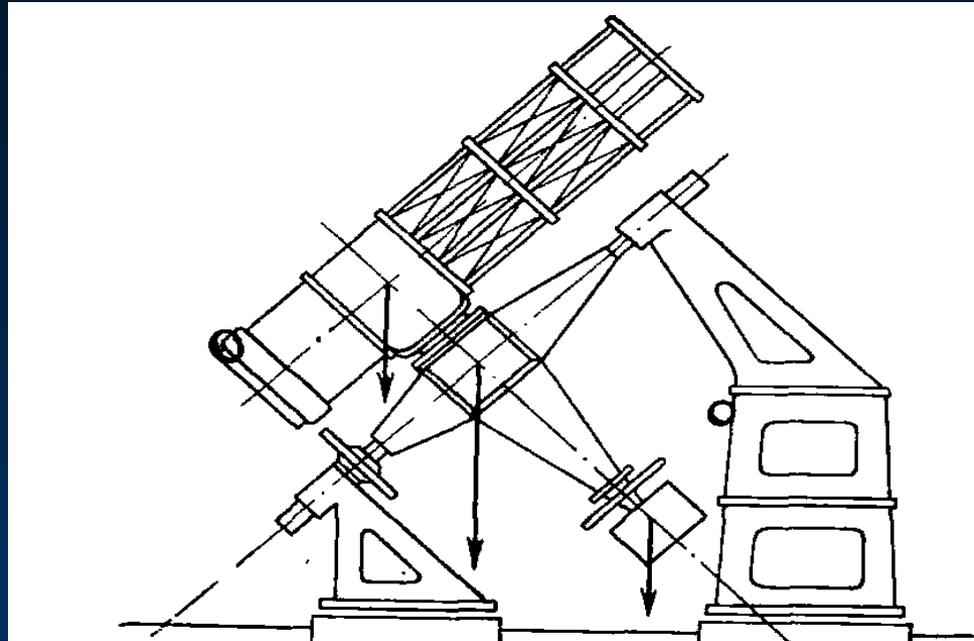
Труба укреплена на оси с противовесом и ломаной полярной осью



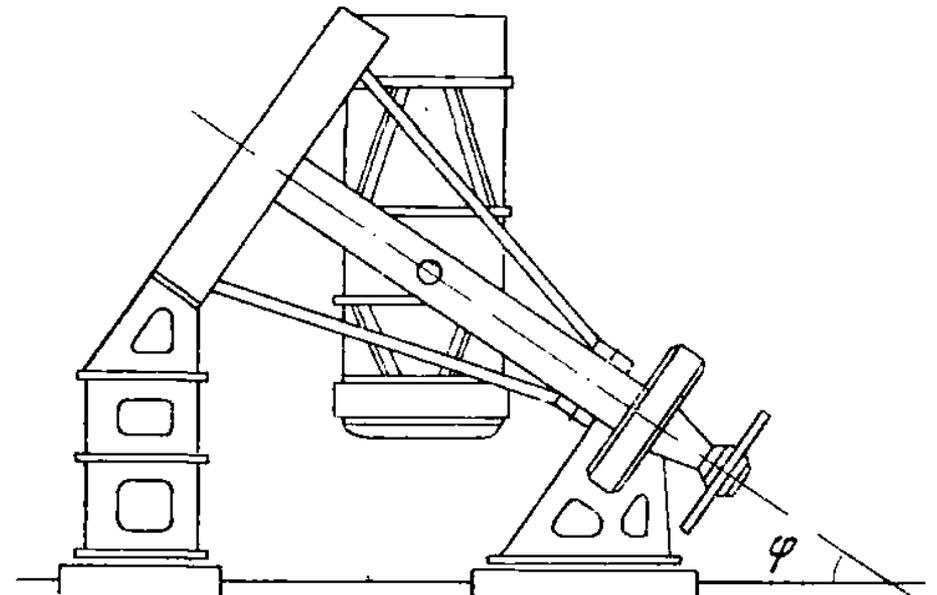
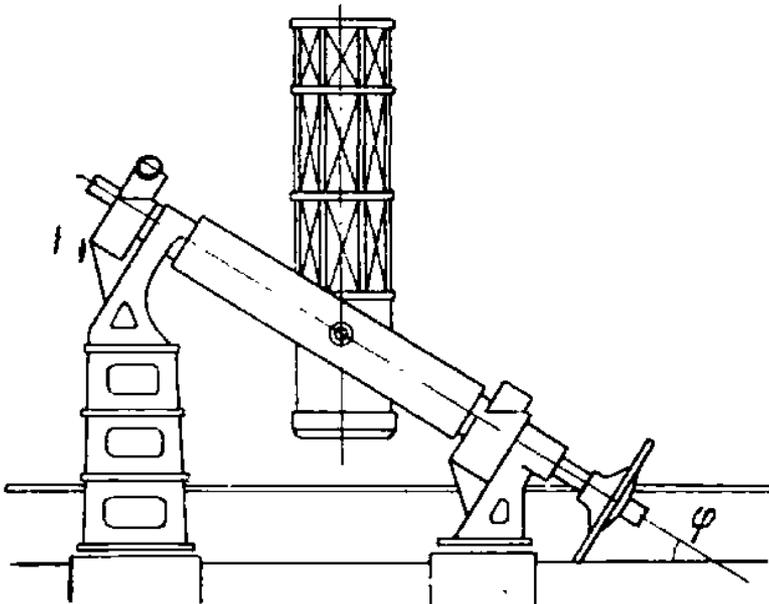
Фокус куда



# Монтировки телескопов



Английская  
монтировка



# Монтировки телескопов

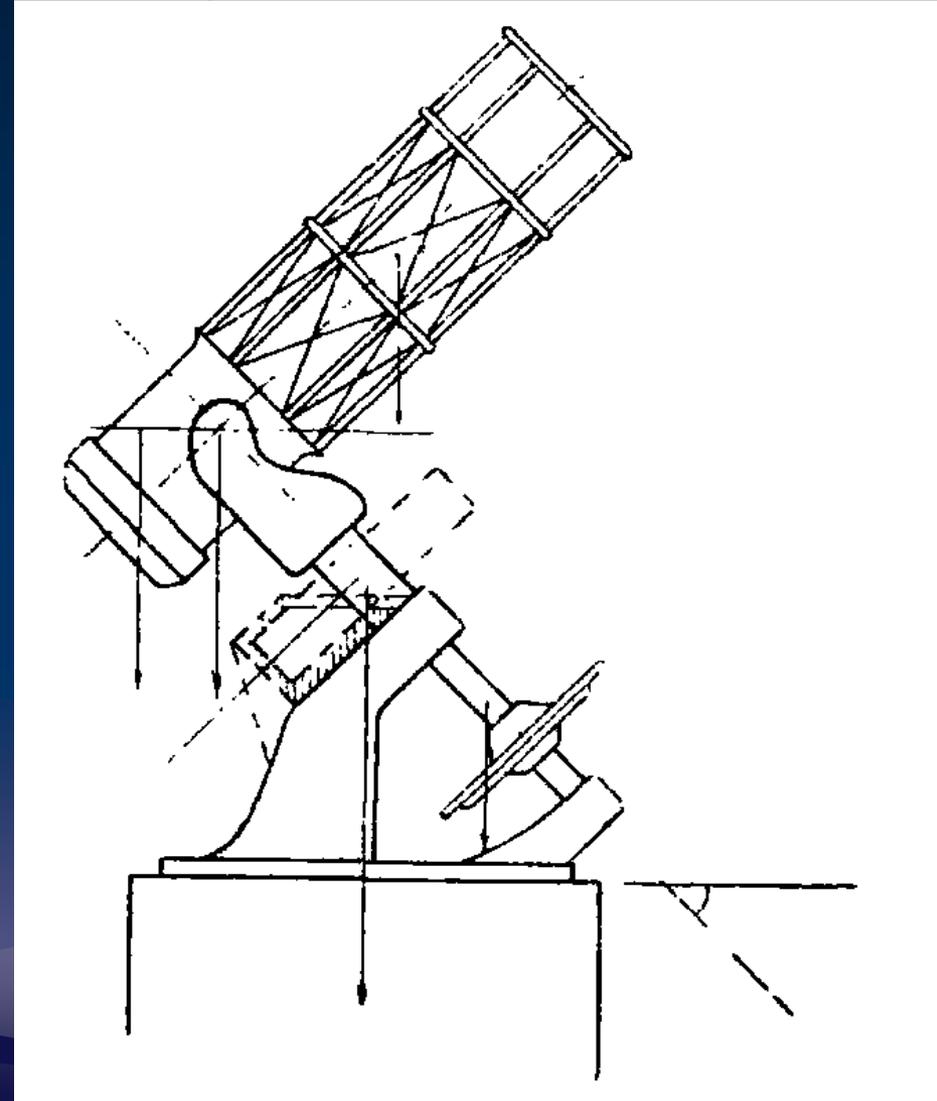
Американская монтировка

Азимутальная установка



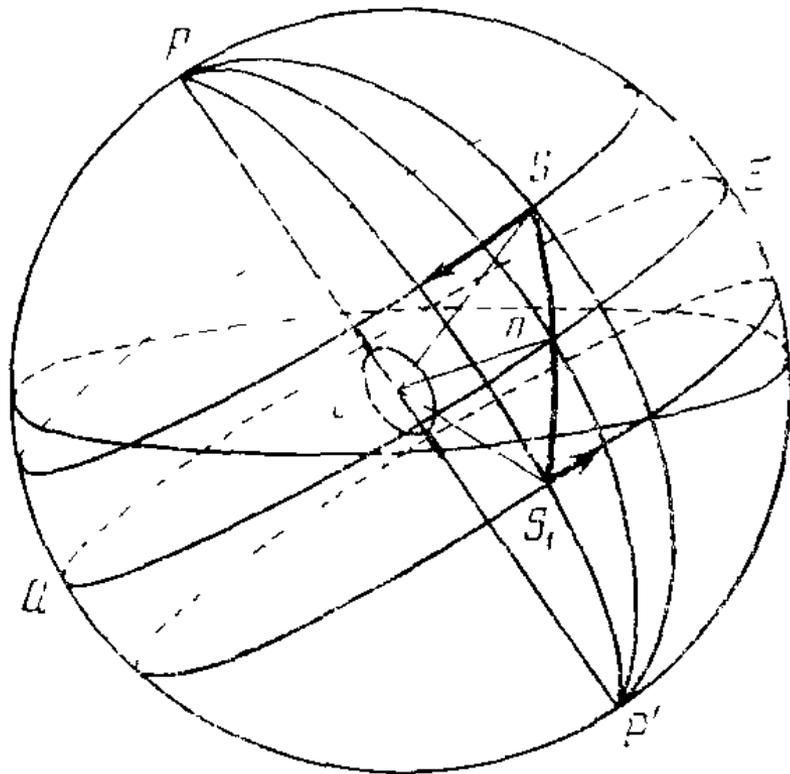
Американская монтировка

Труба укреплена на вилке, направленной на полюс



# Монтировки телескопов

Целостат



Спектрогелиограф  
Института астрономии ХНУ

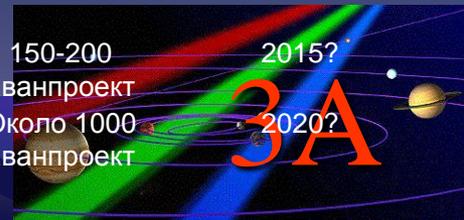


# Крупнейшие телескопы мира

В настоящее время в мире изготовлено 19 телескопов с диаметром зеркала больше 6 м



ТЕЛЕСКОП	Диаметр зеркала, м	Параметры главного зеркала	Место установки телескопа	Участники проекта	Стоимость проекта, млн. \$ USD	Первый свет
GTC	10.4	Сегментное, 36	La Palma , Канарские острова, Испания	Испания 51%, США, Мексика	150	2002
KECK I	10	параболическое	Mauna Kea, Гавайи, США		94	1993
KECK II	10	много сегментное активное	США		78	1996
NET(Hobby&Eberly)	11.1 9.8	сферическое много сегментное, 91	Mt. Fowlkes , Техас, США, Германия		13.5	1998
SALT	11.1 9.8	сферическое много-сегментное	Sutherland , Южная Африка	Южно-Африканская Республика	10	2005
LBT (бинокулярный)	2x8.4	сотое толстое	Mt. Graham , Аризона, США	США, Италия, Германия	75	2001
VLT (четыре телескопа)	4x8.2	тонкое активное	Paranal, Чили	ESO, кооперация девяяти стран Европы	200	1998
SUBARU	8.2	тонкое активное	Mauna Kea, Гавайи, Япония США		100	1998
GEMINI North	8.1	тонкое активное	Mauna Kea, Гавайи, США	США (25%), Англия (25%), Канада (15%),	176	1998
GEMINI South	8.1		Cerro Pachon, Чили	Чили (5%), Аргентина (2,5%), Бразилия (2,5%)		2000
MMT	6.5	сотое толстое	Mt. Hopkins , Аризона, США	США		1998
MAGELLAN два телескопа	2x6.5	сотое толстое	Las Campanas , Чили	США		1999
БТА САО РАН	6.0	толстое	Гора Пастухова, Карачаево- Черкесия	Россия		1976
Большой зенитный телескоп (LZT)	6.0	жидкостное	Maple Ridge, British Columbia	США, Канада, Франция		2003
ELT	35 (реально 28)	аналог NET		США	150-200 аванпроект	2015?
OWLТ	100	сферическое много сег- ментное		Германия, Швеция, Дания и др.	Около 1000 аванпроект	2020?



