Современная астрономия и современные телескопы

Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)

Факт 1

Астрономия – наблюдательная наука

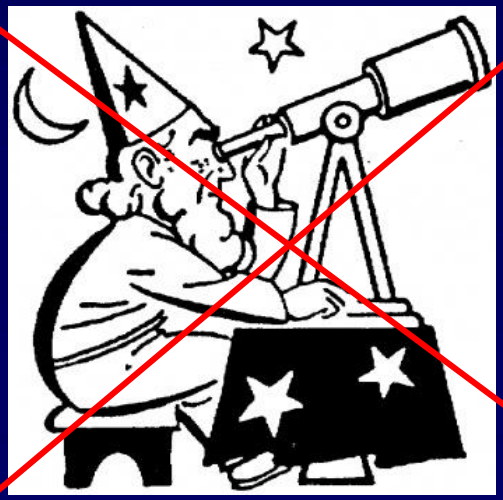
В астрономии невозможны прямые эксперименты с изучаемыми объектами.
Это уникальное свойство для естественных наук.

Факт 2

В телескоп не смотрят глазом

**Начиная с 19 века в астрономии стала фиксировать изображение на фотопластинке,
Чтобы потом детально обработать.
Сейчас приемники электронные.**

Вне видимого диапазона глаз вообще бесполезен.

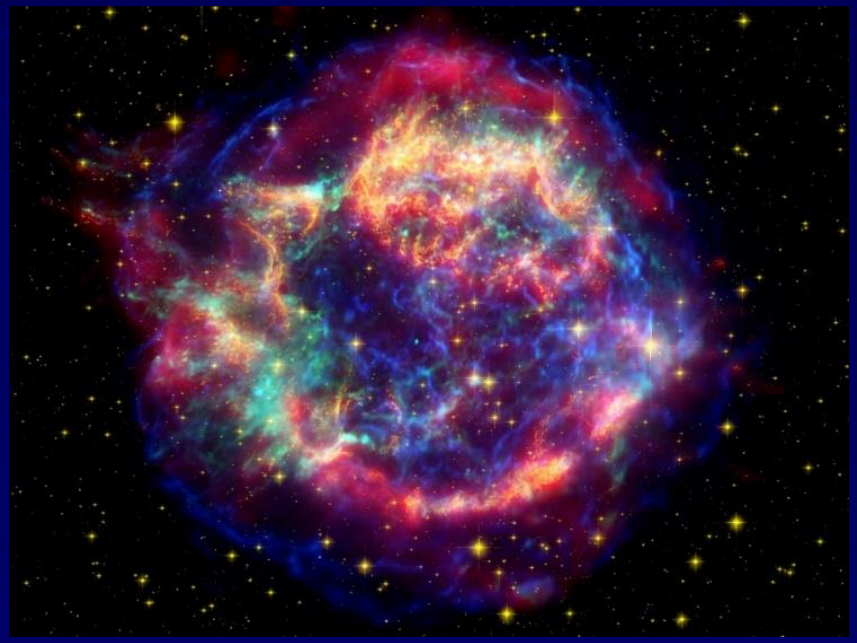


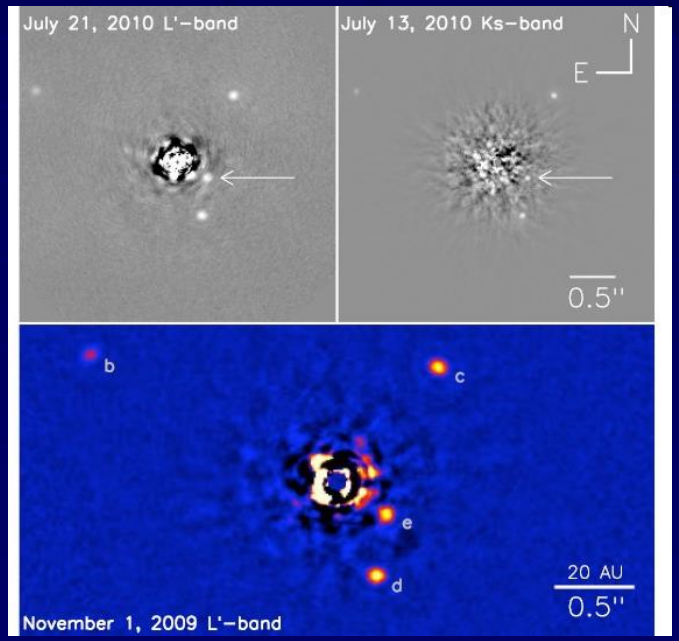
Факт 3

Важнейшей составляющей работы астрономов является обработка данных.

Среднестатистический астроном занят обработкой данных.

Изображения, которые вы видите, обычно являются итогом длительной и сложной обработки.





Факт 4

Астрономия стала всеволновой

Наблюдения ведутся от радио до гамма-лучей. А также есть нейтринная астрономия, изучение космических лучей, а на подходе гравитационно-волновая астрономия.

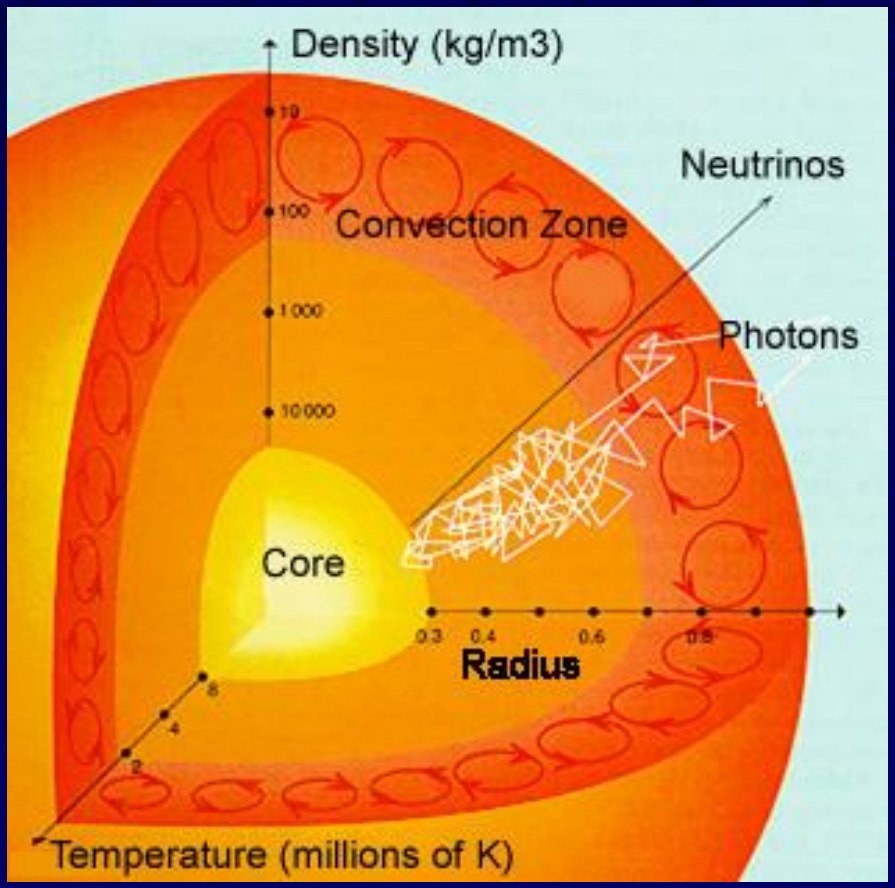
Факт 5

Наблюдатели не всегда сидят у телескопа

Разумеется, космические эксперименты управляются дистанционно.
Но и наземные все чаще управляются издалека.
Кроме того, часто инструментом управляет команда инженеров, а астроном лишь описывается в заявке что и как наблюдать.

Факт 6

Астрономия – часть физики



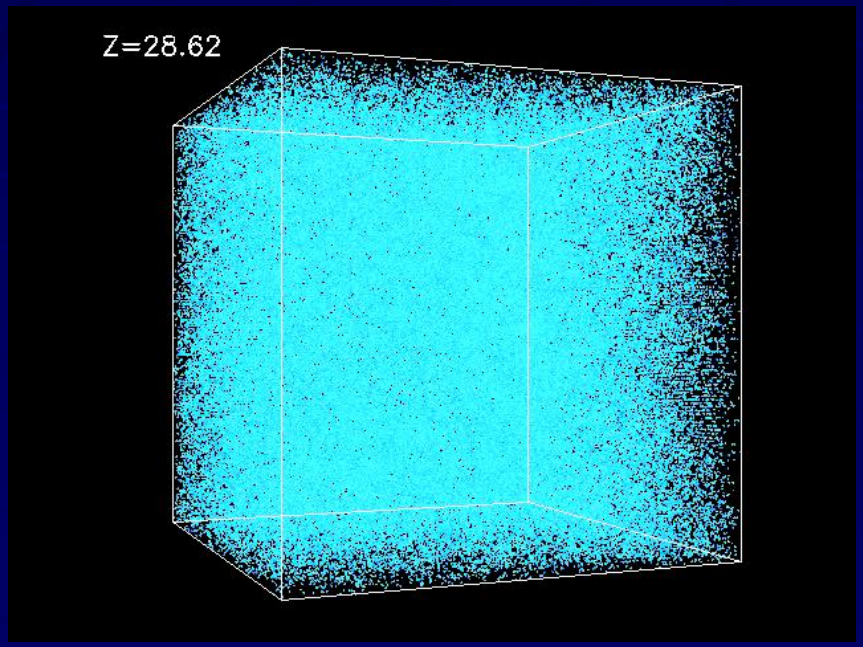
**Нам интересно
не «как выглядит»,
а «как устроено»**

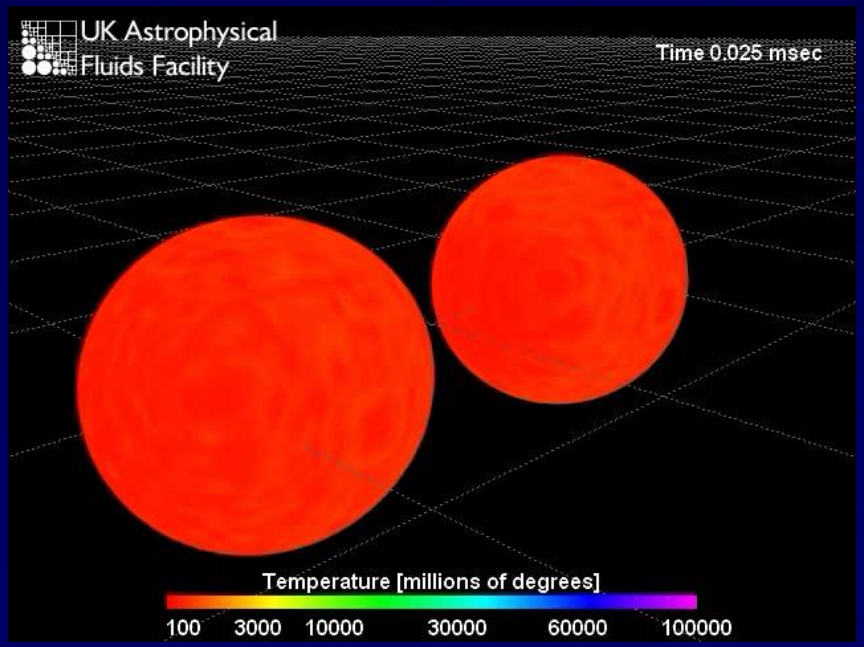
Большинство астрономов в мире получили первую степень по физике

Факт 7

Астрономы считают на суперкомпьютерах

**Многие астрономические задачи
требуют колоссальных вычислительных ресурсов**





Факт 8

Основные результаты получают на больших дорогих инструментах коллективного конкурсного использования

Giant Segmented Mirror Telescope
Миллиард долларов без аппаратуры

Wide Field Camera 3
132 млн. $

Факт 9

Многие данные открыты

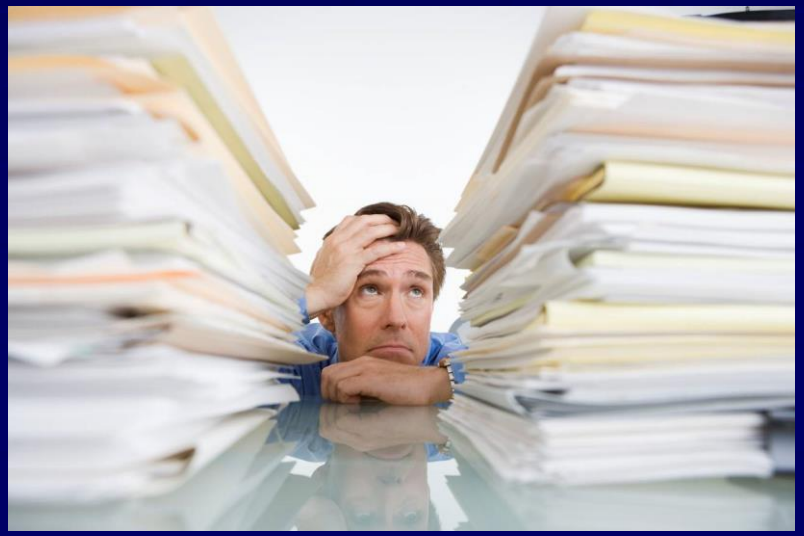
- **Крупные дорогие инструменты должны эффективно использоваться**
- **Элемент соревновательности повышает эффективность**
- **Необходима перепроверка важных результатов независимыми исследователями**

Факт 10

Публикуется более 1000 оригинальных статей в месяц.

Астрономия переживает стадию бурного развития, во многом связанную с развитием и эффективным использованием наблюдательной техники.

Мы живем в очень интересное время …

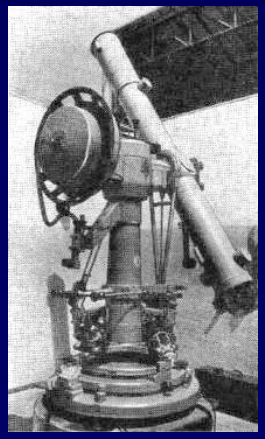


вот только когда же все это читать?

АСТРОНОМИЯ

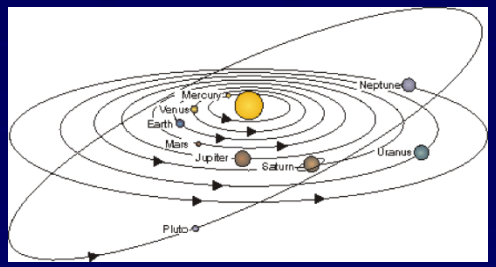
Астрометрия

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

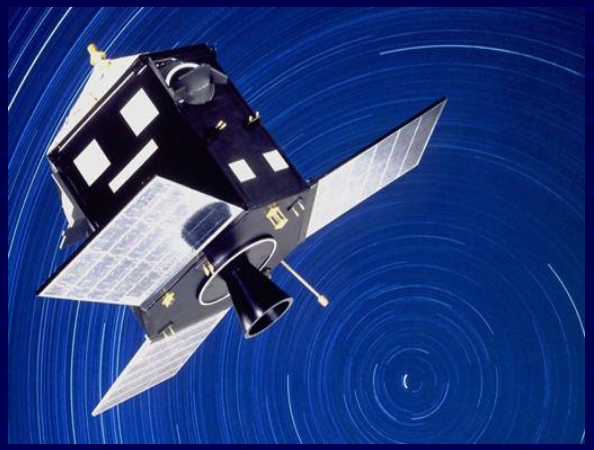
Физика небесных тел
Расцвет: сейчас
Новое: инструменты

Астрометрия

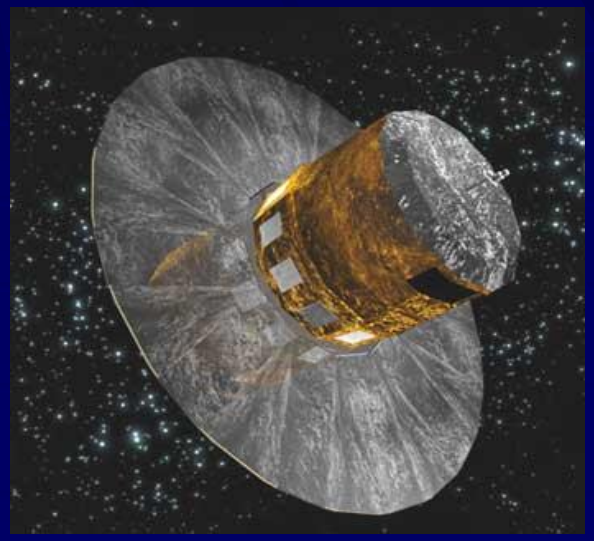
Астролябия

Прогресс в точности измерений связан с развитием техники.

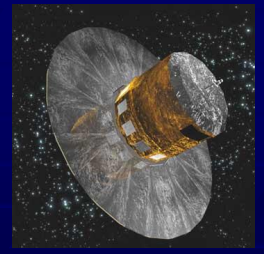
Для измерения времени астрономические стандарты сейчас не используются, но в будущем ситуация может измениться благодаря наблюдениям радиопульсаров.



