



Современная астрономия и современные телескопы

Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)

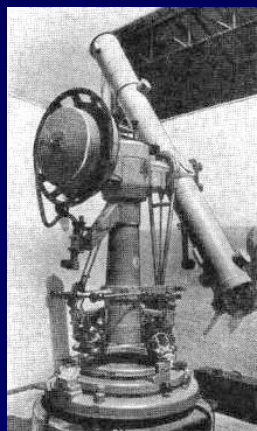
АСТРОНОМИЯ

Астрометрия

Измерение координат
и времени

Расцвет: 19 век

Новое: пульсарная
астрометрия,
спутники



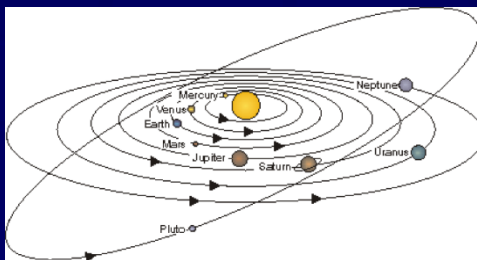
Небесная механика

Движение небесных тел

Расцвет: 18 век —

первая половина 19 века

Новое: теория относит., хаос



Астрофизика

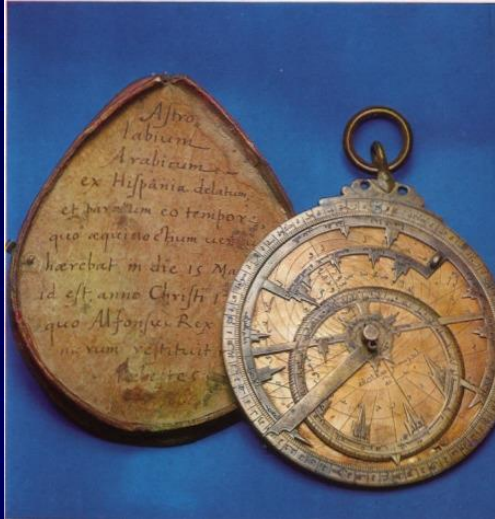
Физика небесных тел

Расцвет: сейчас

Новое: инструменты



Астрометрия



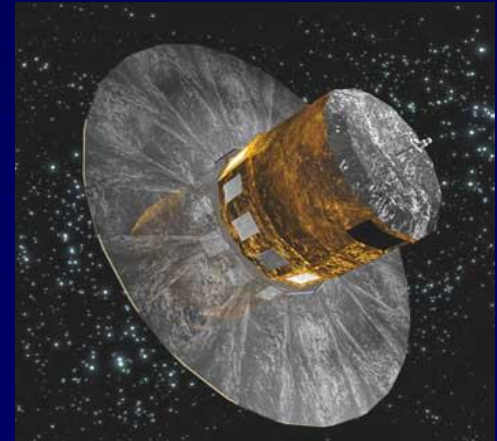
Астролябия

Прогресс в точности измерений связан с развитием техники.

Для измерения времени астрономические стандарты сейчас не используются, но в будущем ситуация может измениться благодаря наблюдениям радиопульсаров.

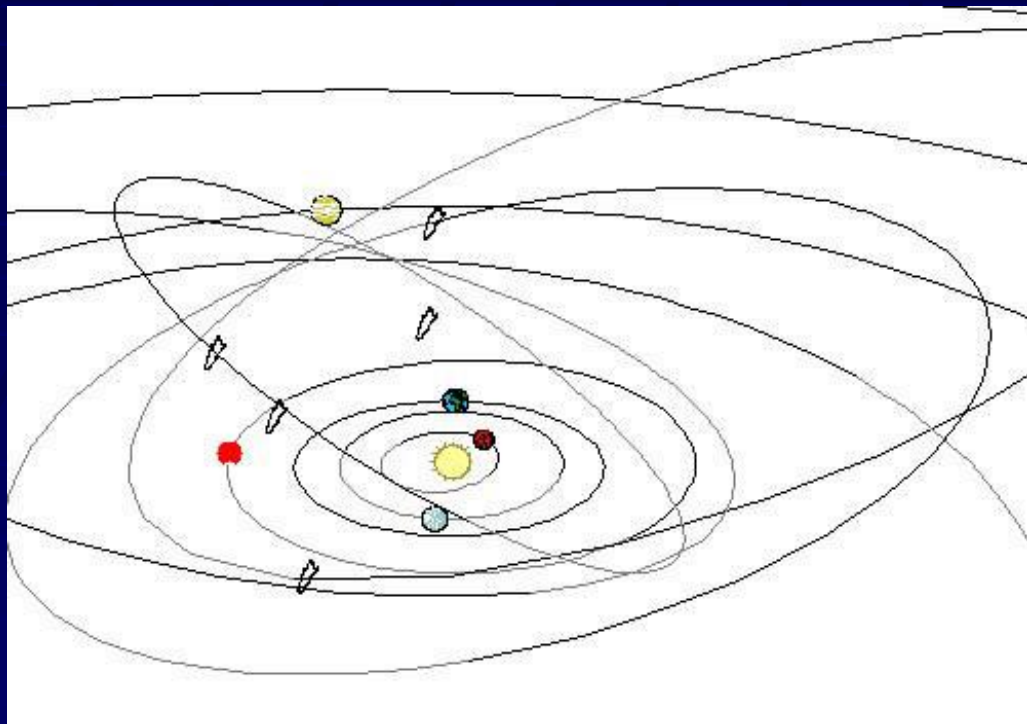


Hipparcos



GAIA

Небесная механика



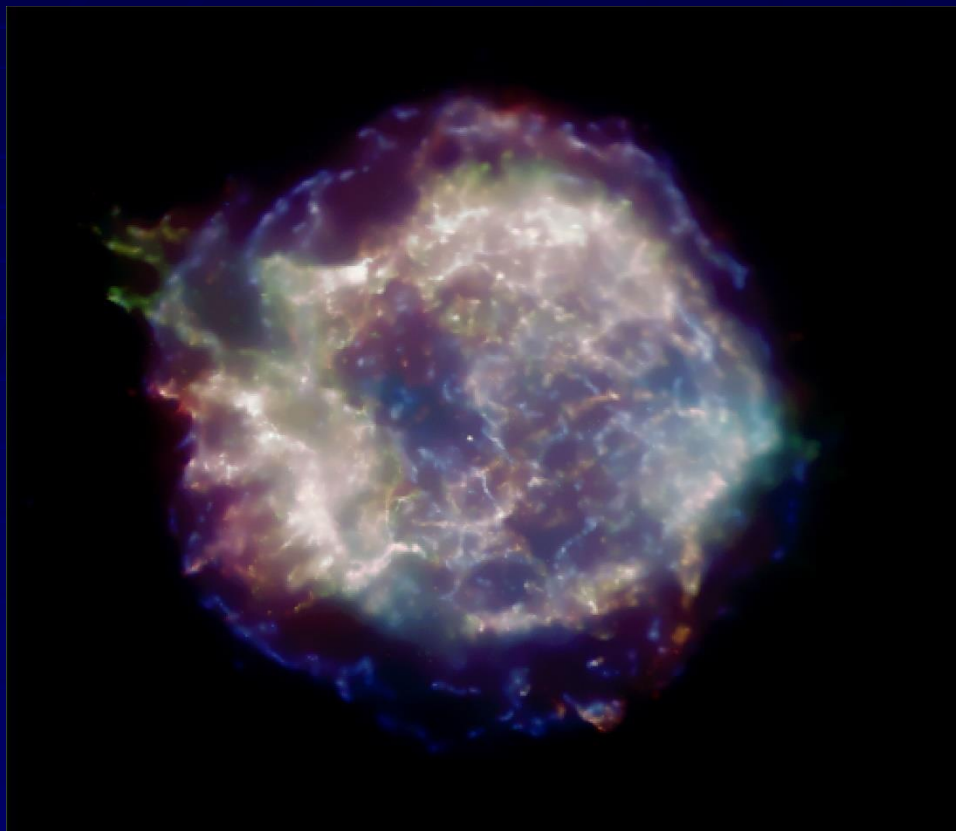
В середине 20 века новым ключевым моментом стал расчет орбит спутников.

Сейчас для расчета траекторий в Солнечной системе уже приходится использовать Теорию относительности.

Аномалия Пионеров.



Астрофизика



Сейчас астрофизика фактически является синонимом астрономии. Это одна из самых динамичных наук. Бурный прогресс связан с тем, что мы можем пока еще строить все более крупные инструменты.

В астрофизике важна и наблюдательная, и теоретическая составляющие.

Астрономия – наблюдательная наука



*Главная особенность астрономии
состоит в том, что в ней прямой
эксперимент заменен на наблюдения.*

Наблюдения, наблюдения, наблюдения



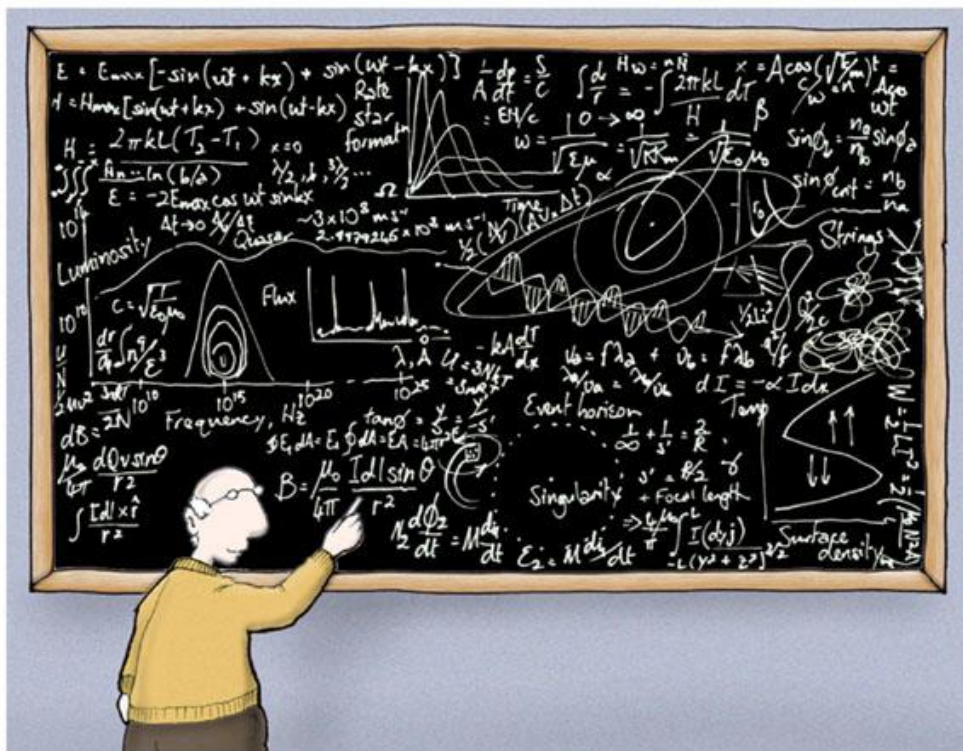
На Земле и к космосе



В радио- и в рентгеновском диапазонах



Теория и компьютеры



Astrophysics made simple

Фактически, астрофизика — это часть физики. Поэтому в ней используется тот же математический аппарат и активно применяются численные методы.

Российские институты и обсерватории



Специальная астрофизическая обсерватория

Российская академия наук

ИКИ



АКЦ ФИАН



ИНАСАН



Физический Институт им. П.Н.Лебедева

РАН

АстроКосмический Центр

Пуцинская
РадиоАстрономическая
Обсерватория

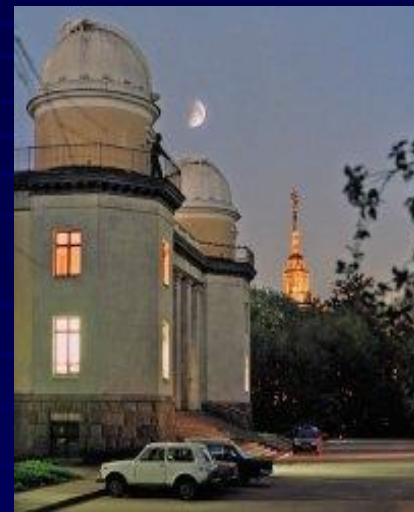


ГАИШ МГУ

Основан в 1831 г.

Часть МГУ.
(астрономическое отделение
На физическом факультете)

В Москве именно там
«учат на астронома»
(хотя еще есть МФТИ, МИФИ)

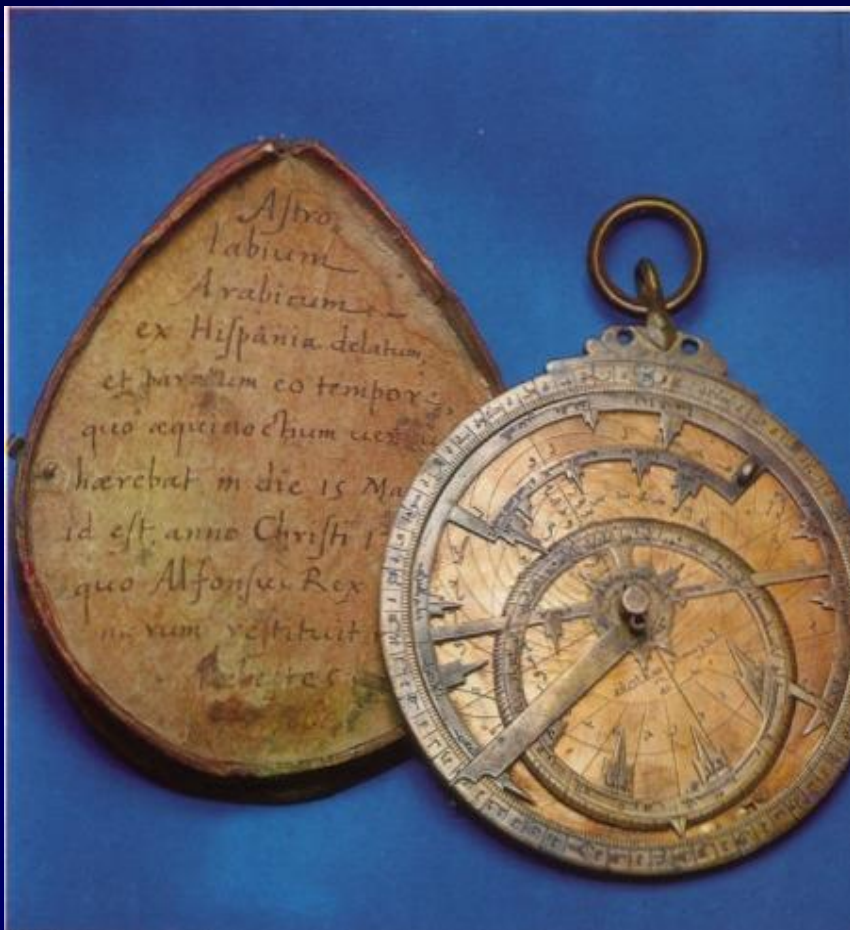


От древности до наших дней.
От телескопа Галилея до Хаббла.
От радио до гамма-лучей.