# GTC

Great Telescope Canary  
Диаметр зеркала 10.4 м

Канарские острова

высота 2267 м

$F = 16.5$  м



GTC  
Great Telescope Canary

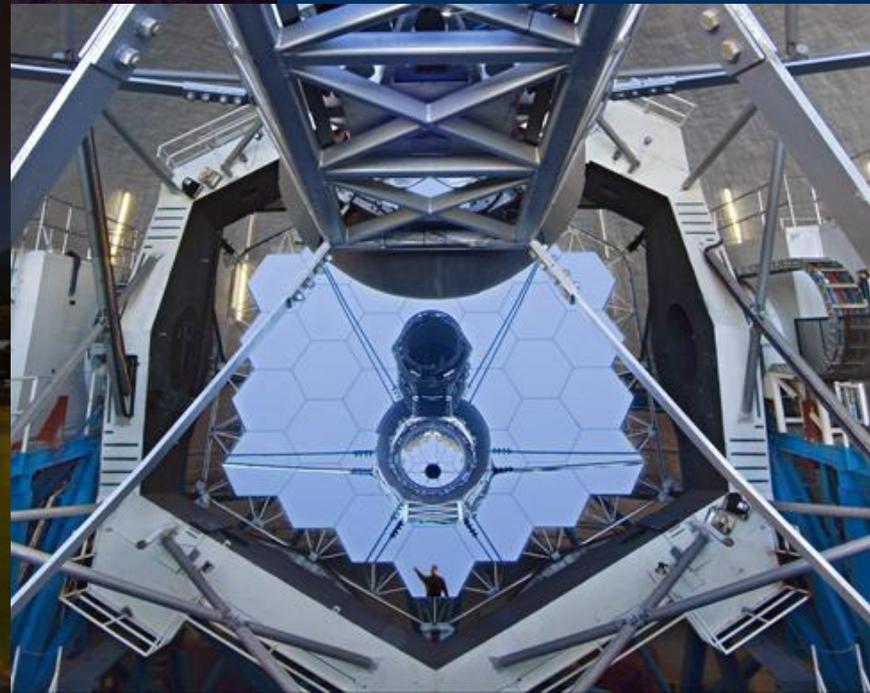


**NGC7635, The Bubble Nebula**  
**Gran Telescopio CANARIAS (GTC)**



# Телескопы Кека I, II

Диаметры зеркал 10 м  
Мауна Кеа, Гавайи  
высота 4145 м  
 $F = 17.5$  м

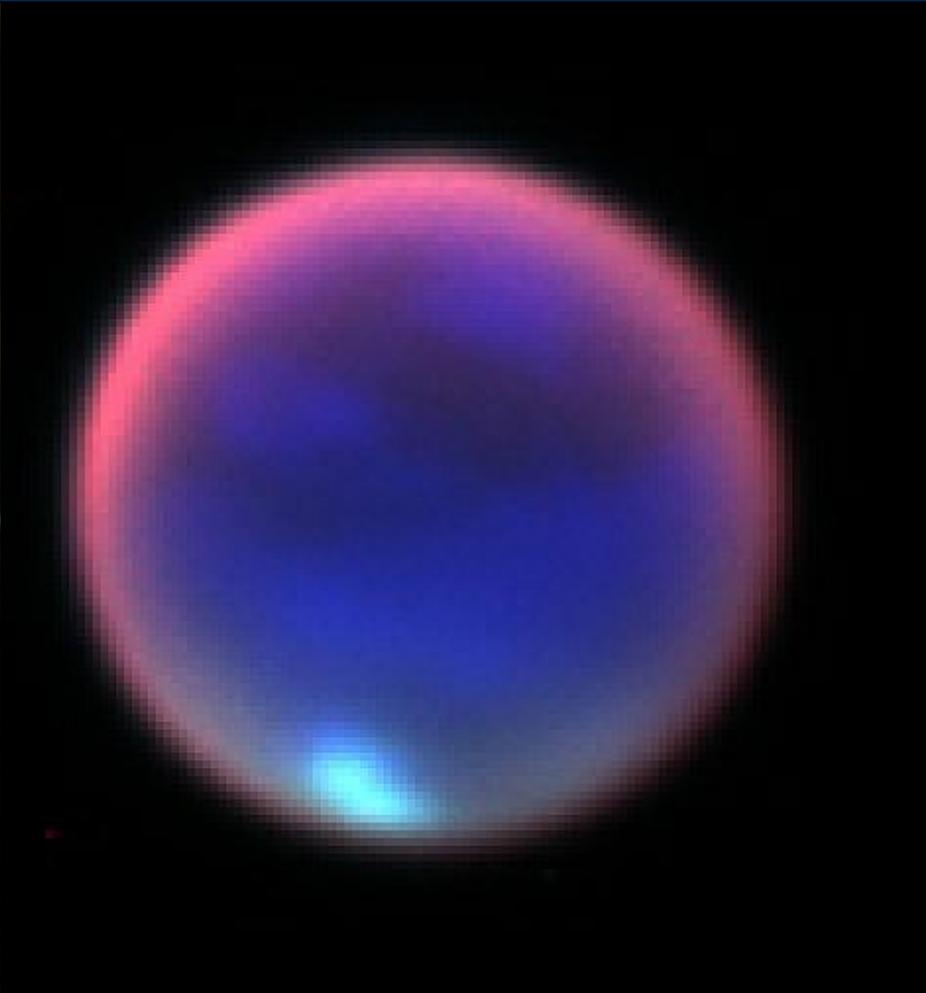


# Некоторые объекты наблюдений

Скопление галактик  
Абель



Шторм на Титане



# Hobby-Eberly

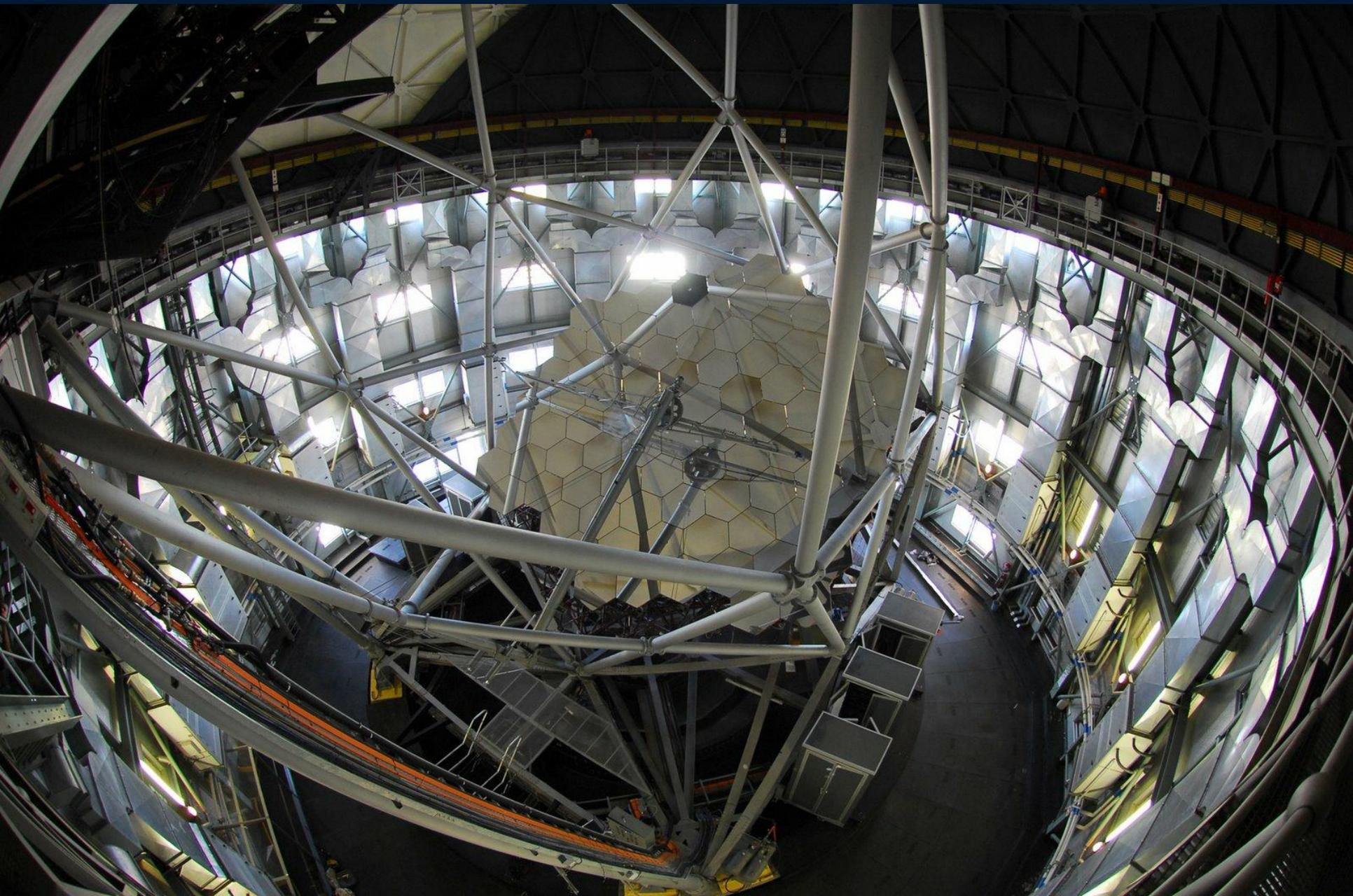
Диаметр зеркала 9.2 м  
Фолкес, Техас  
высота 2025 м



# Hobby-Eberly



# Hobby-Eberly



# SALT

Диаметр зеркала 9.2 м  
Саутерленд, Южная  
Африка  
высота 1783 м

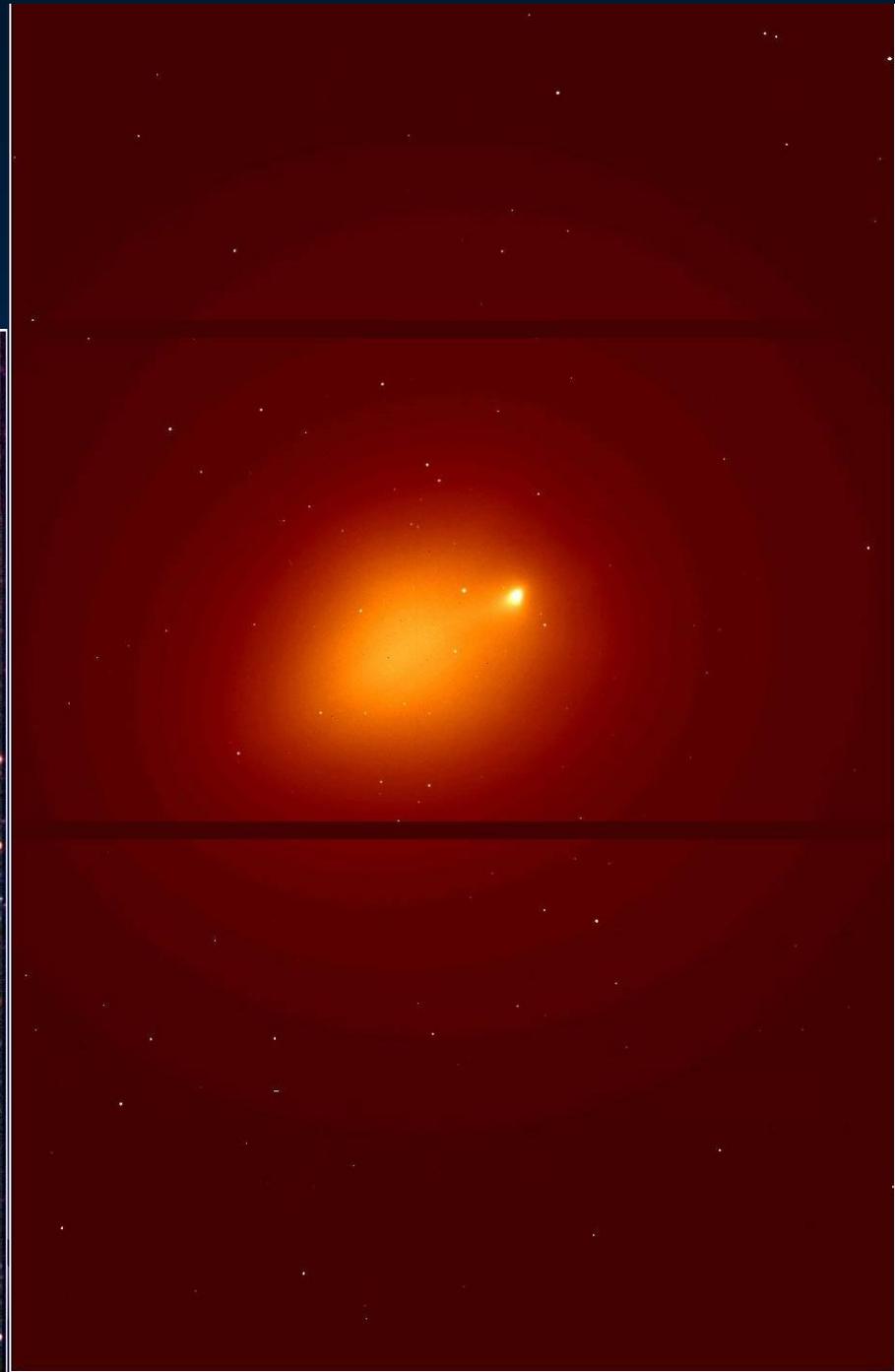


# LBT

Диаметры зеркал 8.4 м  
Маунт Грэхем, Аризона  
высота 3221 м  
 $F = 9.6 \text{ m}$



Изображения  
иррегулярной галактики  
(слабый компаньон М81)  
и кометы Холмса  
(ноябрь 2007)

