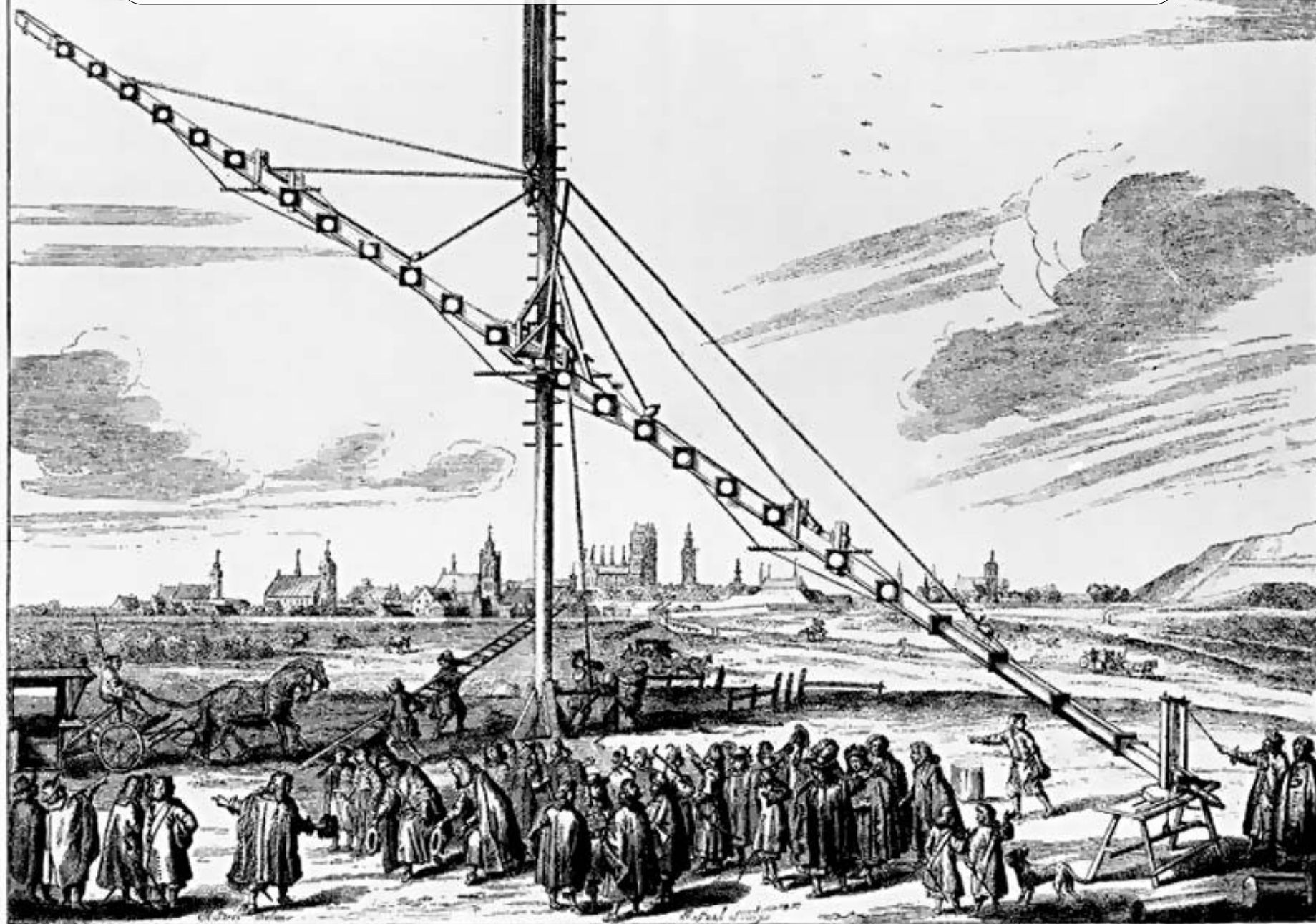
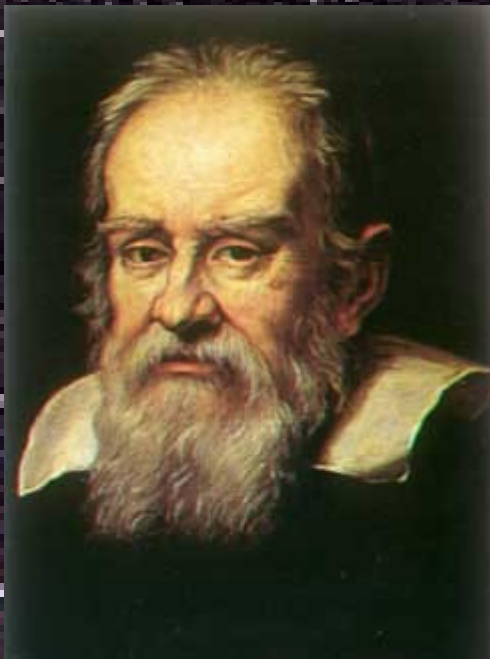


Оптические телескопы





Галилео Галиллей в 1609 году применил зрительную трубу 3^х в качестве телескопа

Другим своим инструментом (D=45 мм, F~1 м, 32х) Галиллей смог сделать ряд открытий:

- Рельеф Луны (горы, кратеры)
- 4 спутника Юпитера
- Солнечные пятна
- Фазы Венеры
- Кольца Сатурна
- Звезды Млечного пути



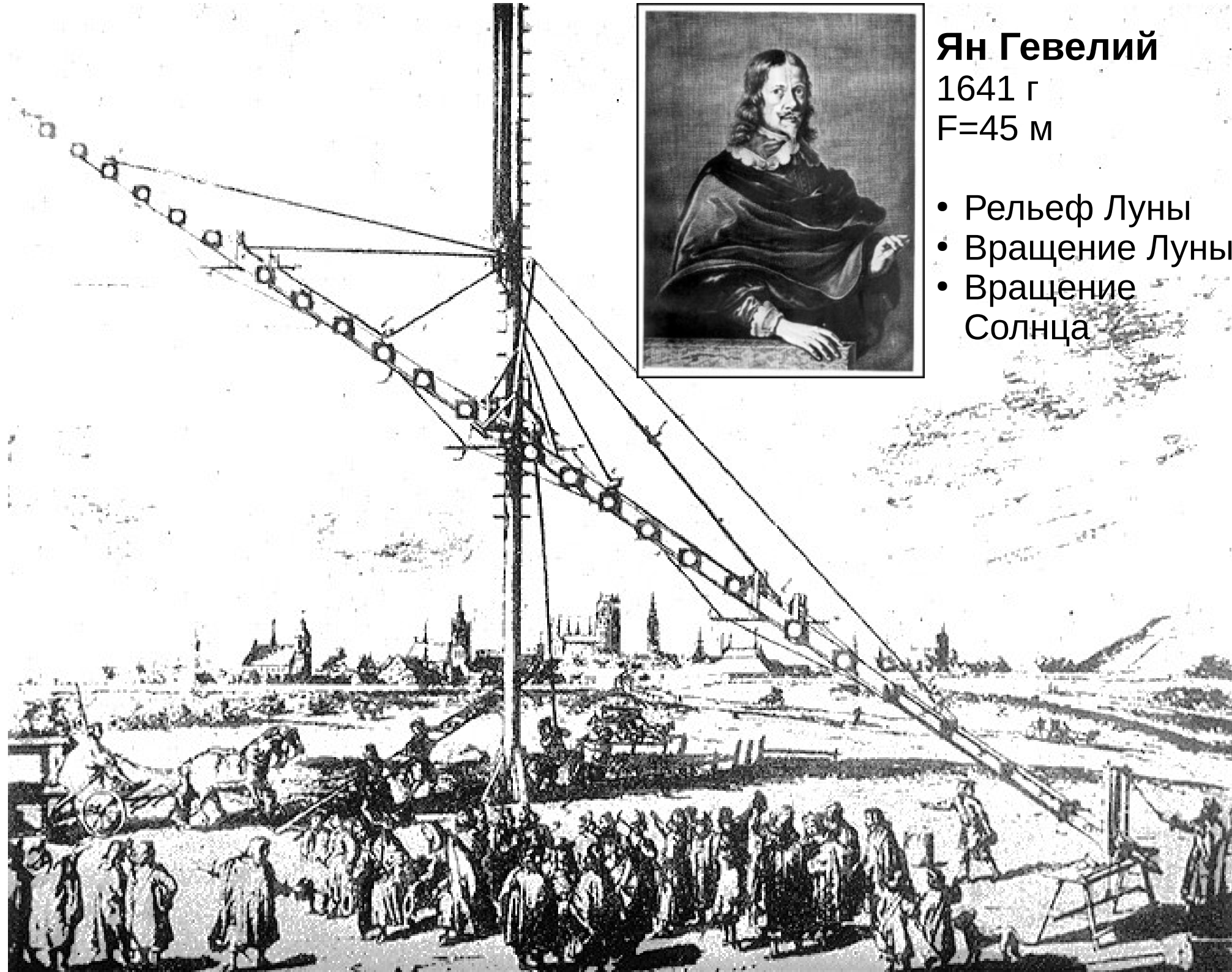


Ян Гевелий

1641 г

$F=45$ м

- Рельеф Луны
- Вращение Луны
- Вращение Солнца





Уильям Гершель

1789 г

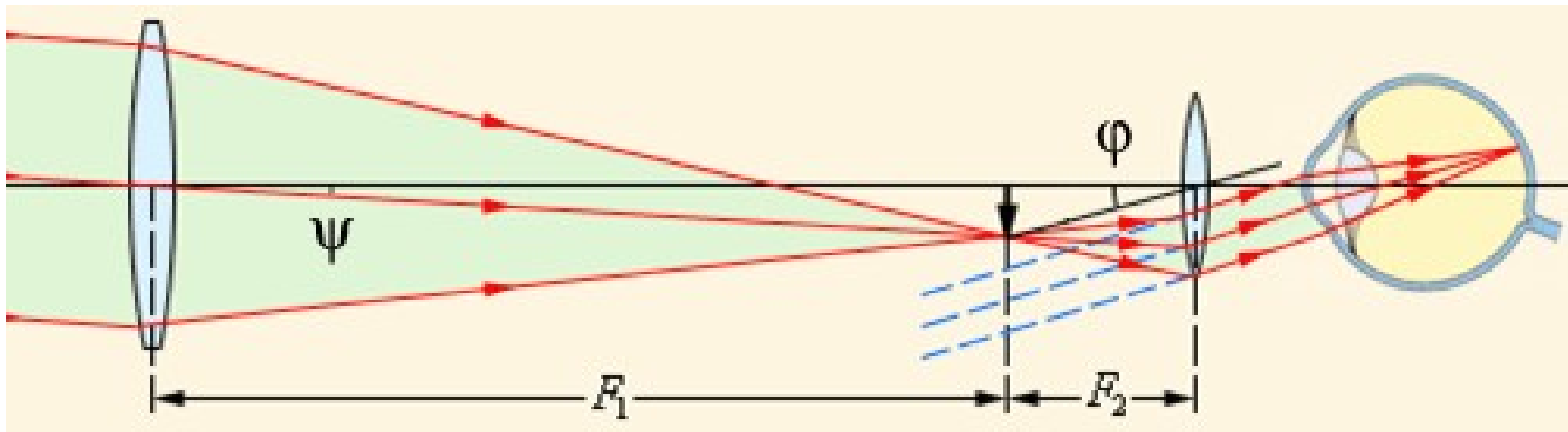
$F=12$ м

$D=1.26$ м

- Уран
- Двойные звезды
- Спутники Урана
- Спутники Сатурна

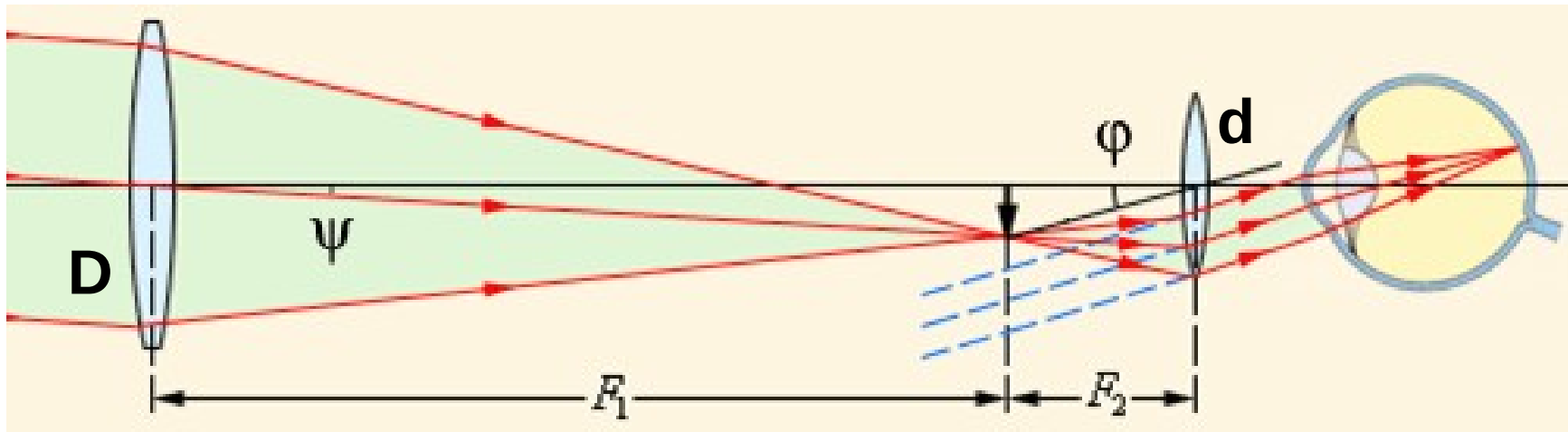


Основные функции телескопа



- 1) Увеличение угловых размеров наблюдаемых объектов
- 2) Увеличение площади регистрации излучения