- Астрономия в дотелескопическую эру
- Первые телескопы
- Современные оптические телескопы
- Всеволновая астрономия
- Радиоастрономия
- Современные оптические телескопы
- Наблюдения нейтрино
- Наблюдения космических лучей
- Наблюдения гравитационных волн

Древняя астрономия



Измерения углов
с помощью
простейших
Приборов.

Определение
относительных
положений звезд
и планет.

Ну и конечно же
определение
времени.



Первые телескопы

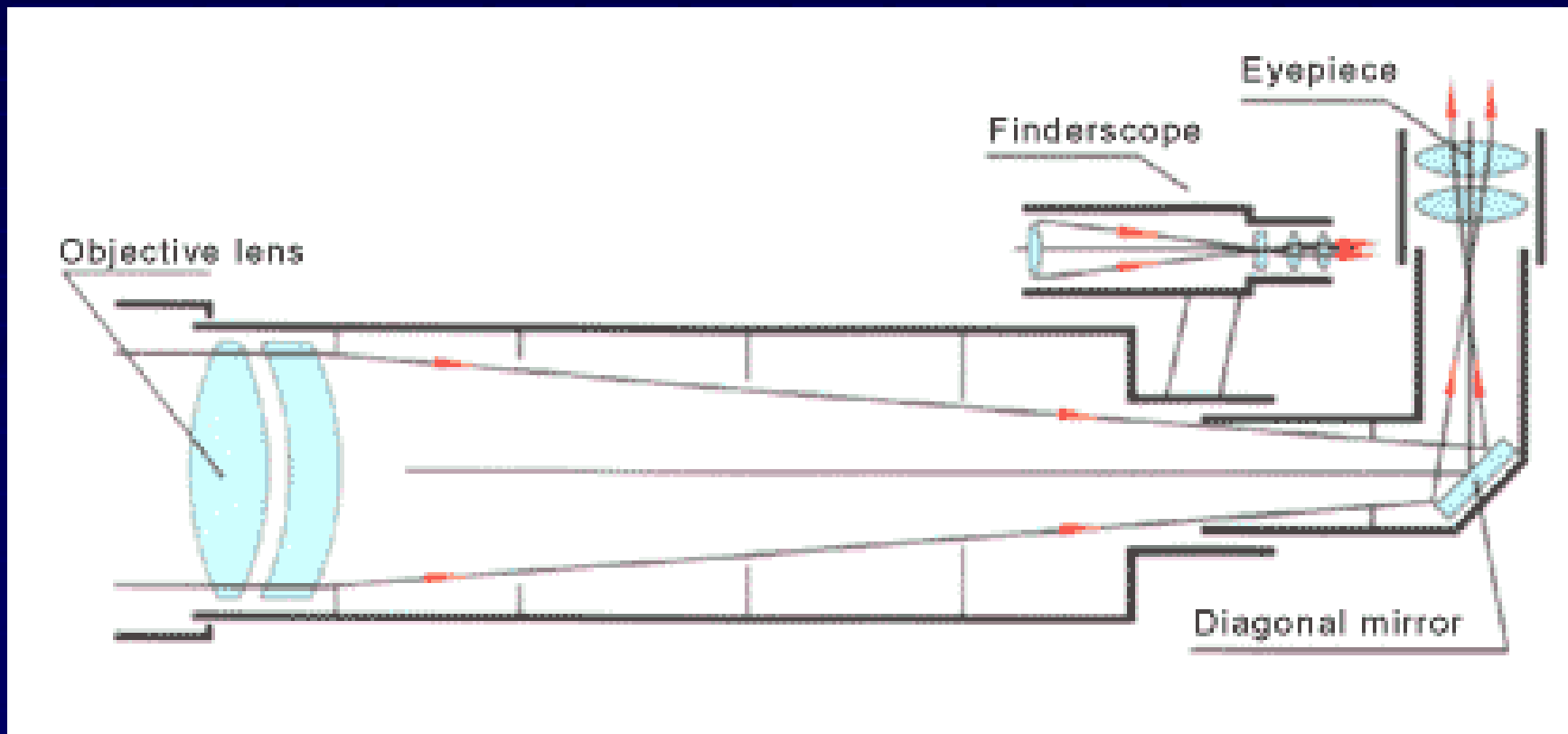


1564-1642



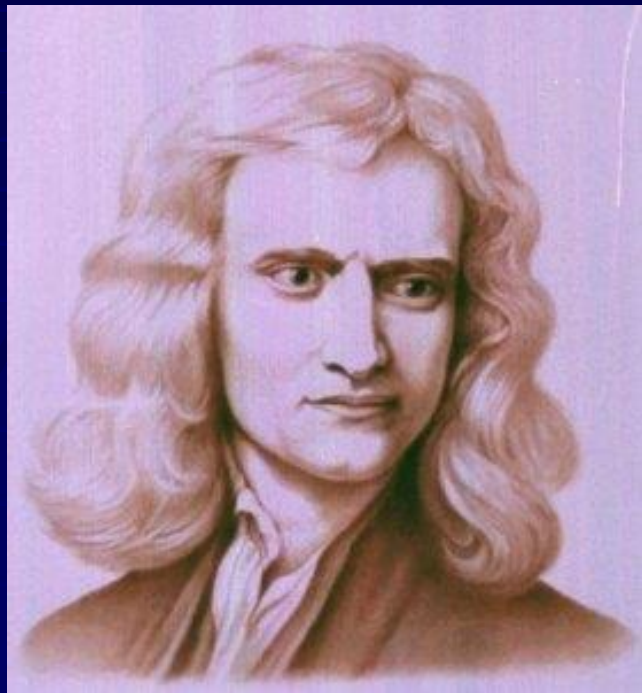
1609-10 гг.

Телескопы-рефракторы

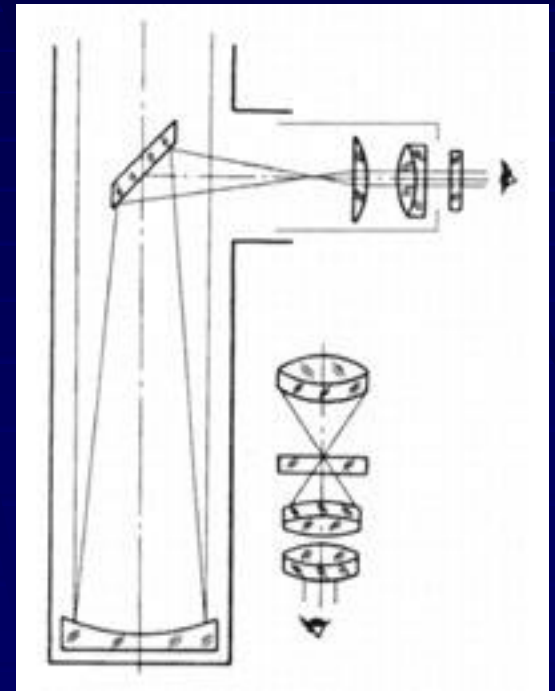


Объективом является собирающая линза (или система линз).

Телескопы-рефлекторы



1668 год



Объективом является вогнутое зеркало.

Зачем нужен телескоп???

1. Самое главное: чтобы собирать больше света!!!!
Чем больше удастся собрать света –
тем более слабые объекты мы увидим.

Количество света зависит от диаметра объектива

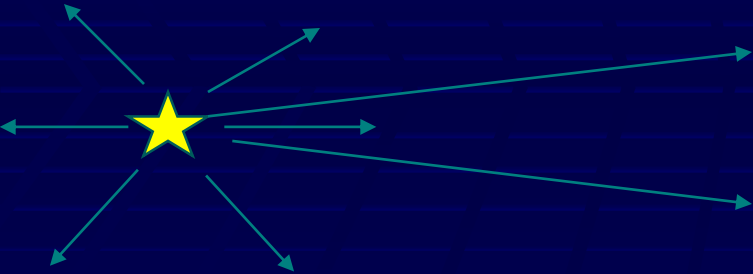
2. Чтобы рассмотреть более мелкие детали (увеличение).
Предельное увеличение тем больше,
чем больше диаметр объектива.

Диаметр зрачка глаза 5-8 мм.

Первые телескопы – сантиметры.

Крупные современные телескопы – до 10 метров.
Проекты – до 100 метров!!!!

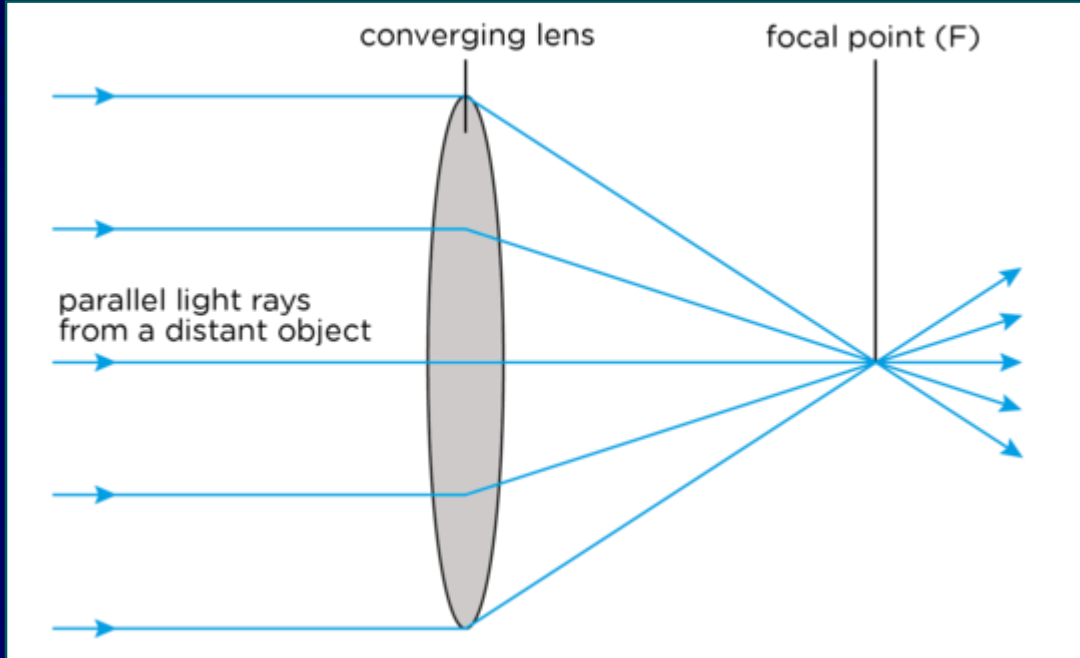
Собирающая площадь



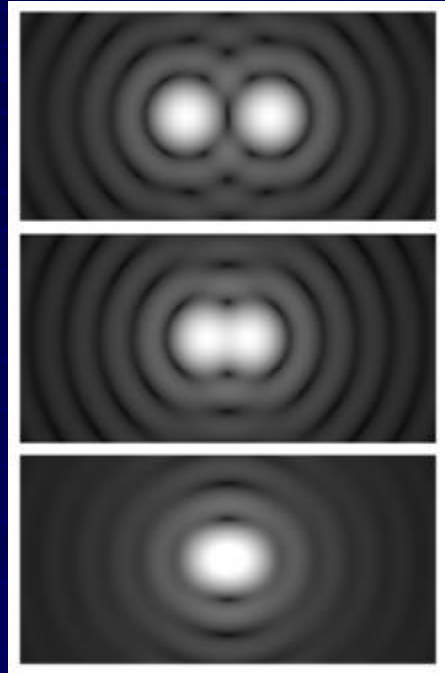
Поток $f = L/4\pi d^2$

[Энергия/площадь/время]

Чтобы увидеть слабые источники -
нам надо собирать энергию
с большой площади.



Угловое разрешение



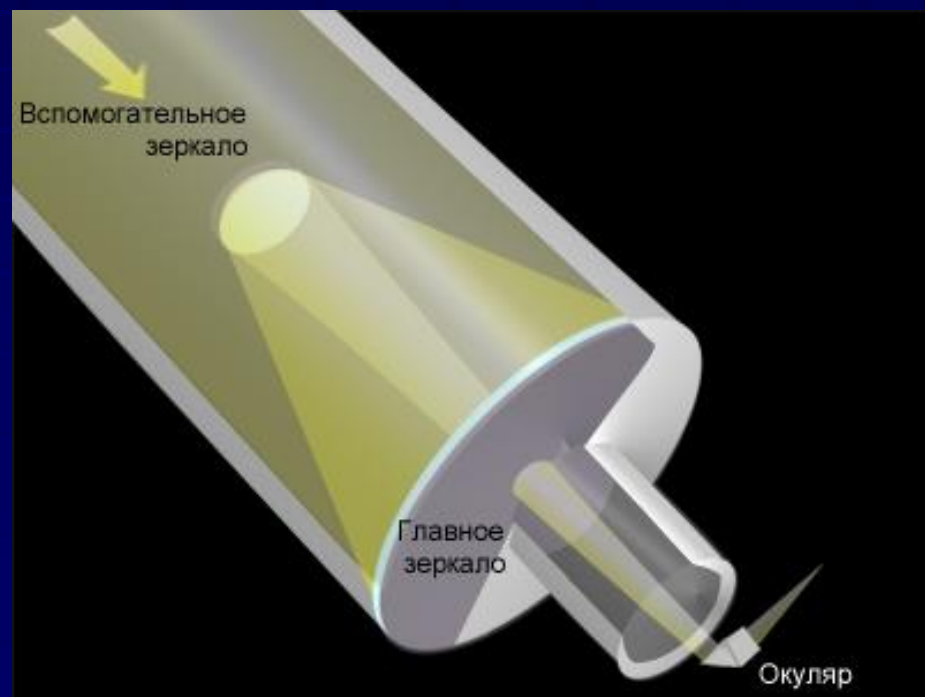
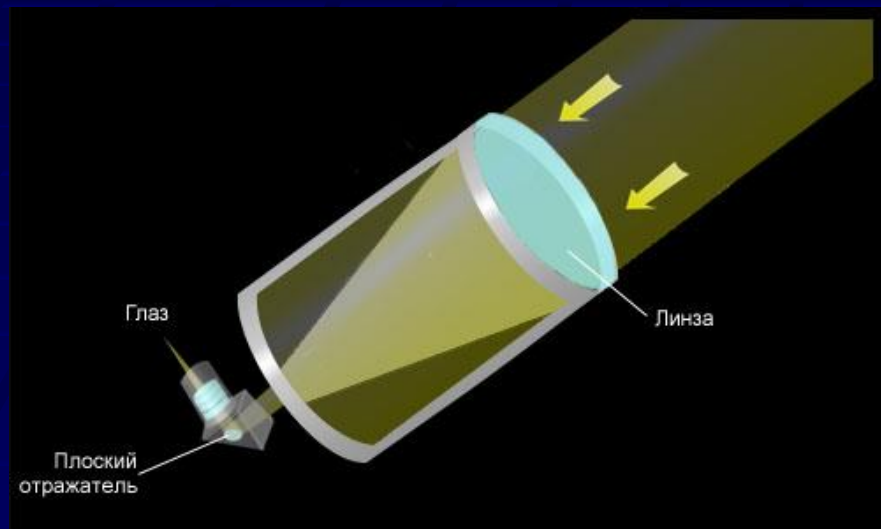
$$\theta = 1.220 \frac{\lambda}{D}$$

Определяется диаметром!