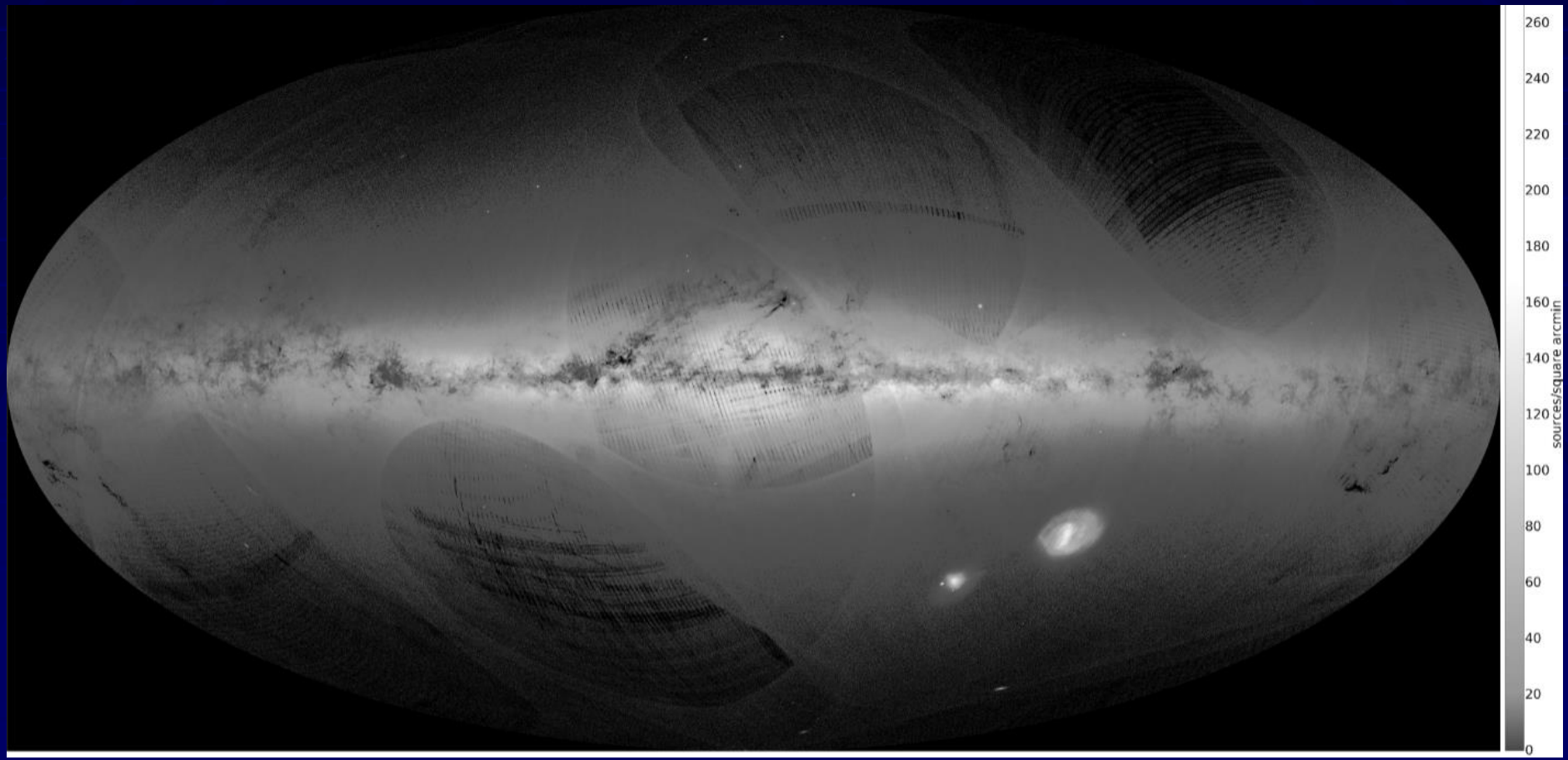
Hipparcos



GAIA



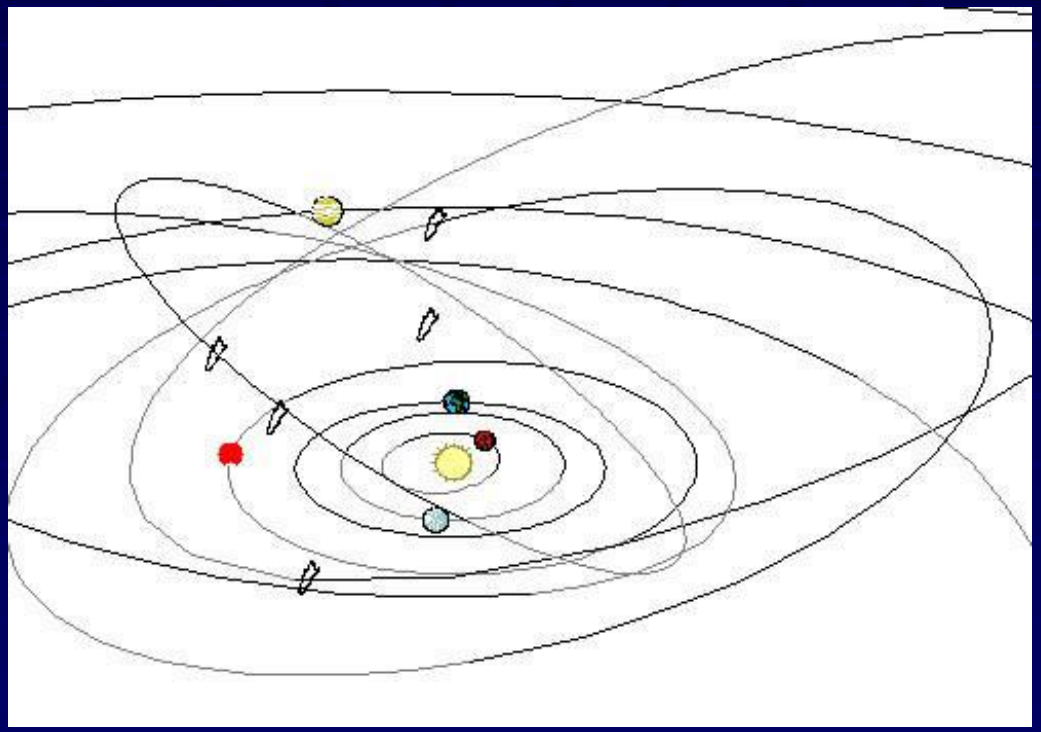
Первый релиз данных Gaia



1609.04172

Спутник Gaia впервые даст нам трехмерную карту половины Галактики.

Небесная механика



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

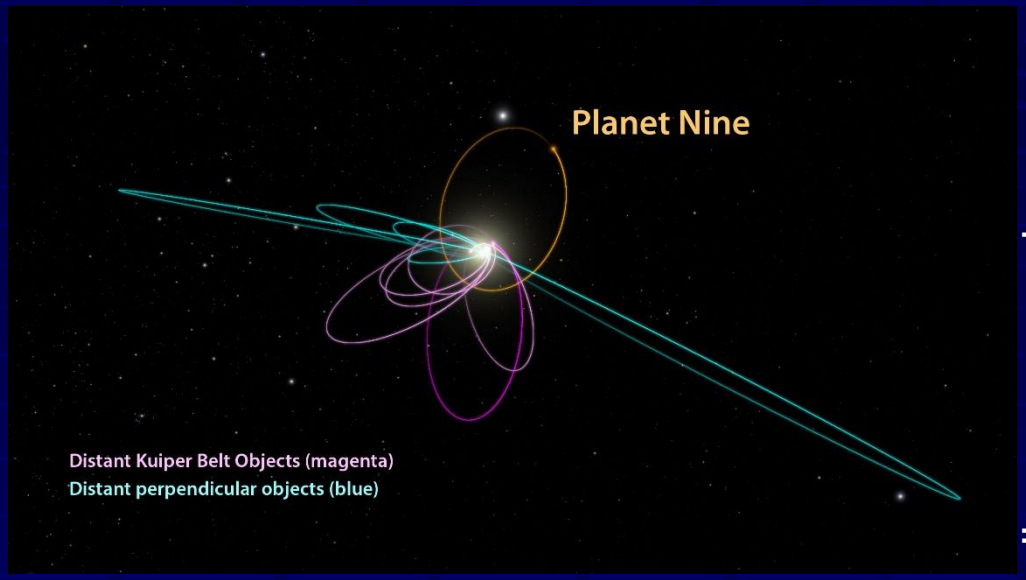
Сейчас для расчета траекторий в Солнечной системе уже приходится использовать Теорию относительности.

Девятая планета

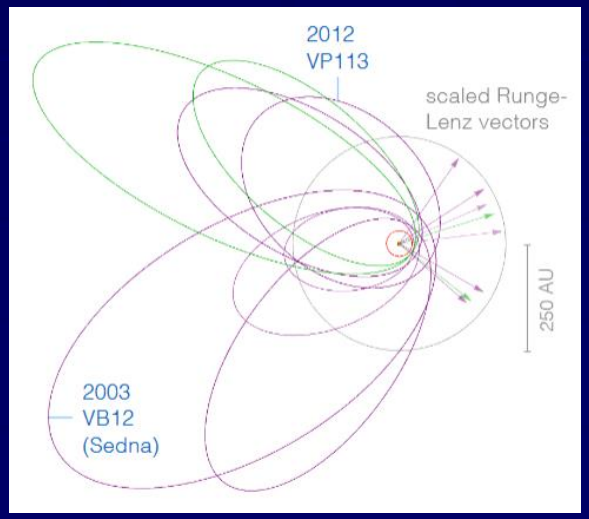
В течение нескольких лет накапливаются данные, которые свидетельствуют в пользу того, что в Солнечной системе может быть еще одна массивная планета.

В январе 2016 г. появилась работа Батыгина и Брауна, которая вывела обсуждение на новый уровень.

Начались активные поиски девятой планеты.



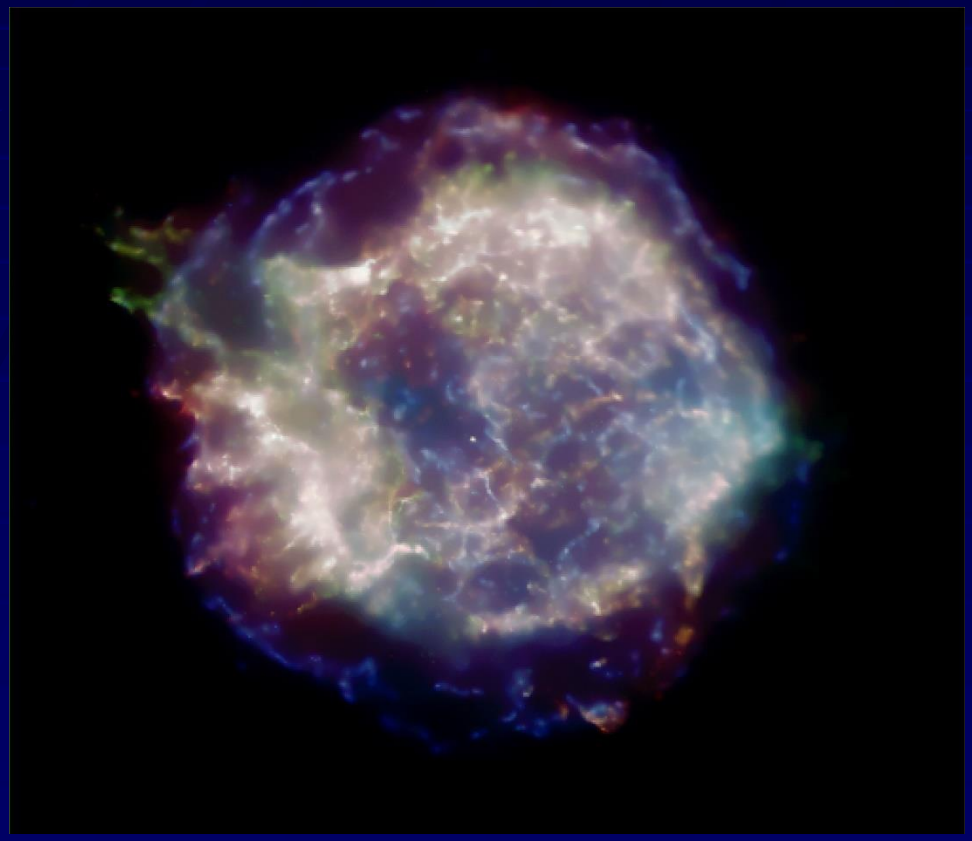
discovermagazine.com



Орбиты далеких малых тел оказываются особым способом «выстроены». Чтобы объяснить это можно привлечь гипотезу о существовании планеты с массой в несколько земных и >10 раз дальше Плутона.

1601.05438, 1603.05712

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.

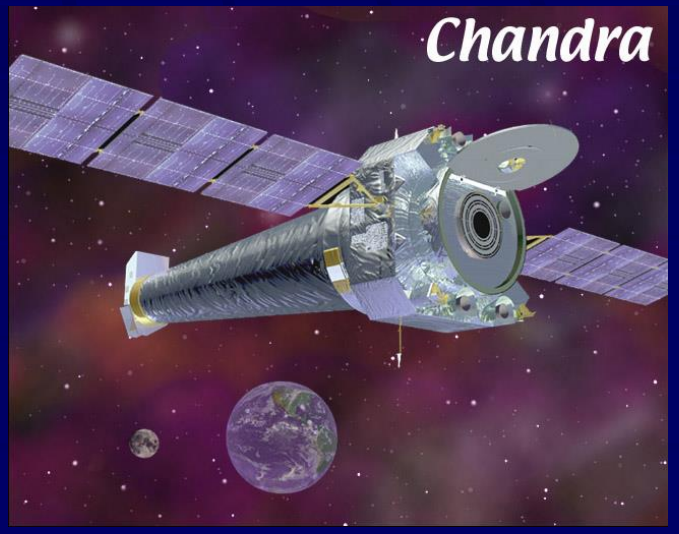
Астрономия – наблюдательная наука

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

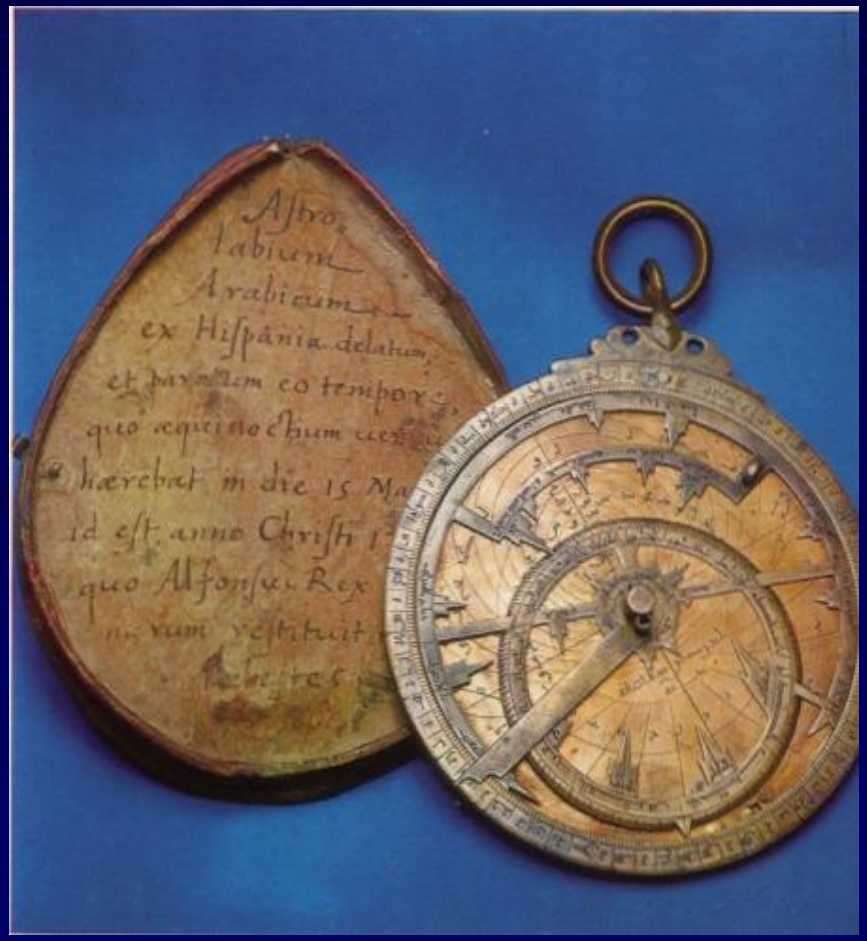
Наблюдения, наблюдения, наблюдения ….

На Земле и к космосе

В радио- и в рентгеновском дипазонах



Древняя астрономия



Измерения углов с помощью простейших Приборов.

Определение относительных положений звезд и планет.