Увеличение телескопа

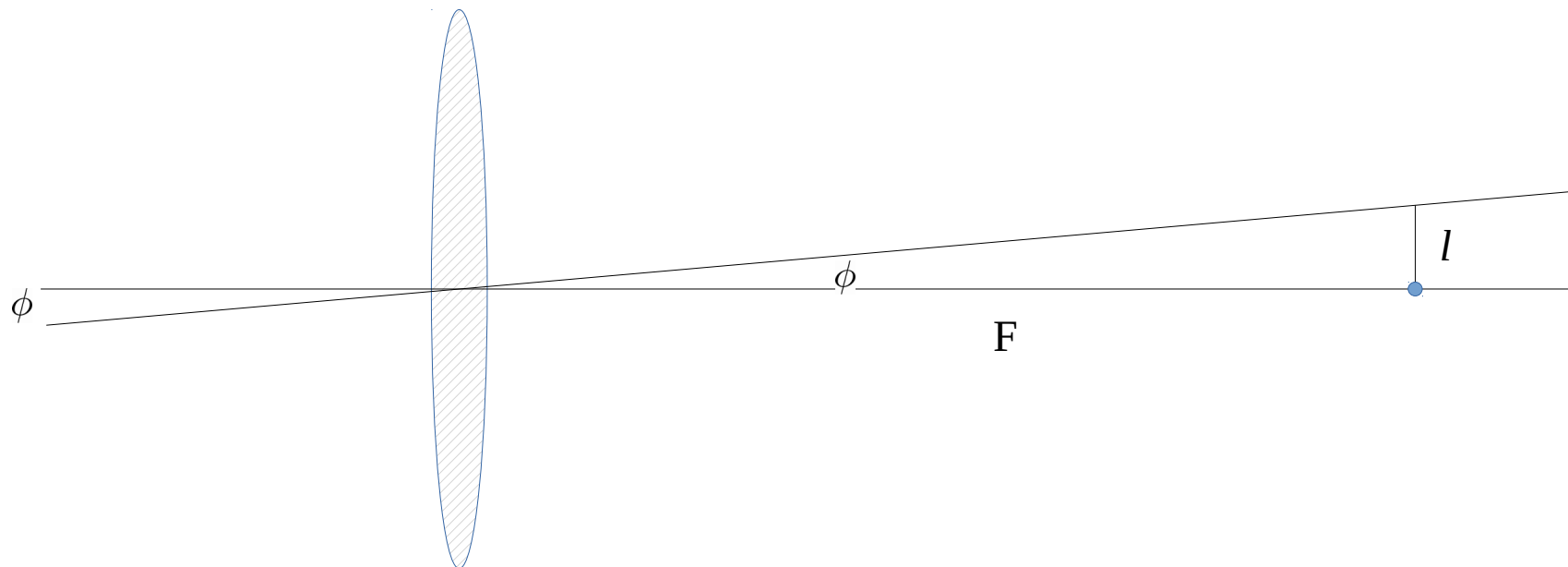


$$F_1 \operatorname{tg} \psi = F_2 \operatorname{tg} \phi$$

$$G = \frac{\phi}{\psi} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{D}{d}$$

$\frac{D}{F_1}$ Относительное отверстие или светосила (диафрагма)

Камера телескопа



$$l = F \operatorname{tg} \phi = F \phi(\operatorname{rad}) = F \frac{\phi^{\circ}}{57.3} = F \frac{\phi''}{206265}$$

Разрешающая сила телескопа

Из оптики дифракционный предел: $\alpha(rad) = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

Для видимого света 5500 А $\alpha'' = \frac{138}{D(mm)}$

Размер дифракционного изображения
в камере (мм) $6.7 \cdot 10^{-4} \frac{F}{D}$

Разрешающее увеличение $\alpha = 1' = 60'' = \frac{138}{D(mm)} G$

$$G = \frac{1}{2} D(mm)$$

Проницающая сила телескопа

$$\frac{E}{E(vis)} = \frac{S(tel)}{S(vis)} = \left(\frac{D}{6(mm)} \right)^2$$

Предельная звездная величина

$$m = 6 + 5 \lg \frac{D}{6} = 2.1 + 5 \lg D(mm)$$

Оптические системы телескопов

- Рефрактор — линзовый

Первые телескопы, полное использование светового пучка (отсутствие объектов, перекрывающих свет), значительные сферические и хроматические абберации, ограничение на массу и размер объектива

- Рефлектор — зеркальный

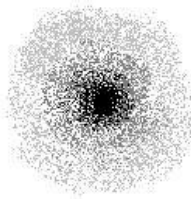
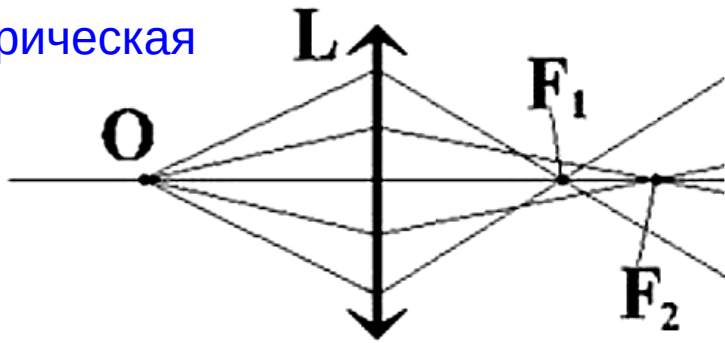
Отсутствие хроматической абберации и возможность уменьшить сферическую. Широкие возможности придания нужной формы поверхности зеркала. Использование систем зеркал.

- Катадиоптрическая — зеркально линзовый

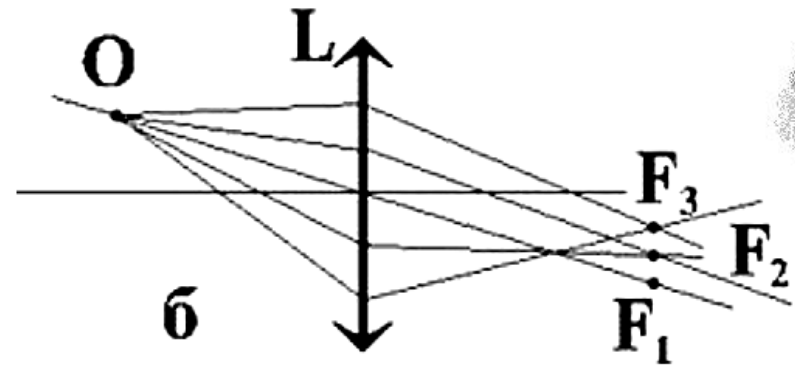
Сведение к минимуму аббераций при компактных размерах телескопа.

Аберрации оптических систем

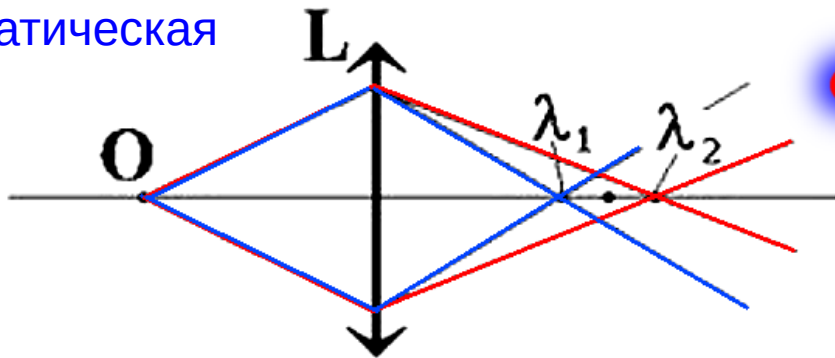
Сферическая



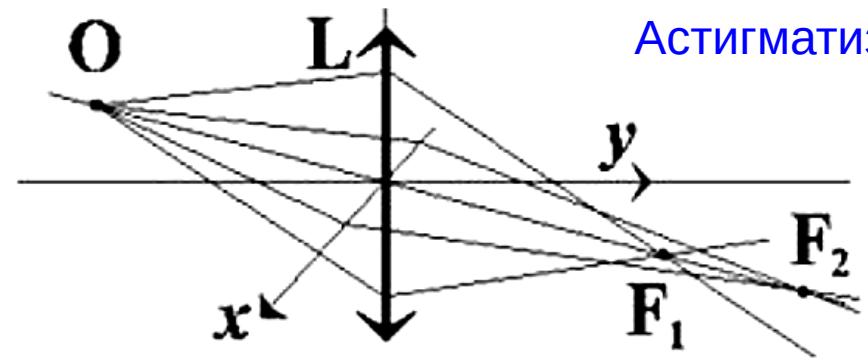
Кома



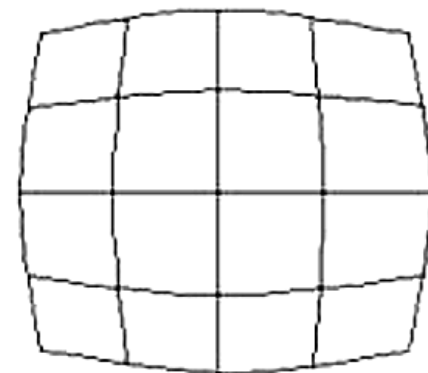
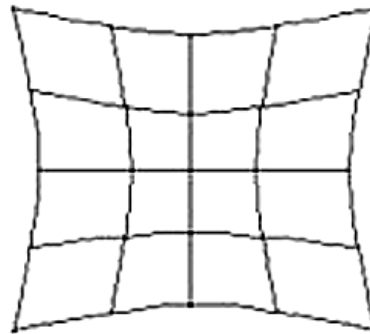
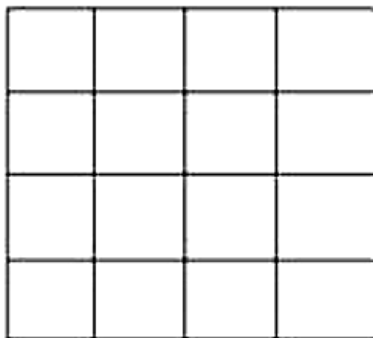
Хроматическая