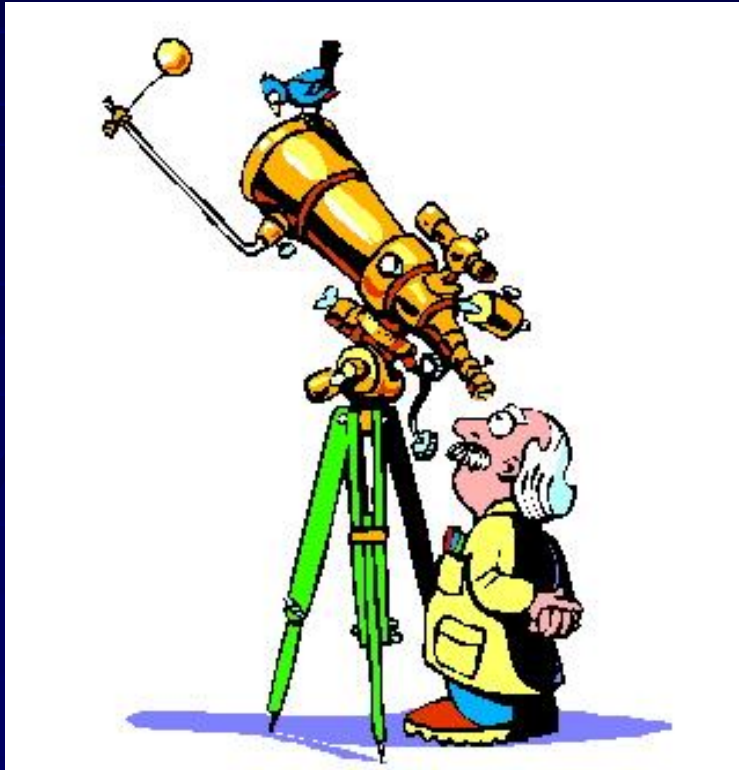
Примерно одна угловая секунда
для синего (видимого) света
и диаметра телескопа 10 см.

Для крупных телескопов (более метра)
начинает ограничиваться
параметрами атмосферы.

Рефракторы и рефлекторы



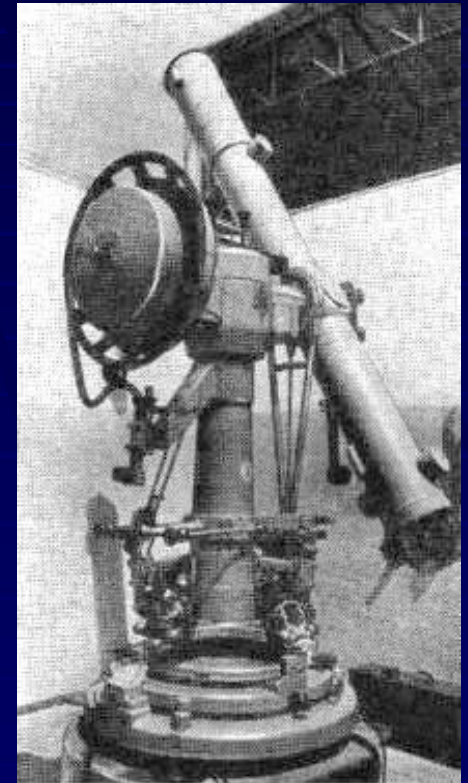
Оптические телескопы 17-19 вв.



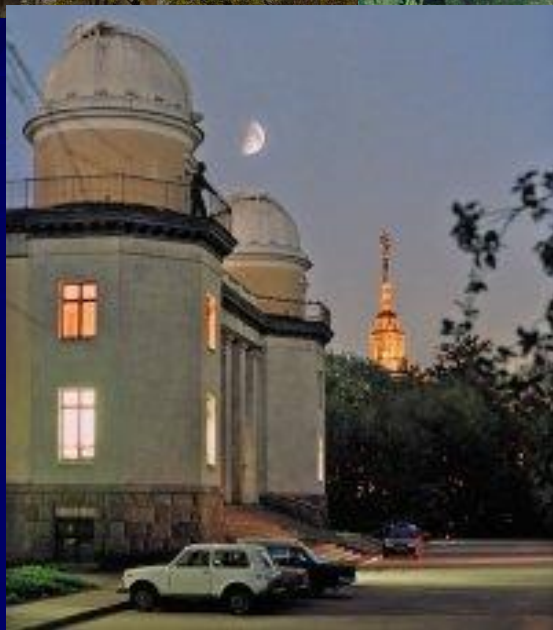
Размеры и качество
телескопов росли.

Самый большой
телескоп-рефрактор
имеет диаметр 1 метр.

Рефлектор лорда Росса
182 сантиметра (1845 г.)



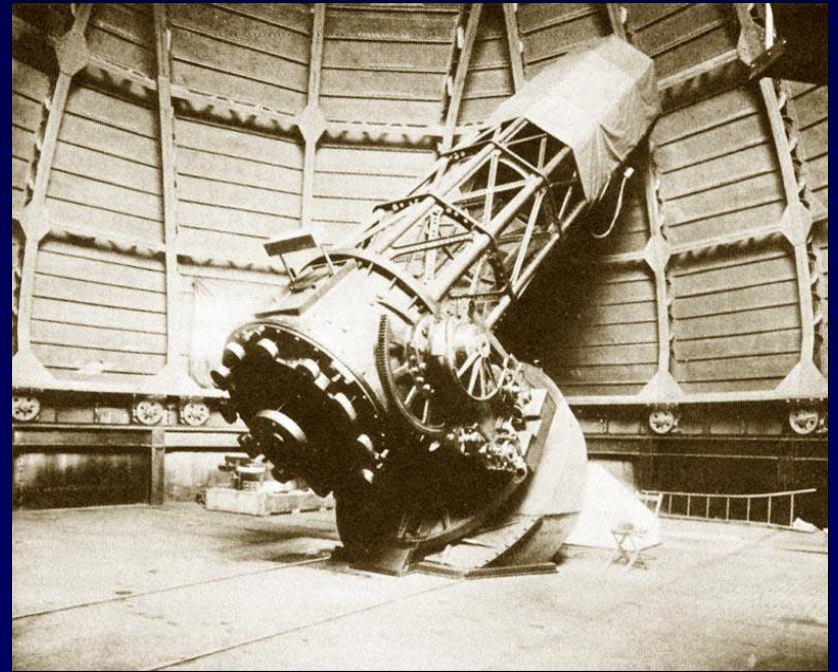
Университетские обсерватории



Оптические телескопы в начале 20 века



Йеркский рефратор (102 см). 1897 год.



Маунт Вилсон.
Рефлектор (152 см). 1908 г.

В двадцатом веке в «войне телескопов» победили рефлекторы!

Современные оптические телескопы



БТА 6 метров

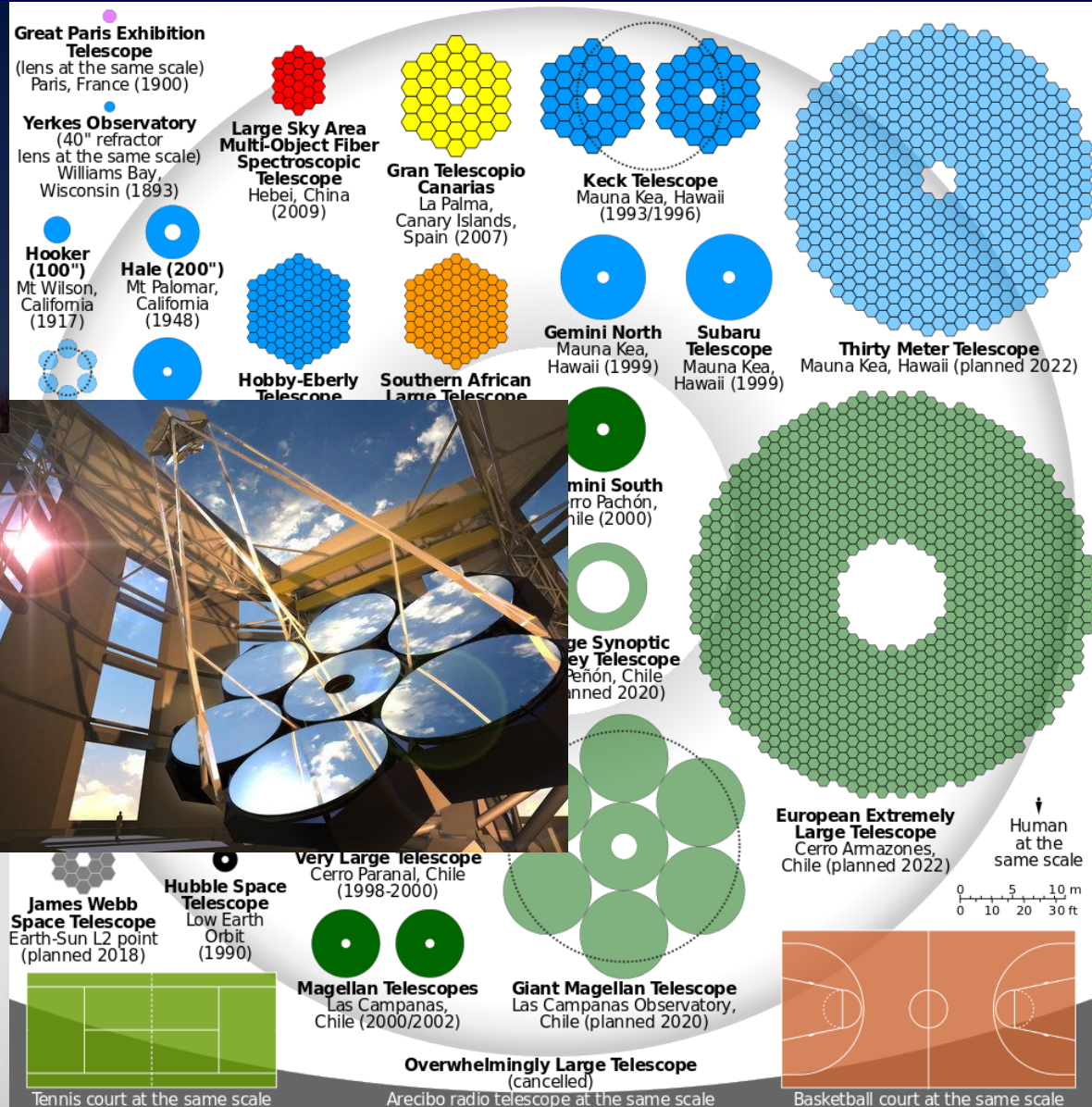


Gemini 8 метров

Большие телескопы

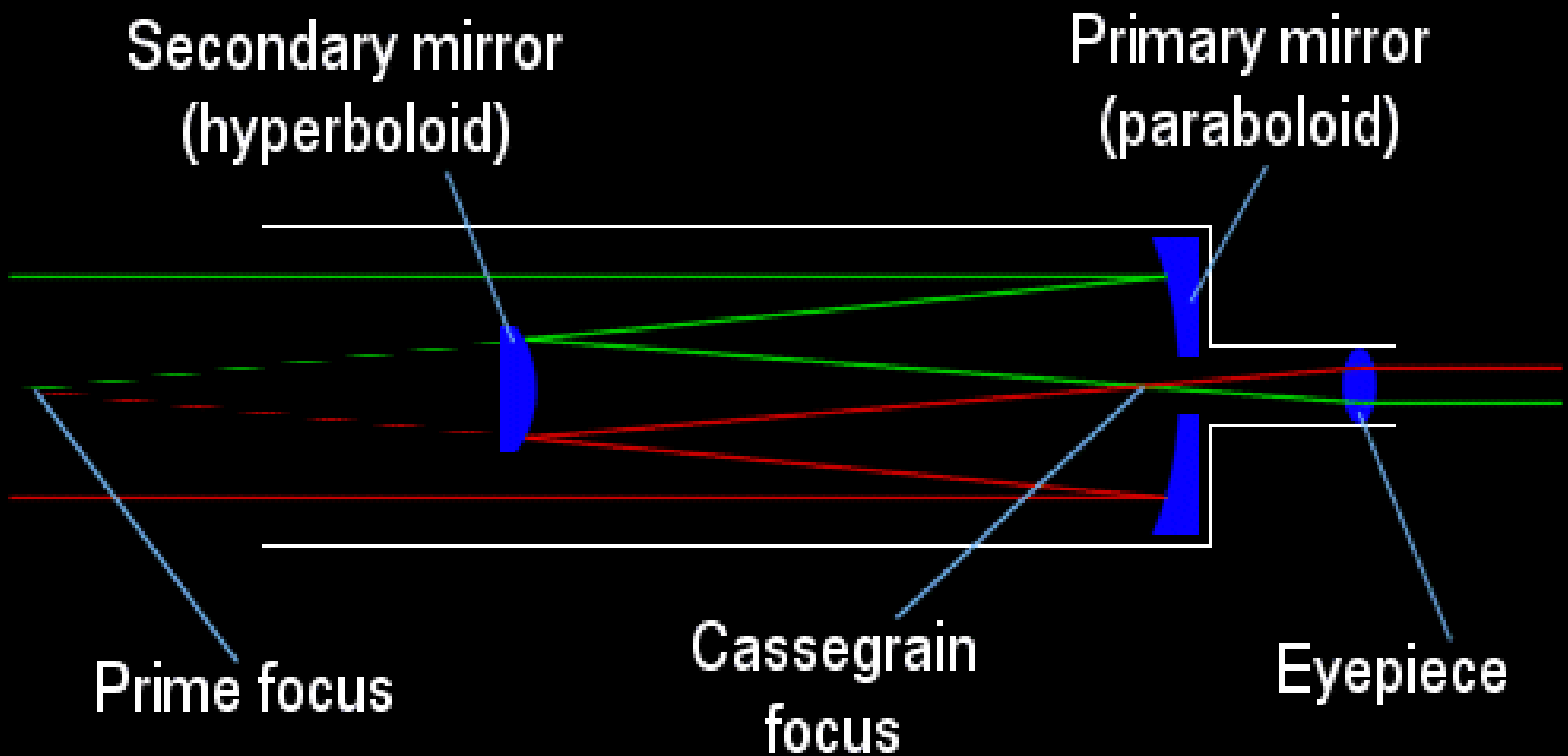


8.5 м – самые большие
цельные зеркала.
Более крупные – сегменты.