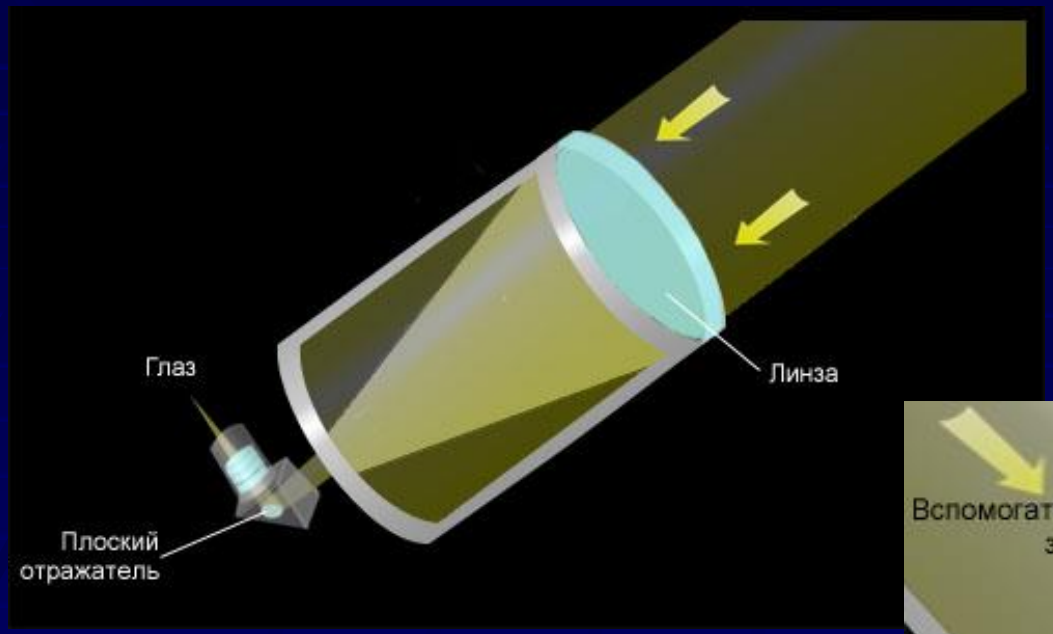
Ну и конечно же определение времени.

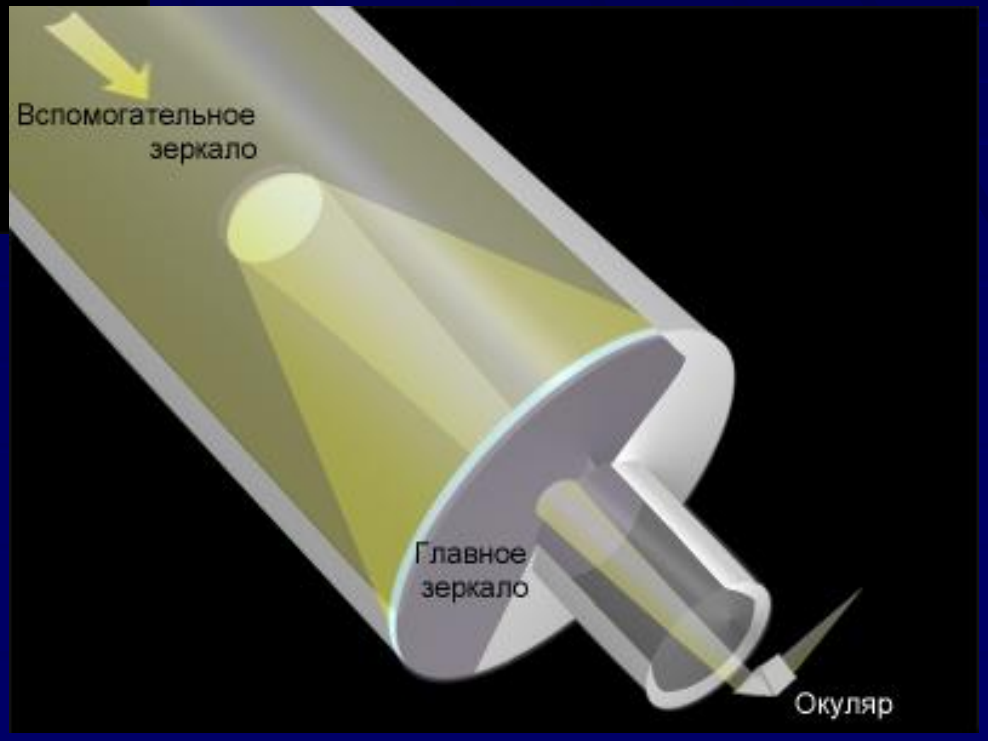
Первые телескопы

1564-1642

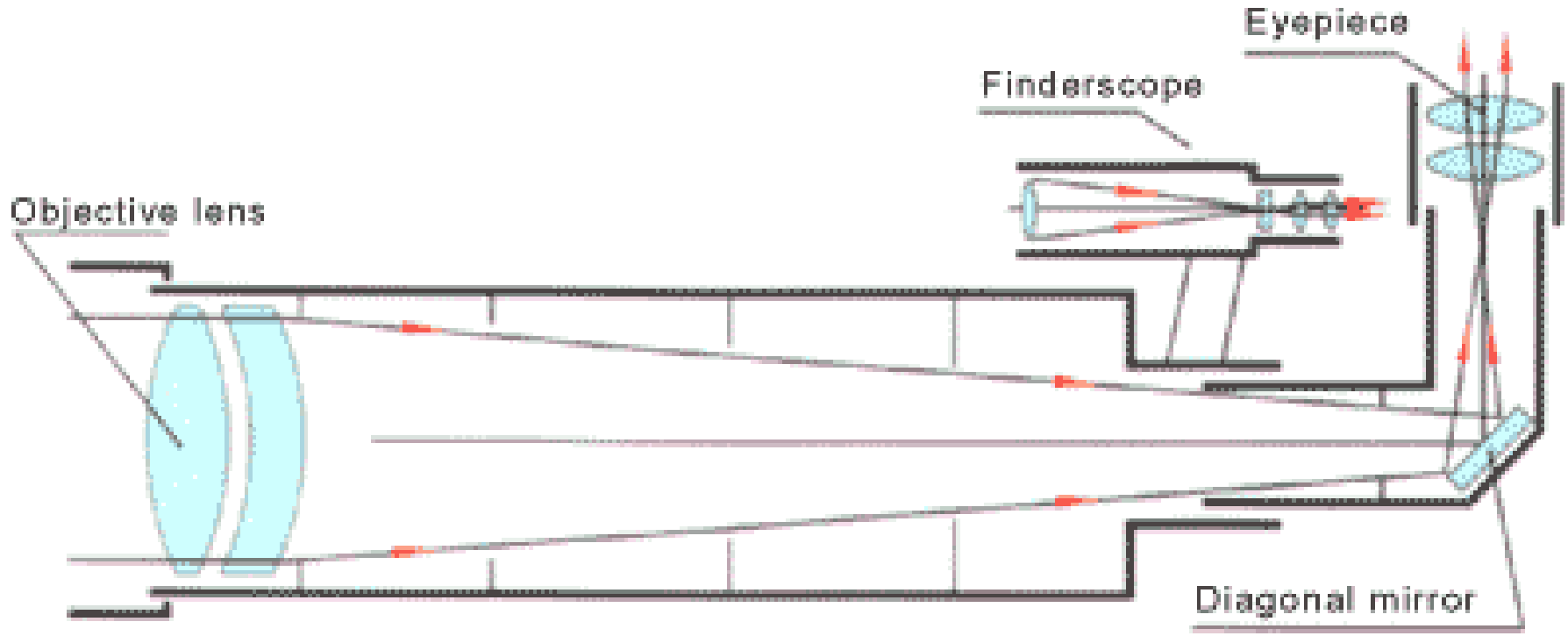
1609-10 гг.

Рефракторы и рефлекторы



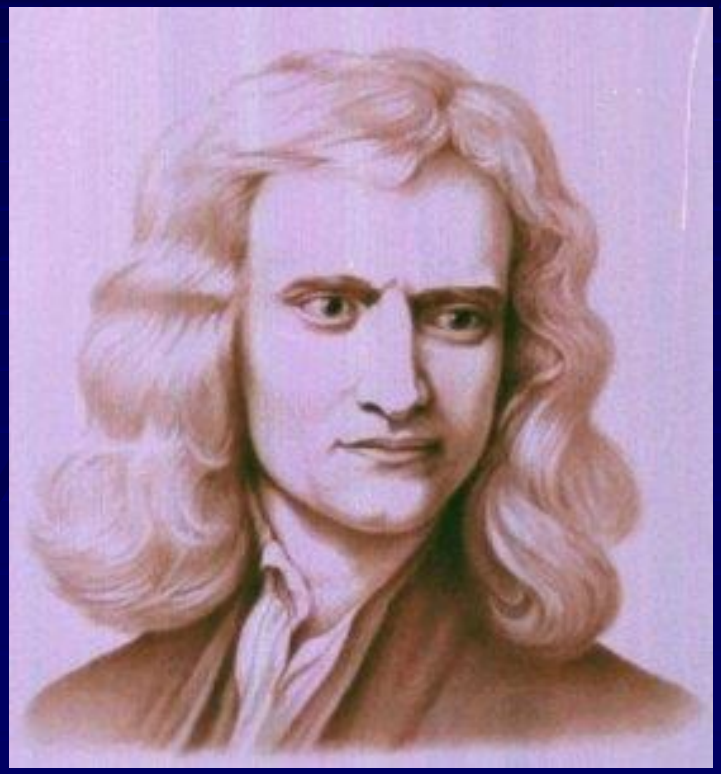


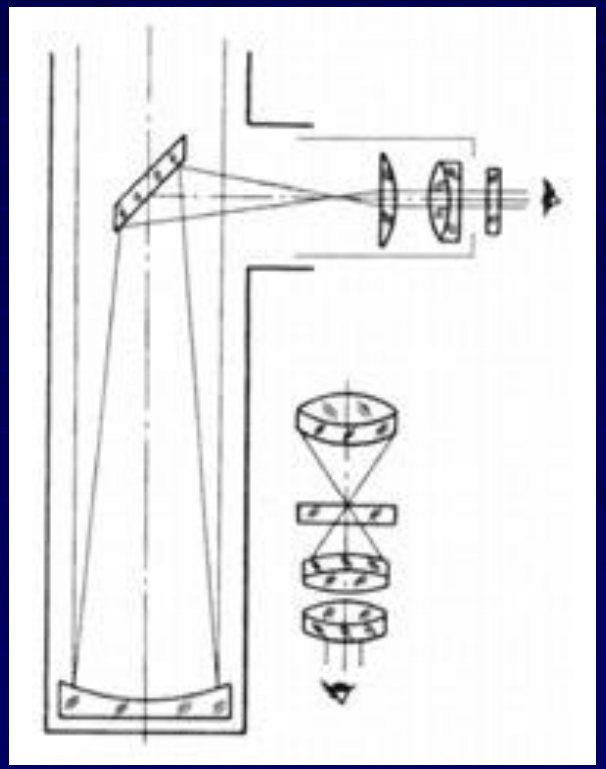
Телескопы-рефракторы



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 удается 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.

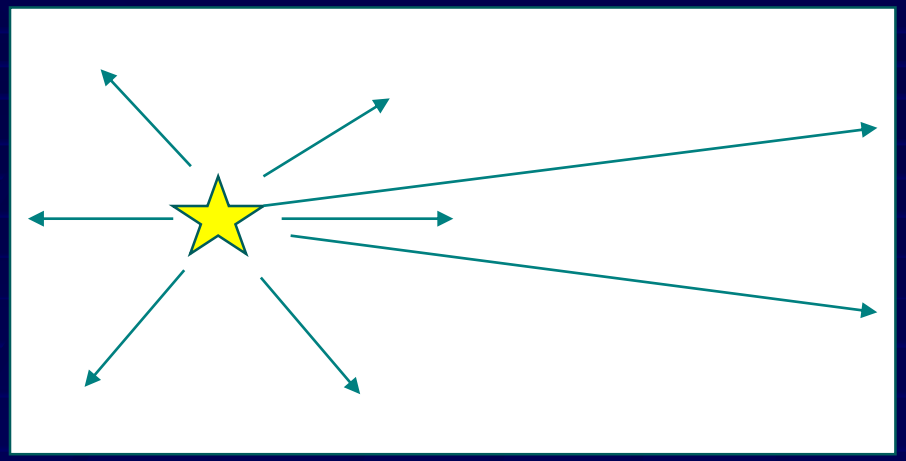
Первые телескопы – сантиметры.

Крупные современные телескопы –
до 10 метров.
Строящиеся 30-40 метров.

Проекты – до 100 метров!!!!

wikipedia.org

Собирающая площадь



Поток $f=L/4\pi d^2$

[Энергия/площадь/время]

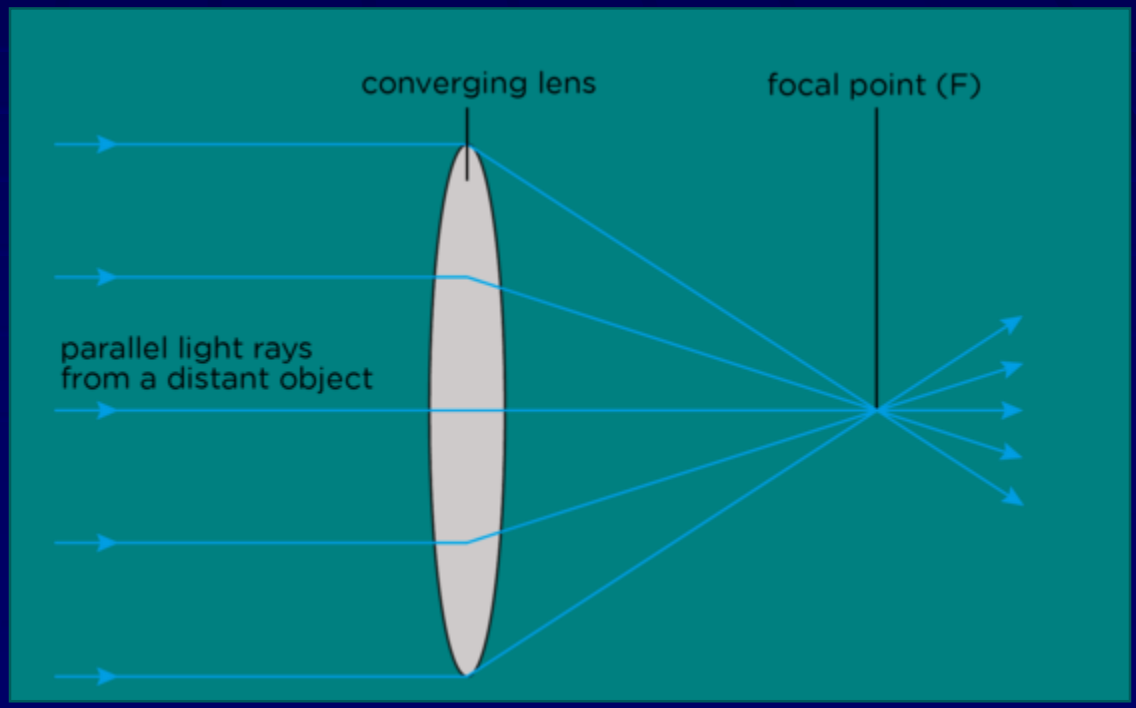
Чтобы увидеть слабые источники - нам надо собирать энергию с большой площади.

Больше энергии – больше фотонов!

$E=hv$

$h=6.63\ 10^{-27}$ эрг/с

1 эрг = 10^{-7} Дж
1 эВ= $1.6\ 10^{-12}$ эрг



Звездные величины

$$\Delta m = 5 \quad \rightarrow \quad 100 : 1$$

$$\Delta m = 1 \quad \rightarrow \quad (100)^{\frac{1}{5}} : 1 \sim 2.512 : 1$$

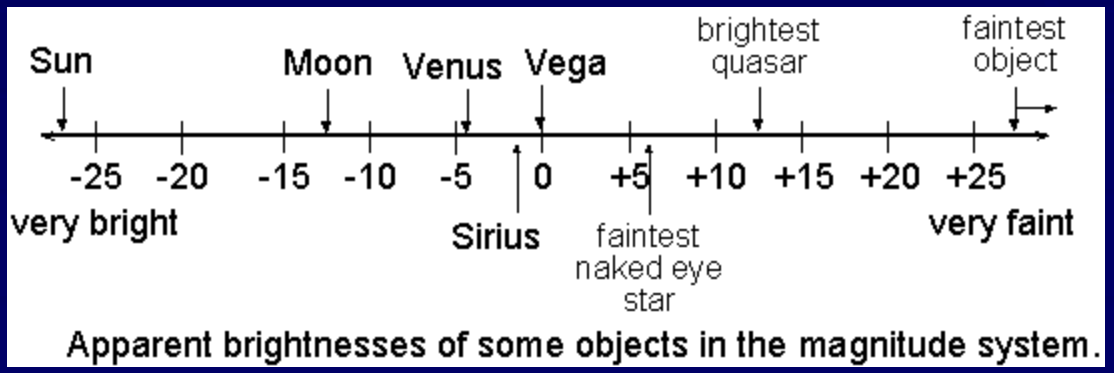
Блеск звезд можно измерять
в звездных величинах.
Это логарифмическая величина,
что позволяет в рамках разумной шкалы
характеризовать большие изменения блеска.

От звезды нулевой звездной величины мы получаем примерно
1000 квантов
в секунду на кв. см
на ангстрем.

$$\frac{f_2}{f_1} = 100^{(m_1 - m_2)/5}$$

or

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10}\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$



Apparent brightnesses of some objects in the magnitude system.