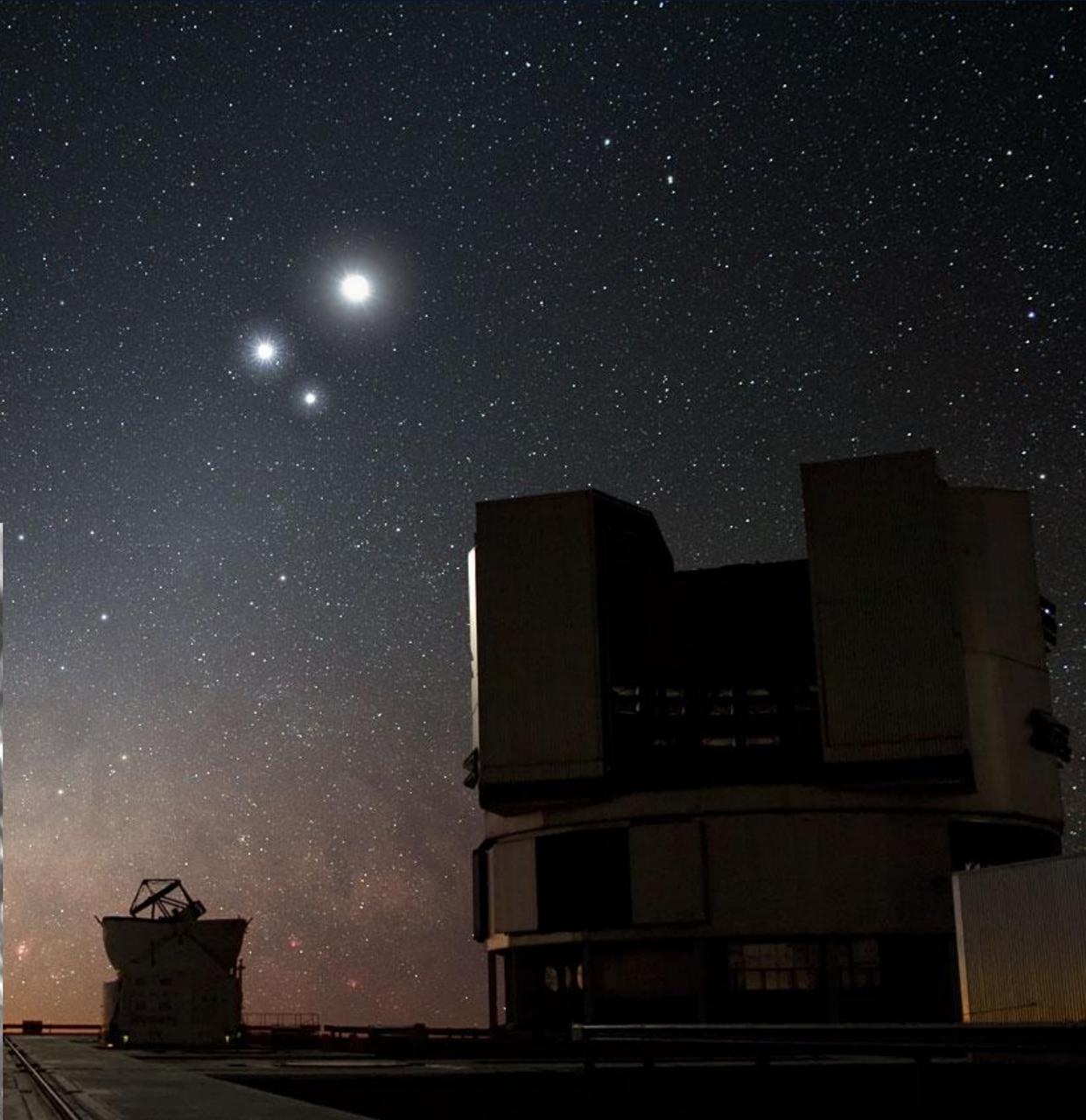
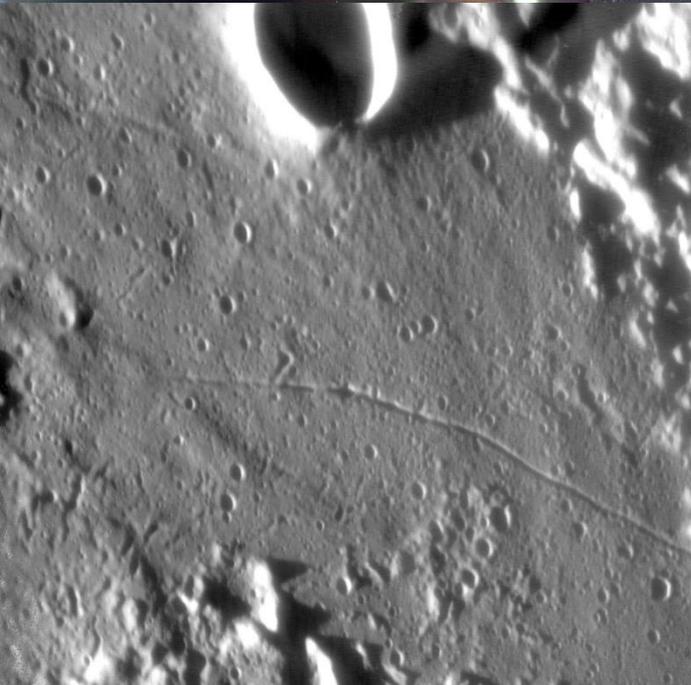


# Very Large Telescope (VLT)

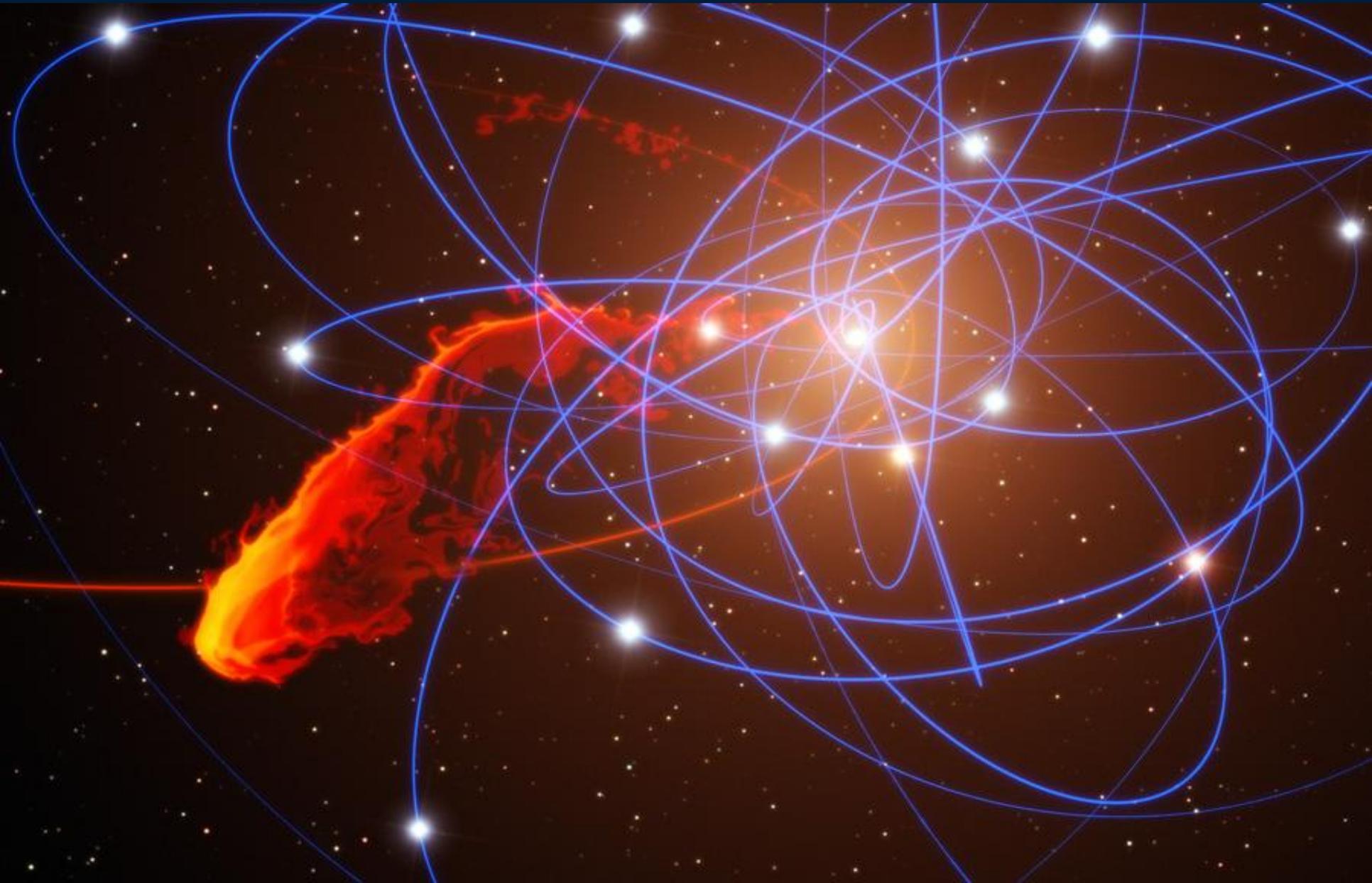
Диаметры зеркал 8.2 м  
Пустыня Атакама, Чили  
высота 2635 м  
 $F = 9.6 \text{ м}$



# Very Large Telescope (VLT)

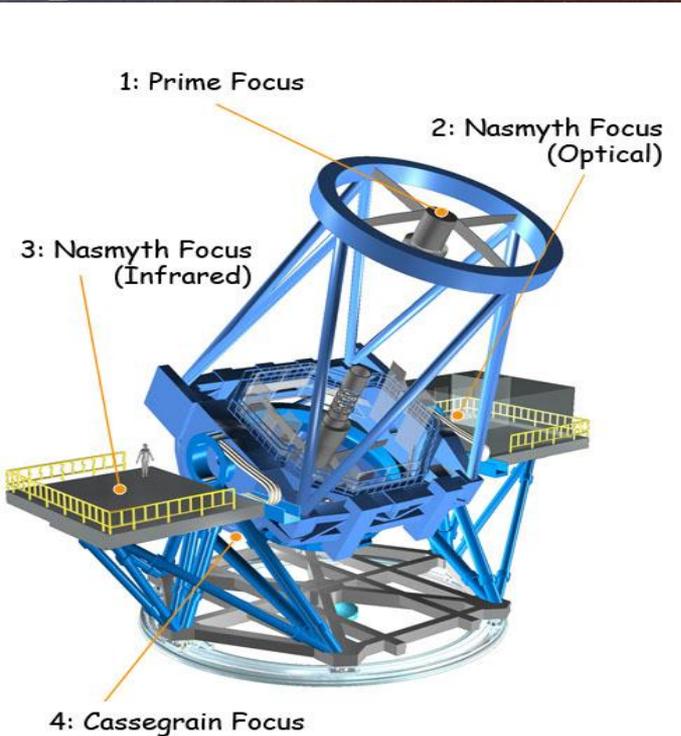


# Определение массы и размера центра Галактики



# Subaru

Диаметр зеркала 8.2 м  
Мауна Кеа, Гавайи  
высота 4139 м  
 $F = 15.0$  м



(c) MBTA Corporation, Japan #150132



# Gemini



Северный  
Диаметр зеркала 8.1 м  
Мауна Кеа, Гавайи  
высота 4213 м

Южный  
Диаметр зеркала 8.1 м  
Сьерра Пачион, Чили  
высота 2722 м



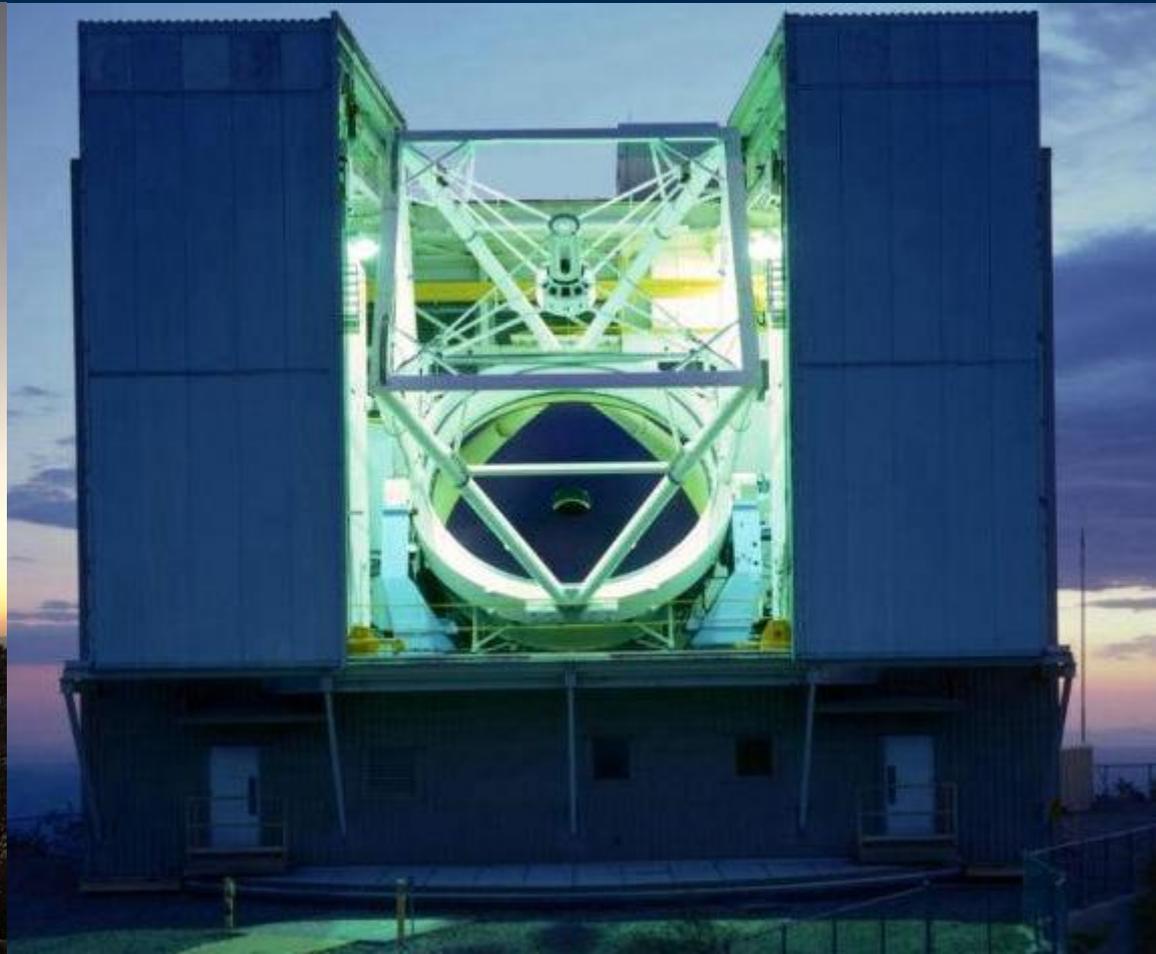
# Multiple Mirror Telescope (MMT2)