Астигматизм

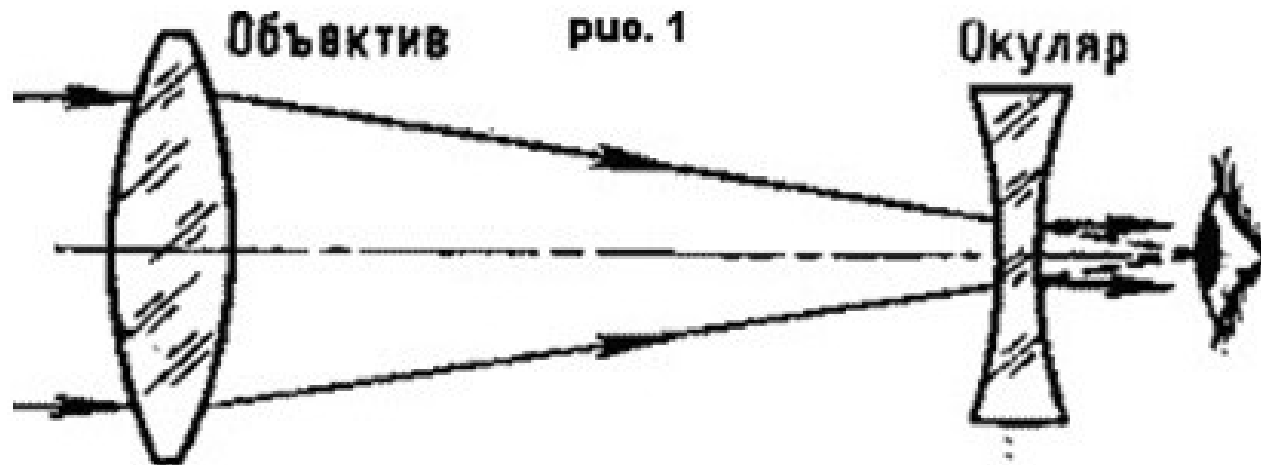


Дисторсия

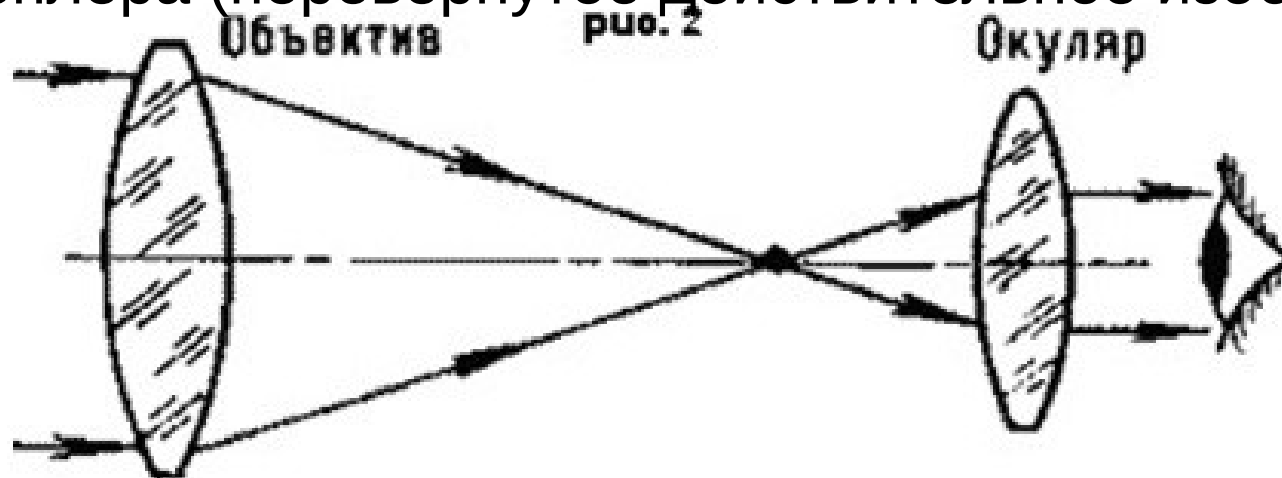


Рефракторы

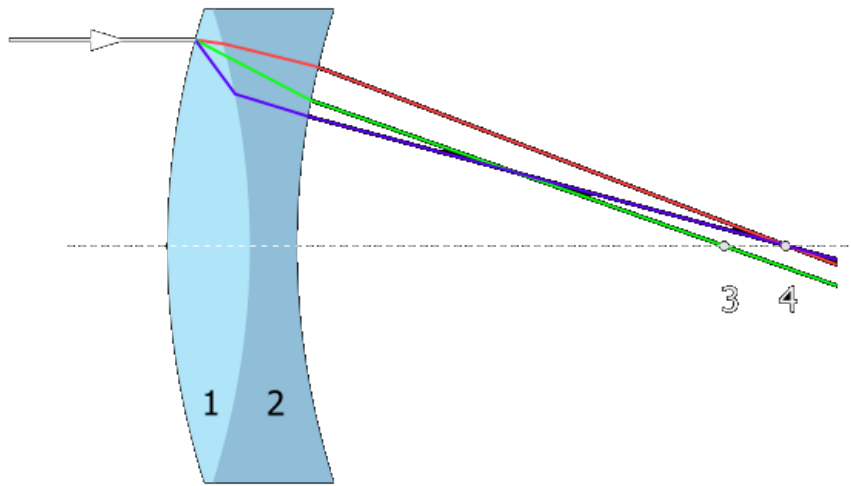
Система Галилея (прямое мнимое изображение)



Система Кеплера (перевернутое действительное изображение)

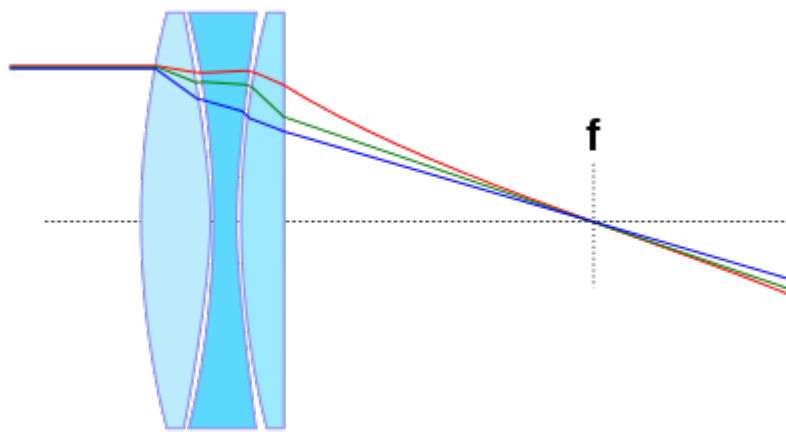


Типы объективов рефракторов



Ахромат — объектив, в котором исправлена хроматическая aberrация для лучей света двух различных длин волн и частично — сферическая aberrация

1 — крон, 2 — флинт, 3 — зелёный луч, 4 — точка сведения синего и красного лучей



Апохромат — оптическая конструкция, у которой исправлены сферическая aberrация и хроматические aberrации для трёх и более цветов. Как правило, является усложнённым ахроматом с линзами из стекла специальных сортов (например, курцфлинт) и некоторых кристаллов (флюорит, квасцы).