Абсолютная звездная величина

$$m - M = -2.5\log\left(\frac{f}{f(10pc)}\right)$$

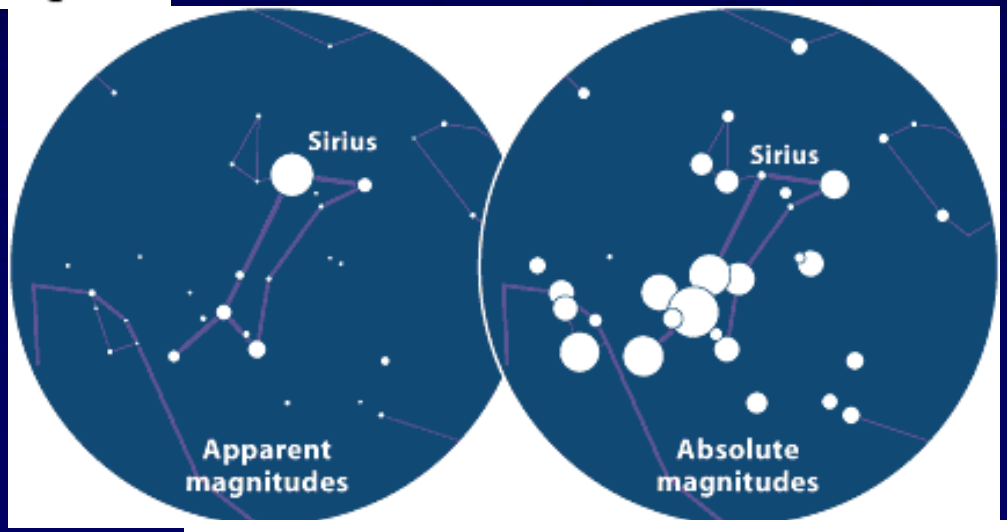
$$f = \frac{L}{4\pi d^2} \qquad f(10pc) = \frac{L}{4\pi(10pc)^2}$$

$$m - M = -2.5\log\left(\left(\frac{10}{d}\right)^2\right)$$

$$m - M = -5\log(10/d) = 5\log d - 5$$

Абсолютная звездная величина – звездная величина, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк.

Абсолютная звездная величина Солнца $+4.^m8$



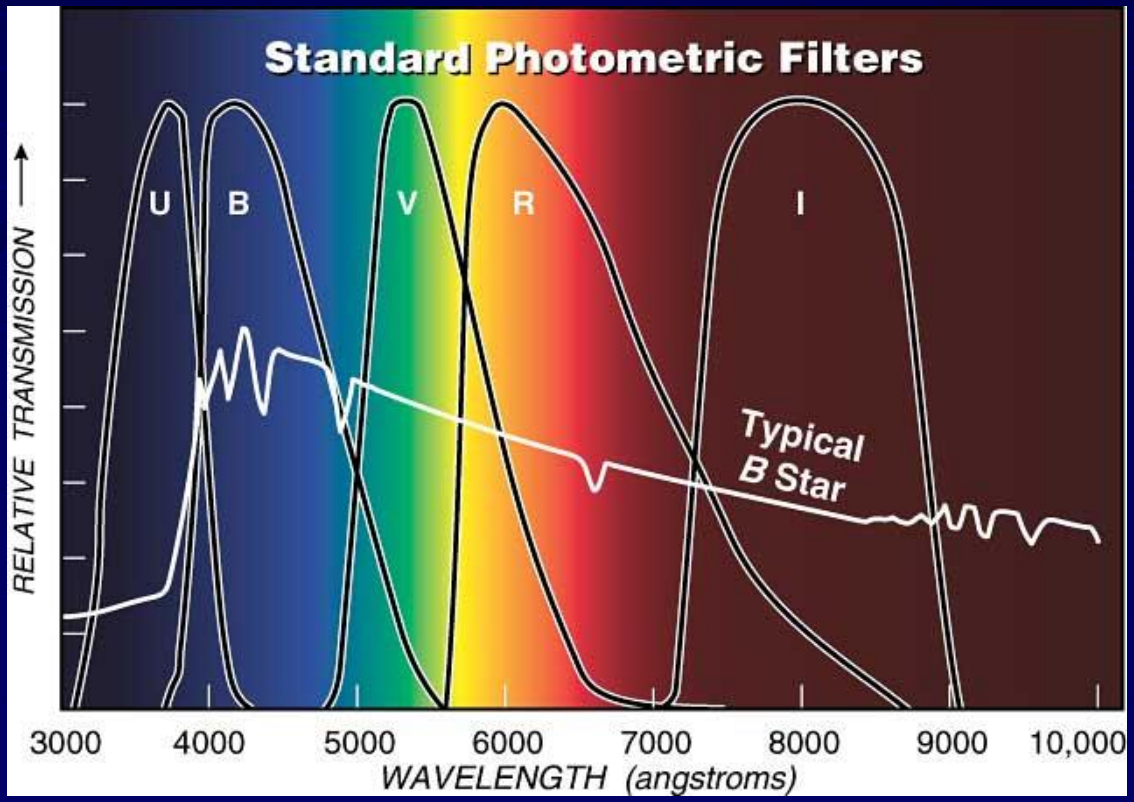
$$(m - M) \quad = \quad 5\log_{10}(d) - 5$$

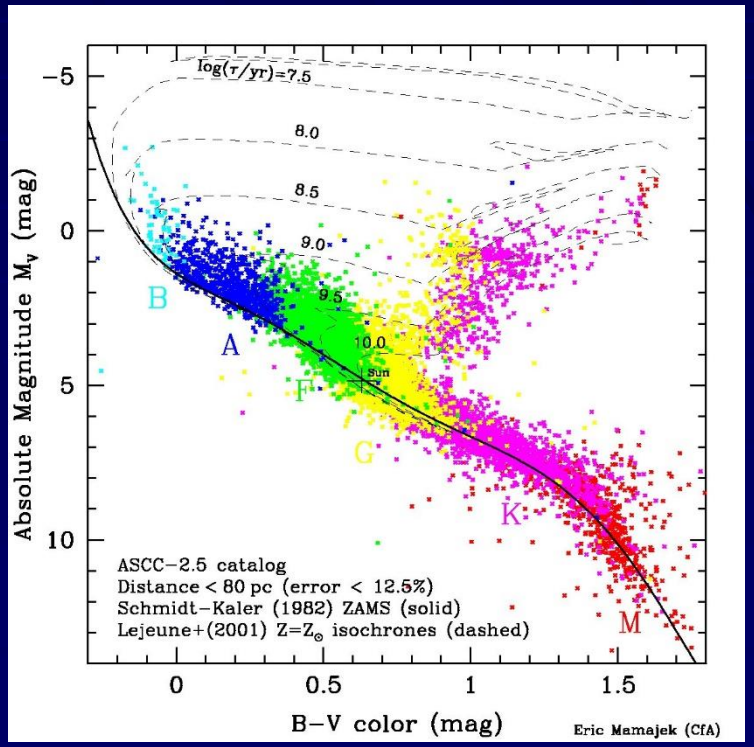
Показатели цвета

Звездная величина зависит от используемого диапазона спектра.
Есть несколько фотометрических шкал.

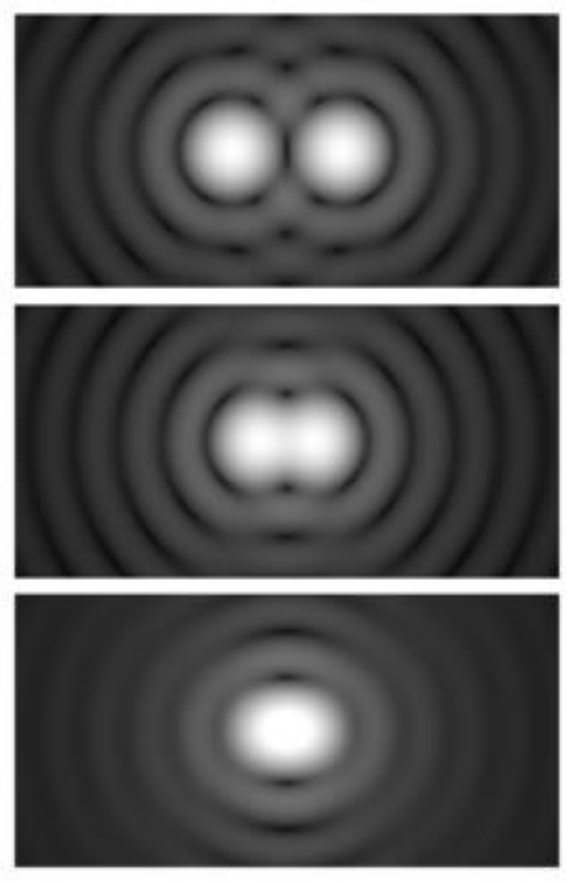
Разность звездных величин объекта в разных диапазонах является грубой характеристикой его спектра.

От звезды нулевой величины в полосе (U, B, V) мы получаем около миллиона квантов в секунду на кв. см.





Угловое разрешение



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

Определяется диаметром!

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

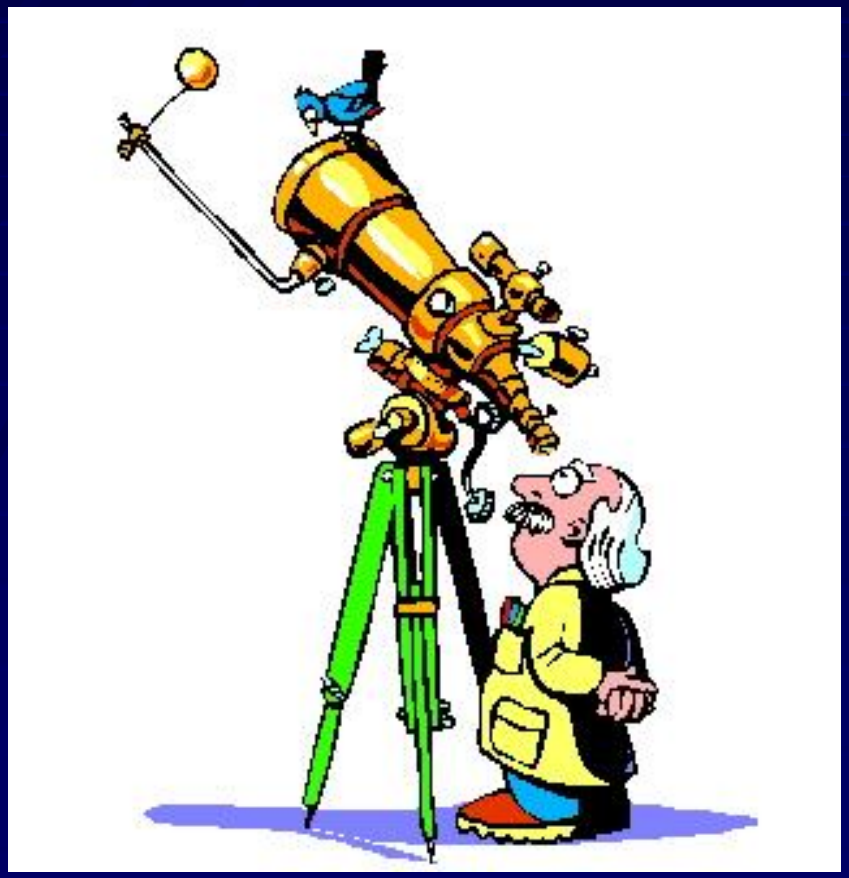
Для крупных телескопов (около метра)
начинает ограничиваться
параметрами атмосферы.

Масштаб изображения показывает какому углу соответствует единичная длина в фокальной плоскости:

L [сек. дуги/мм] = 206265 / F [мм]

Оптические телескопы 17-19 вв.

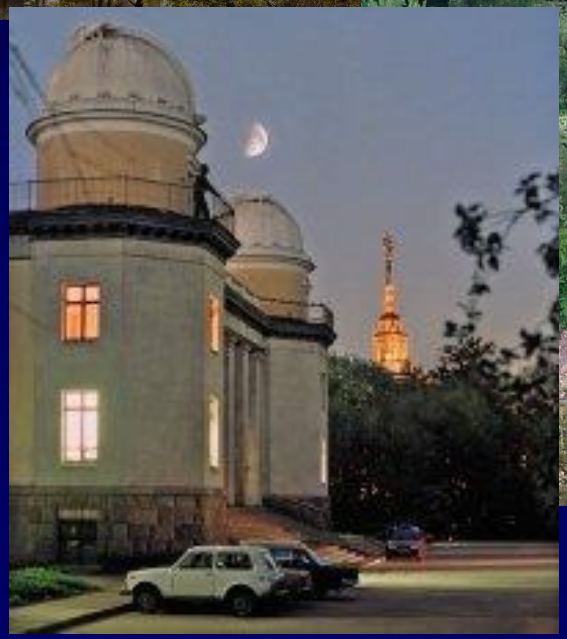
Размеры и качество телескопов росли.



Рефлектор лорда Росса 182 сантиметра (1845 г.)

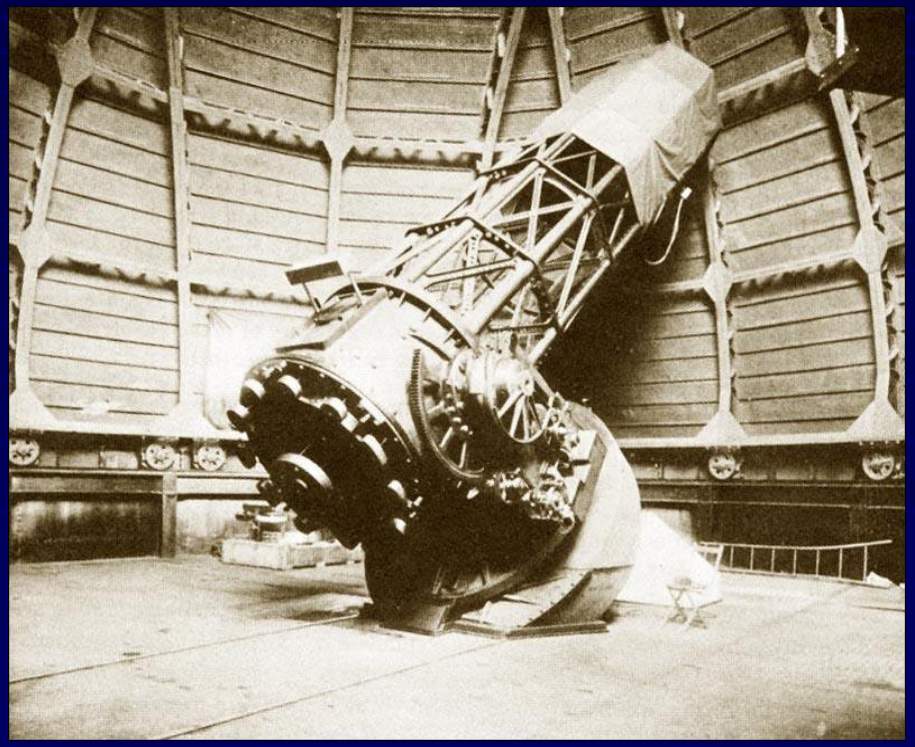
Самый большой телескоп-рефрактор имеет диаметр 1 метр.

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!