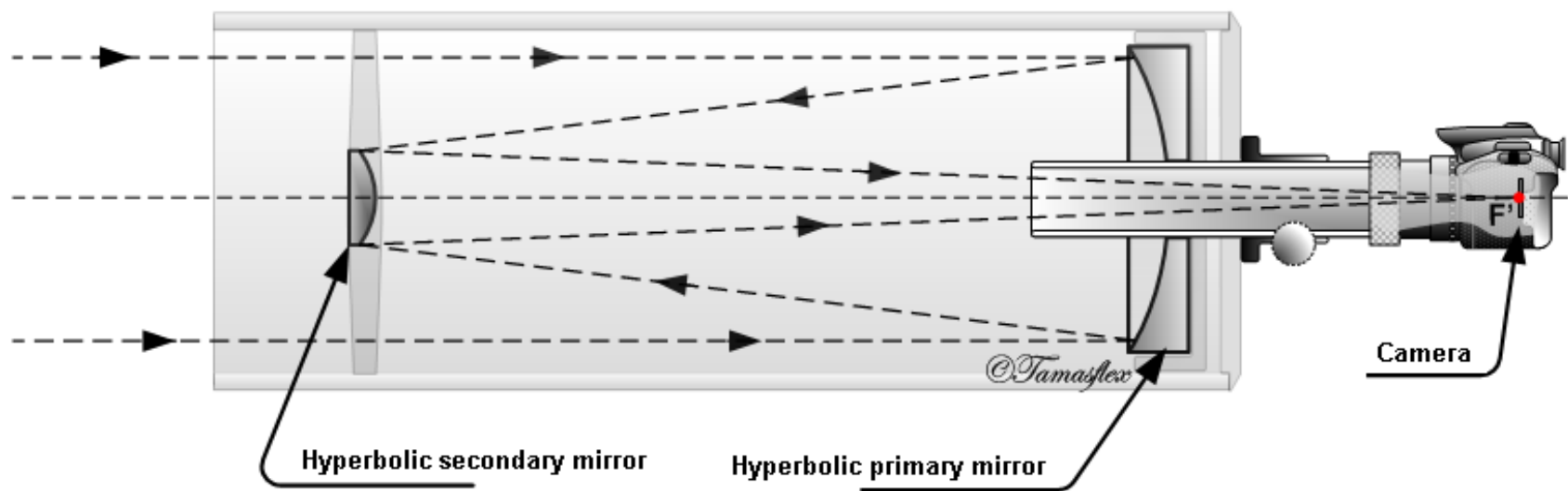


Система Кассегрена

Cassegrain Telescope



Система Ричи-Кретьена

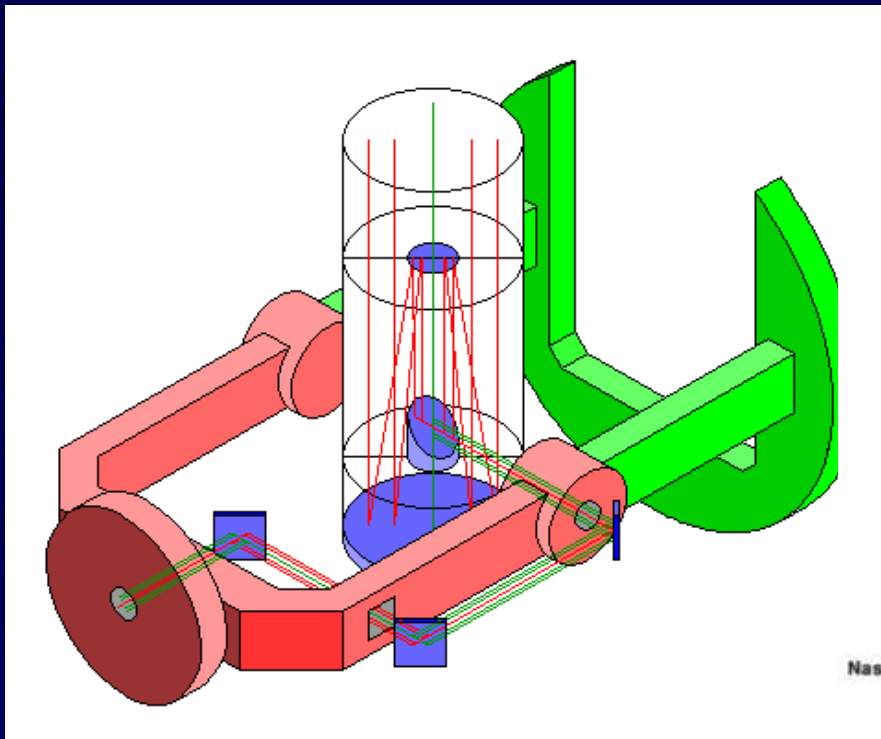


Ritchey - Chrétien (RCT)

Компактность инструмента

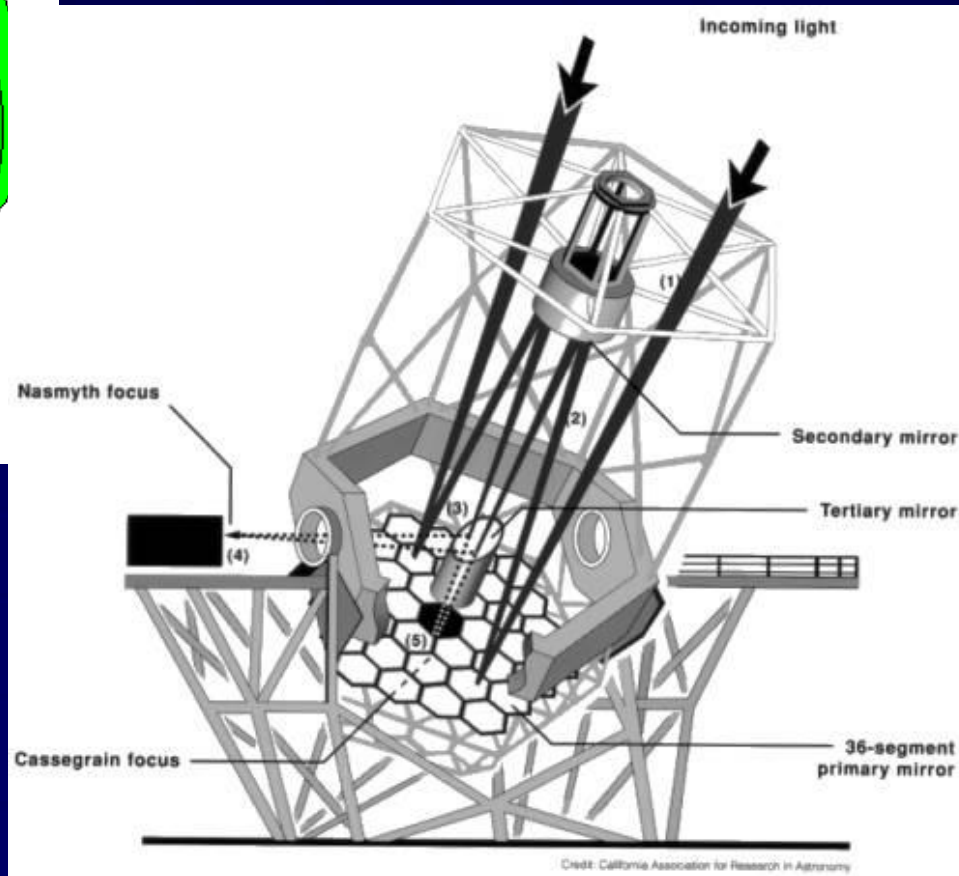
Неподвижные фокусы

<http://www.quadibloc.com/science/opt03.htm>



Фокус Кудэ

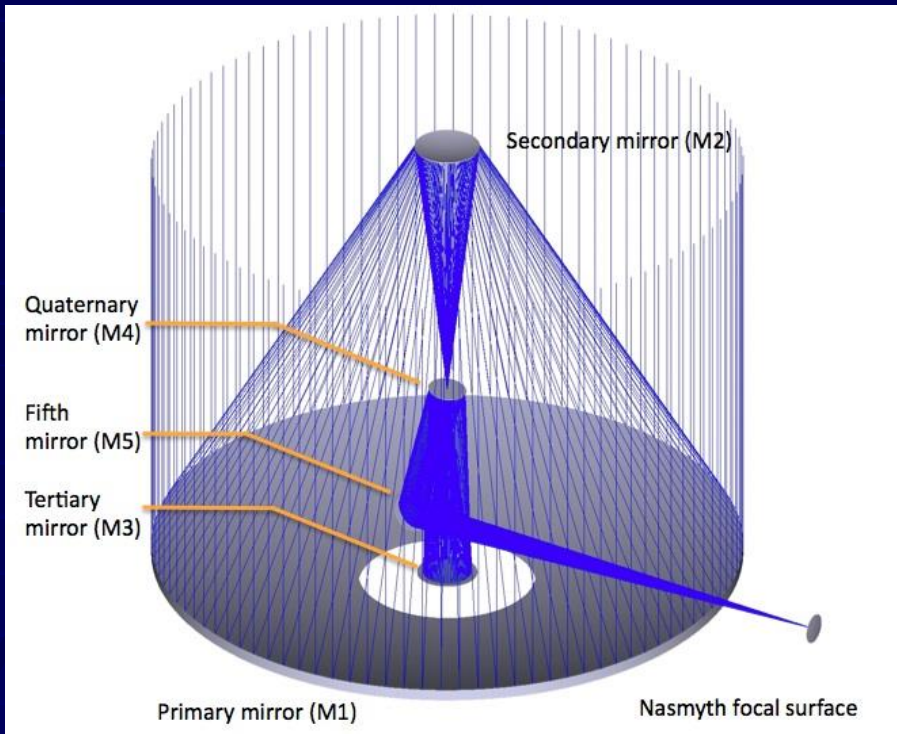
Фокус Нэсмита



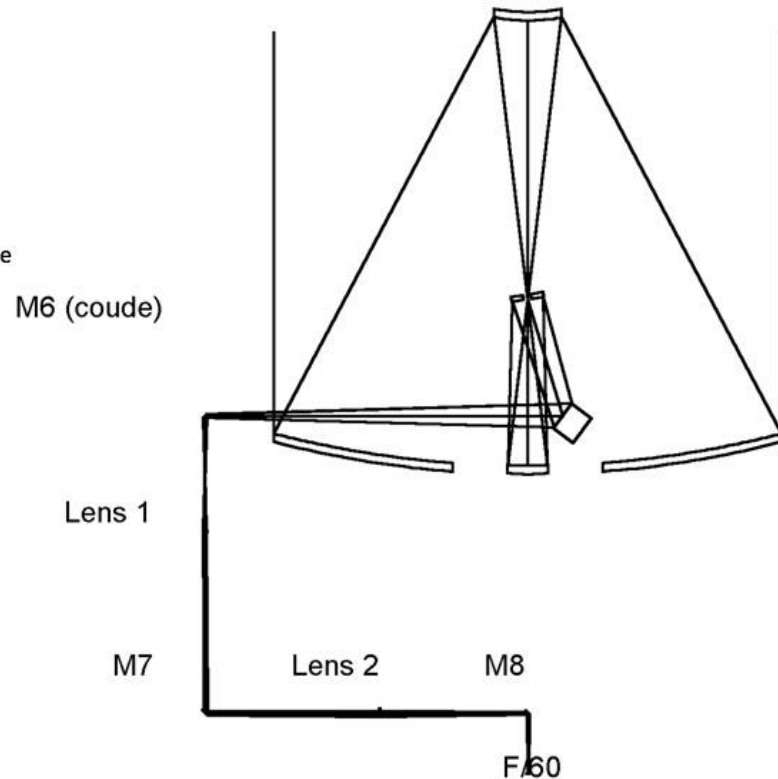
<http://www.faculty.virginia.edu/ASTR5110/lectures/optics1/optics1.html>

E-ELT

Реальные схемы могут быть сложнее и содержать несколько дополнительных оптических элементов.

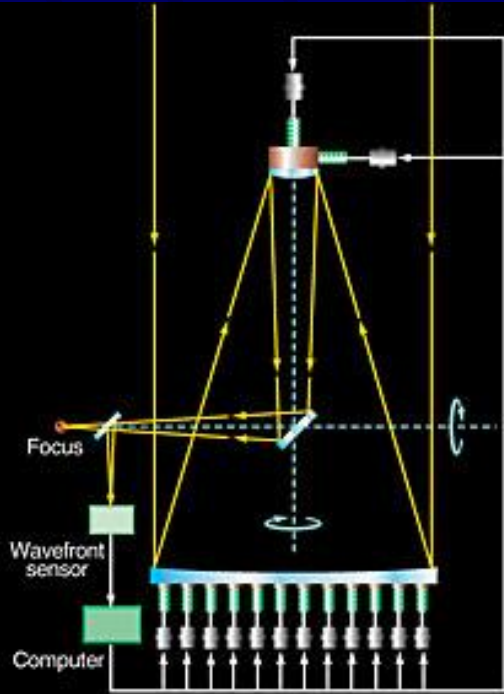


<https://www.eso.org/sci/facilities/eelt/telescope/design/>



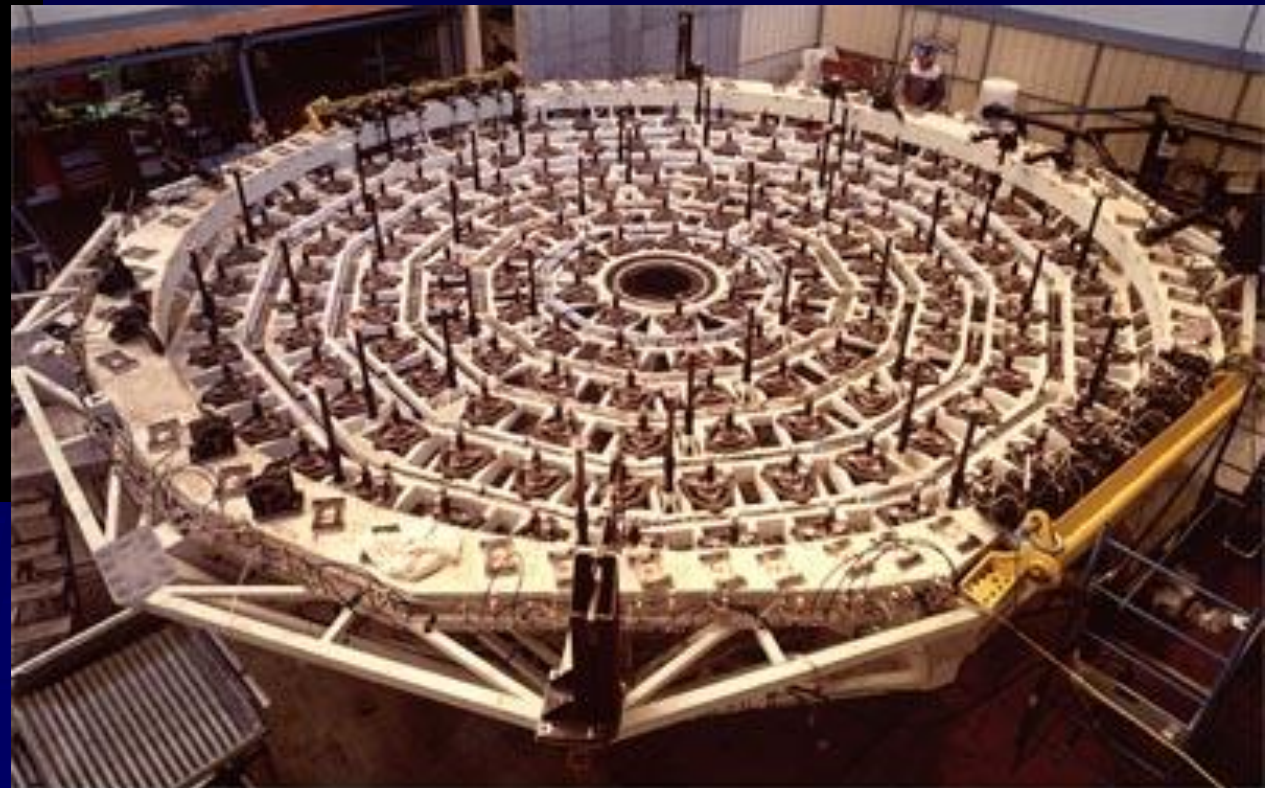
Активная оптика

Изменение параметров главного зеркала с частотой менее 1 Гц для компенсации различных изменений его формы.