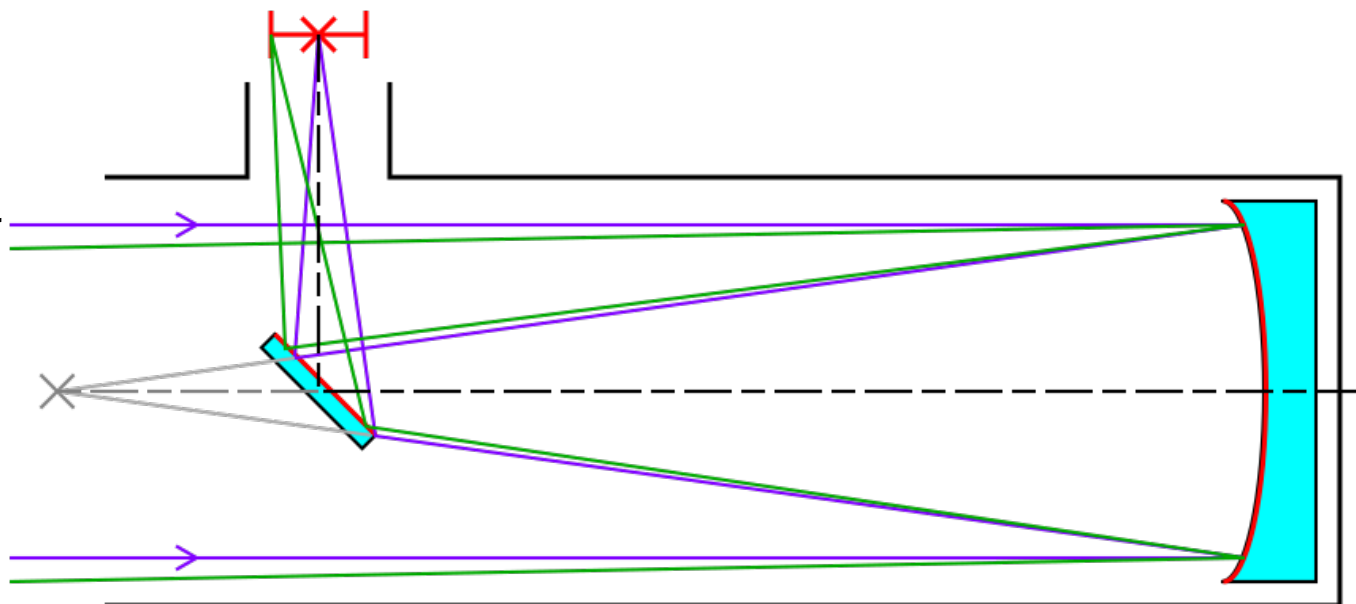
Цейсс-400



Рефлекторы

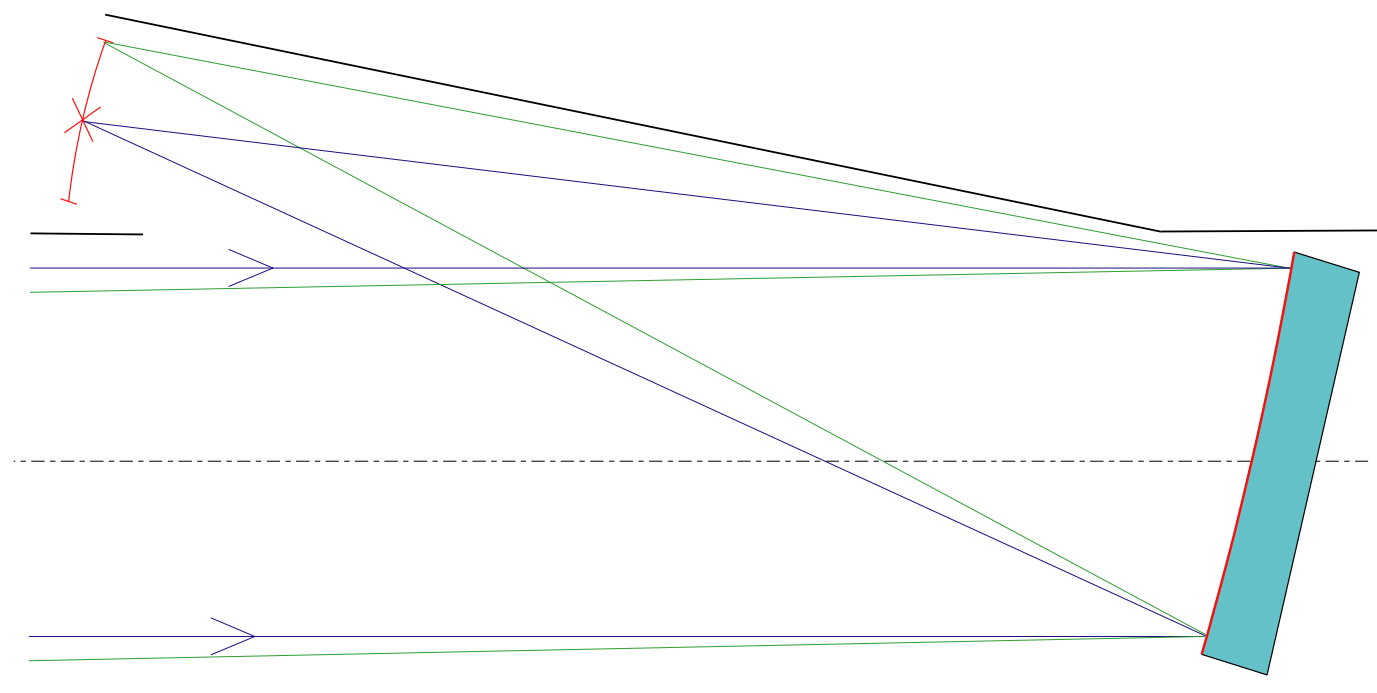
Система Ньютона

Сферическое или
Параболическое
главное зеркало
Плоское вторичное



Система Гершеля

Однозеркальная
Внеосевая

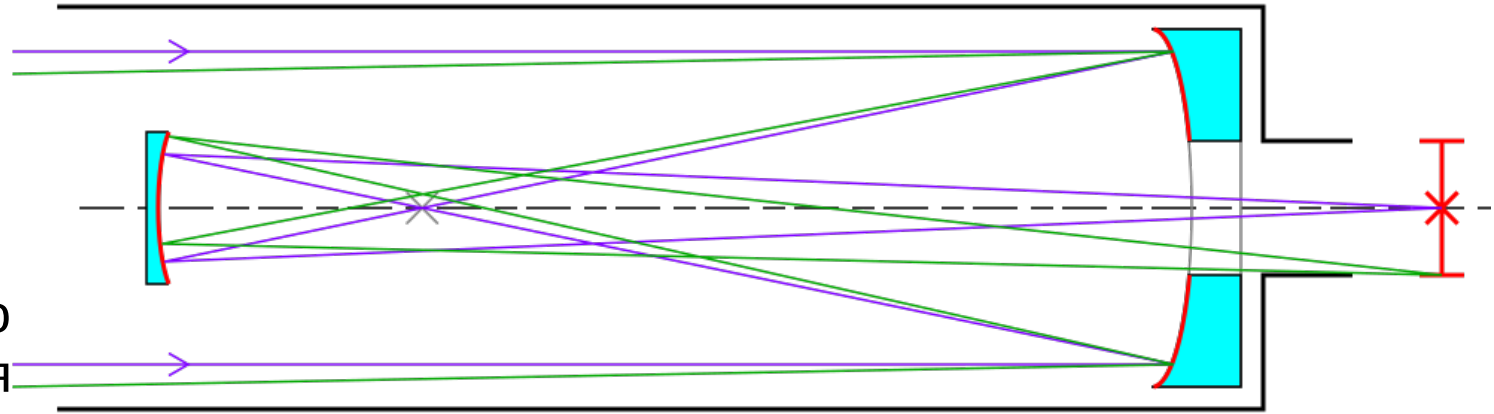




Система Грегори

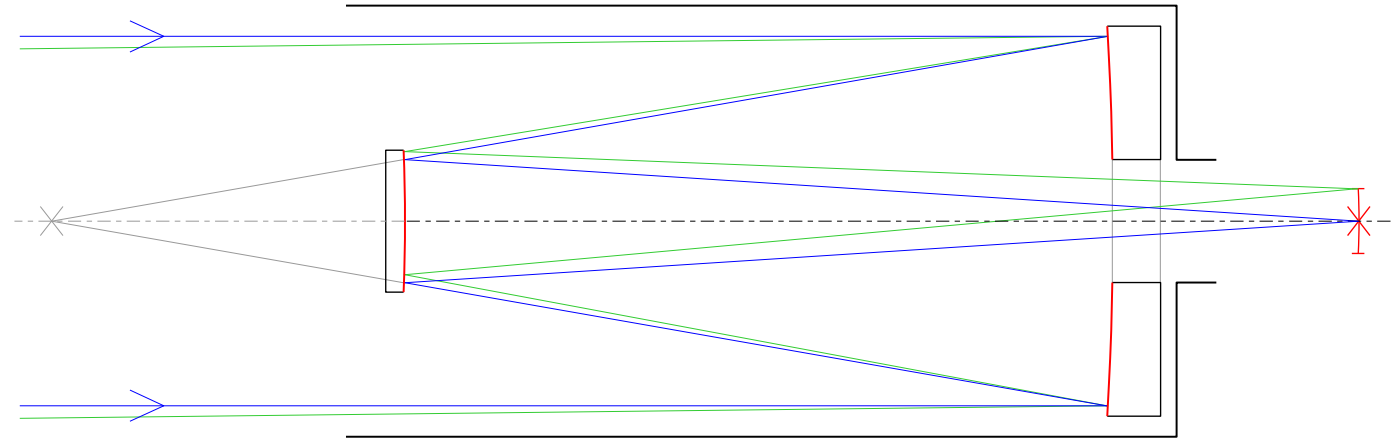
Параболические
зеркала

Прямое изображение
Достижение большого
фокусного расстояния



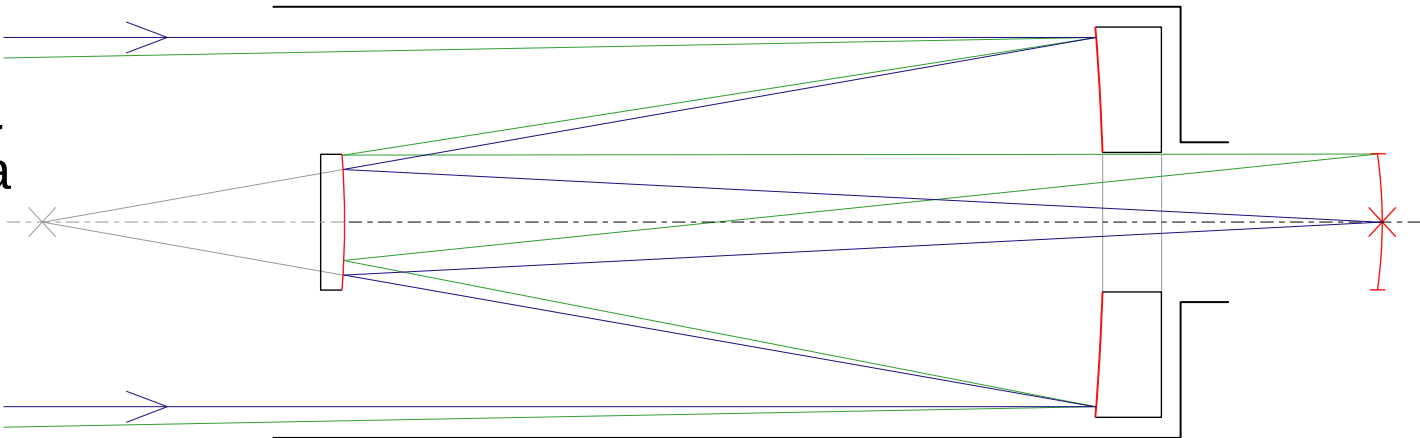
Система Кассегрена

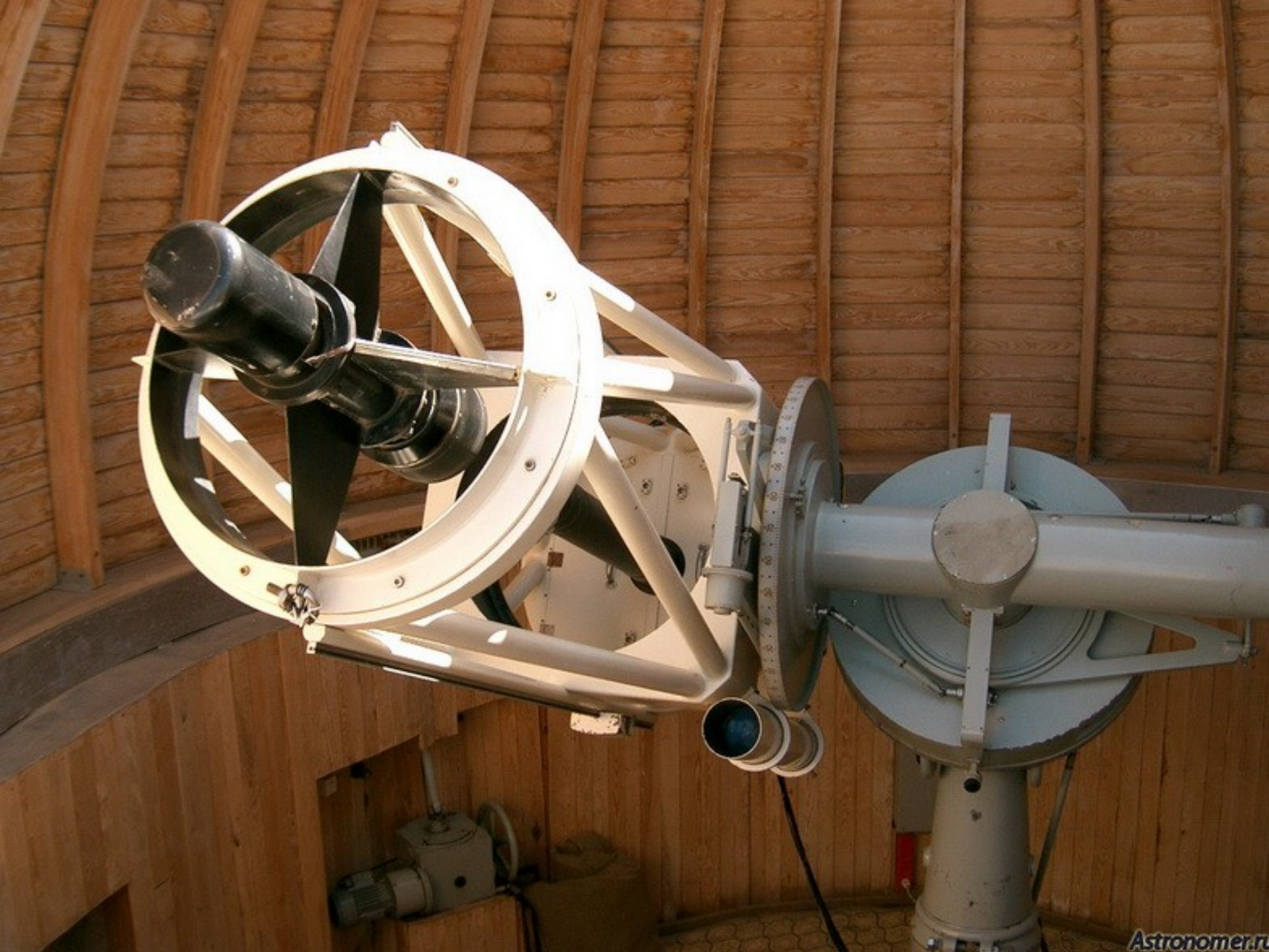
Параболическое главное
зеркало
Гиперболическое
вторичное



Система Ричи-Кретьена

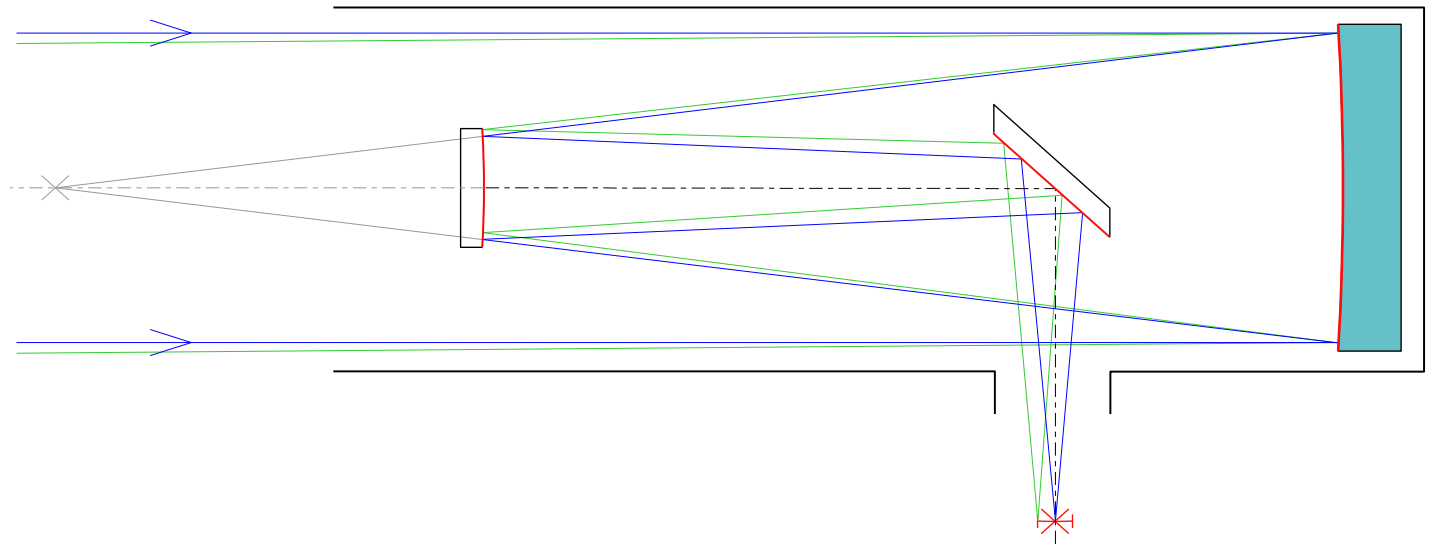
Гиперболические зеркала
Большое поле зрения