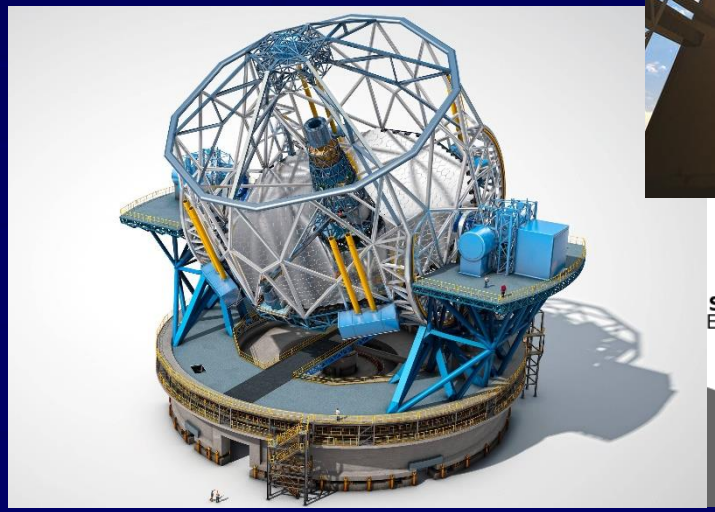
Современные оптические телескопы

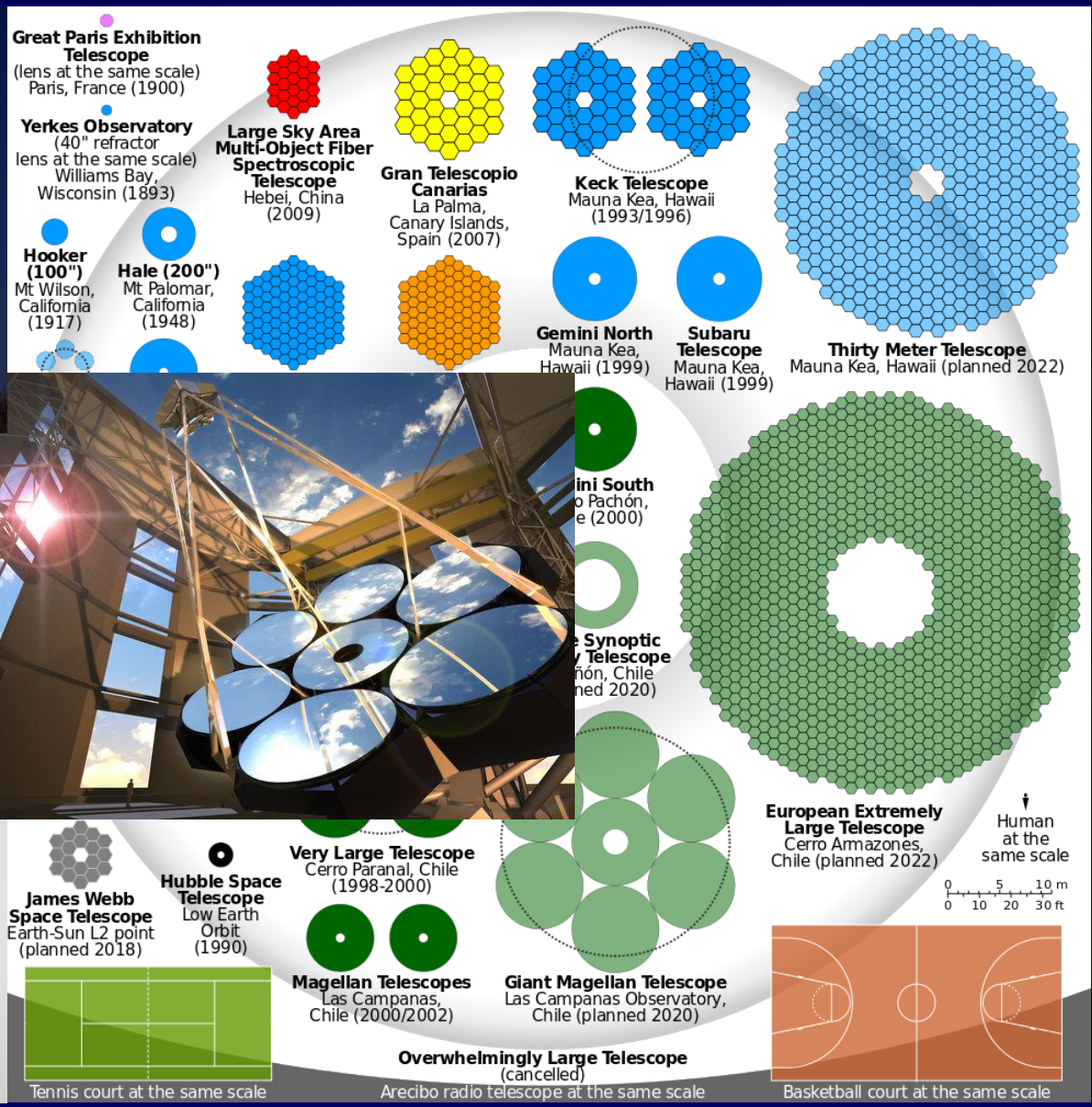
БТА 6 метров

Gemini 8 метров

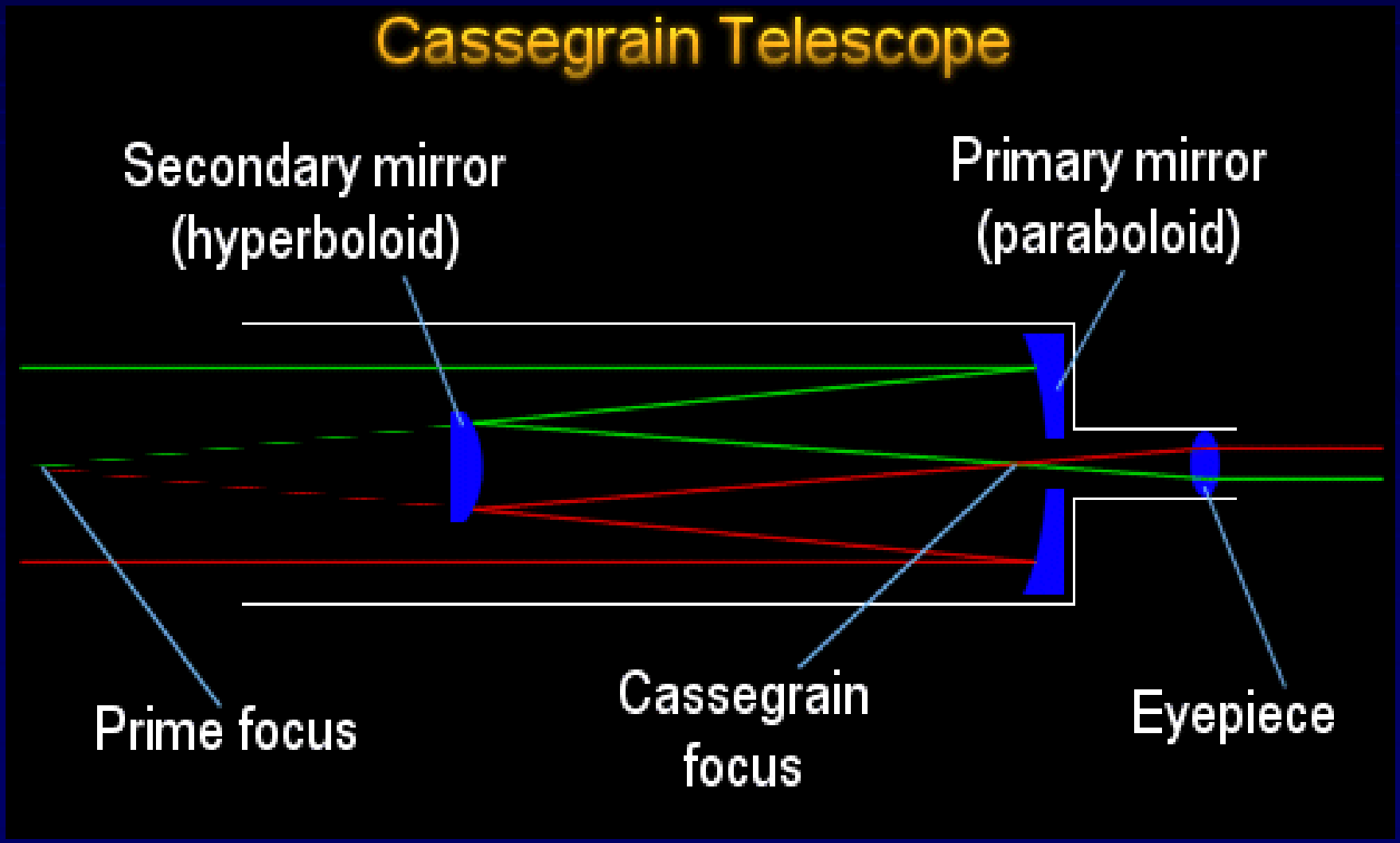
Большие телескопы

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



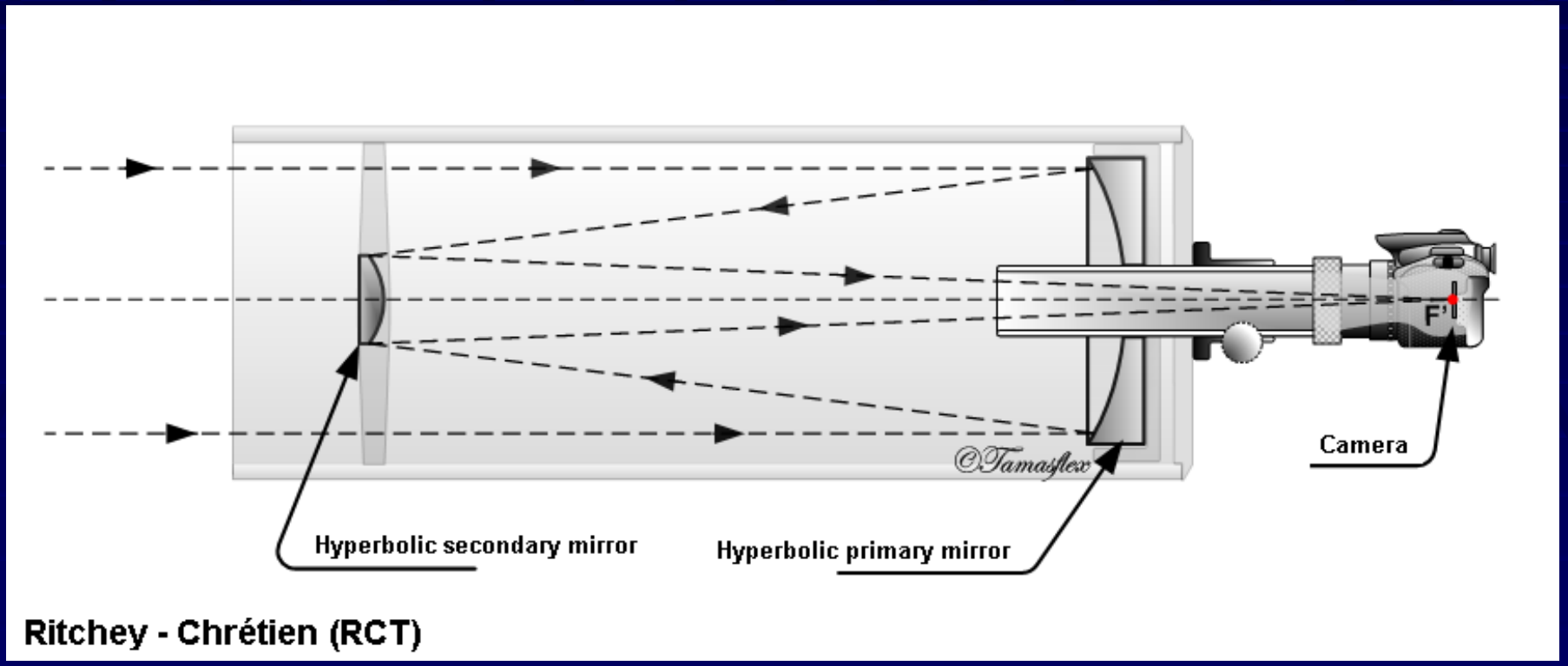


Система Кассегрена



http://www.tivas.org.uk/socsite/scopes.html

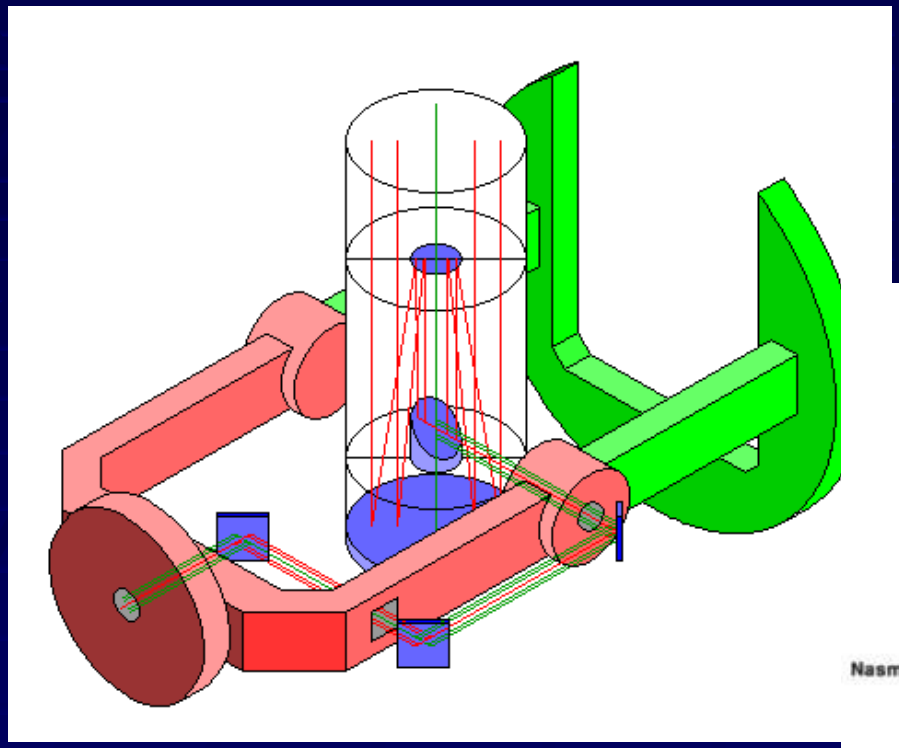
Система Ричи-Кретьена



Компактность инструмента

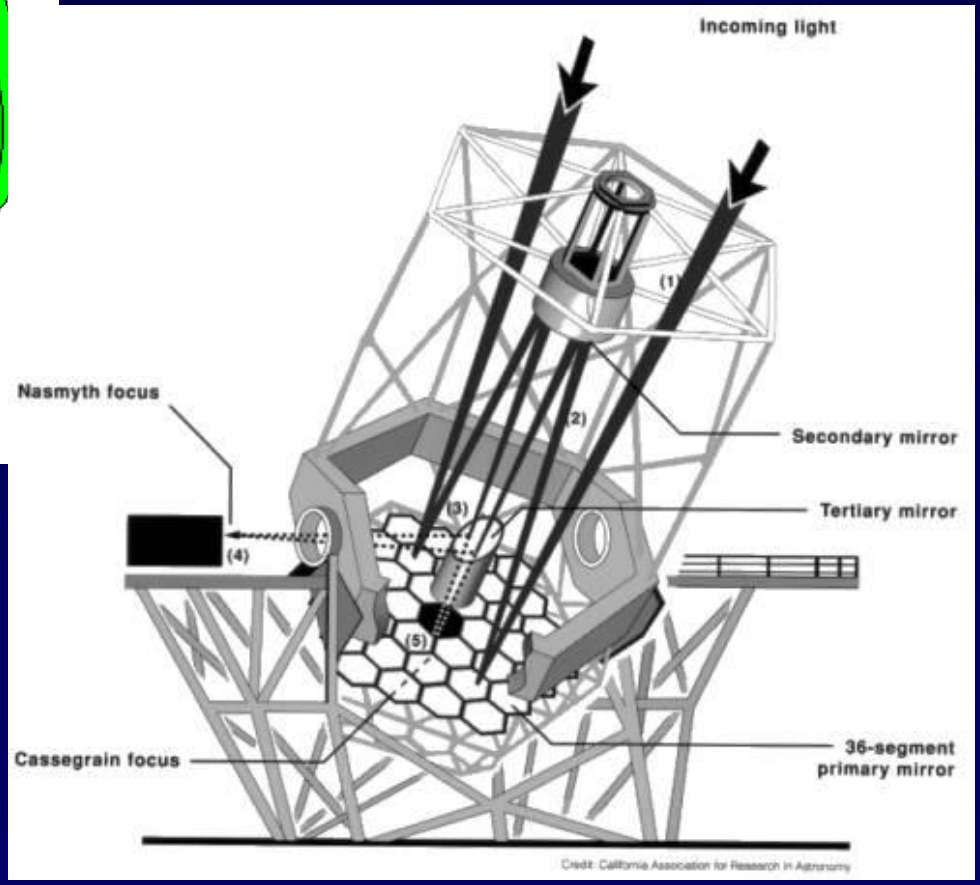
Неподвижные фокусы

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



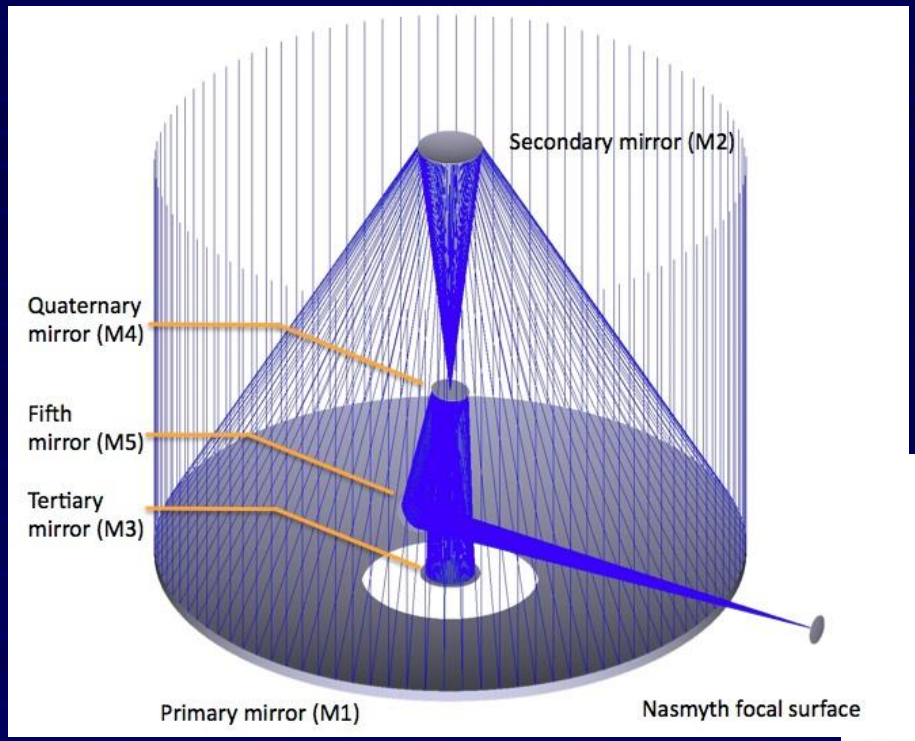
Фокус Кудэ

Фокус Нэсмита



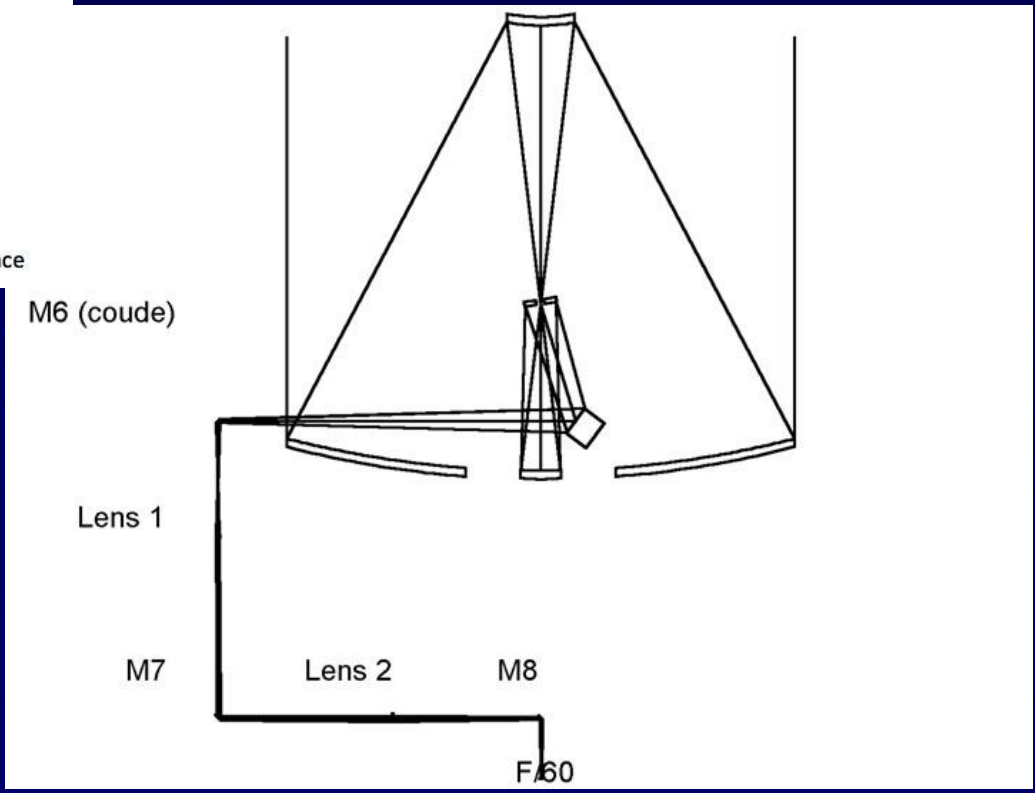
http://www.faculty.virginia.edu/ASTR5110/lectures/optics1/optics1.html