Разработана инженером ESO Raymond Wilson

Еще проще работать с сегментированными зеркалами



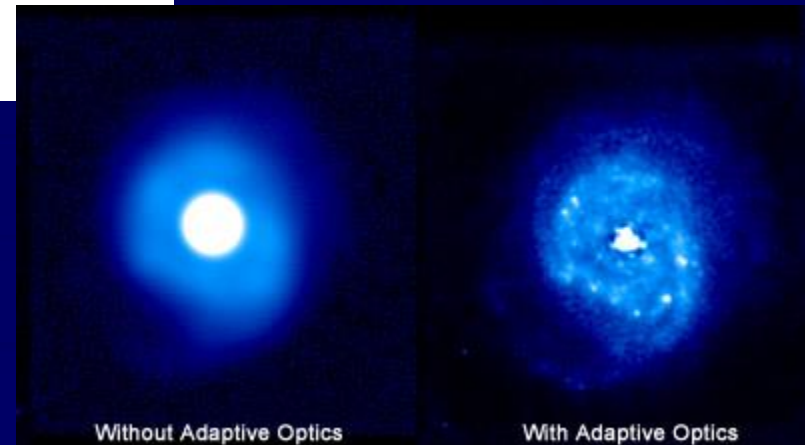
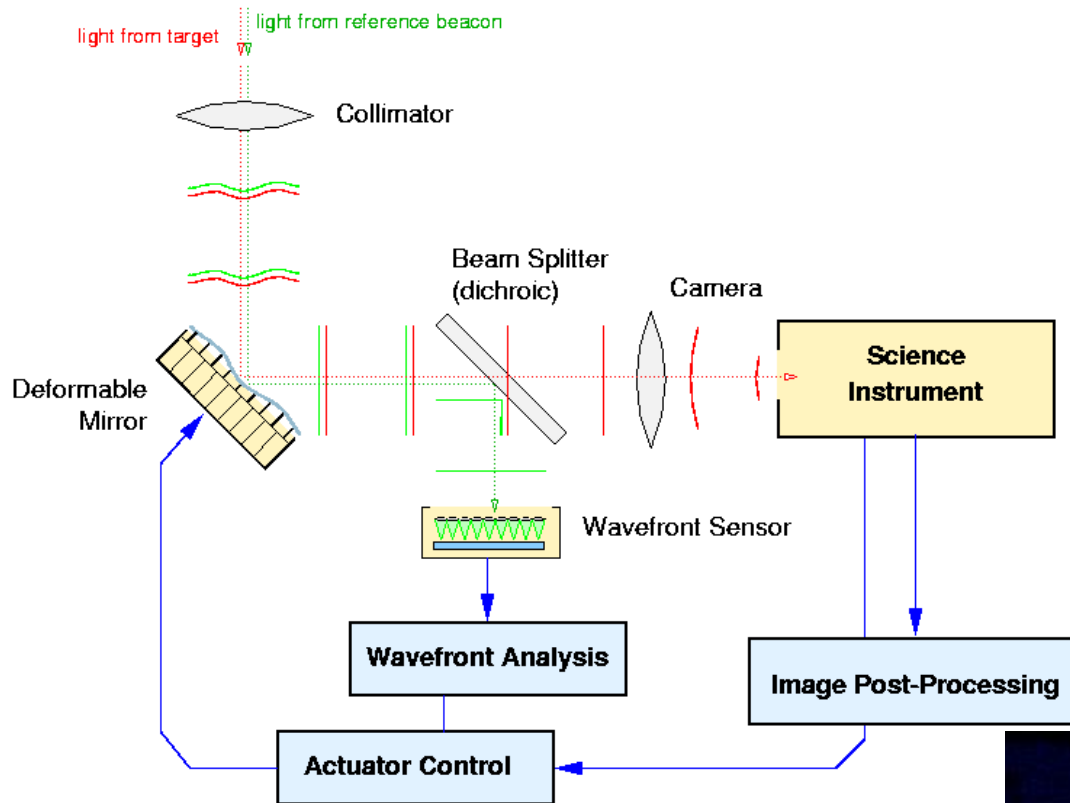
Active Mirror Supports in VLT M1 Cell

ESO PR Photo 34a/99 (13 August 1999)

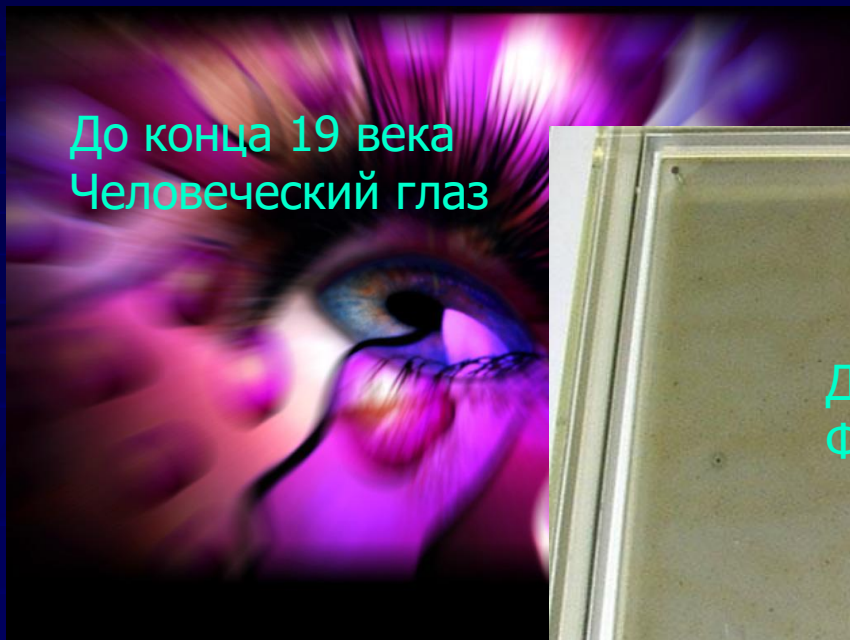
© European Southern Observatory



Адаптивная оптика



Глаз, фото, ПЗС



До конца 19 века
Человеческий глаз



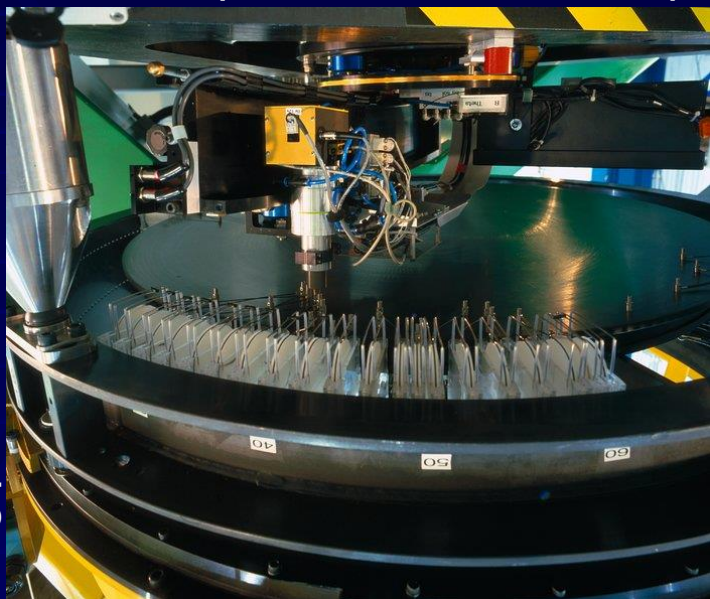
До конца 20 века
Фотопластинки



Предел – счет фотонов.

Астрономические приборы

На VLT работает около 20 приборов.



**FLAMES — Fibre Large Array
Multi Element Spectrograph**



**FORS 1 and FORS 2
FOcal Reducer and
low dispersion
Spectrograph**

**SPHERE - Spectro-Polarimetric
High-contrast Exoplanet REsearch instrument**



Телескопы-роботы и обзоры неба



Sloan digital sky survey

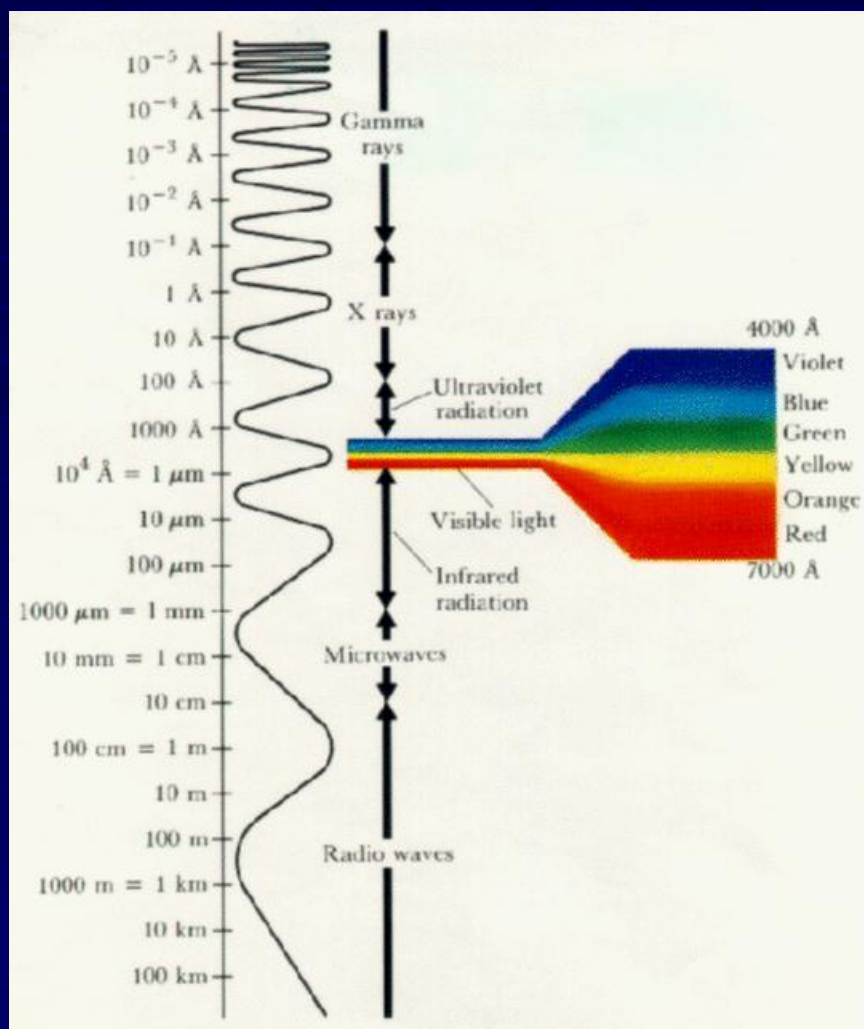


Liverpool Telescope (2m)



MACTEP

Всеволновая астрономия



Наблюдения теперь проводят во всех спектральных диапазонах:

- Радио
- Инфракрасном
- Оптическом
- Ультрафиолетовом
- Рентгеновском
- Гамма

Разные диапазоны приносят информацию о разных процессах.

Радиоастрономия

Космическое радиоизлучение было открыто в 1932 году.
Но развитие радиоастрономии началось только после Второй Мировой войны.



Два вида телескопов: «тарелки» и «рогульки»