Модификация Несмита

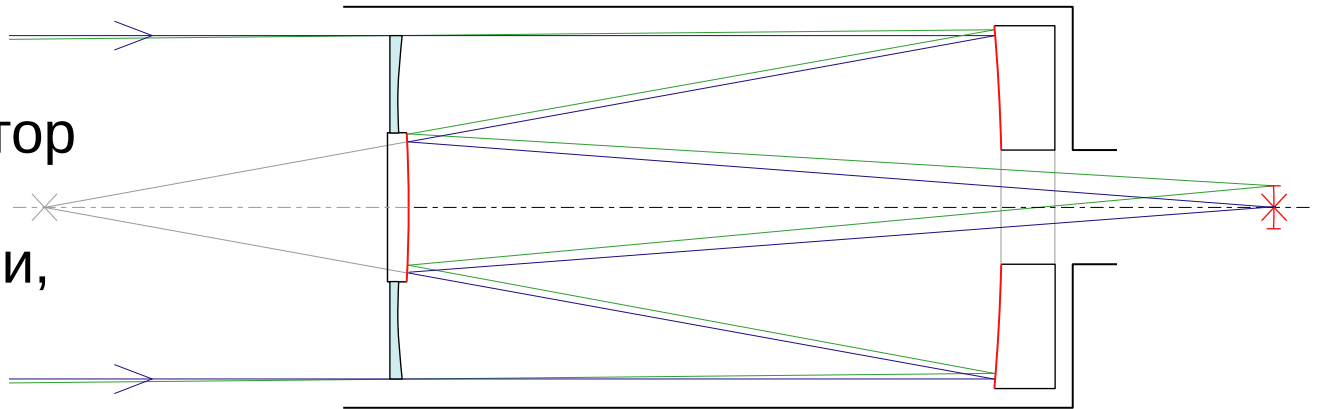
Отвод пучка света в ось телескопа



Катадиоптрические системы

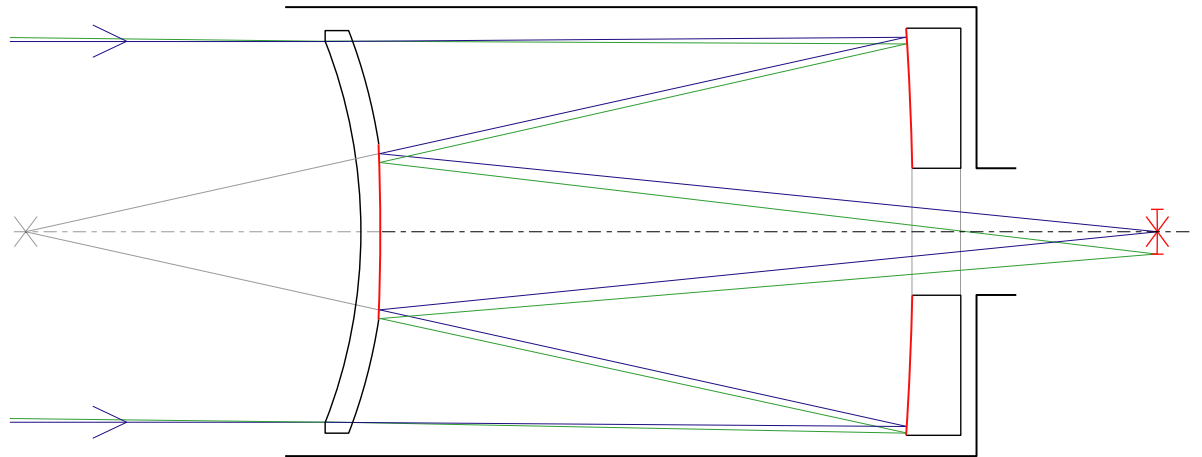
Система Шмидта

Сферическое зеркало
Сложная линза-корректор
Исправление
сферической абберации,
астигматизма и комы
Большое поле зрения
Короткая труба



Система Максудова

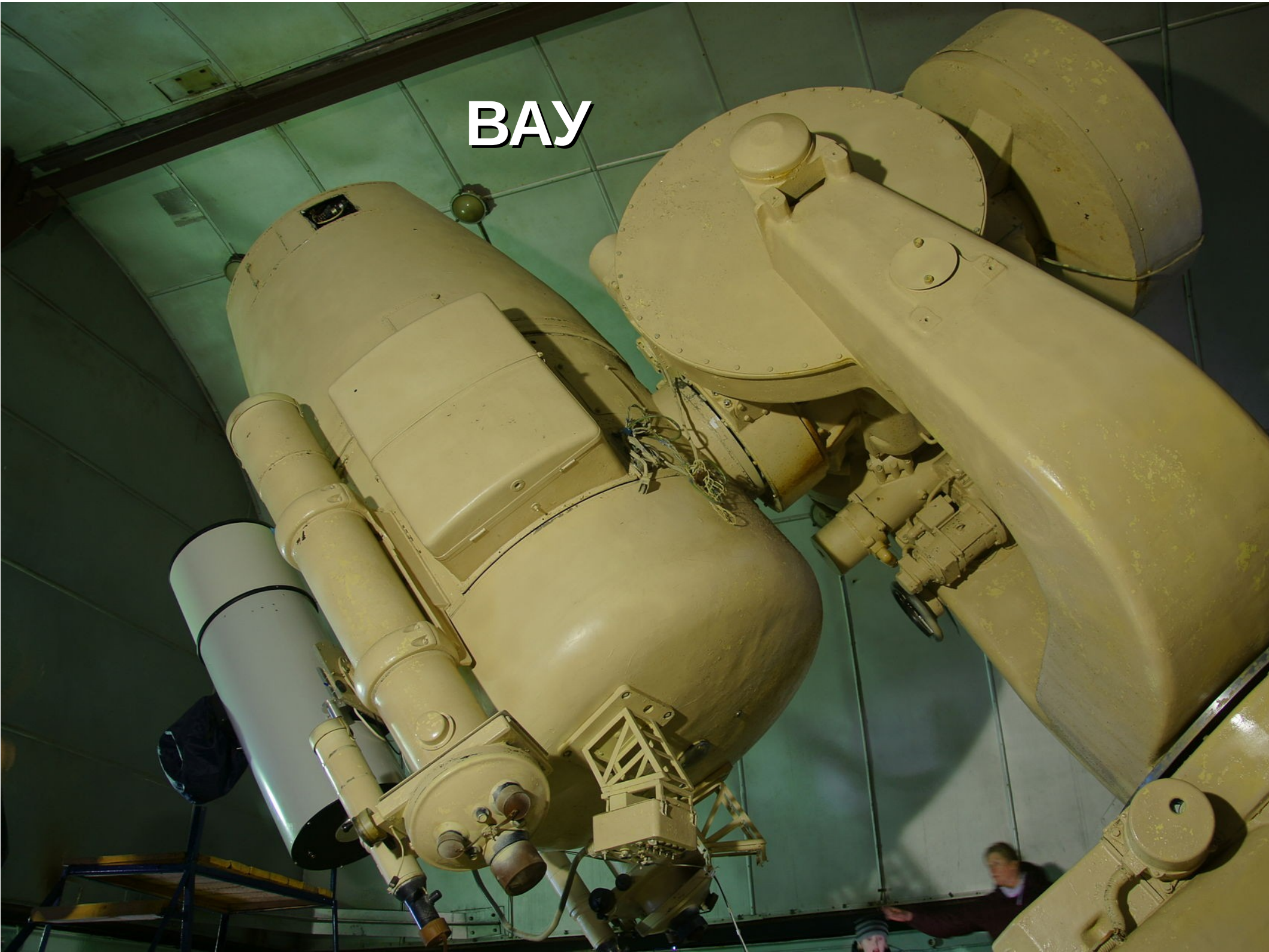
Сферическое зеркало
Простой мениск
Вторичное зеркало может
быть напыленное на
мениск.



A3T-7



BAY



Монтировки телескопов

Эвкаториальная



Движение телескопа по

- прямому восхождению α (RA)
- склонению δ (Dec)

+ равномерная скорость вращения по одной оси обеспечивает неподвижное поле зрения

- + легкий учет собственного движения небесных тел (Луна, астероиды, кометы)
- требуется точность ориентации на полюс
- неравномерная нагрузка на монтировку