E-ELT

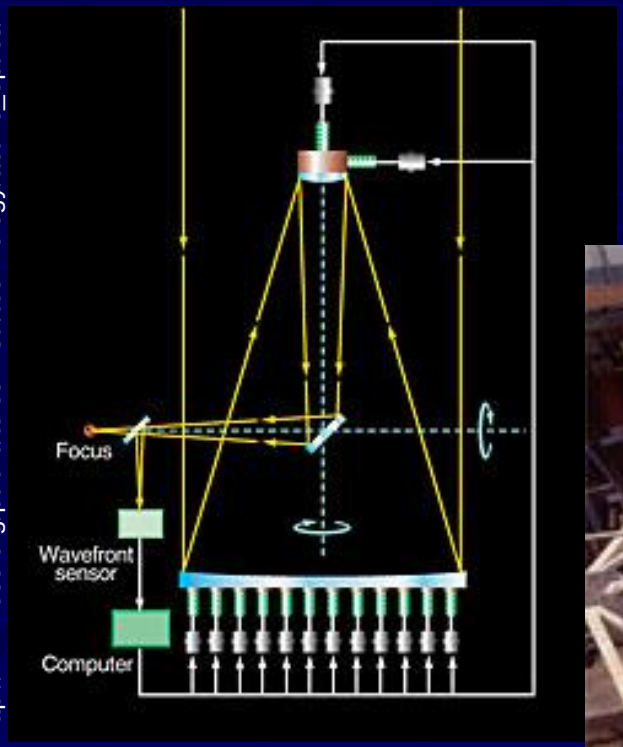


https://www.eso.org/sci/facilities/eelt/telescope/design/

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

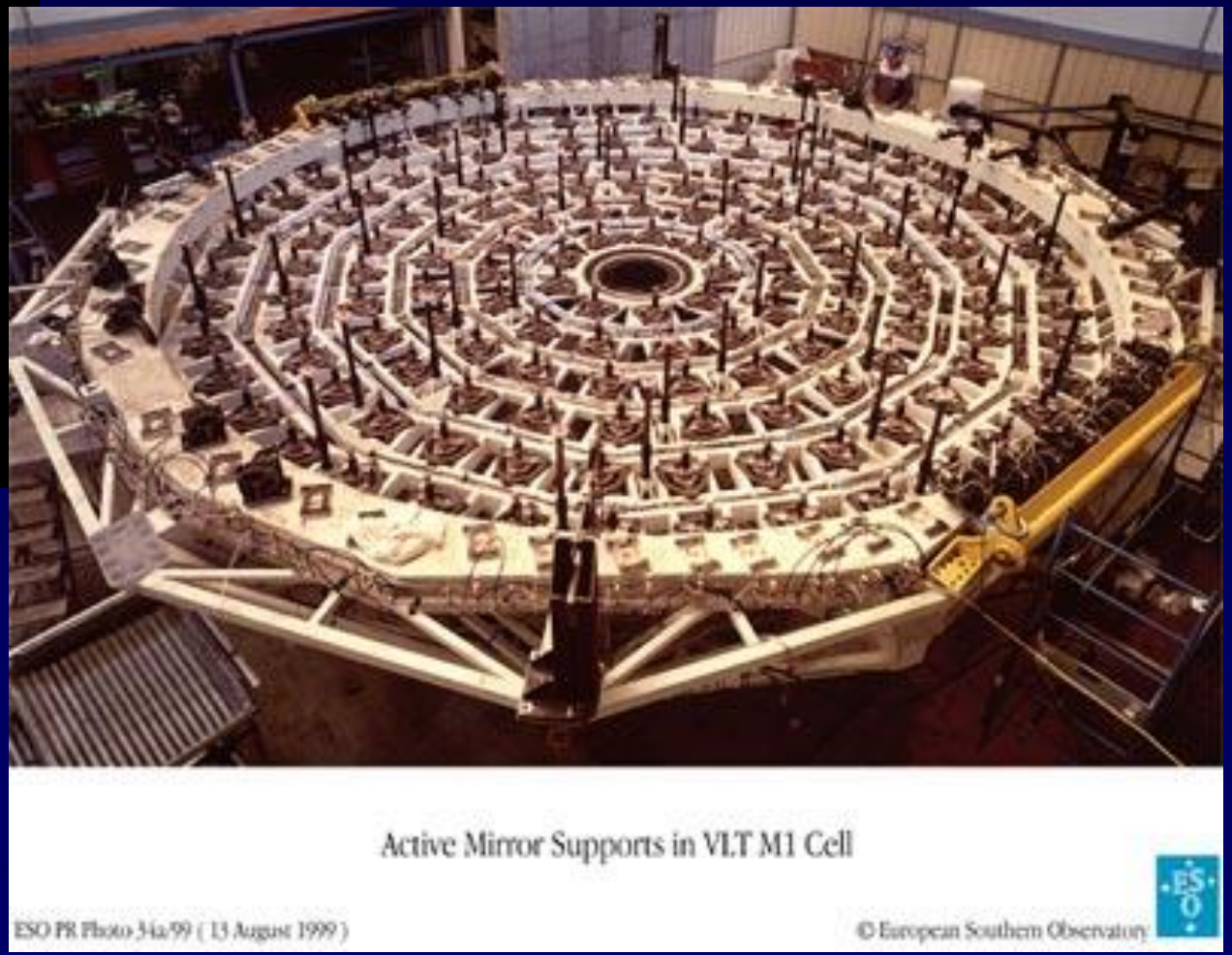


Активная оптика



http://www.eso.org/public/teles-instr/technology/active_optics/

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



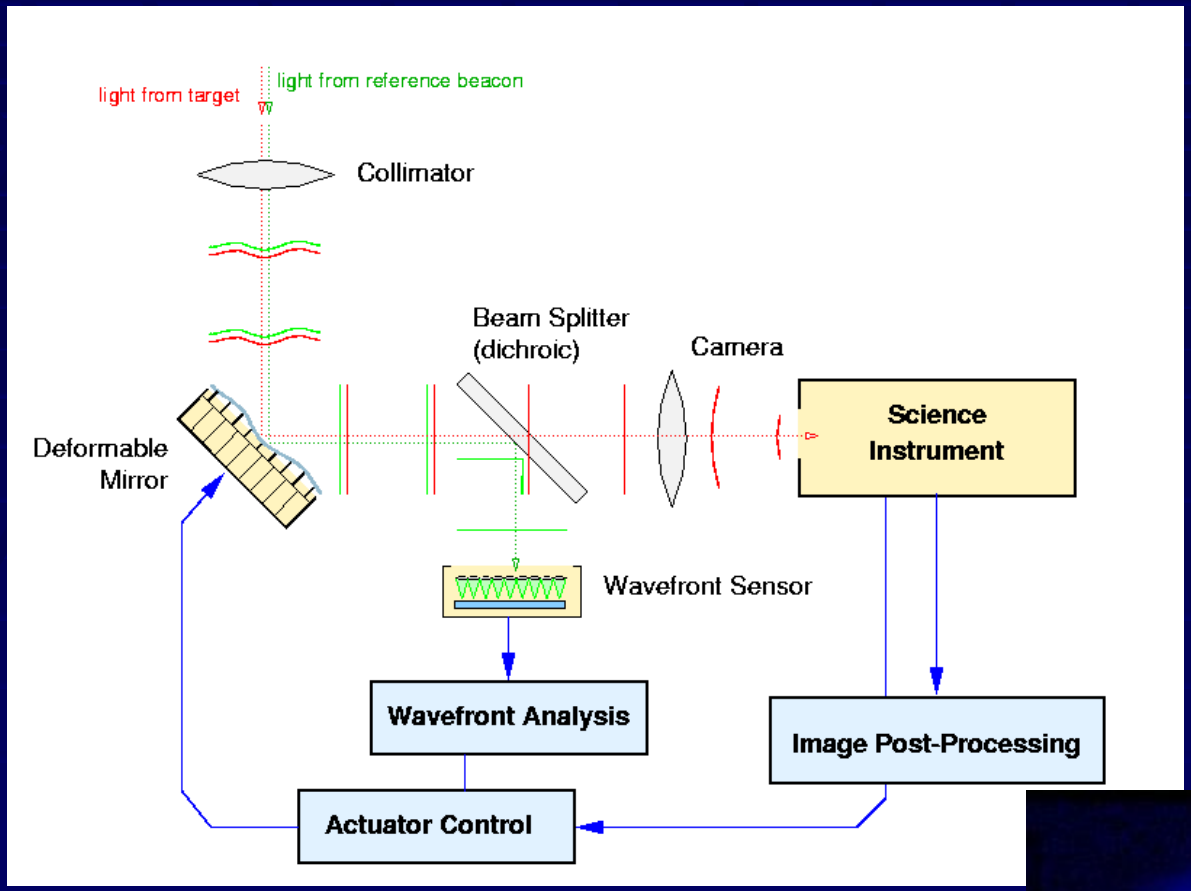
http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/active_optics.html

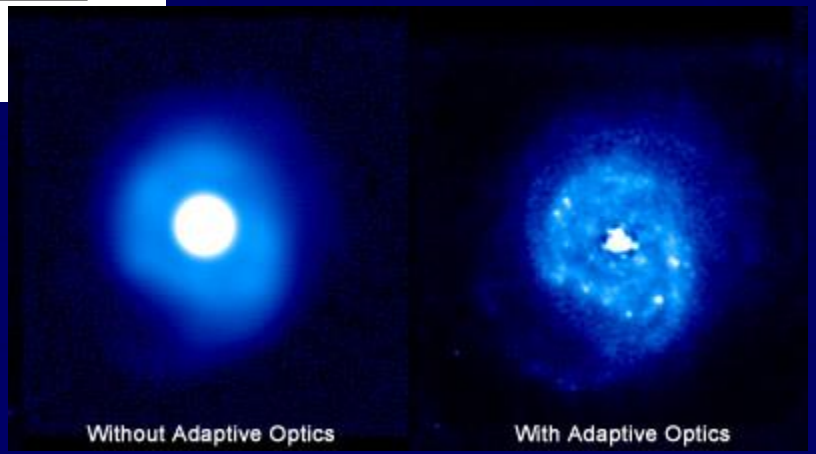
Разработана инженером ESO Raymond Wilson