Современные радиотелескопы



Российские радиотелескопы

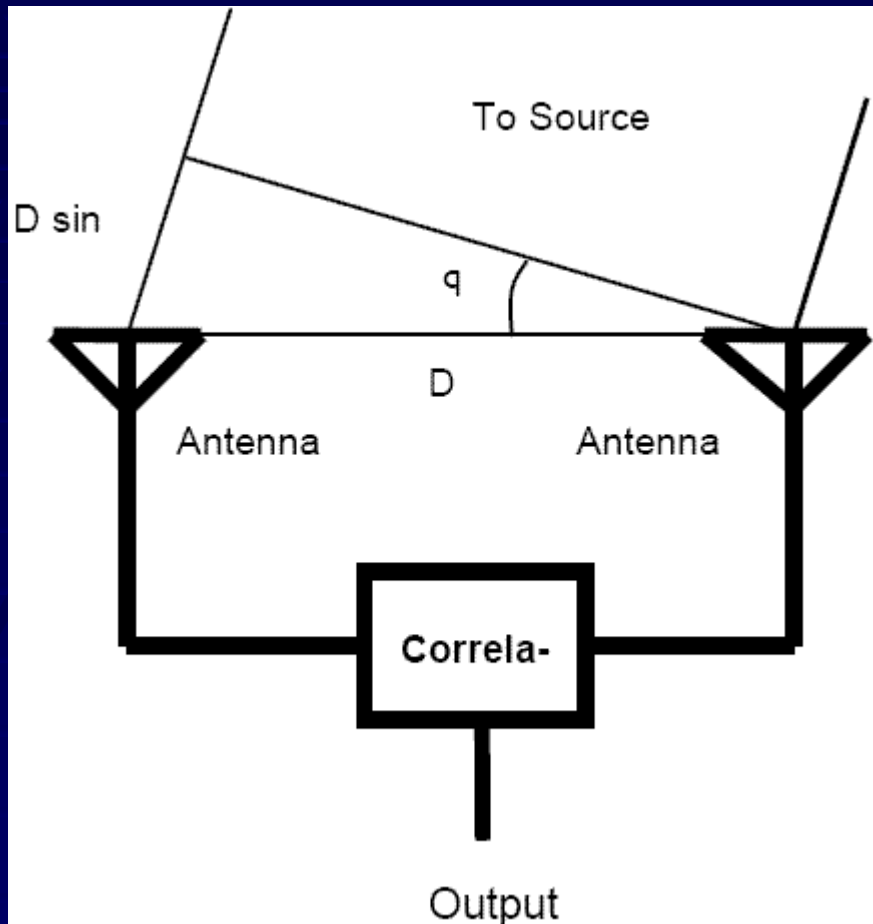


РАТАН-600

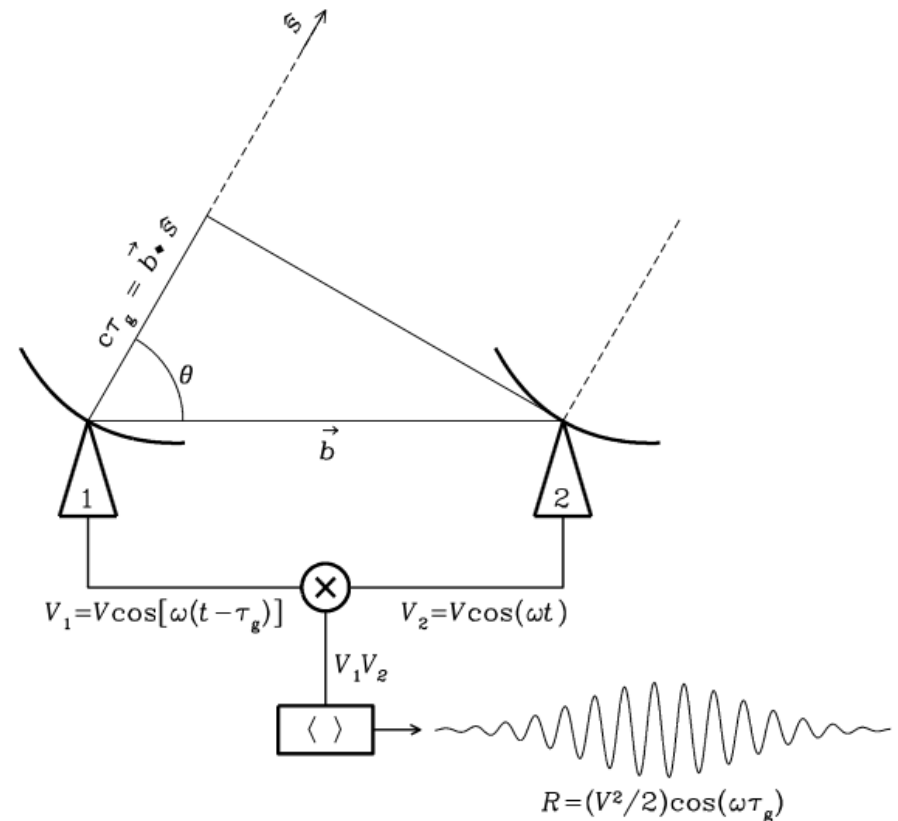
И два
телескопа
в Пуцино:
БСА и ДКР



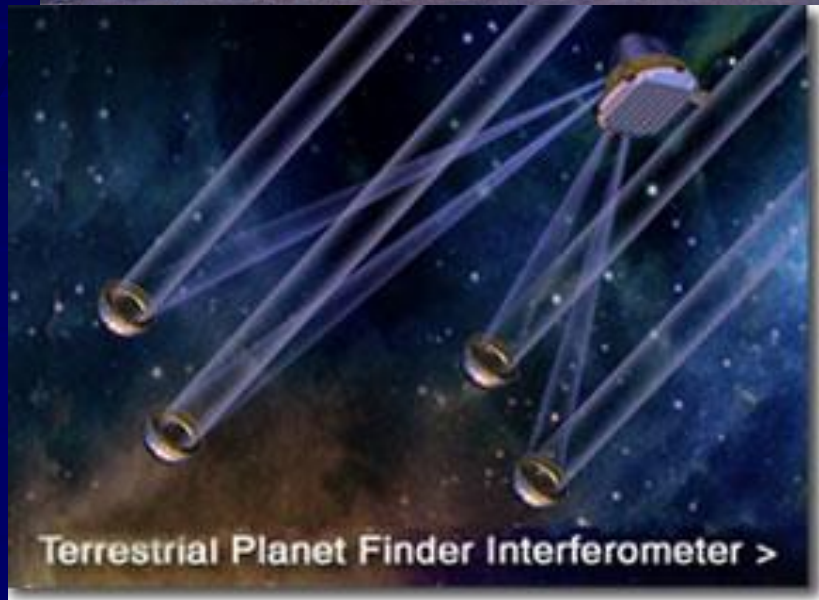
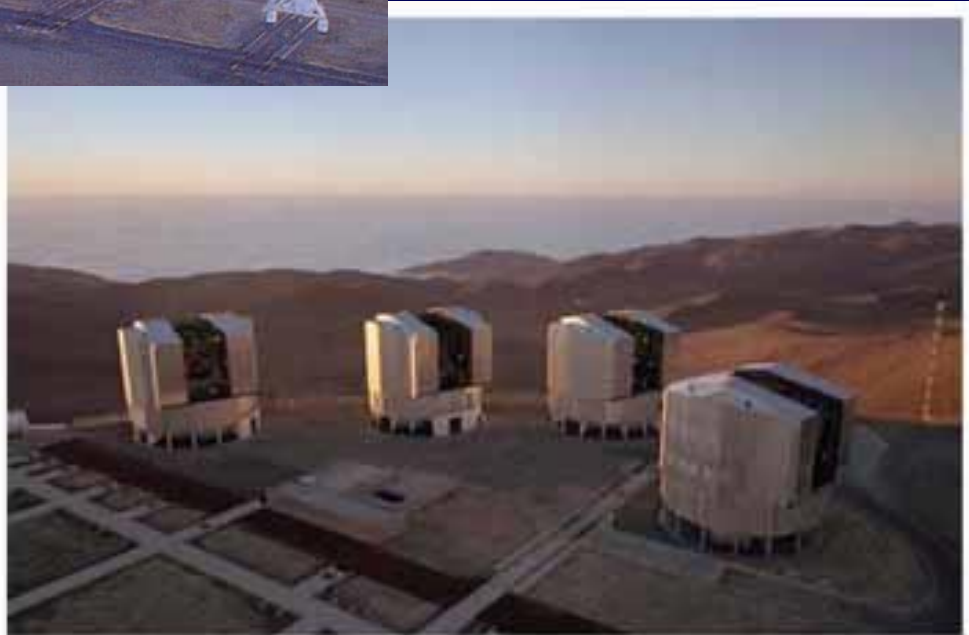
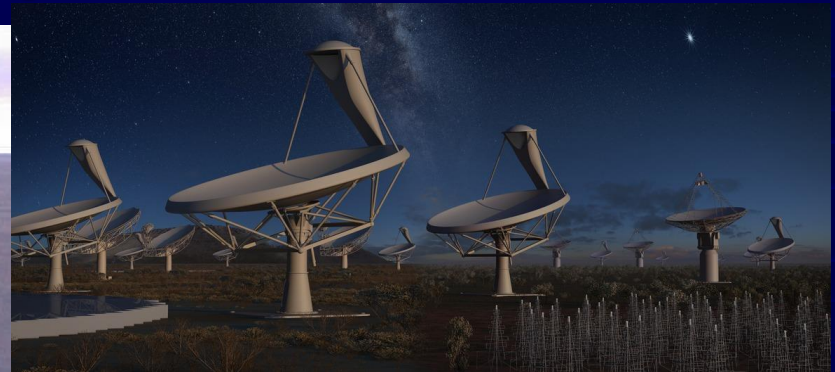
Интерферометры



Высокое угловое разрешение
в направлении, соединяющем
два телескопа.



Оптика и радио



Радиоастрон



Космический
интерферометр

Рекордное
угловое разрешение

Гамма-астрономия на Земле



H.E.S.S.

Влетая в атмосферу Земли гамма-квант очень высокой энергии приводит к появлению вспышки в оптическом диапазоне.

Не только электро-магнитные волны

От космических объектов приходит не только электромагнитное излучение.

На Землю прилетают различные частицы:
протоны, электроны, нейтрино ...

Кроме того, существуют т.н. гравитационные волны.

О чем рассказывают космические лучи и почему они важны

Космические лучи – это одновременно и объект, и инструмент исследования.

1. Новый канал информации.
2. Вопрос о происхождении и эволюции.
3. Открытие новых частиц. Естественные ускорители.
4. В Галактике КЛ динамически важны.
Их плотность энергии порядка энергии магнитного поля и тепловой энергии газа.



Спектр космических лучей

На 90% космические лучи состоят из протонов, на 10% - из альфа-частиц, остальное – более тяжелые ядра, электроны, и тд.

Для первичных КЛ у Земли:

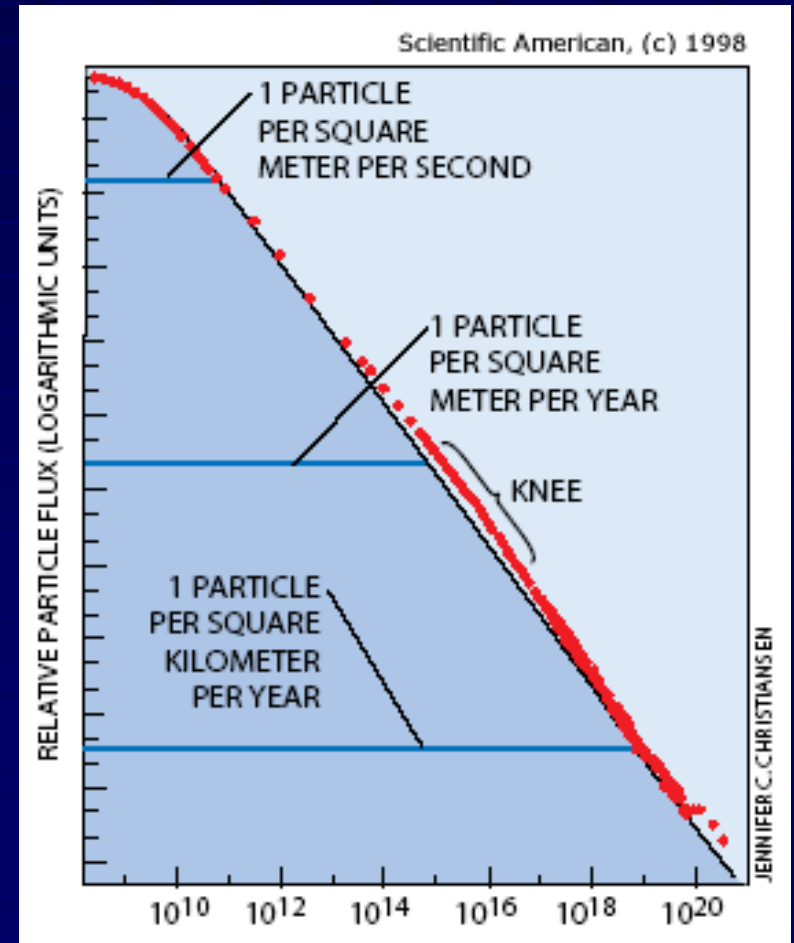
$I=0.2-0.3$ частиц/(см² с ср)

$N=10^{-10}$ частиц/см³

$W=10^{-12}$ эрг/см³=1 эВ/см³

Первичные КЛ поверхности Земли практически никогда не достигают (лишь около 1%).

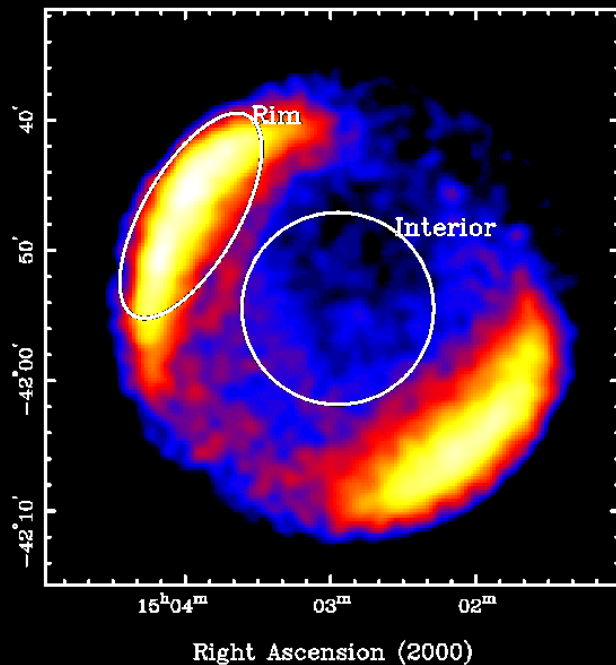
Вторичные частицы: на 70% мюоны и на 30% электроны и позитроны.



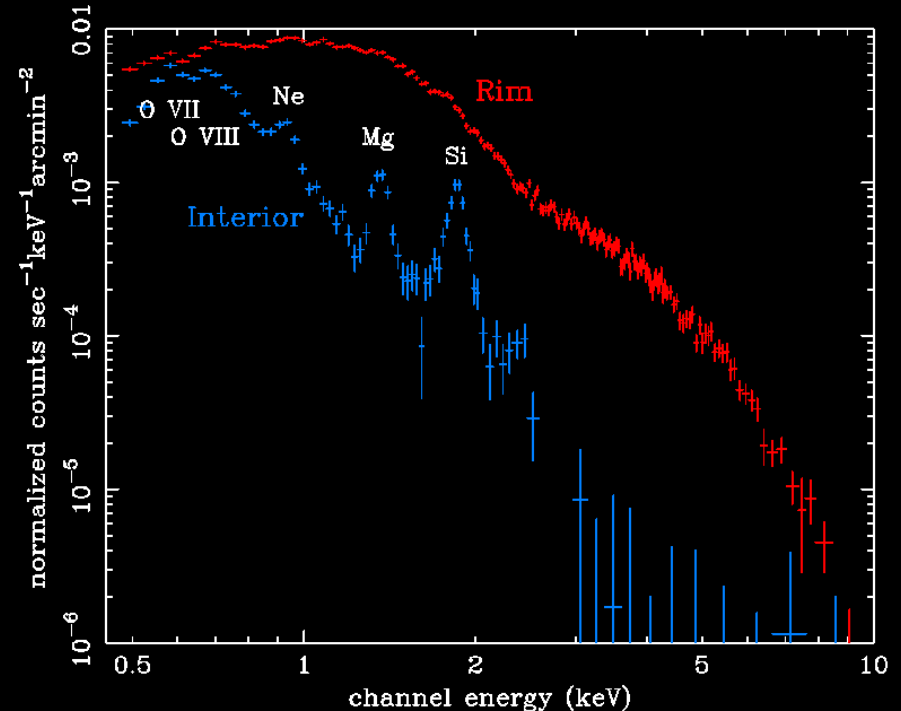
Происхождение

Галактические космические лучи в основном связаны с остатками сверхновых.