Альт-азимутальная



Движение телескопа по

- азимуту A
- высоте h

+ простота настройки

+ равномерная нагрузка

- неравномерное движение по двум осям
- вращение поля зрения

Цейсс-400 на экваториальной немецкой монтировке



ЗТЭ на
экваториальной
английской
монтажке



ЗТШ на
экваториальной
американской
монтажке - вилке



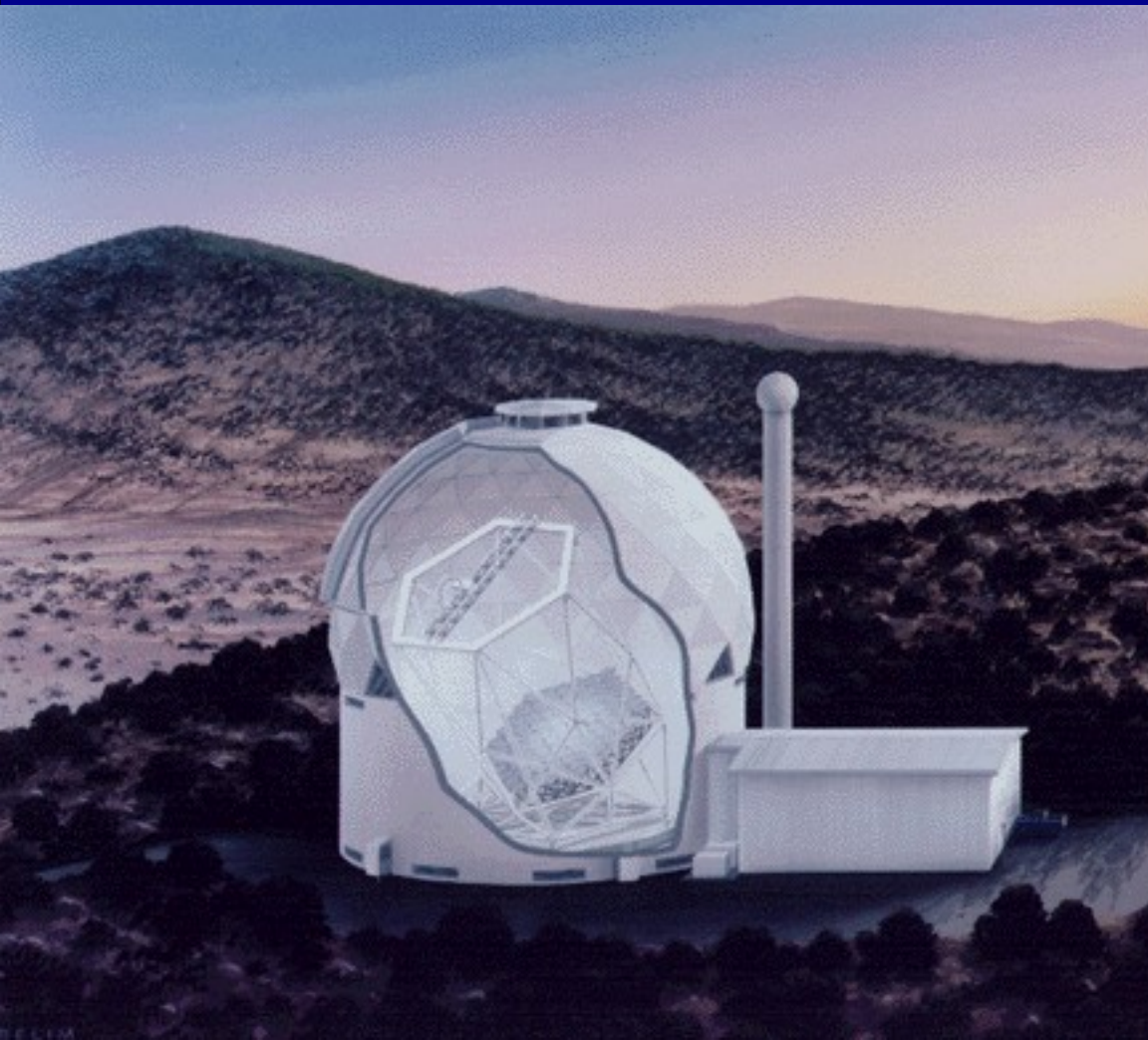
БТА на альти- азимутальной вилке



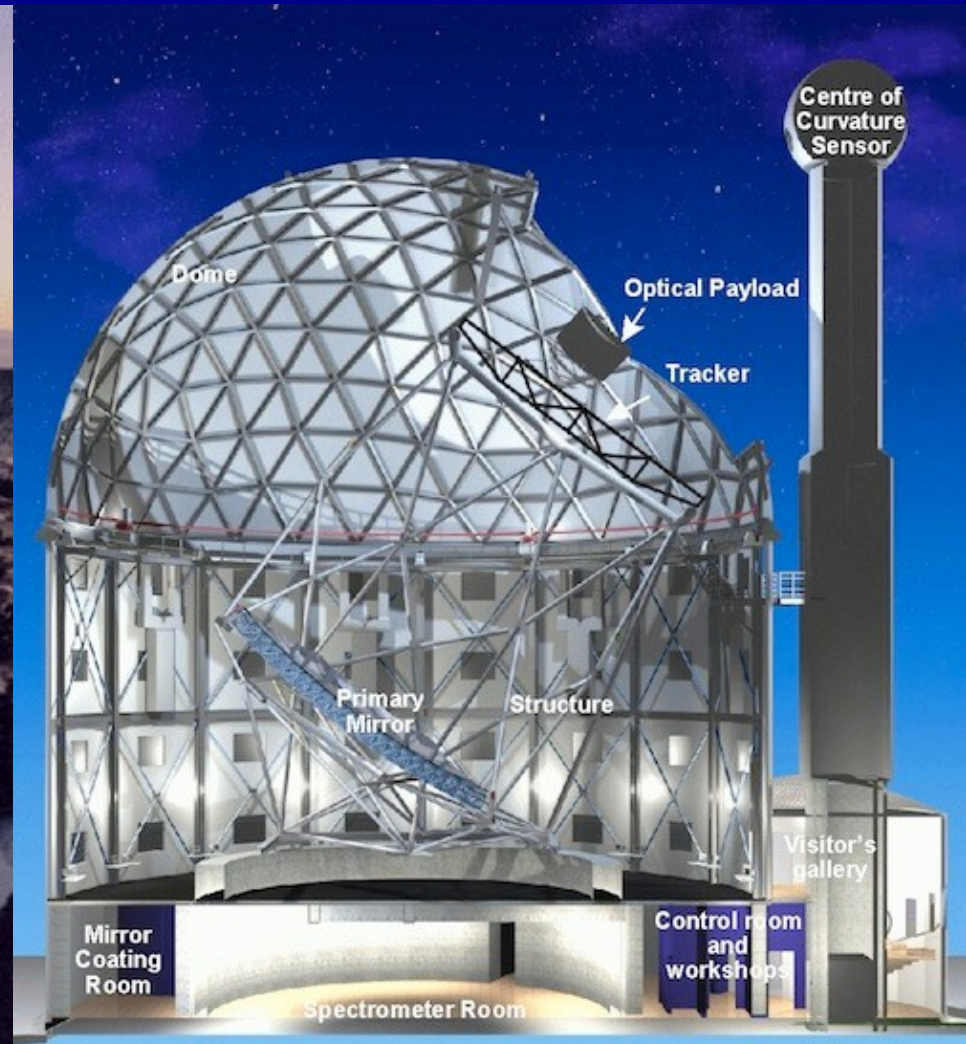
Полуподвижные телескопы

(вращение только по азимуту)

NET 10m



SOLT 10m



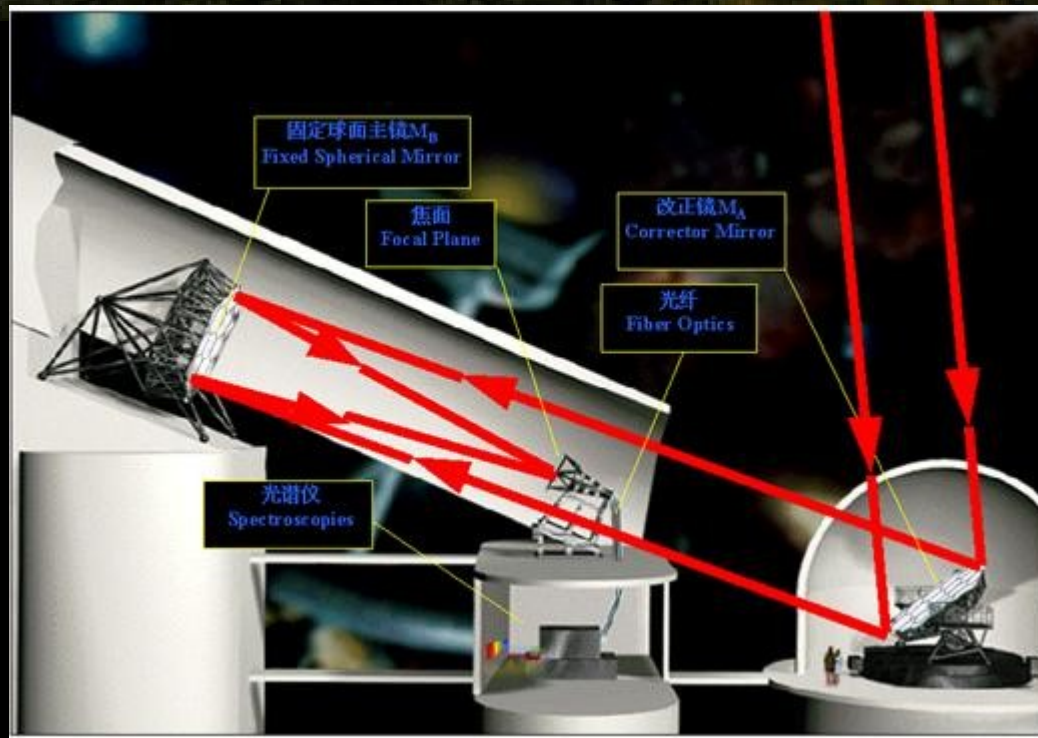
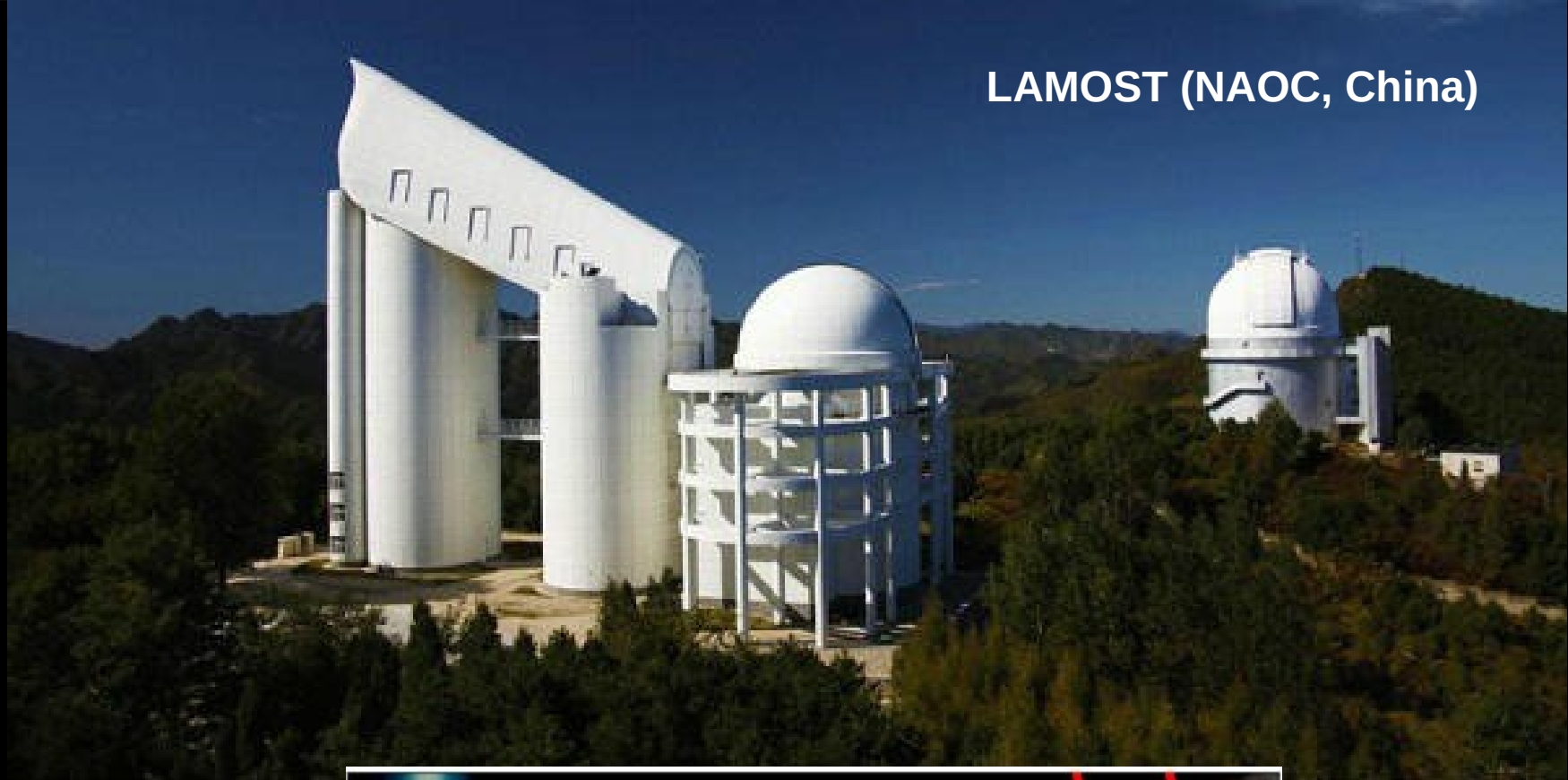
Неподвижные телескопы с подвижным зеркалом

Целостат

(вертикальные и горизонтальные
солнечные телескопы и некоторые
звездные)



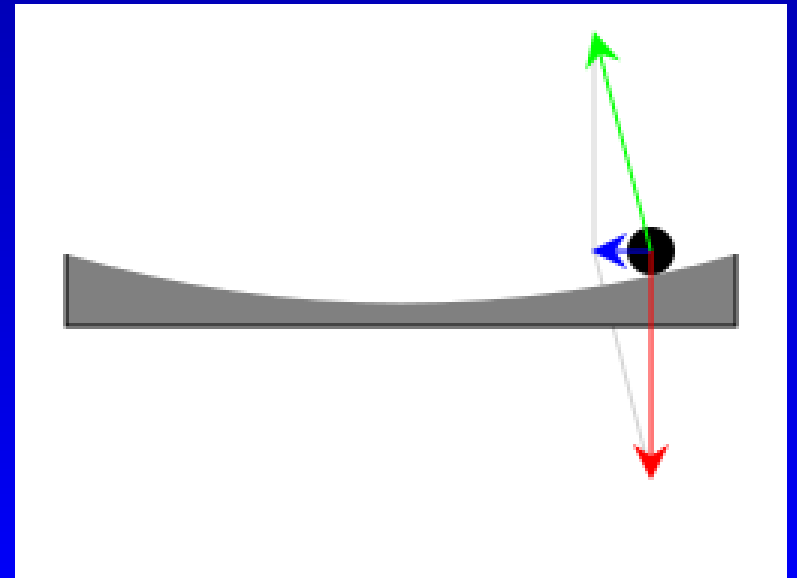
LAMOST (NAOC, China)



Неподвижные телескопы с неподвижным зеркалом (зенитные телескопы)



Идеальная форма зеркала достигается вращением чаши с отражающей жидкостью (легкоплавкие металлы или сплавы: ртуть, галлий, ...)