Диаметр зеркала 6.5 м

Маунт Хопкинс,

Аризона

высота 2616 м



# Магеллан 1, Магеллан 2

Диаметры зеркал 6.5 м

Лас Кампас, Чили

высота 2380 м





БТА

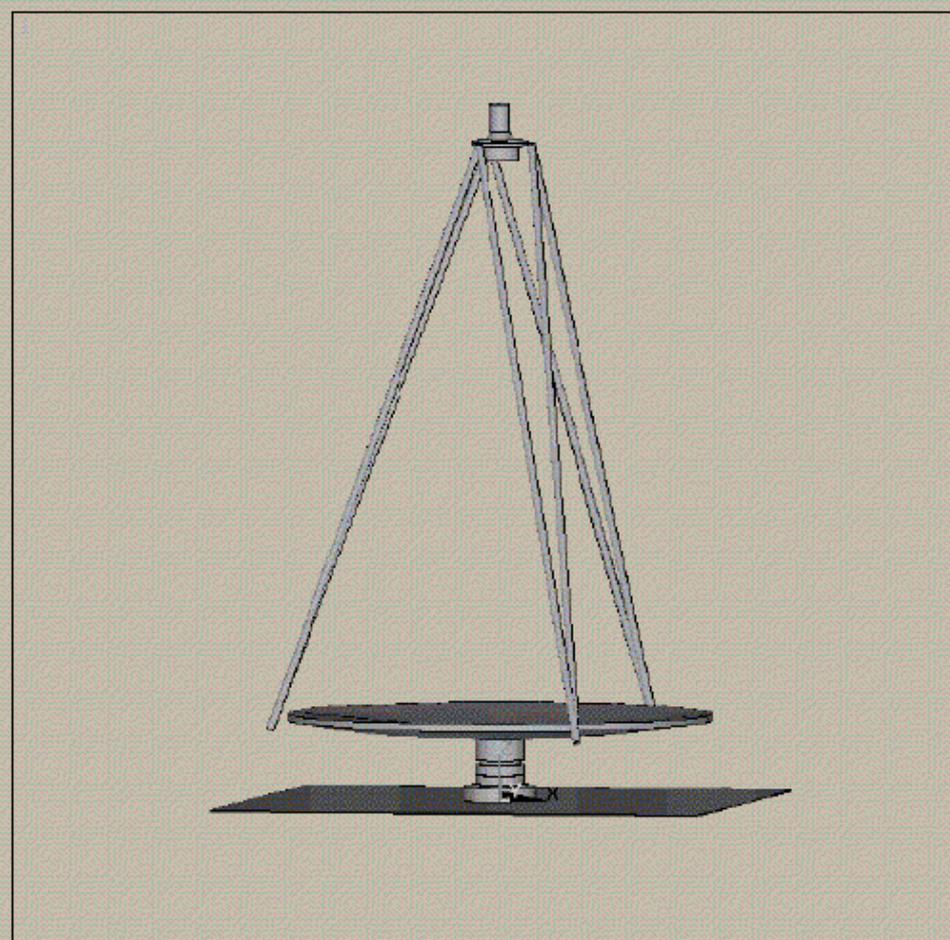
Диаметр зеркала 6 м  
Нижний Архиз, Россия  
высота 2070 м





# Большой зенитный телескоп

Диаметр зеркала 6 м  
Британская Колумбия,  
Канада  
высота 395 м



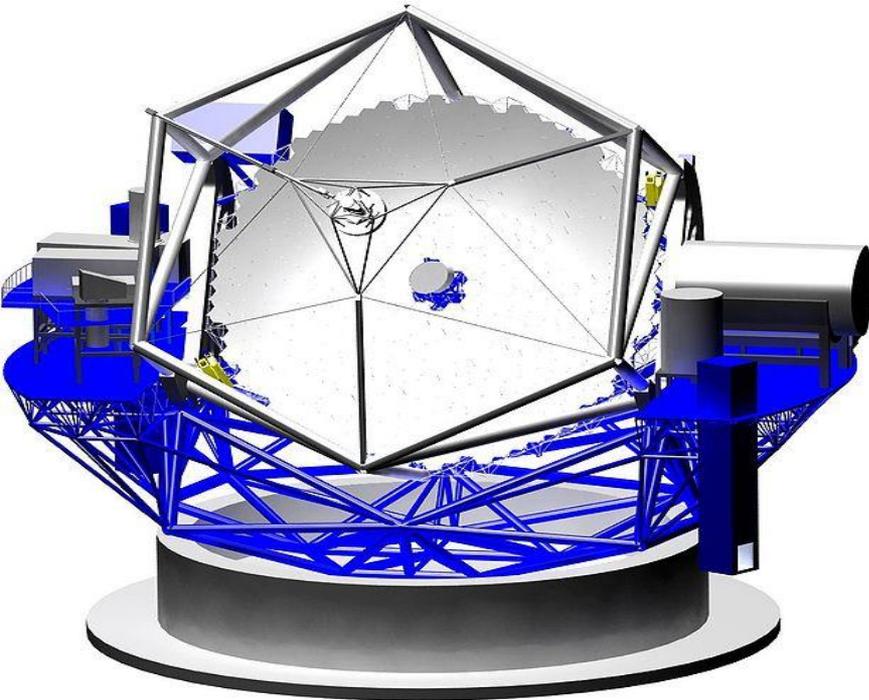
# Giant Magellan Telescope

Organization	GMT Consortium
Location	Las Campanas Observatory, Chile
Altitude	2,516 m
Wavelength	320–25000 nm
Built	<i>Awaiting funding</i>
Telescope style	Gregorian
Diameter	25.448 m
Angular resolution	0.21–0.3" at 500 nm
Focal length	18.000 m (M1) 202.745 m (M1+M2)
Mounting	altitude/azimuth



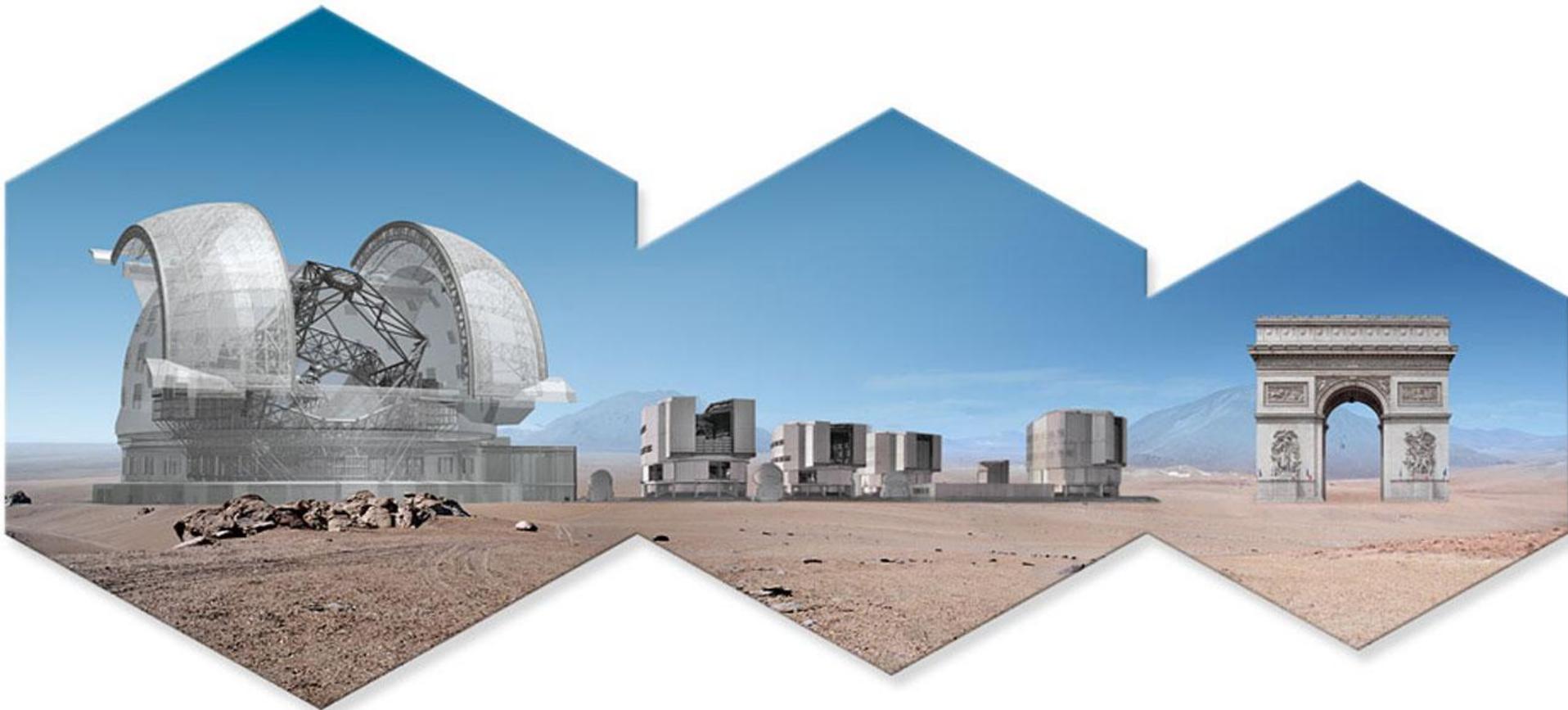
# Thirty Metre Telescope (TMT)

Location	Mauna Kea Observatory
Altitude	4,050 m
Wavelength	Mid-IR to visible (0.31–28 $\mu\text{m}$ )
Built	<i>planned</i> (est. completion 2018)
Telescope style	Segmented Ritchey-Chrétien telescope
Diameter	30 metres (98 feet)
Focal length	f/15 (450 m)
Dome	Spherical

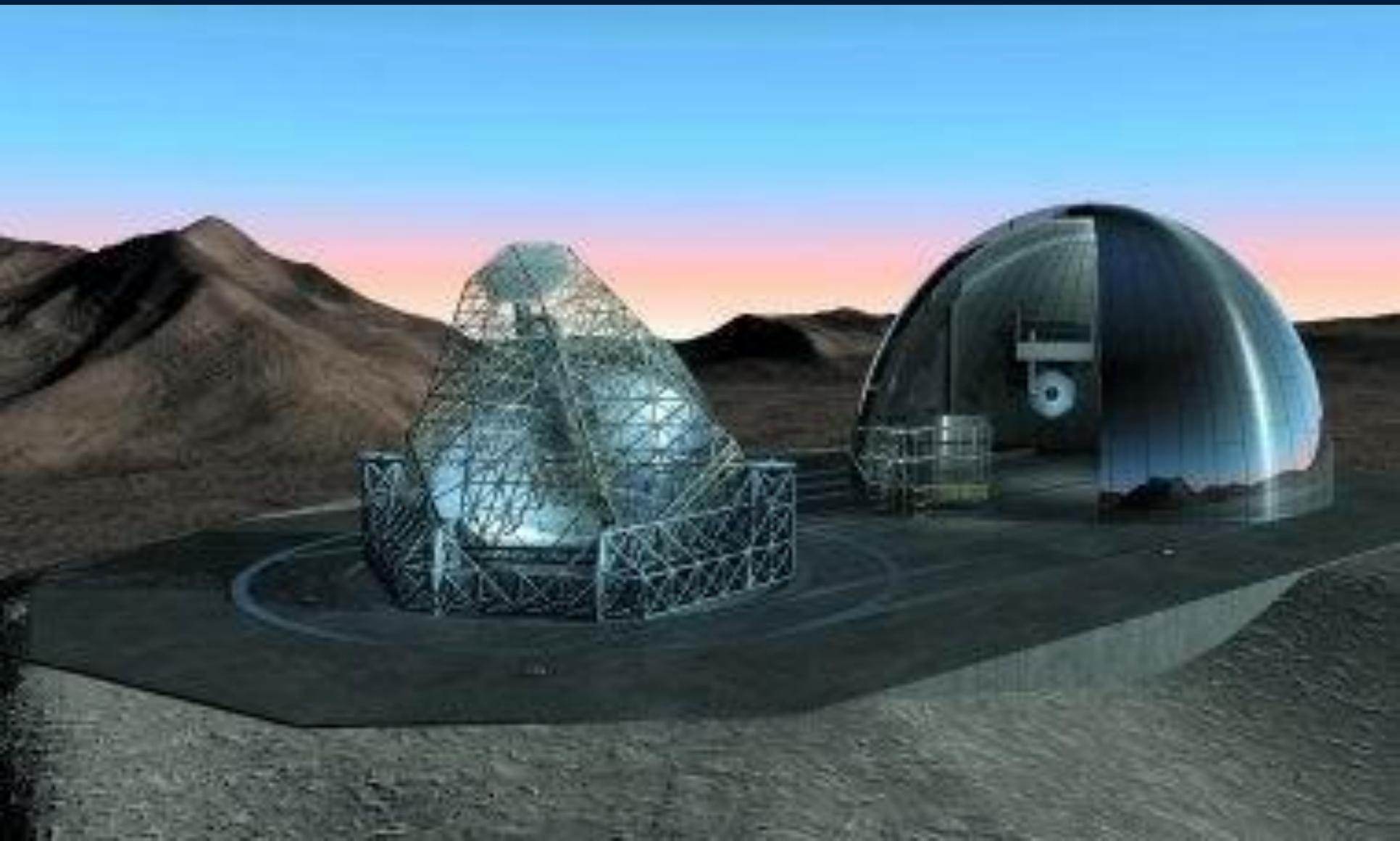


# E-ELT

<b>Name:</b>	European Extremely Large Telescope (E-ELT)
<b>Type:</b>	optical to mid-infrared telescope
<b>Aperture:</b>	39.3 m
<b>Field of view:</b>	10 arcminute diameter
<b>Mounting:</b>	Nasmyth mount
<b>Location:</b>	Cerro Armazones, Chile