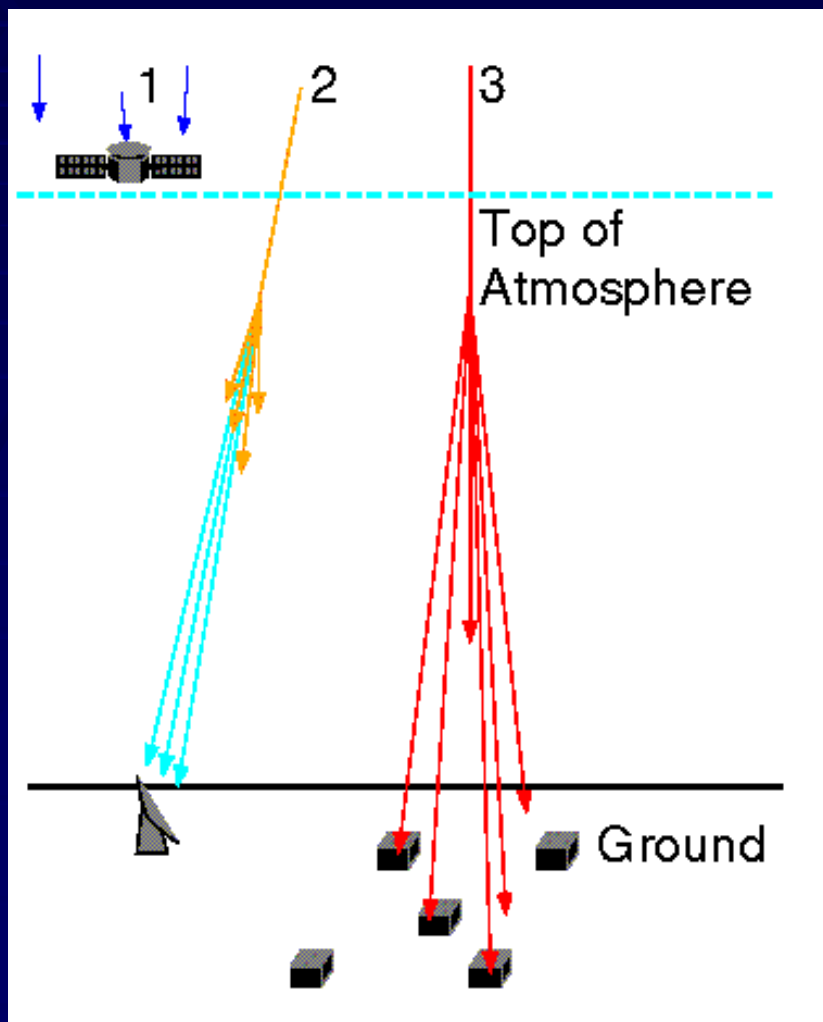
ASCA image of SN 1006



X-ray spectrum of SN 1006

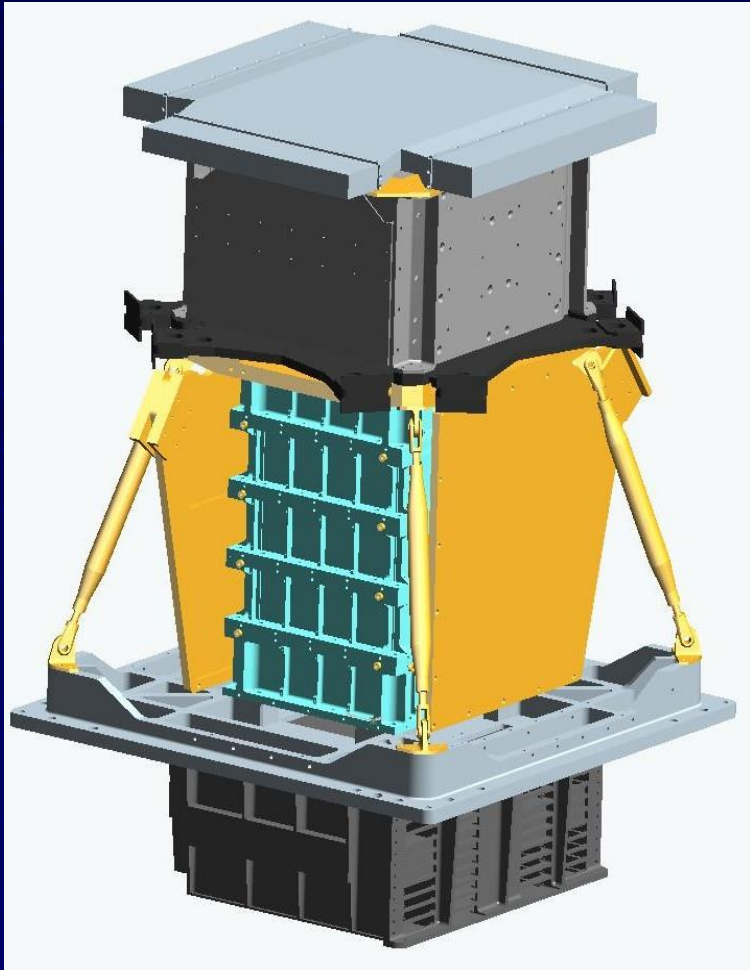


Регистрация космических лучей



- Можно регистрировать первичные космические лучи над атмосферой на космических аппаратах, или же в самой верхней атмосфере на баллонах
- Можно регистрировать оптическое излучение, возникающее при взаимодействии первичных частиц с атмосферой
- Наконец, можно регистрировать сами вторичные частицы наземными детекторами

Наблюдения космических лучей

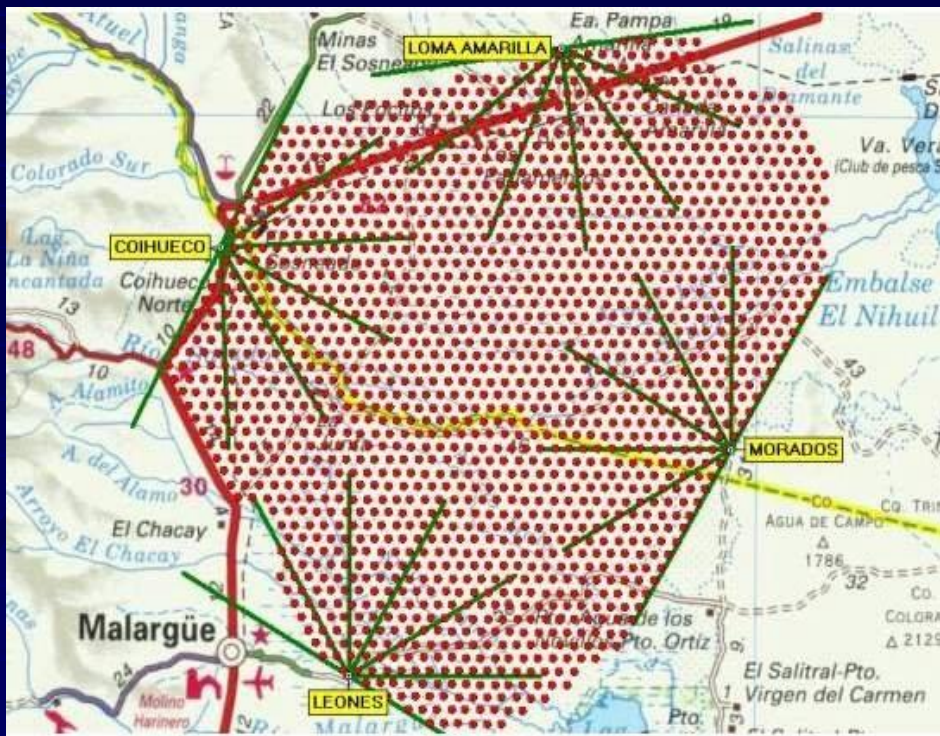


РАМЕЛА



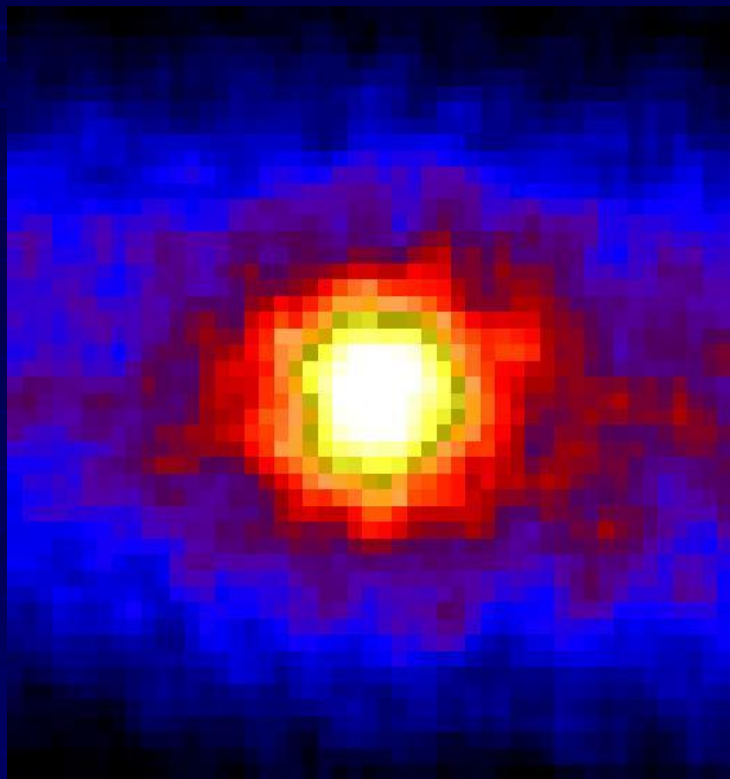
Полеты Гесса (1912 г.)

Обсерватория имени Оже



Более 1000 наземных детекторов.
Плюс 24 телескопа.

Нейтринная астрофизика



Нейтрино от Солнца

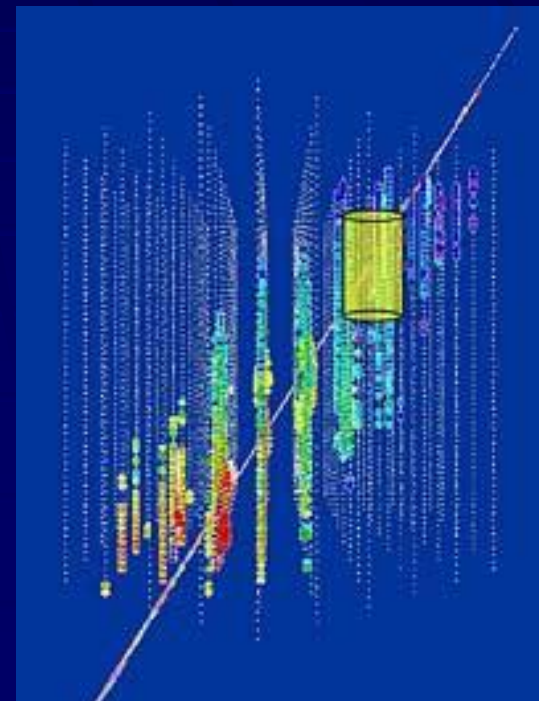
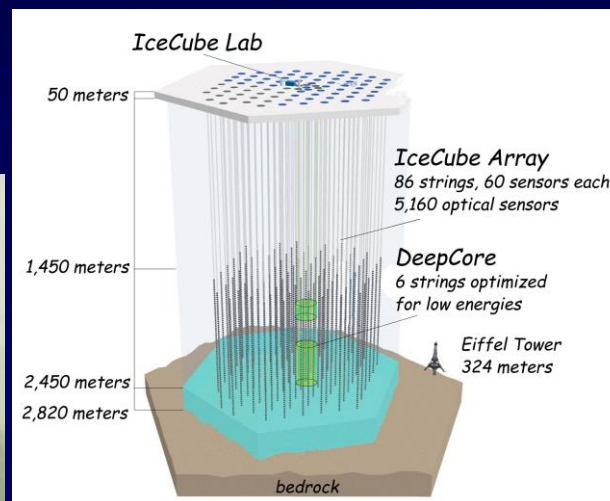
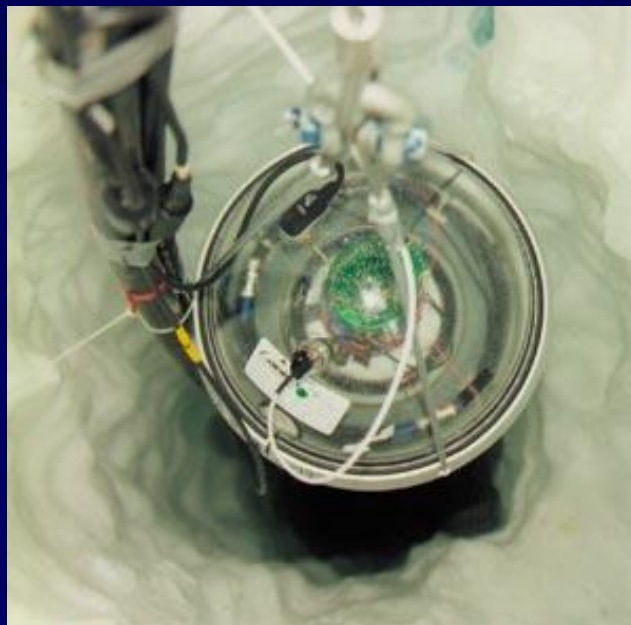


Нейтрино от взрывов сверхновых

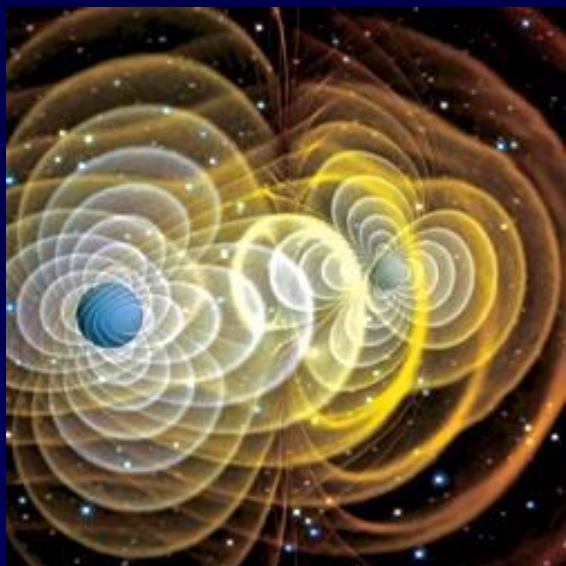
Наблюдения нейтрино



Эксперименты AMANDA
и IceCube в Антарктиде



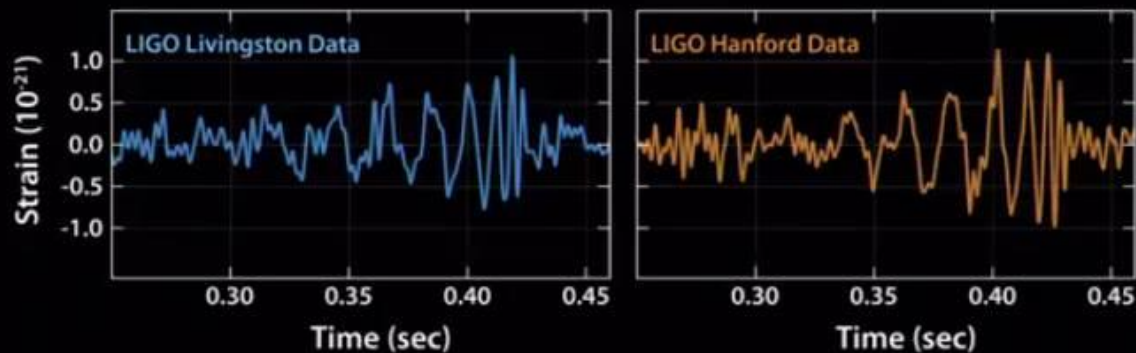
Гравитационные волны



Предсказаны Общей теорией относительности.