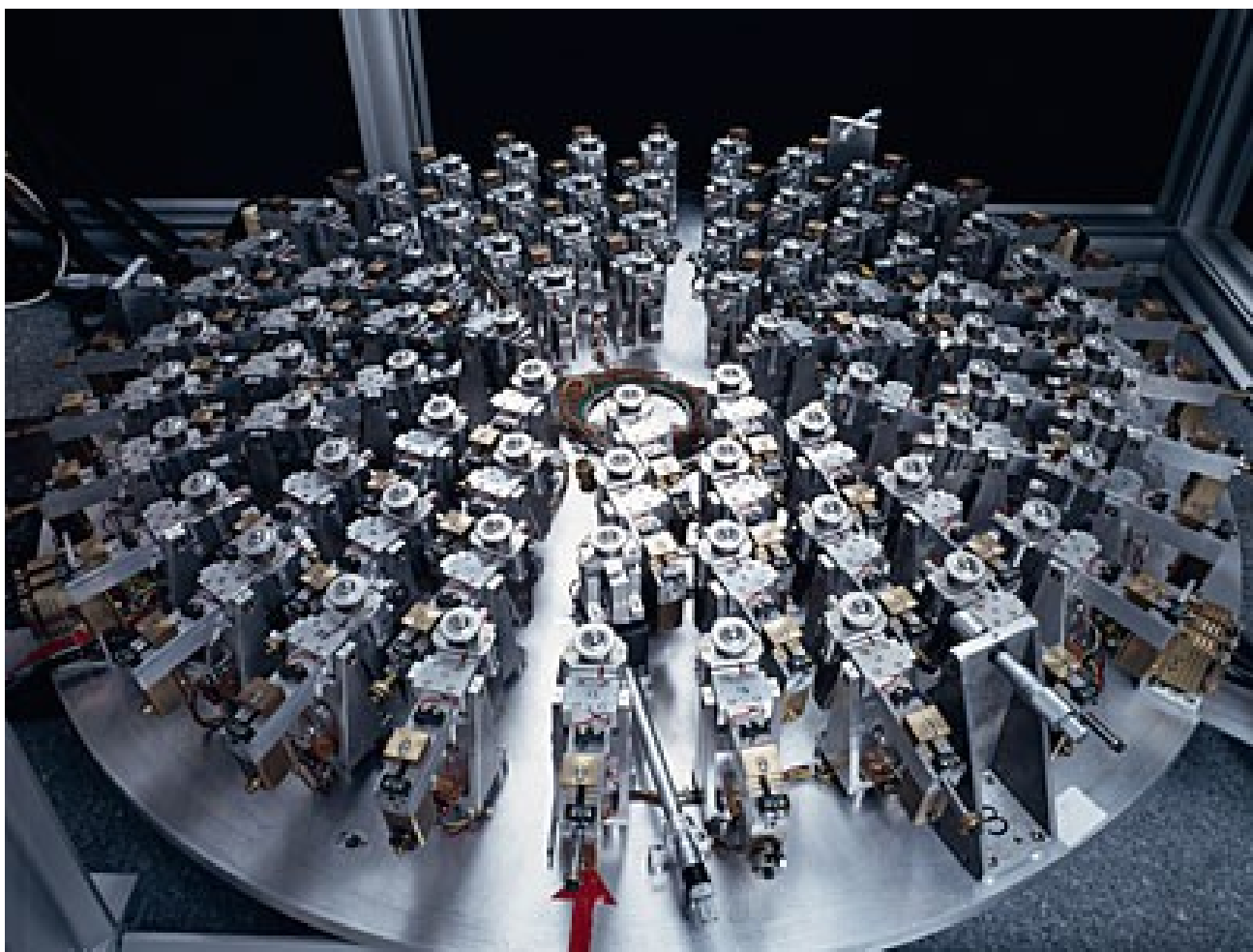
Пассивная система разгрузки зеркала



Вес главного
зеркала БТА
42 т

Активная система разгрузки зеркала

Обеспечивает компенсацию деформаций зеркала за счет внешних условий (изменение температуры, механические напряжения)



ESO
1 м зеркало
75 приводов



Телескоп NTT (ESO) — первый с активной оптикой

СВЕТ ОТ АСТРОНОМИ-
ЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

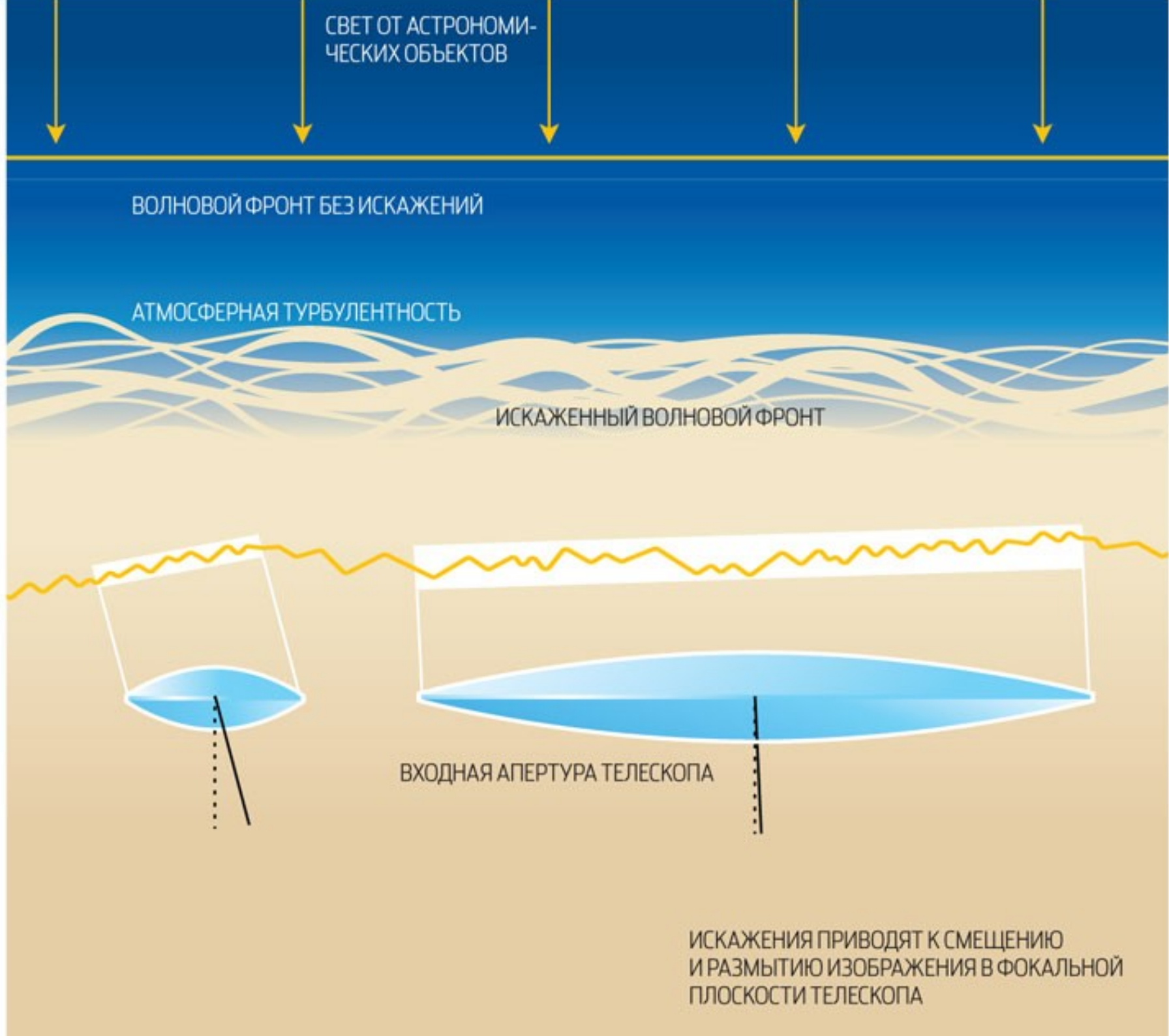
ВОЛНОВОЙ ФРОНТ БЕЗ ИСКАЖЕНИЙ

АТМОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

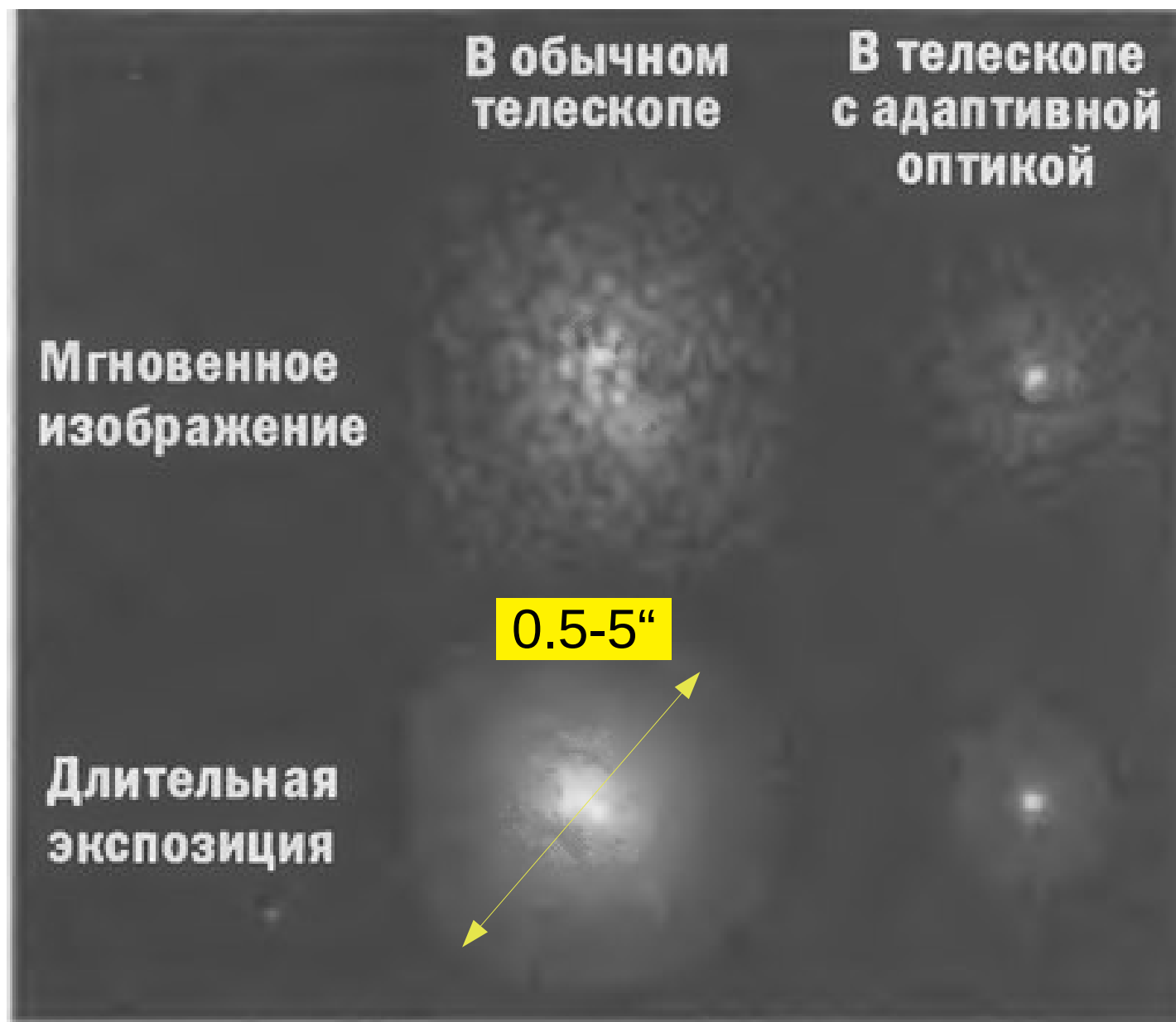
ИСКАЖЕННЫЙ ВОЛНОВОЙ ФРОНТ

ВХОДНАЯ АПЕРТУРА ТЕЛЕСКОПА

ИСКАЖЕНИЯ ПРИВОДЯТ К СМЕЩЕНИЮ
И РАЗМЫТИЮ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФОКАЛЬНОЙ
ПЛОСКОСТИ ТЕЛЕСКОПА