# Overwhelmingly Large Telescope (OWL)



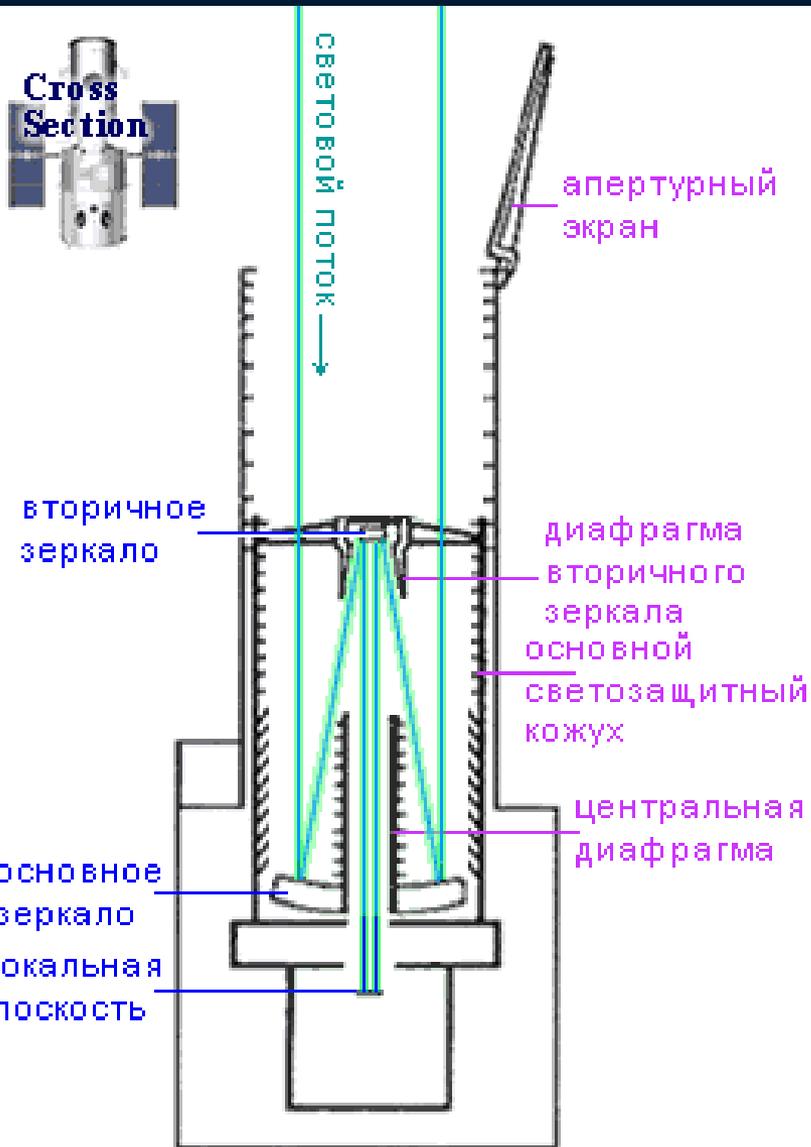
# ***Космические телескопы***



# Hubble Space Telescope



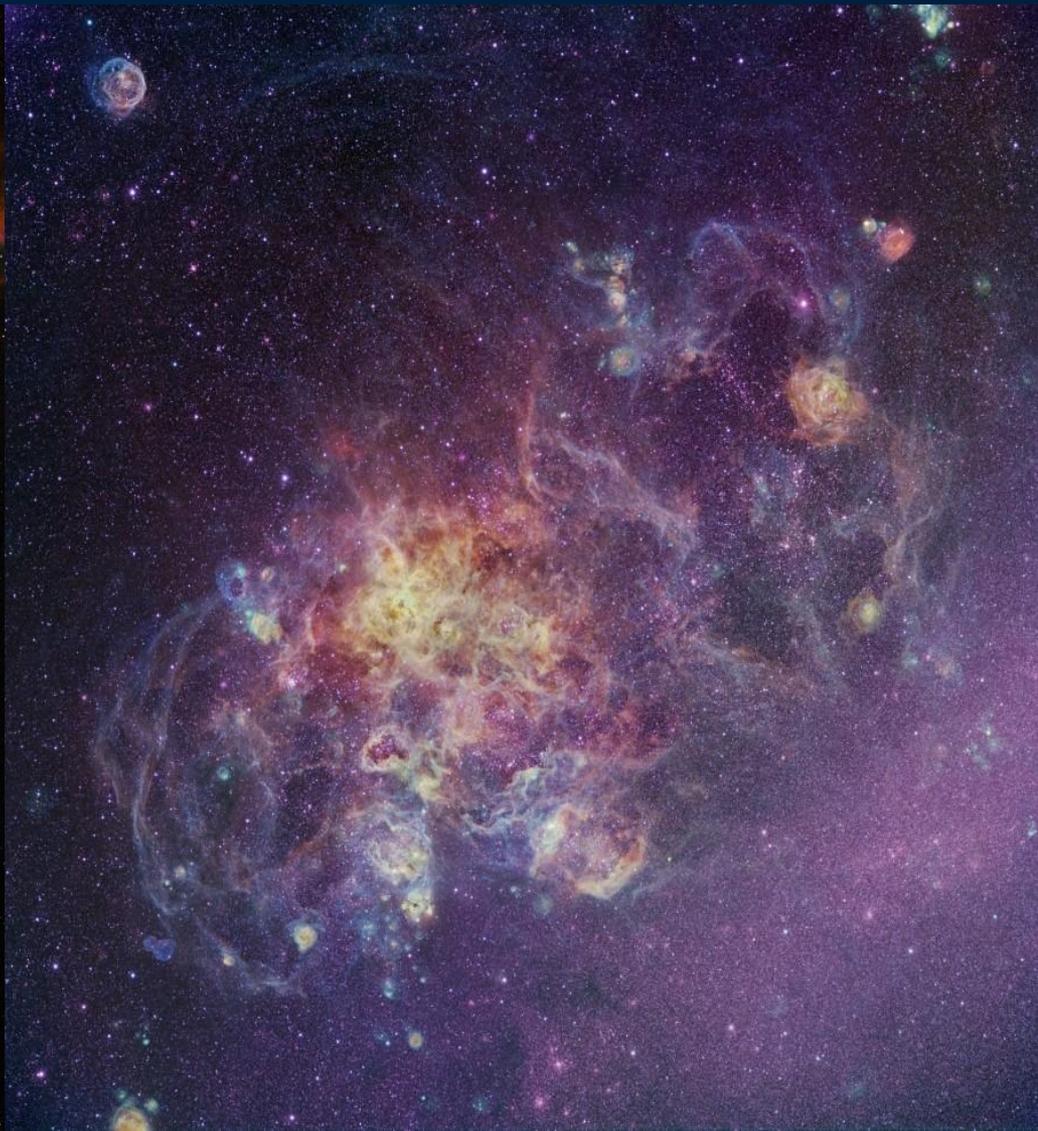
**Cross  
Section**



Длина	13,3 м
Ширина	4,3 м
Масса	10863 кг
Апертура главного зеркала	2,4 м
Апертура вторичного зеркала	0,3 м
Эффективное фокусное расстояние	57,6 м
Оптическая схема	Ричи-Кретьена Кассегрена
Орбита	перигей 590 км, апогей 596 км
Наклонение	28,5 градусов
Период обращения	97 минут
Орбитальная скорость	28 тыс. км/ч
Стоимость	\$2,2 млрд. на момент запуска
Расчетный период эксплуатации	Около 15-20 лет (при регулярном техобслуживании на орбите)
Система стабилизации	По трем осям
Точность наведения	0,007 арксек



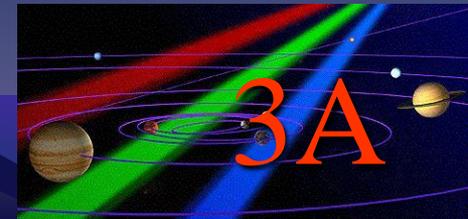
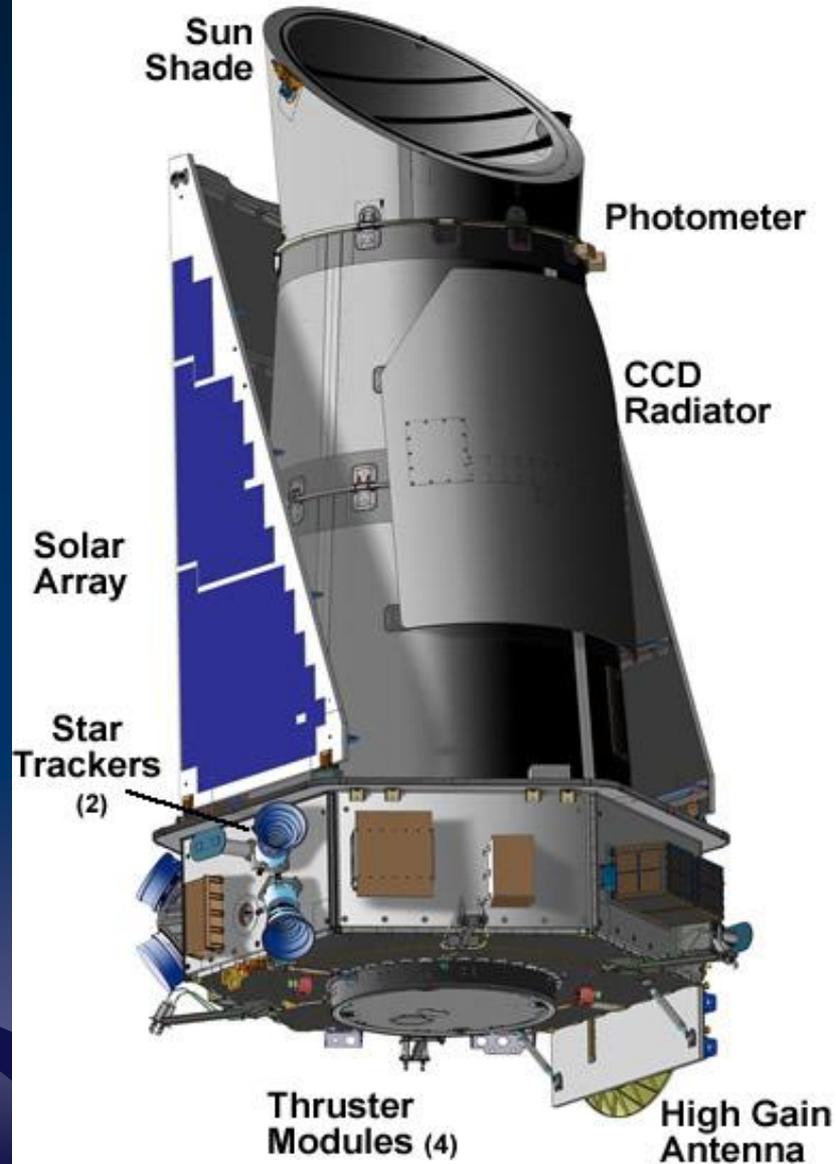
# Изображения галактических и внегалактических объектов