Возникают при слиянии нейтронных звезд и черных дыр.

А также при вращении нейтронных звезд и при эволюции тесных двойных звезд.



Детекторы гравитационных волн



Первый детектор
Вебера

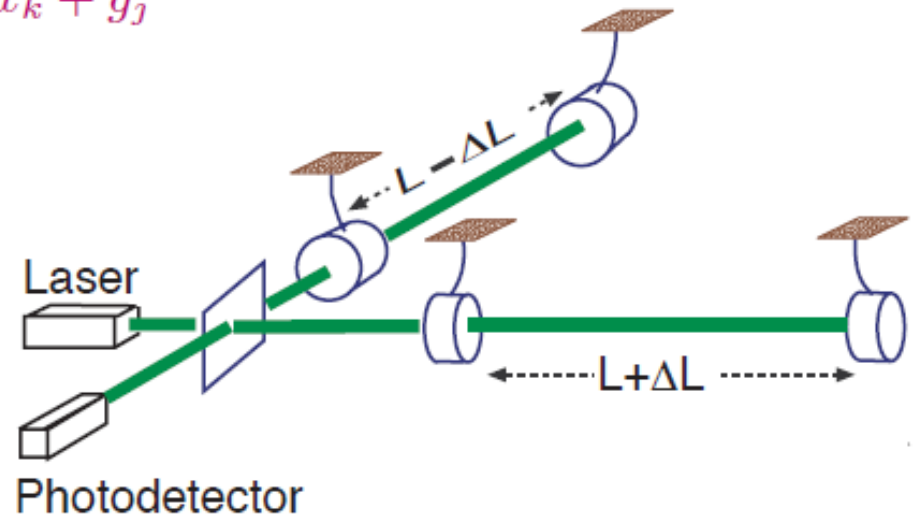


Эксперимент VIRGO

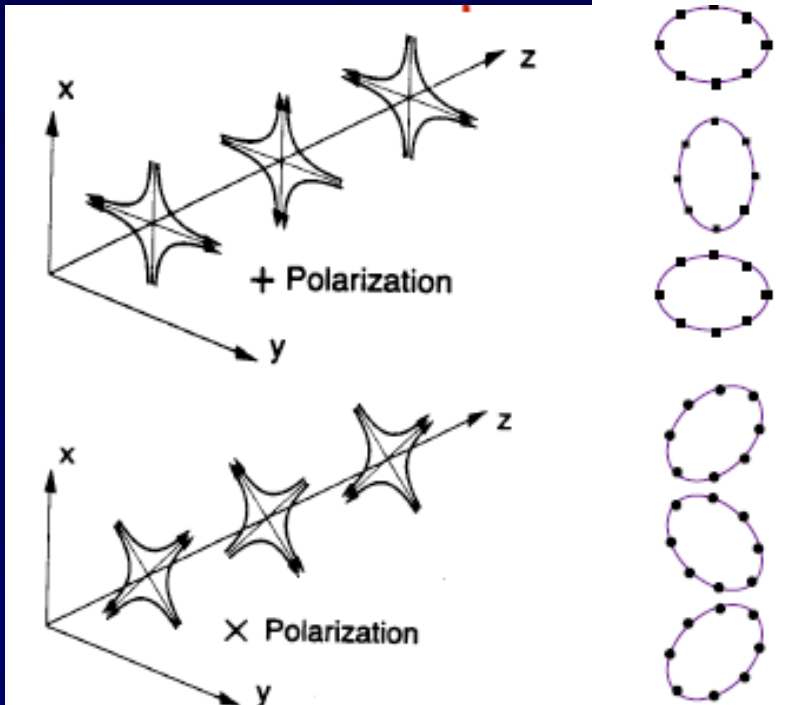
Изменение длины плеч

Прохождение гравитационной волны вызывает приливные силы. Меняется длина плеч интерферометра. Это можно измерить.

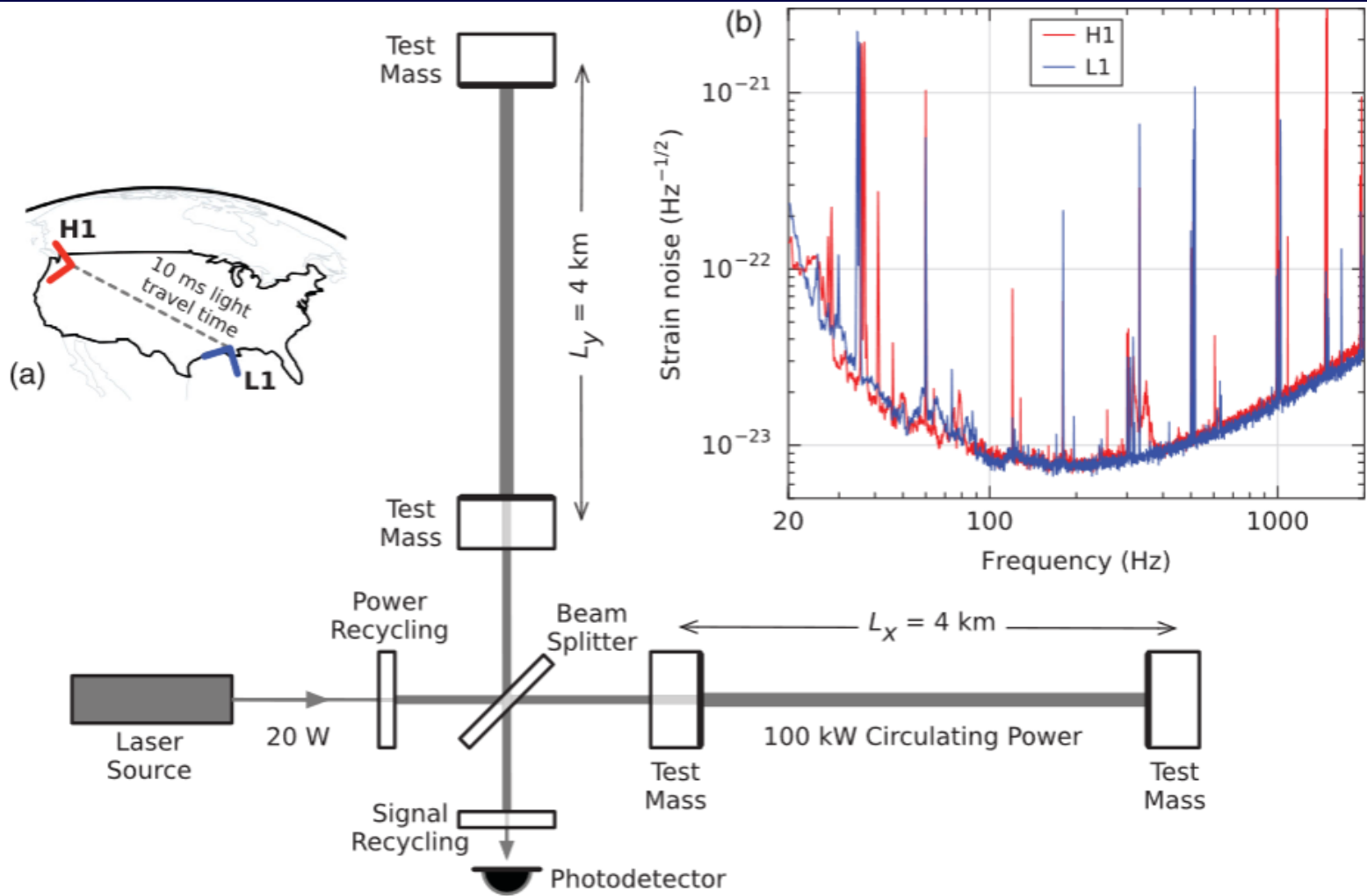
$$\ddot{x}_j = \frac{1}{2} \ddot{h}_{jk}^{\text{GW}} x_k + g_j$$



Относительное изменение длины плеч пропорционально амплитуде гравитационной волны. Измерение происходит довольно сложным способом.



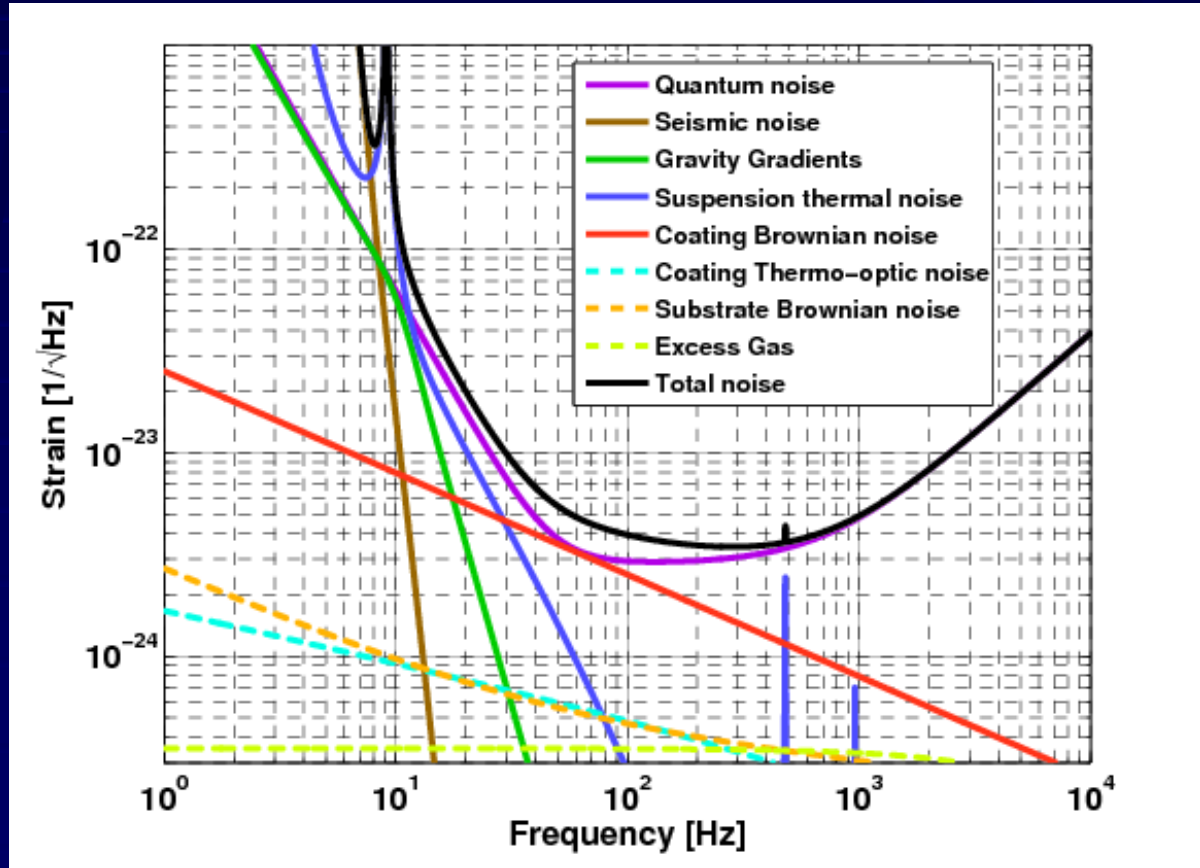
Детекторы и их чувствительность



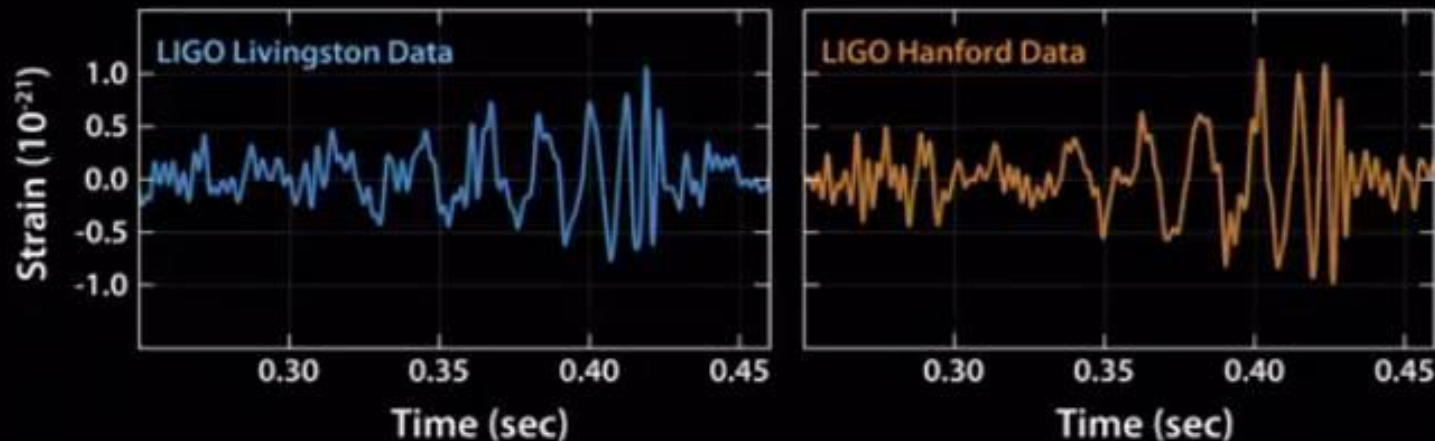
Разнообразные шумы

Влияют как внешние шумы, так и шумы самого детектора.

Совершенствование инструментов в первую очередь связано с борьбой с шумами.



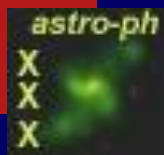
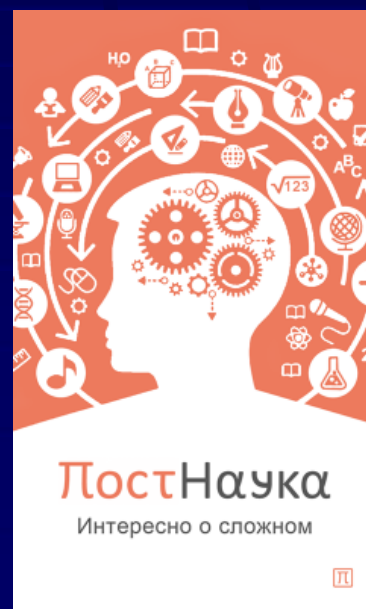
GW150914 13-50 по Московскому времени



<http://www.ligo.org>

Официальное объявление 11 февраля 2016 года.
За 16 дней совместных наблюдений двух детекторов
надежно обнаружено одно событие – слияние двух черных дыр в >400 Мпк от нас.

Источники



Астрономия - ...

- Современная бурно развивающаяся наука
- Являющаяся в некотором смысле частью физики
- Проводит наблюдения по всех диапазонах спектра
- ... а также используя потоки частиц и гравитационные волны
- Строит одни из самых дорогих научных установок
- Активно применяет суперкомпьютеры для расчетов
- ... и обработки данных
- Пытается эффективно использовать данные, открывая их всем
- Производит огромный поток результатов

Смотрите на звезды!