Еще проще работать с сегментированными зеркалами

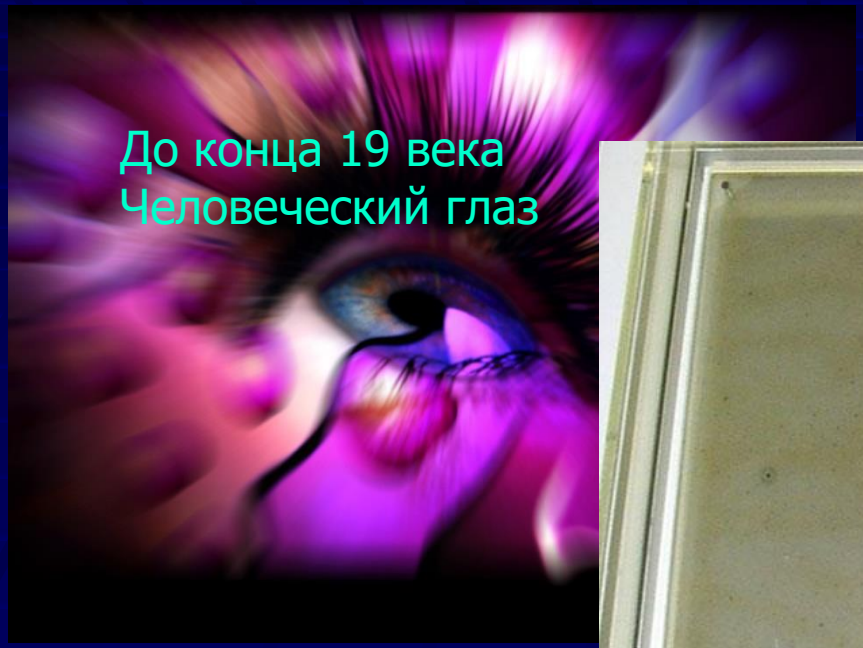
Адаптивная оптика

http://cfao.ucolick.org/ao/how.php



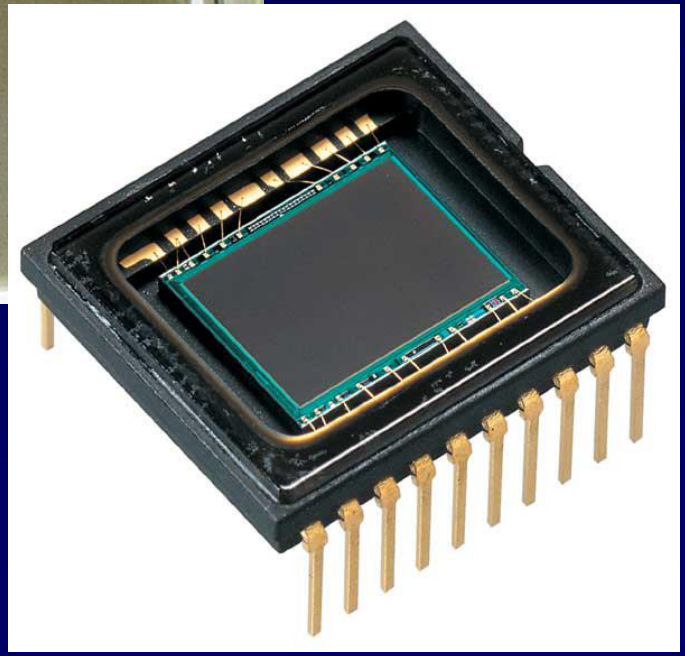


Глаз, фото, ПЗС



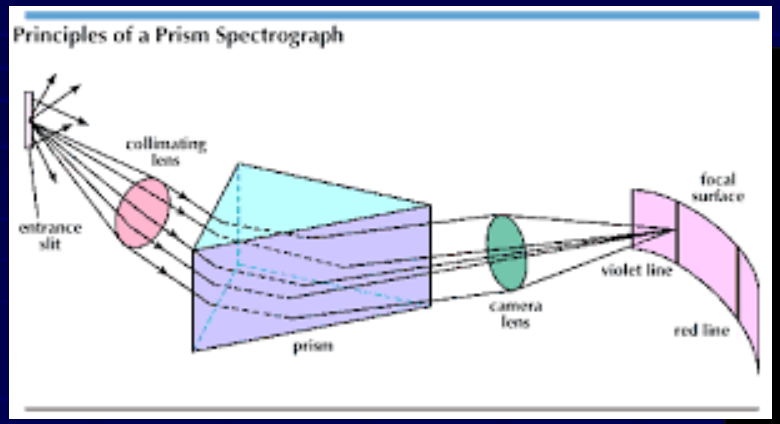
До конца 19 века
Человеческий глаз

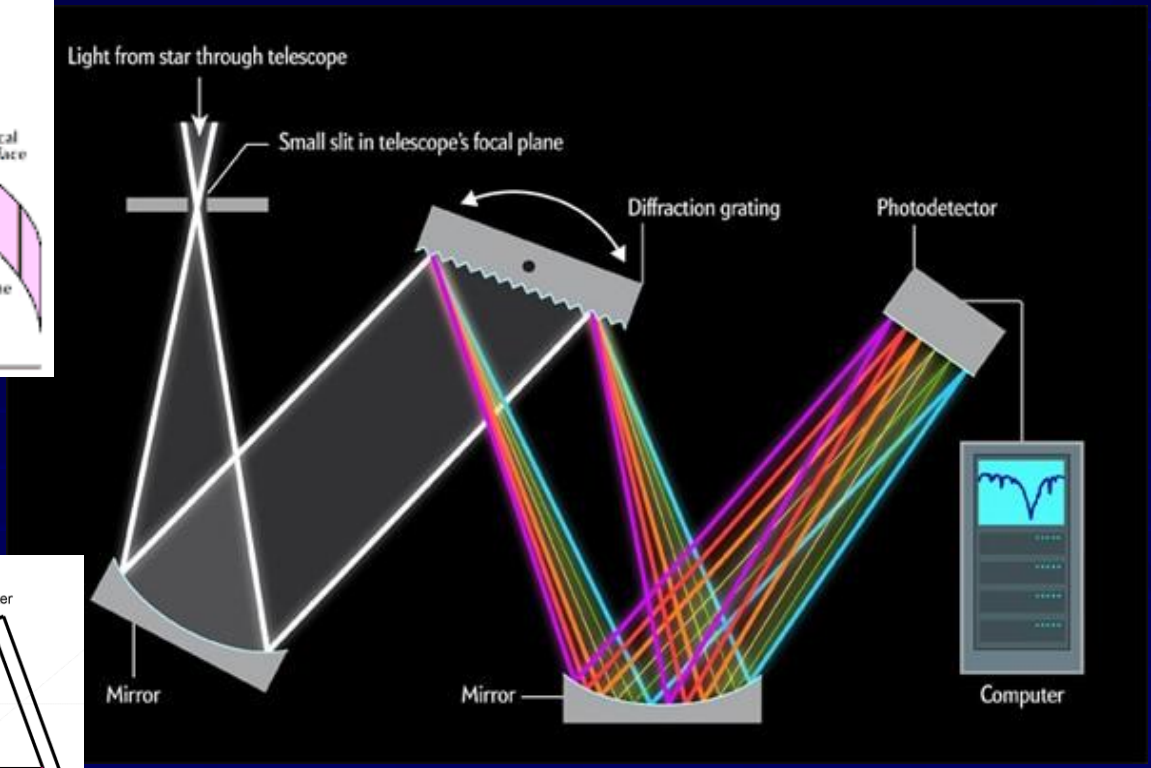
До конца 20 века
Фотопластинки

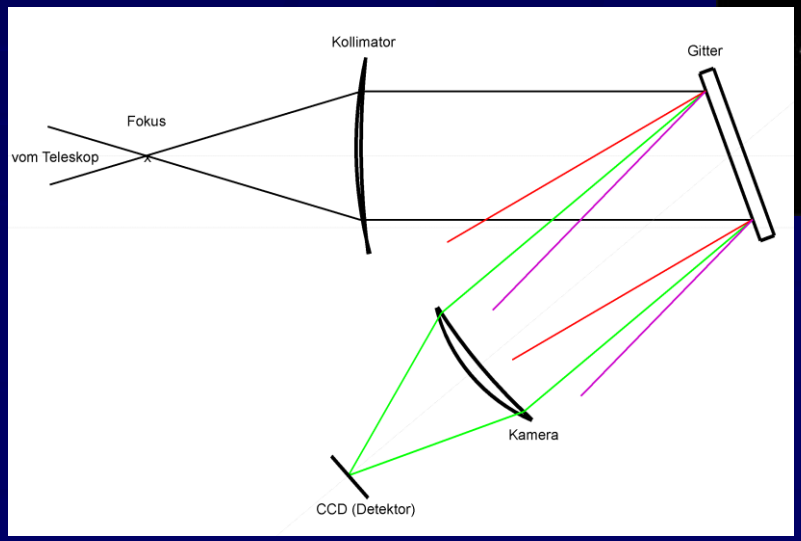


Предел – счет фотонов.

Спектроскопия

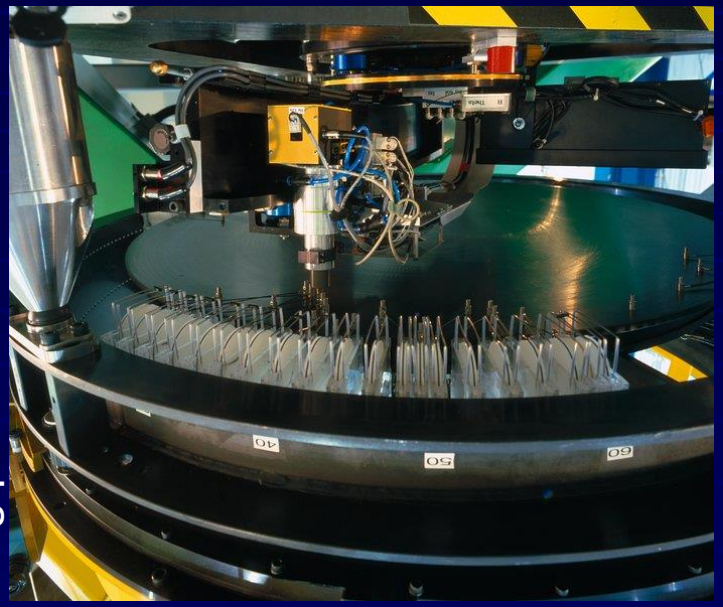






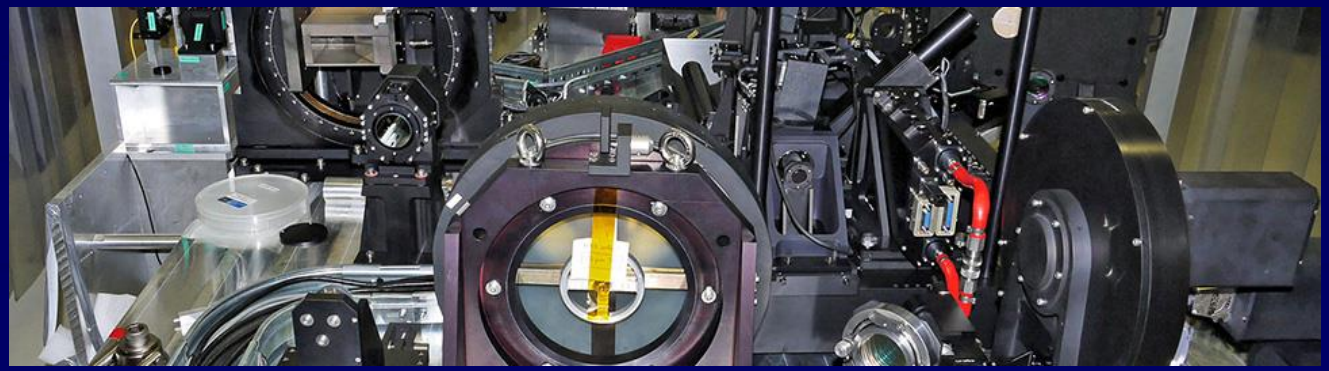
Астрономические приборы

На VLT работает около 20 приборов.



FLAMES — Fibre Large Array Multi Element Spectrograph

FORS 1 and FORS 2 FOcal Reducer and low dispersion Spectrograph

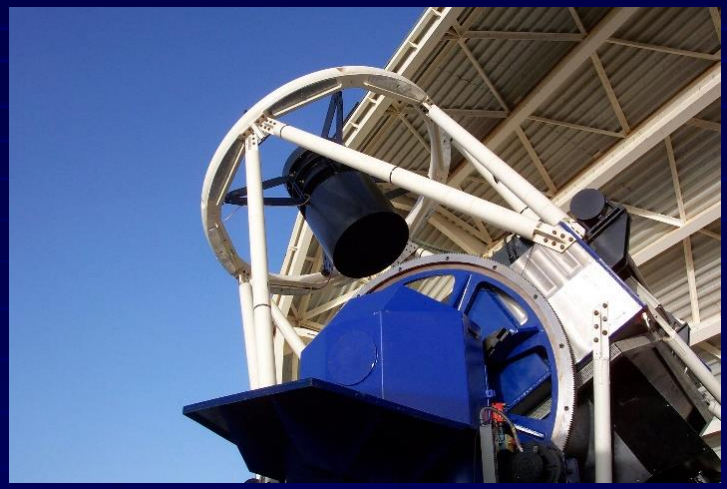


SPHERE - Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch instrument

http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt/vlt-instr/

Телескопы-роботы и обзоры неба

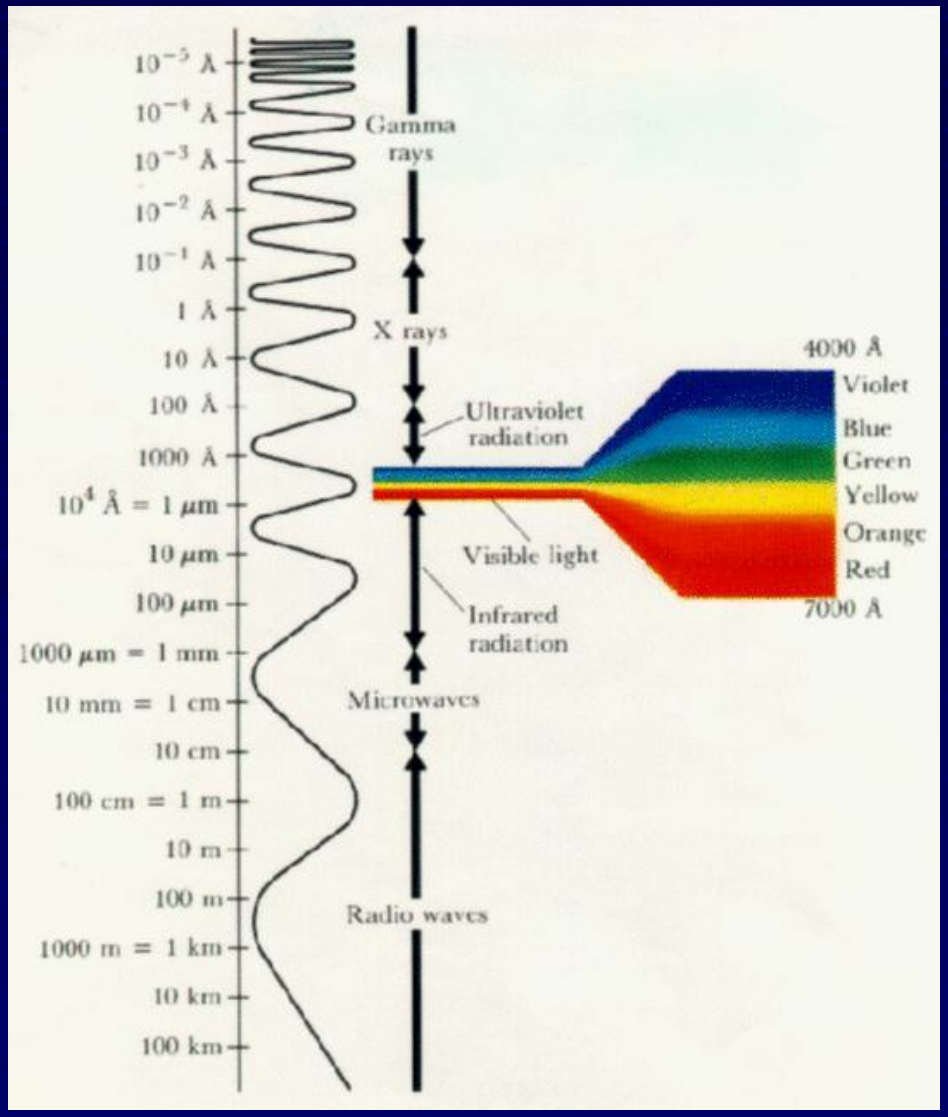
Sloan digital sky survey



Liverpool Telescope (2m)

МАСТЕР

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»