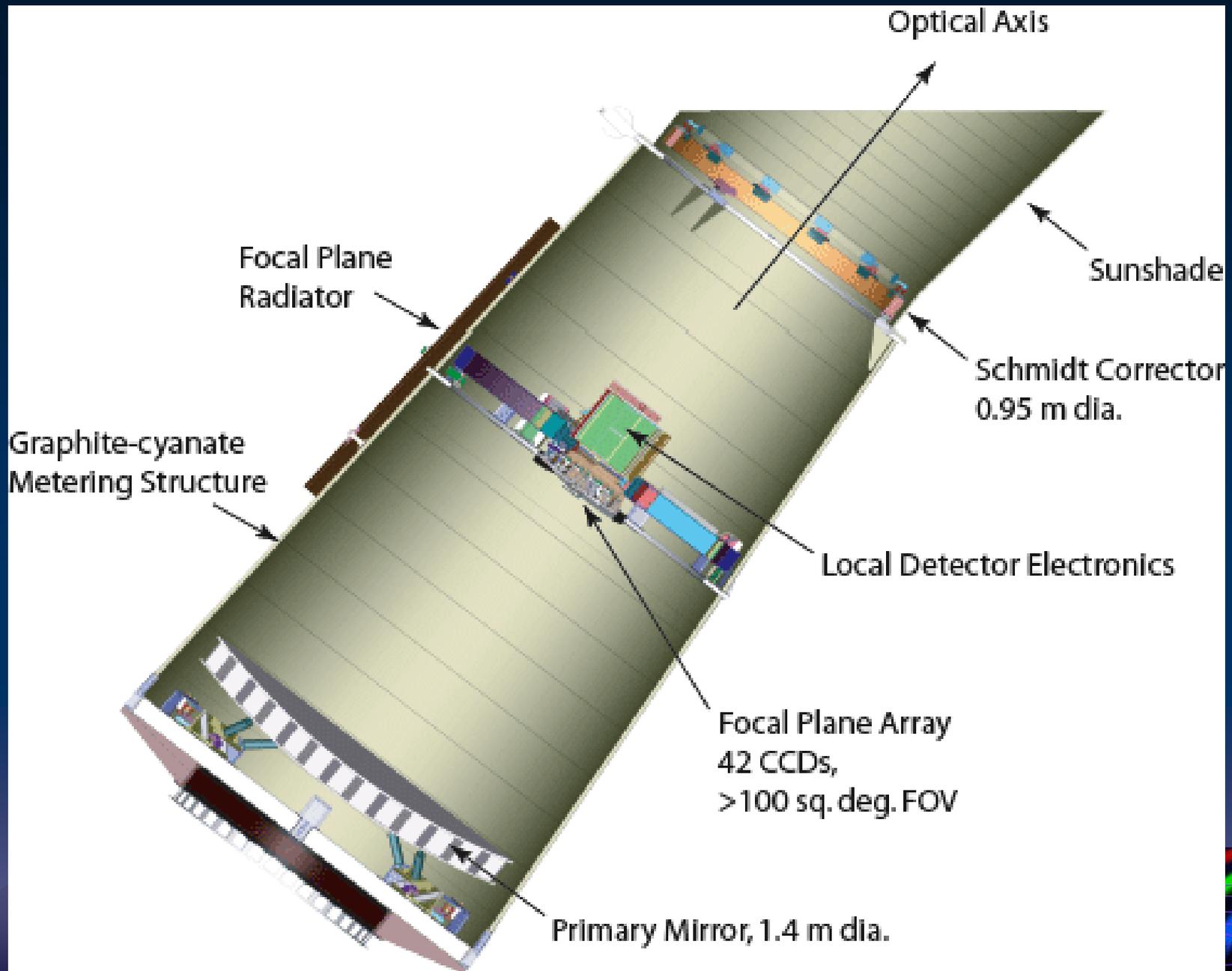


# Изображения галактических и внегалактических объектов



# Kepler





Optical Axis

Focal Plane Radiator

Sunshade

Graphite-cyanate Metering Structure

Schmidt Corrector  
0.95 m dia.

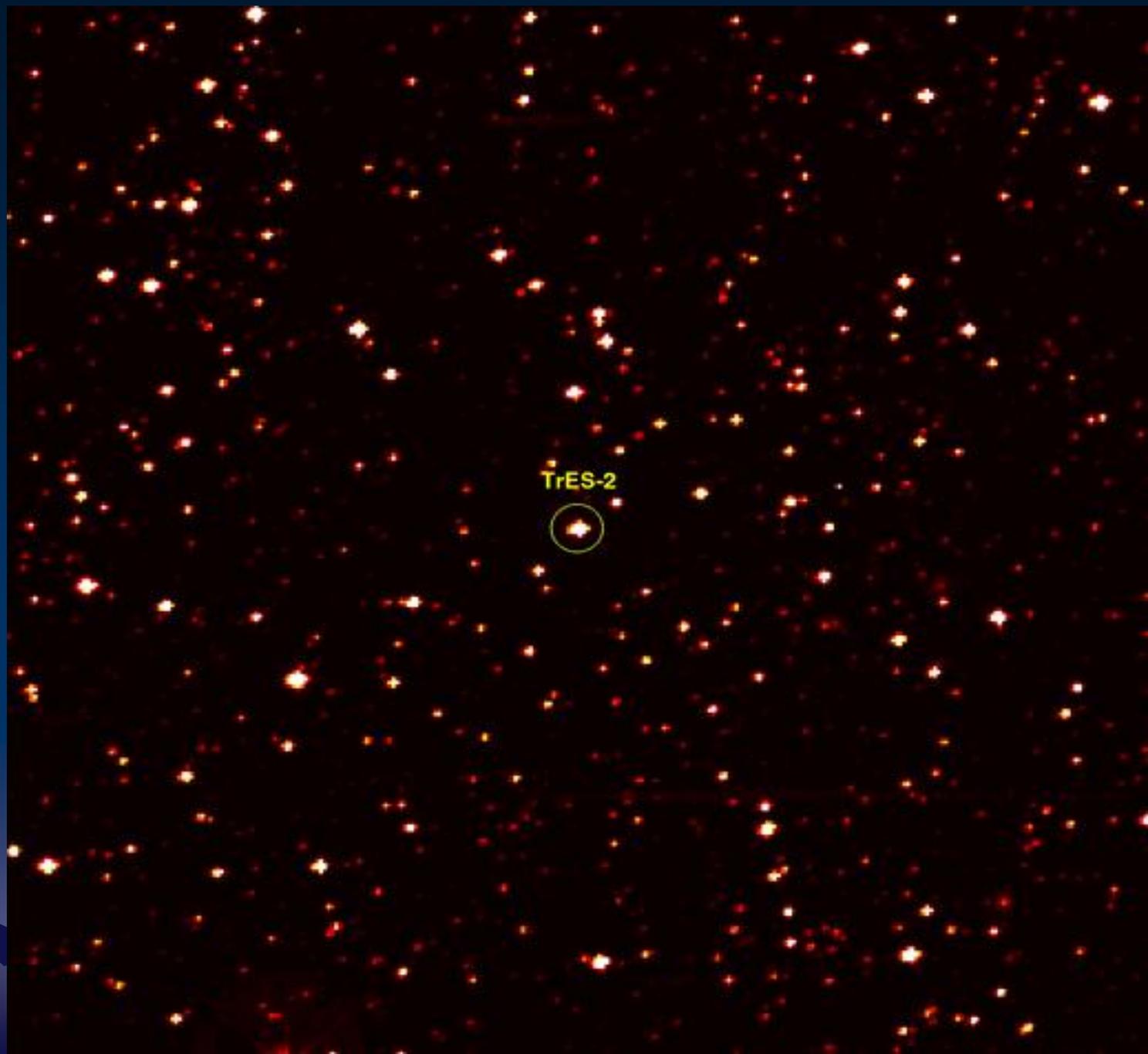
Local Detector Electronics

Focal Plane Array  
42 CCDs,  
>100 sq. deg. FOV

Primary Mirror, 1.4 m dia.



Изображение  
участка  
Млечного  
пути, в  
котором  
работает  
Kepler

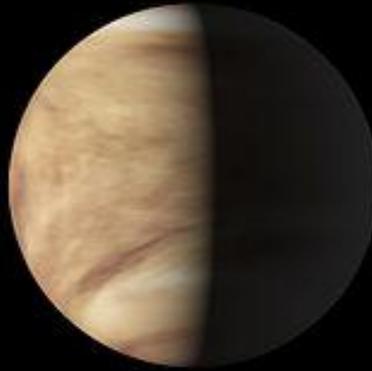


20 декабря 2011 г. обнаружены первые две планеты,  
размеры которых близки по размеру с Землей

Kepler-20e



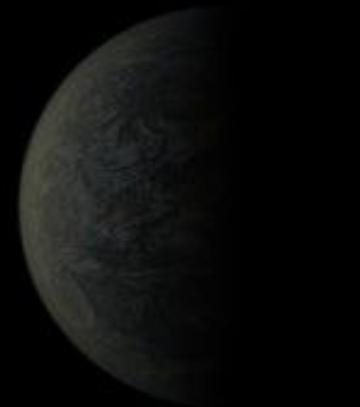
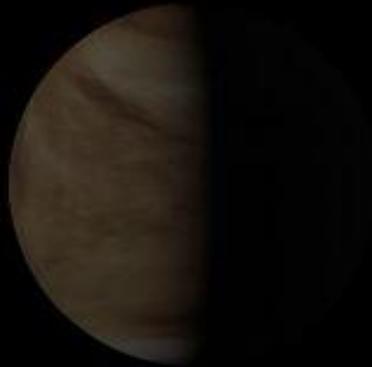
Venus



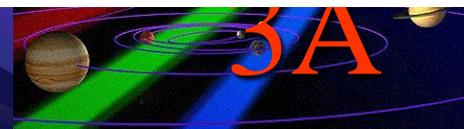
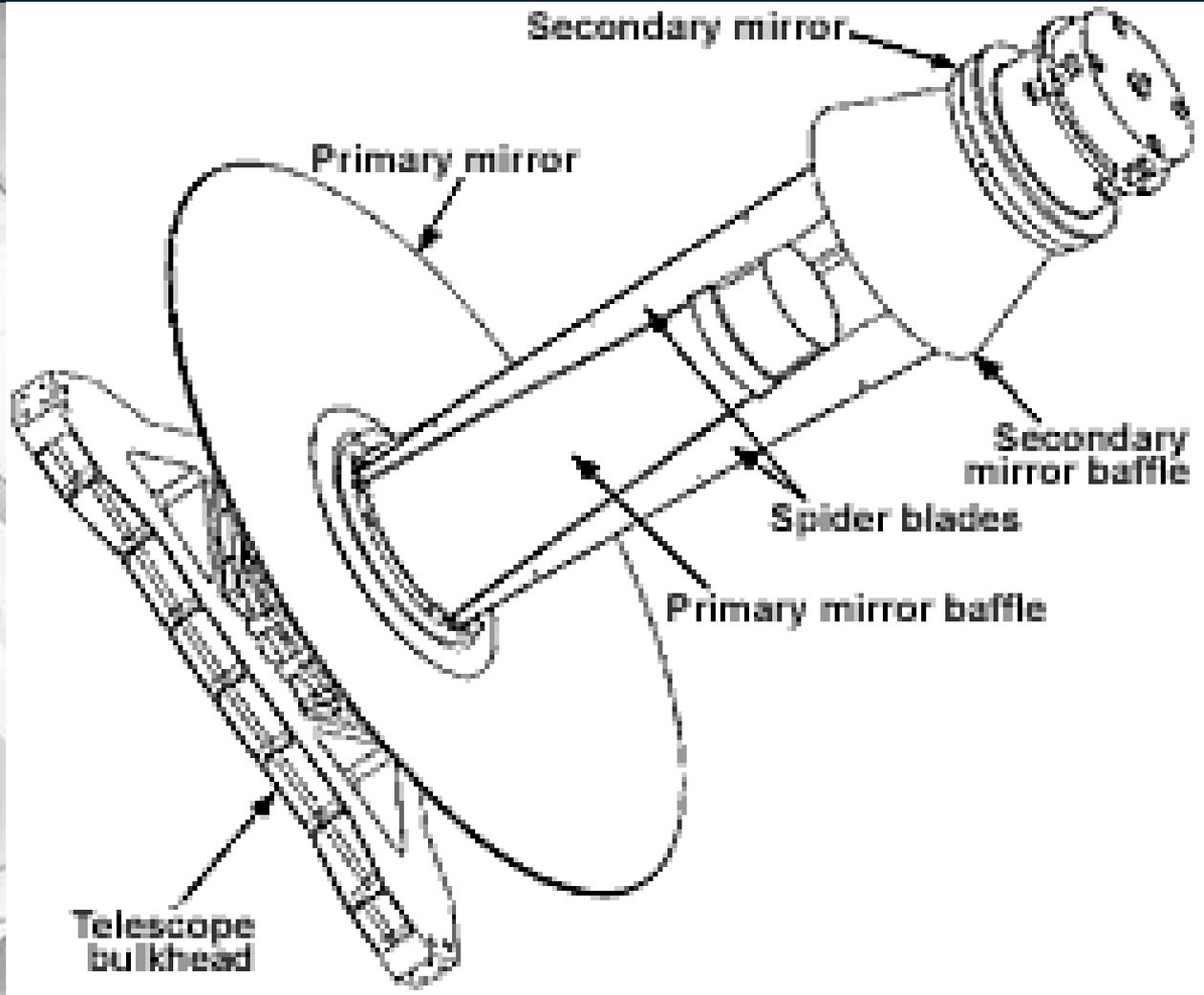
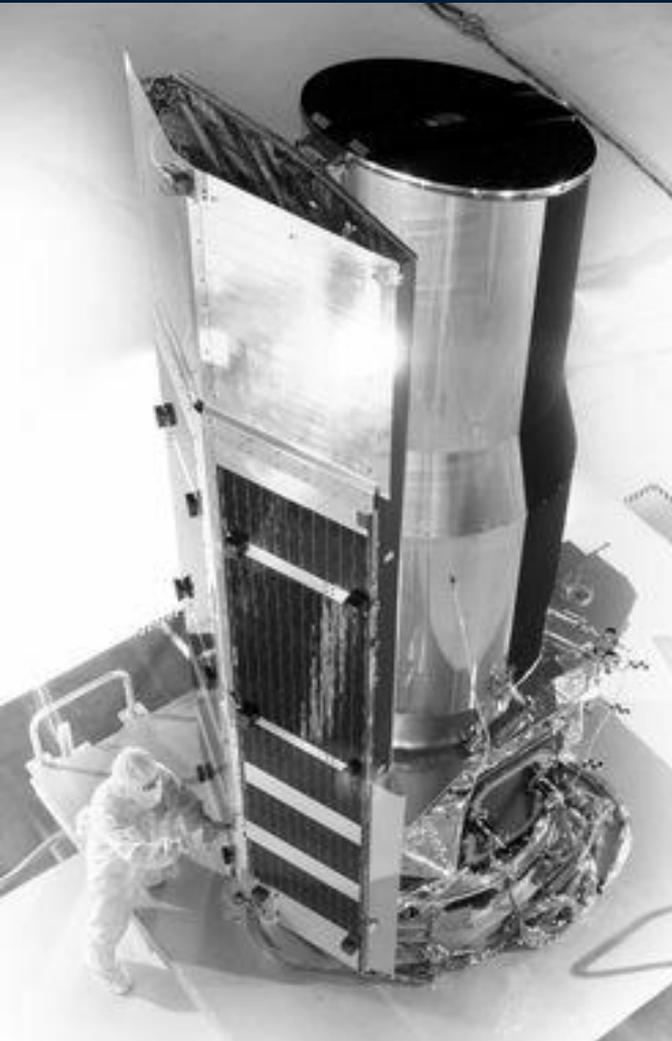
Earth