Адаптивная оптика



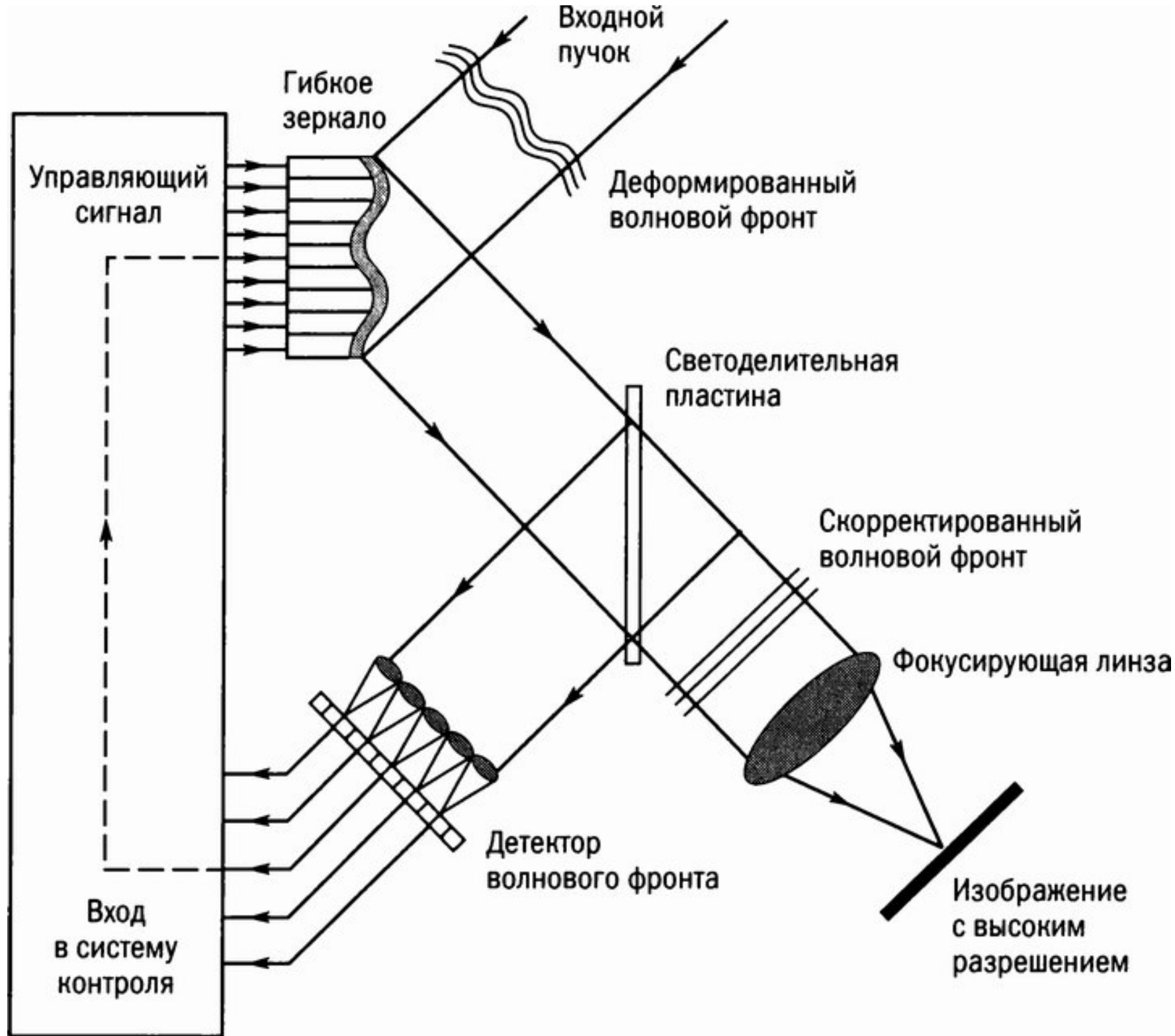
$$\begin{aligned} 138/D(\text{mm}) &= \\ &= 138/1000 = \\ &= 0.14'' \end{aligned}$$

VLT

4 лазера создают
искусственные з

1170 приводов м
форму вторично
зеркала толщи
мм с частотой 10





Результат работы адаптивной оптики



**Результат работы адаптивной оптики
второго поколения
(адаптация вторичного зеркала)**











Большие астрономические телескопы России



Крупнейшие астрономические телескопы мира

Name	Image	Effective aperture m	Aper. in	Mirror type	Nationality / Sponsors	Site	Built
Gran Telescopio Canarias (GTC)		10.4 m	409"	Segmented, 36	Spain (90%), Mexico, USA	Roque de los Muchachos Obs., Canary Islands, Spain	2006/9
Hobby-Eberly Telescope (HET) 11 m × 9.8 m mirror		10 m ^[1]	394"	Segmented, 91	USA, Germany	McDonald Observatory, Texas, USA	1997
Keck 1		10 m	394"	Segmented, 36	USA	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1993
Keck 2		10 m	394"	Segmented, 36	USA	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1996

Large Binocular Telescope (LBT) Phased-array optics for combined 11.9 m ^[3]		8.4 m × 2	330" × 2	Multiple mirror, 2	USA, Italy, Germany	Mount Graham International Observatory, Arizona, USA	2004
Subaru (JNLT)		8.2 m	323"	Single	Japan	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1999
VLT UT1 – Antu		8.2 m	323"	Single	ESO Countries, Chile	Paranal Observatory, Antofagasta Region, Chile	1998
VLT UT2 – Kueyen		8.2 m	323"	Single	ESO Countries, Chile	Paranal Observatory, Antofagasta Region, Chile	1999
VLT UT3 – Melipal		8.2 m	323"	Single	ESO Countries, Chile	Paranal Observatory, Antofagasta Region, Chile	2000
VLT UT4 – Yepun		8.2 m	323"	Single	ESO Countries, Chile	Paranal Observatory, Antofagasta Region, Chile	2001
Gemini North (Gillett)		8.1 m	318"	Single	USA, UK, Canada, Chile, Australia, Argentina, Brazil	Mauna Kea Observatories, Hawaii, USA	1999
Gemini South		8.1 m	318"	Single	USA, UK, Canada, Chile, Australia, Argentina, Brazil	Cerro Pachón (CTIO), Coquimbo Region, Chile	2001

MMT (1 x 6.5 m)		6.5 m	256"	Single	USA	F. L. Whipple Obs., Arizona, USA	2000
Magellan 1 (Walter Baade) ^[4]		6.5 m	256"	Honeycomb	USA	Las Campanas Obs., Coquimbo Region, Chile	2000
Magellan 2 (Landon Clay)		6.5 m	256"	Honeycomb	USA	Las Campanas Obs., Coquimbo Region, Chile	2002
BTA-6		6 m	238"	Single	USSR/Russia	Special Astrophysical Obs., Karachay– Cherkessia, Russia	1975
Large Zenith Telescope (LZT)		6 m	236"	Liquid	Canada, France, United States ^[5]	Maple Ridge, British Columbia, Canada	2003

Great Paris Exhibition Telescope
(lens at the same scale)
Paris, France (1900)

Yerkes Observatory
(40" refractor
lens at the same scale)
Williams Bay,
Wisconsin (1893)

Hooker (100")
Mt Wilson,
California
(1917)

Hale (200")
Mt Palomar,
California
(1948)

(1979-1998) (1999-)
Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona

**BTA-6 (Large
Altazimuth Telescope)**
Zelenchuksky, Russia
(1975)

Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada
(2003)

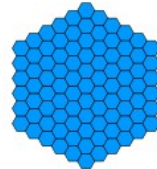
Gaia
Earth-Sun L2 point
(2014)

**James Webb
Space Telescope**
Earth-Sun L2 point
(planned 2018)

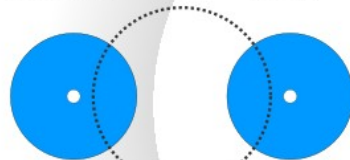


Tennis court at the same scale

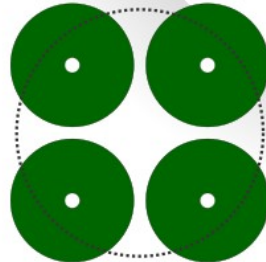
**Large Sky Area
Multi-Object Fiber
Spectroscopic
Telescope**
Hebei, China
(2009)



**Hobby-Eberly
Telescope**
Davis
Mountains,
Texas (1996)



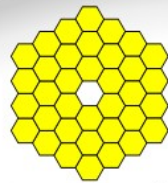
Large Binocular Telescope
Mount Graham,
Arizona (2005)



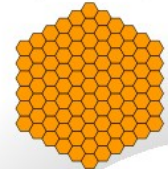
Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile
(1998-2000)



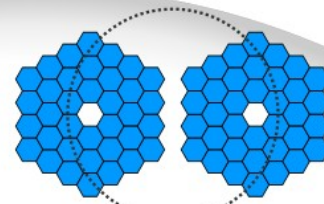
Magellan Telescopes
Las Campanas,
Chile (2000/2002)



**Gran Telescopio
Canarias**
La Palma,
Canary Islands,
Spain (2007)



**Southern African
Large Telescope**
Sutherland,
South Africa
(2005)



Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii
(1993/1996)



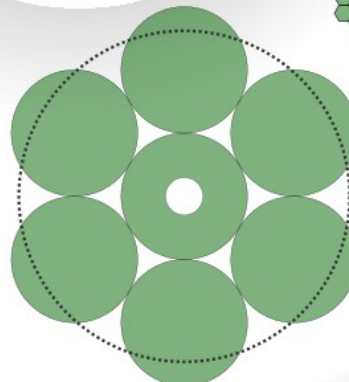
Gemini North
Mauna Kea,
Hawaii (1999)



Gemini South
Cerro Pachón,
Chile (2000)



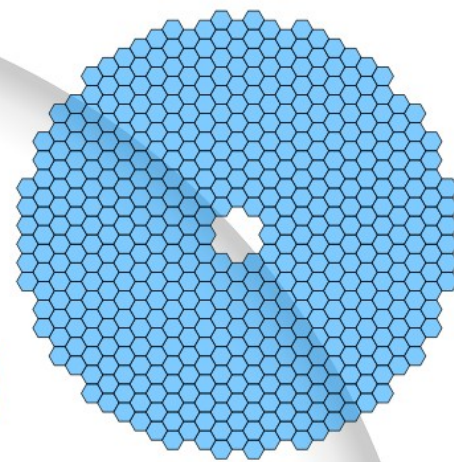
**Large Synoptic
Survey Telescope**
El Peñón, Chile
(planned 2020)



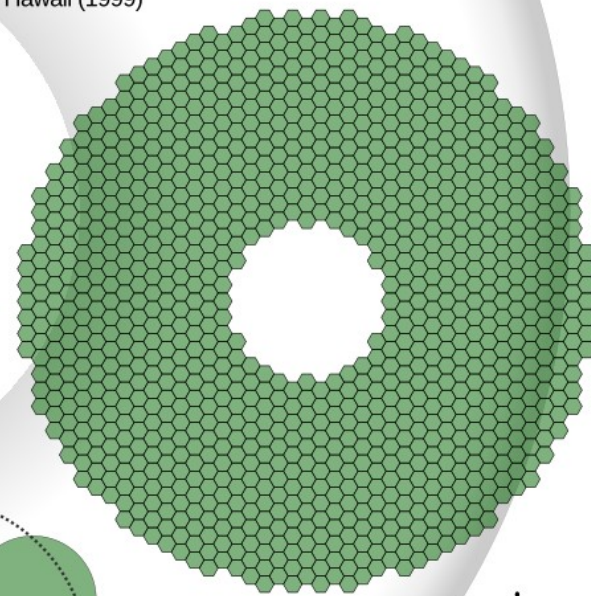
Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory,
Chile (planned 2020)



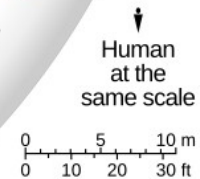
**Subaru
Telescope**
Mauna Kea,
Hawaii (1999)



Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)

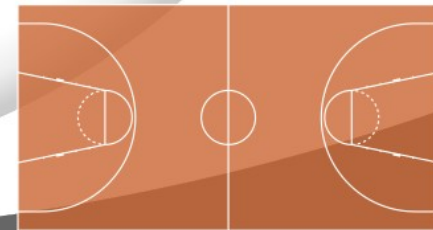


**European Extremely
Large Telescope**
Cerro Armazones,
Chile (planned 2022)



Overwhelmingly Large Telescope
(cancelled)

Arecibo radio telescope at the same scale



Basketball court at the same scale