Kepler-20f



# Spitzer



# Herschel

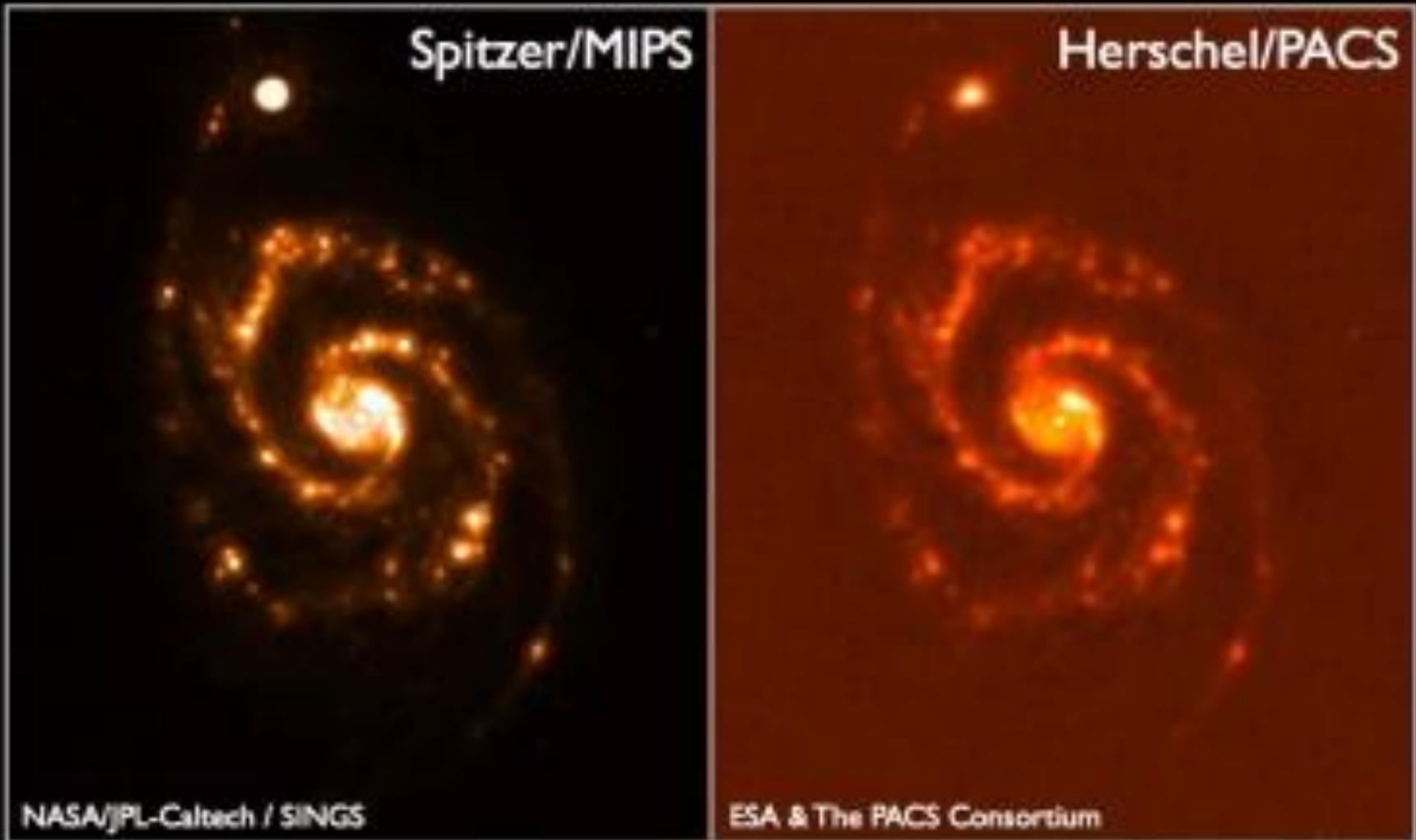
Диаметр - 3,5 метра, работает в инфракрасном диапазоне спектра. Зеркало из карбида кремния. Вес телескопа 300 кг, в то время как телескоп из традиционных материалов весил бы 1,5 тонны. Зеркало «склеено» из 12 элементов.



Волновой  
диапазон:

от 60 до 670  $\mu\text{m}$

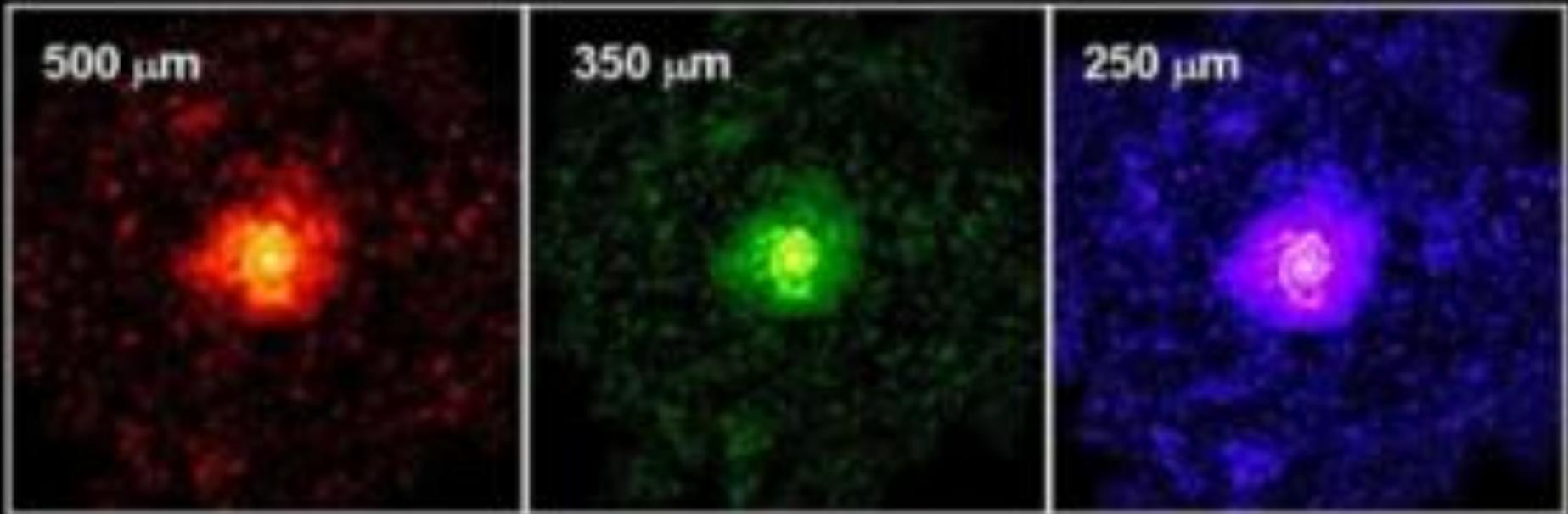
# Основные результаты



Spiral Galaxy M51 ("Whirlpool Galaxy") at 24 $\mu$ m (MIPS) and 100 $\mu$ m (PACS)

# Основные результаты

## SPIRE Images of M74

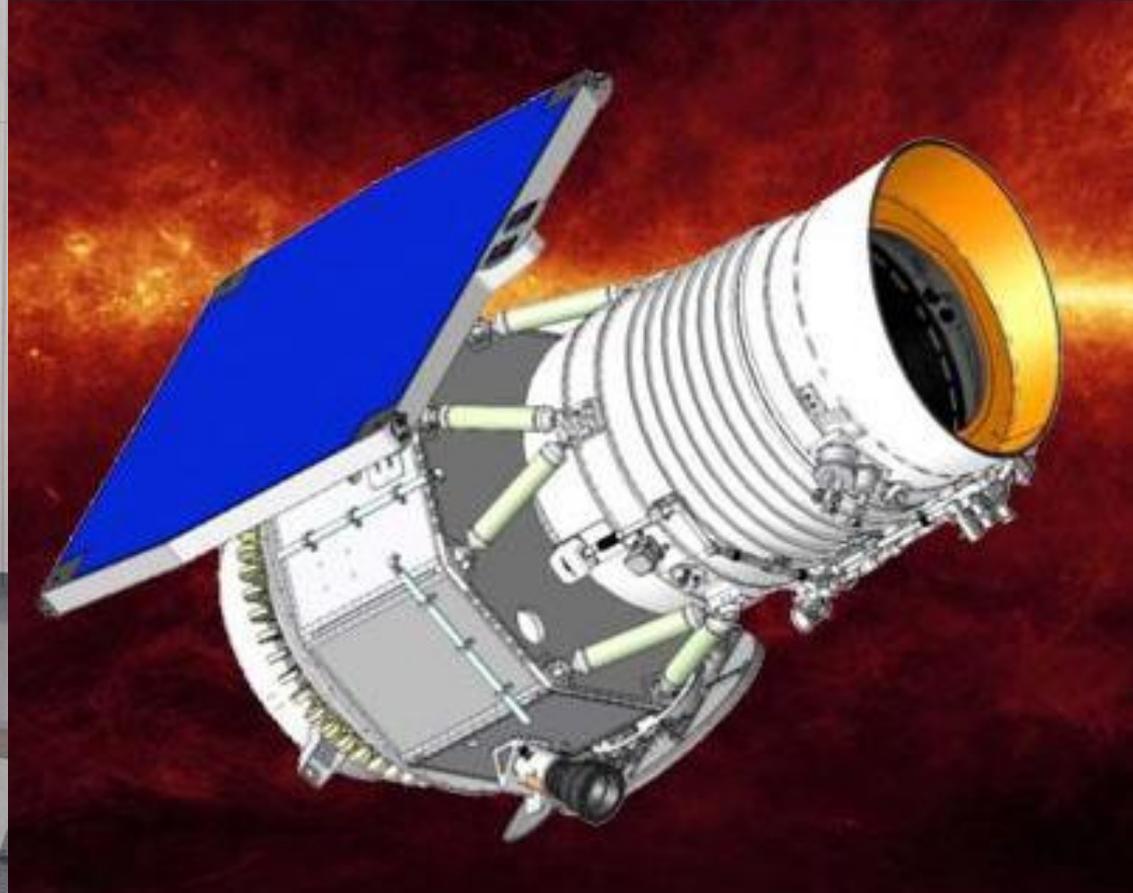


# WISE

Тип телескопа: телескоп-рефлектор

Волновой диапазон: 3.4, 4.6, 12, 22  $\mu\text{m}$

Диаметр: 0.4 м



# Гранат

## Гамма-телескоп SIGMA

Французский гамма-телескоп SIGMA – самый большой инструмент обсерватории «Грант», весом около одной тонны, высотой 3.5 метра, диаметром 1.2 метра. Он состоит из кодирующей маски, позиционно-чувствительного детектора, и активной и пассивной защиты от фона.



Тип детектора  
Один сцинтиллятор NaI(Tl) + 61 гексагональных фотоумножителей

Площадь детектора  
794 см<sup>2</sup>

Активная площадь детектора  
540 см<sup>2</sup>

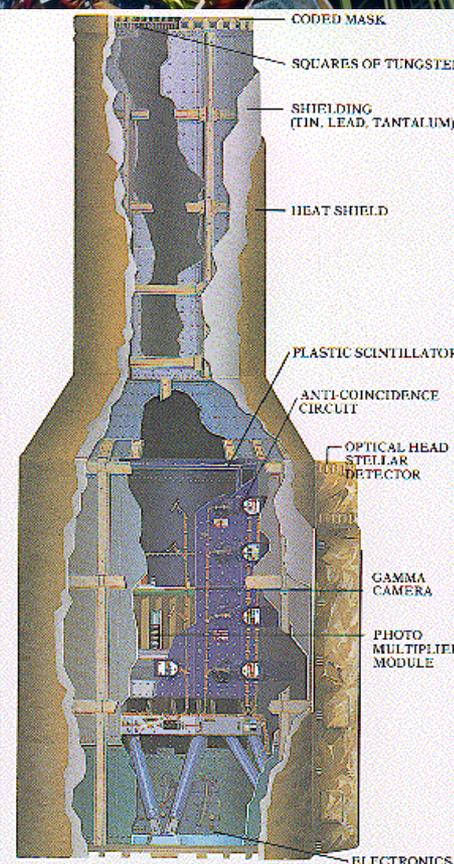
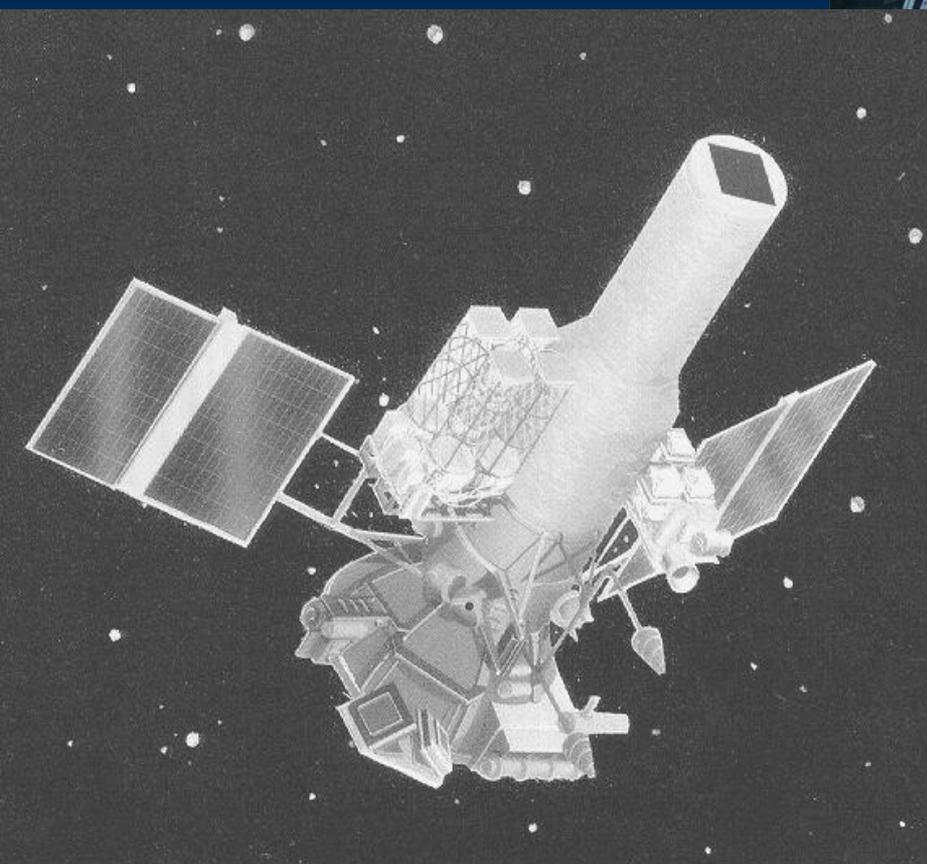
Поле зрения полного кодирования  
4.3°x4.7°

Размер пикселя маски  
9.4x9.4 мм<sup>2</sup> (49x53 элементов)

Угловое разрешение (FWHM), по оси  
13'

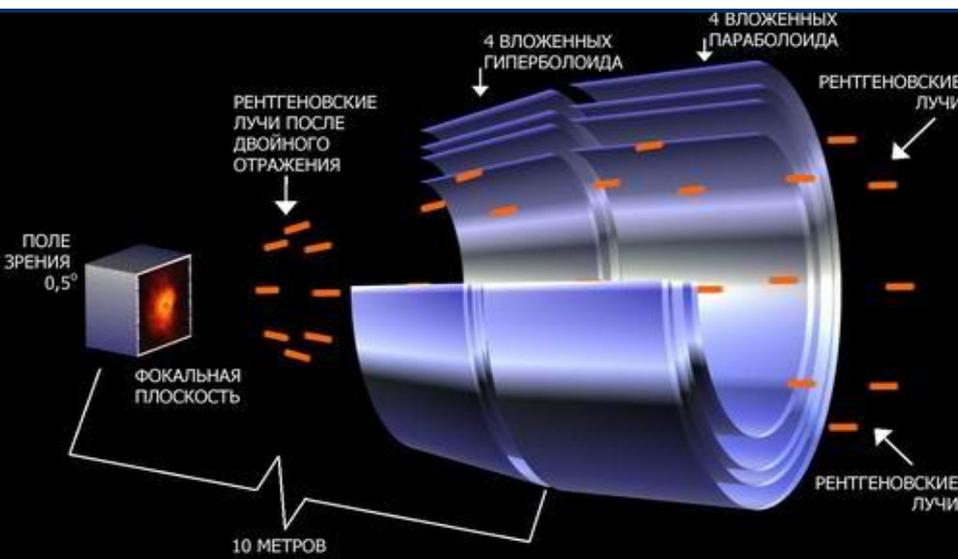
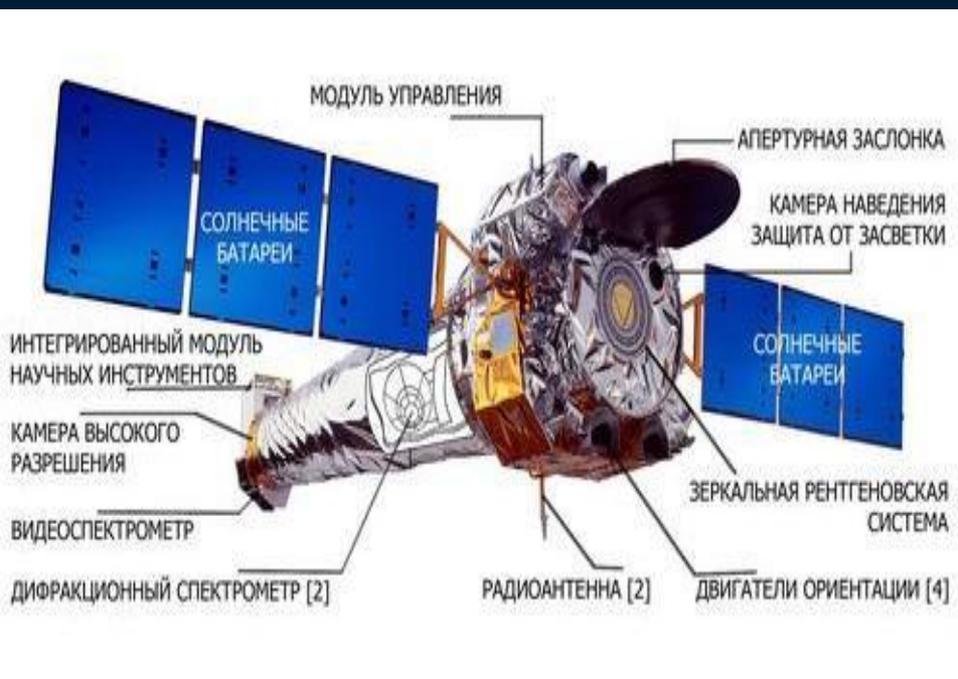
Энергетический диапазон  
30-1500 кэВ

Энергетическое разрешение (FWHM)  
8% на 511 кэВ



# Чандра

Работает с 1999



AXAF CCD Imaging Spectrometer:

ПЗС фотометр рентгеновского диапазона

High Energy Transmission Grating:

Диффракционная решетка для рентгеновских лучей

High Resolution Camera:

Микроканальная камера высокого пространственного разрешения

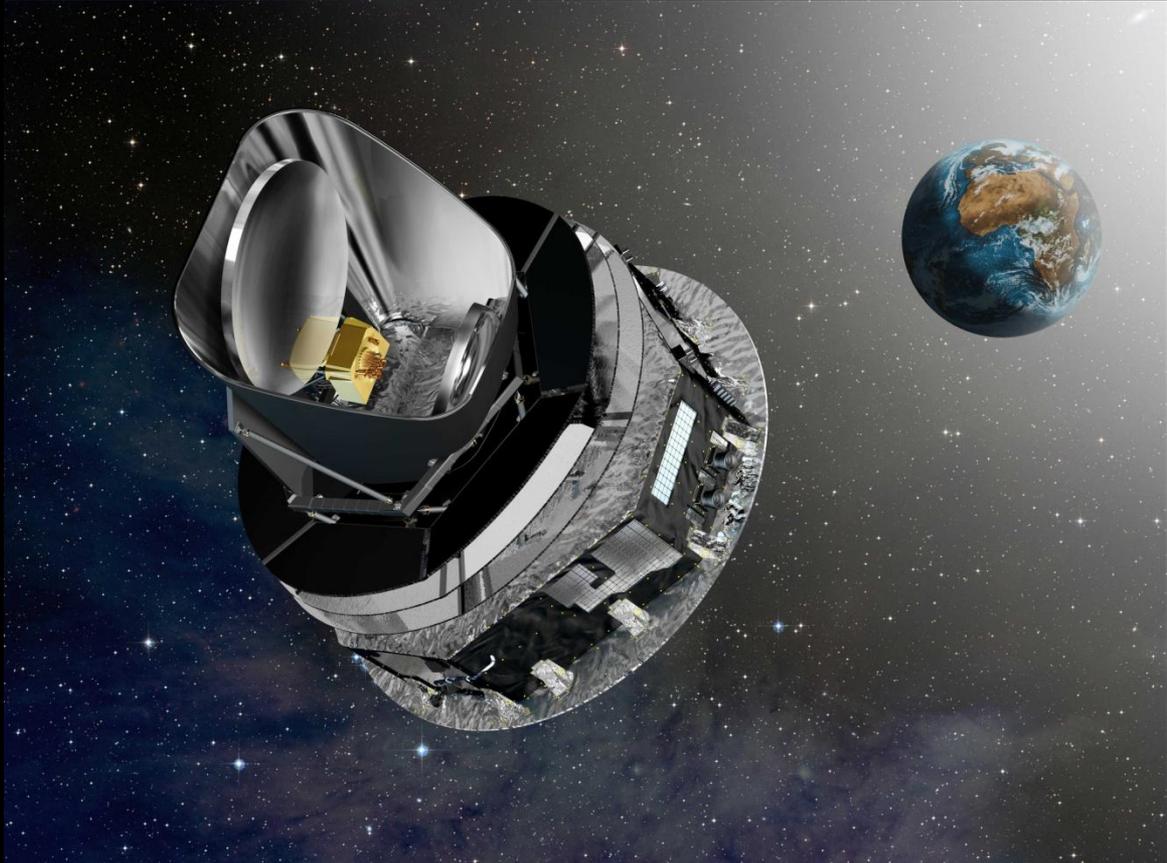
Low Energy Transmission Grating:

Диффракционная решетка для мягких рентгеновских лучей

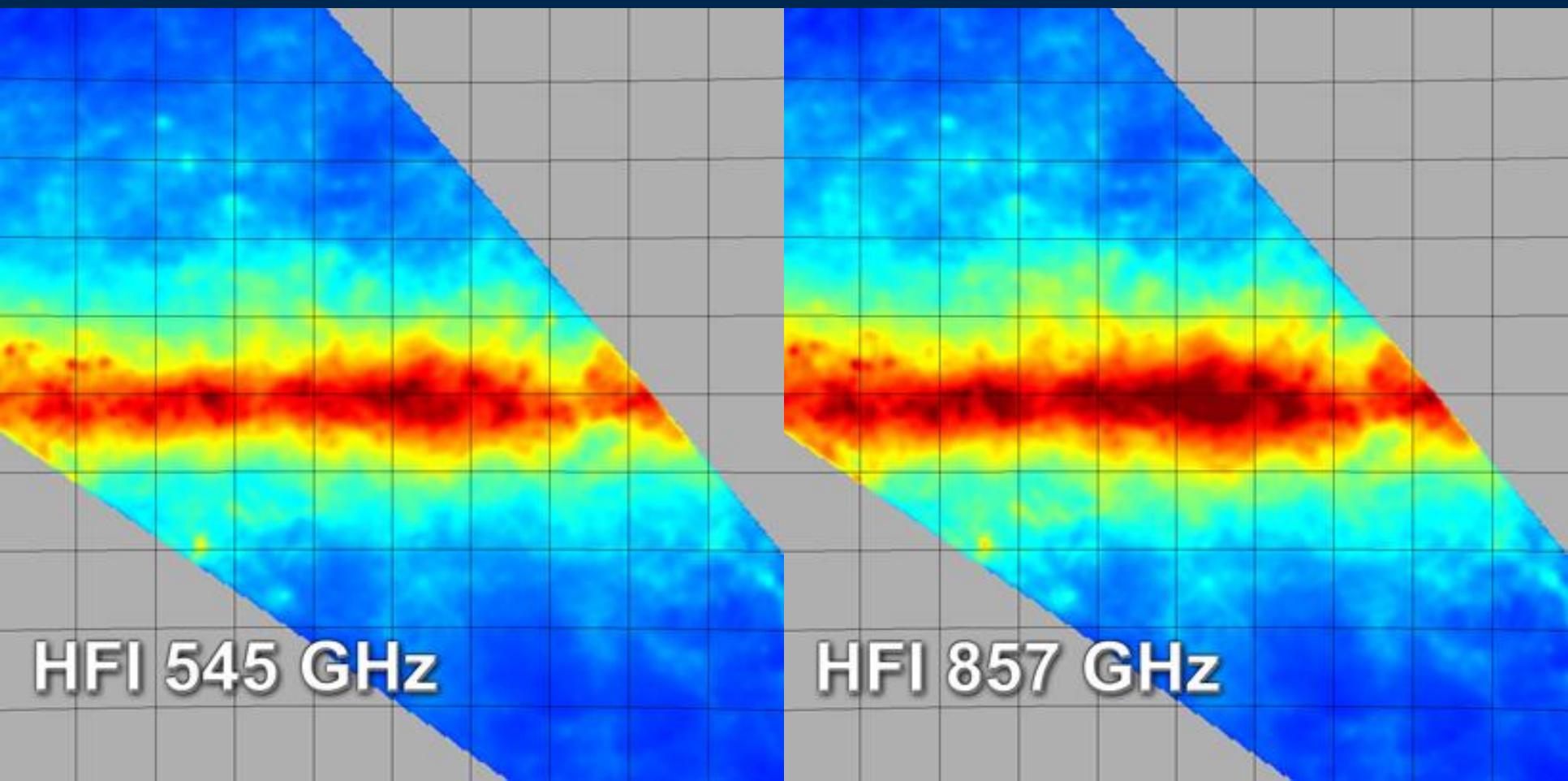


# Planck

Планк оснащен внеосевым телескопом системы Грегори. Главное зеркало имеет размер  $1.9 \times 1.5$  м. Поскольку зеркало наклонено по отношению ко входящему пучку, апертура телескопа остается 1.5 м. Вторичное зеркало имеет размер  $1.1 \times 1.0$  м. Оно фокусирует собранное излучение на два прибора: Низкочастотный приемник (LFI) ( $30 \div 70$  ГГц или примерно  $4 \div 10$  мм) и Высокочастотный приемник (HFI) ( $100 \div 857$  ГГц или примерно  $0,35 \div 1$  мм).



# Изображения участка галактической плоскости



HFI 545 GHz

HFI 857 GHz

# Список литературы

- Уокер А. Астрономические наблюдения. 1989. 230 с.
- Курс астрофизики и звездной астрономии. (Под ред. Михайлова А.А.) 1973. Москва. Наука. 608 с.
- Мартынов А.В. Практическая астрофизика. 1980. 194 с.
- Тербиж В.Ю. Современные оптические телескопы. 2005. 80с.
- Wikipedia, the free encyclopedia.