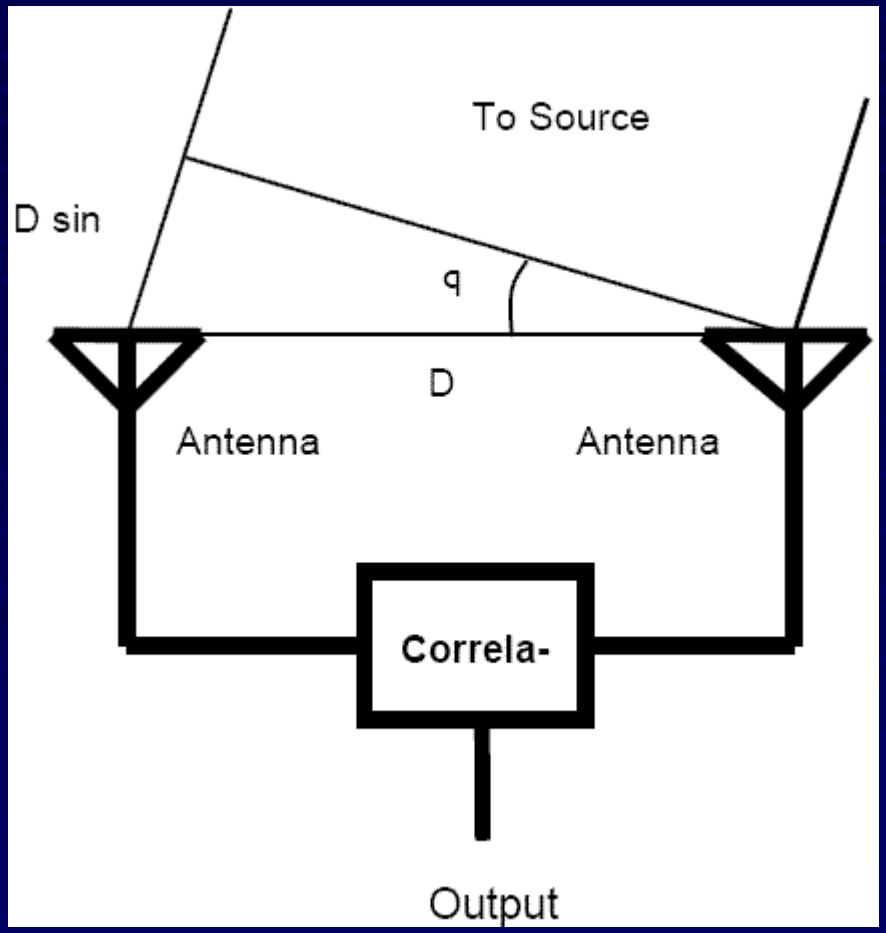
Современные радиотелескопы

Российские радиотелескопы

РАТАН-600

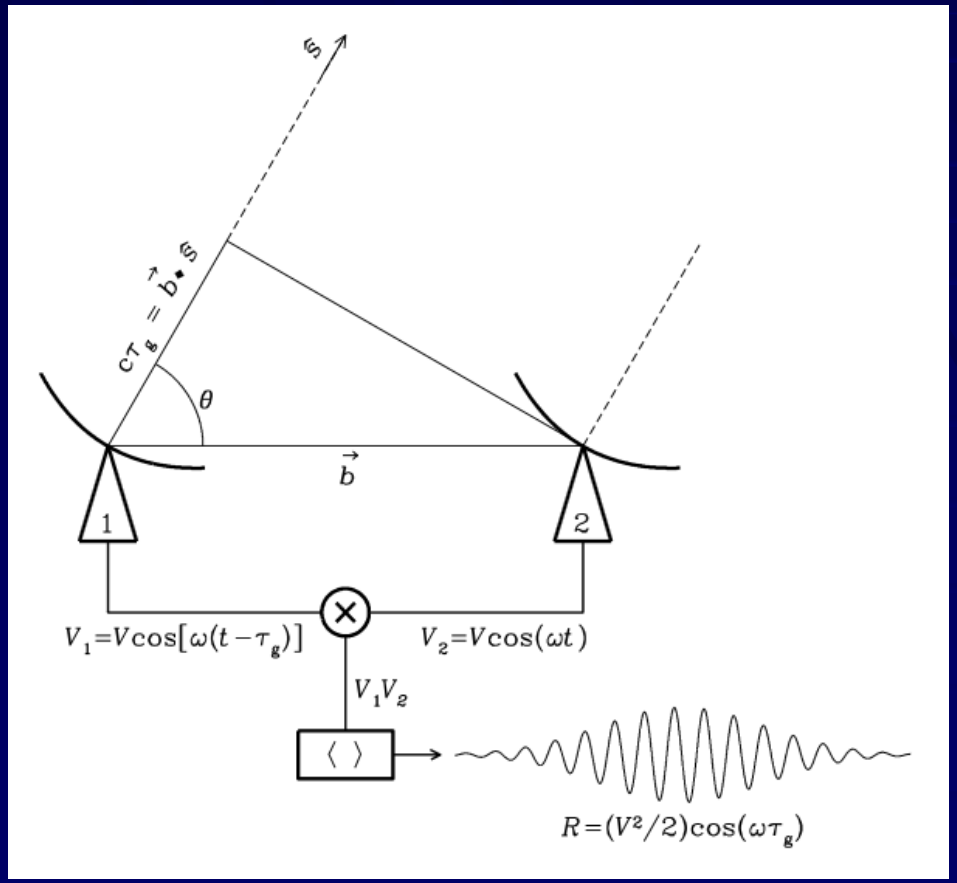
И два телескопа в Пущино: БСА и ДКР

Интерферометры

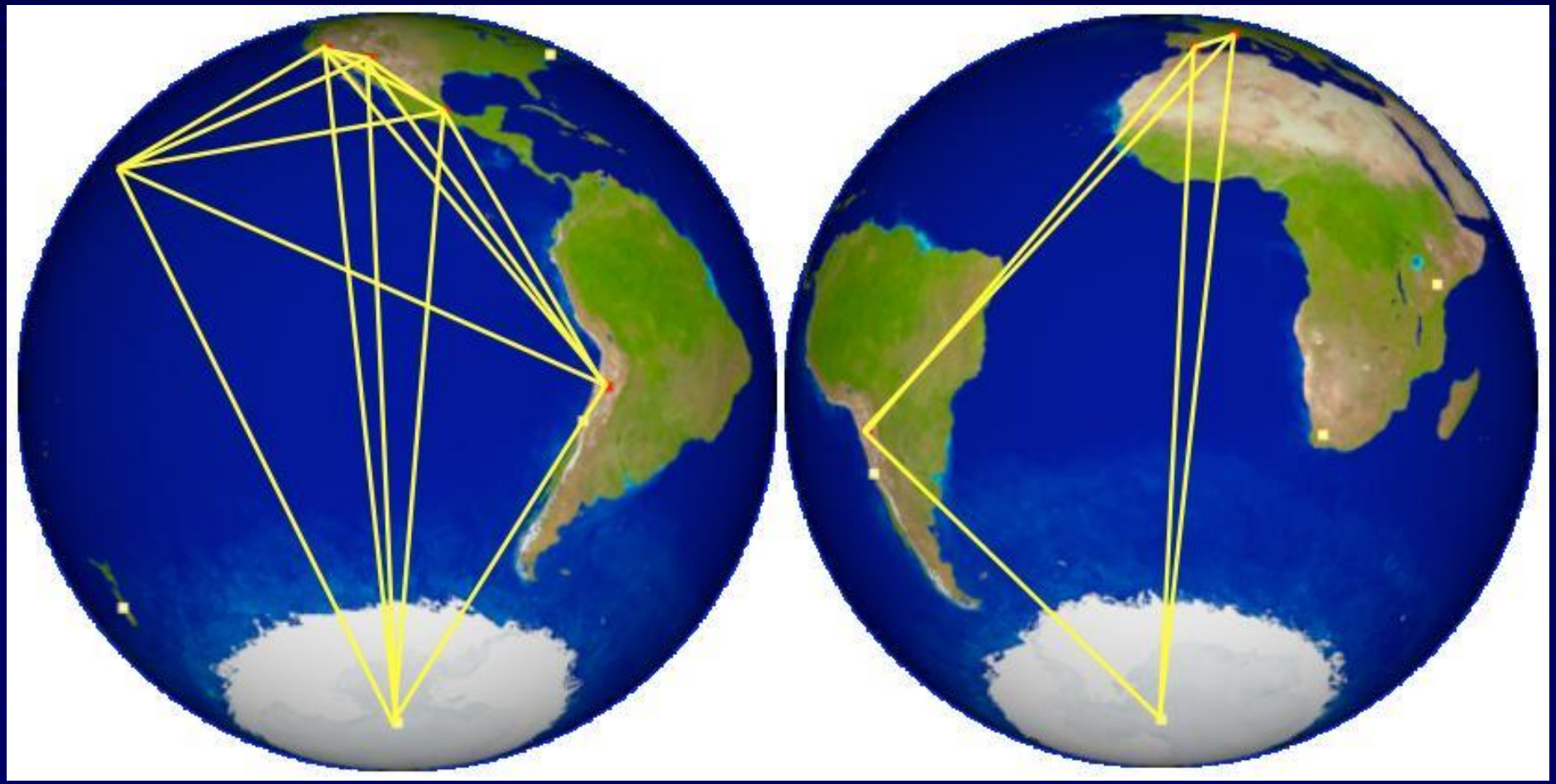


Высокое угловое разрешение в направлении, соединяющем два телескопа.

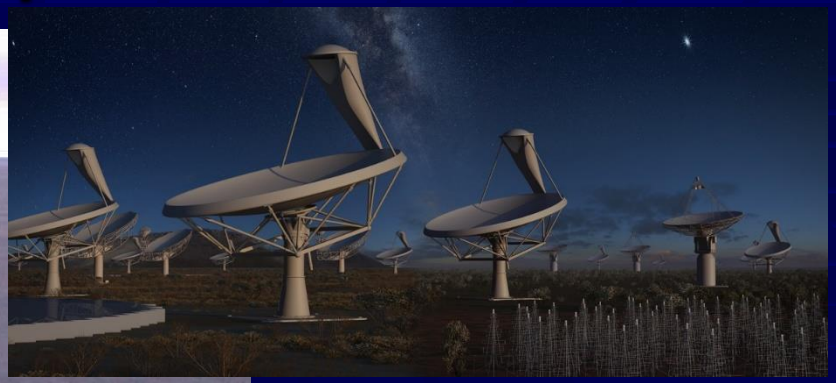
$$\theta = 1.220\frac{\lambda}{D}$$

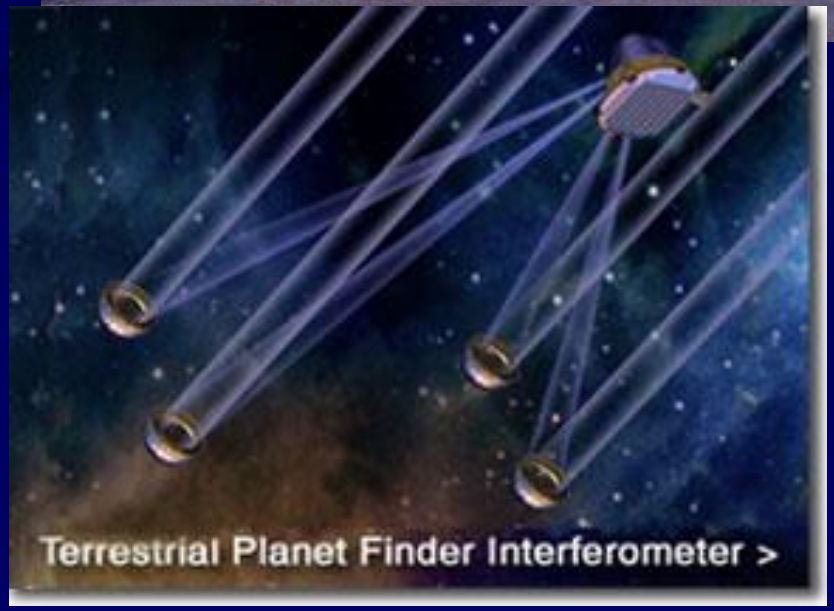


Телескоп горизонта событий



Оптика и радио





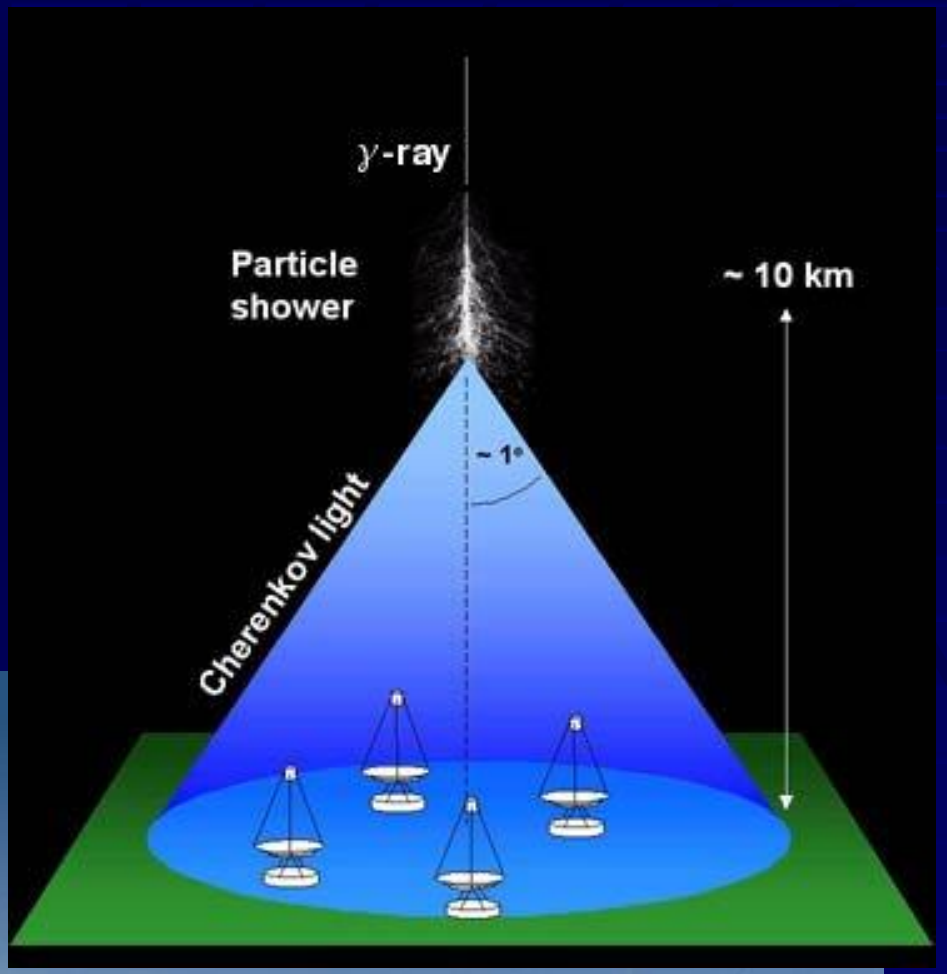
Радиоастрон

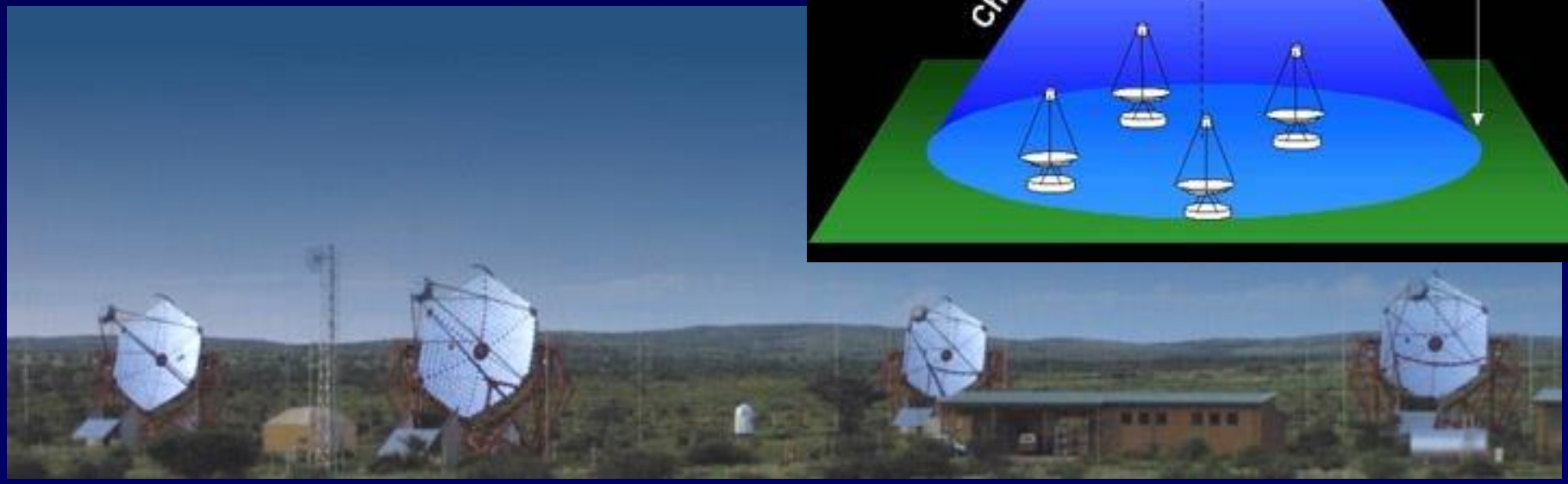
Космический интерферометр

Рекордное угловое разрешение

Гамма-астрономия на Земле

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





H.E.S.S.

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.

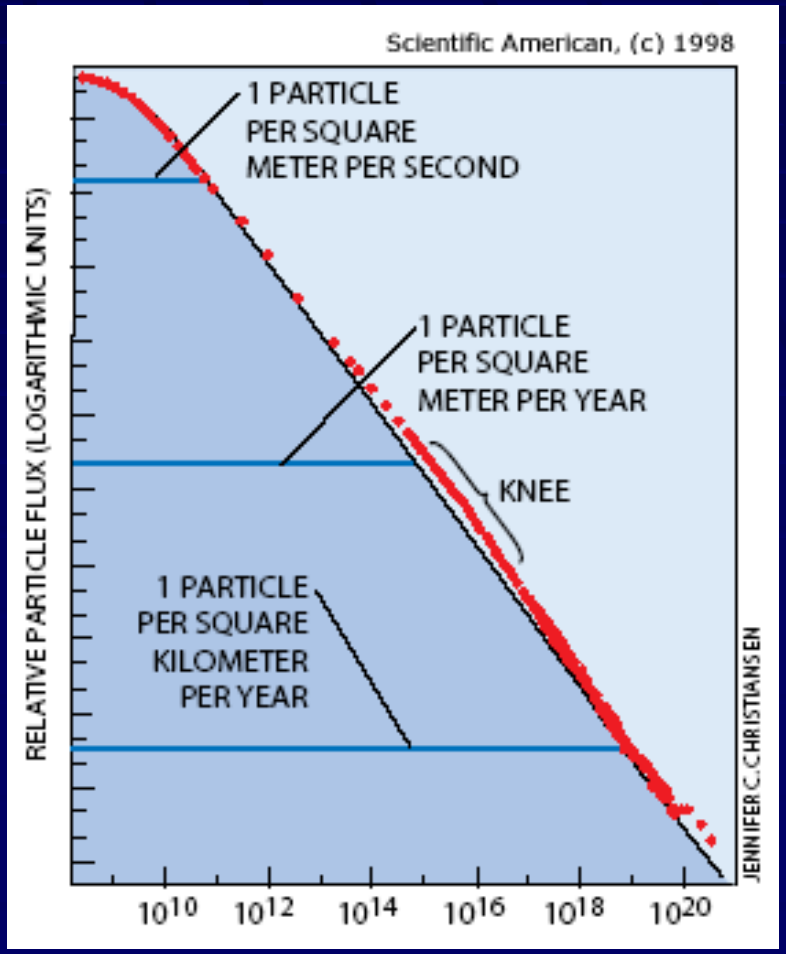
Спектр космических лучей

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

Для первичных КЛ у Земли:
$I=0.2\text{-}0.3$ частиц/(см^2 с ср)
$N=10^{-10}$ частиц/см^3
$W=10^{-12}$ эрг/см^3=1 эВ/см^3

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

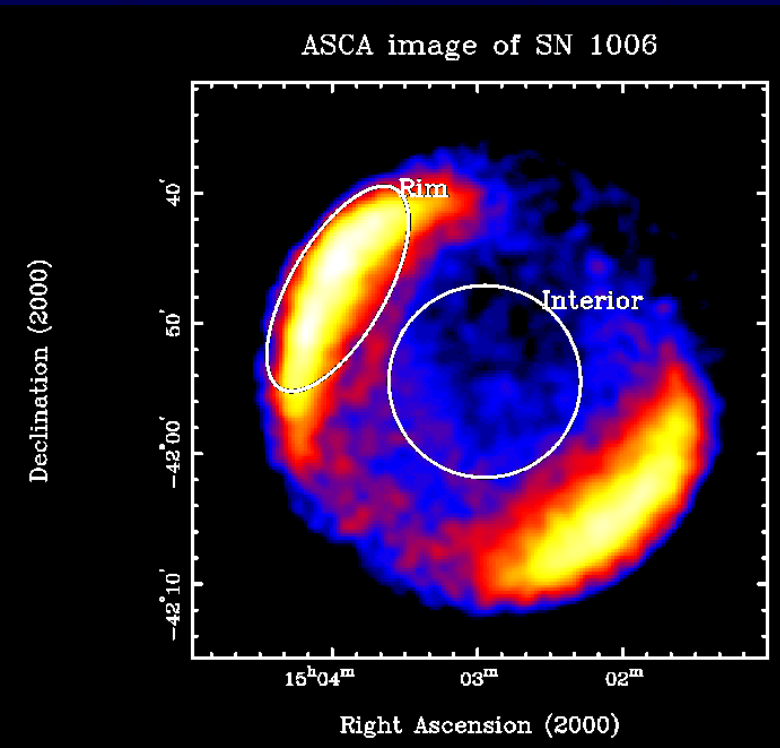
Вторичные частицы: на 70% мюоны и на 30% электроны и позитроны.

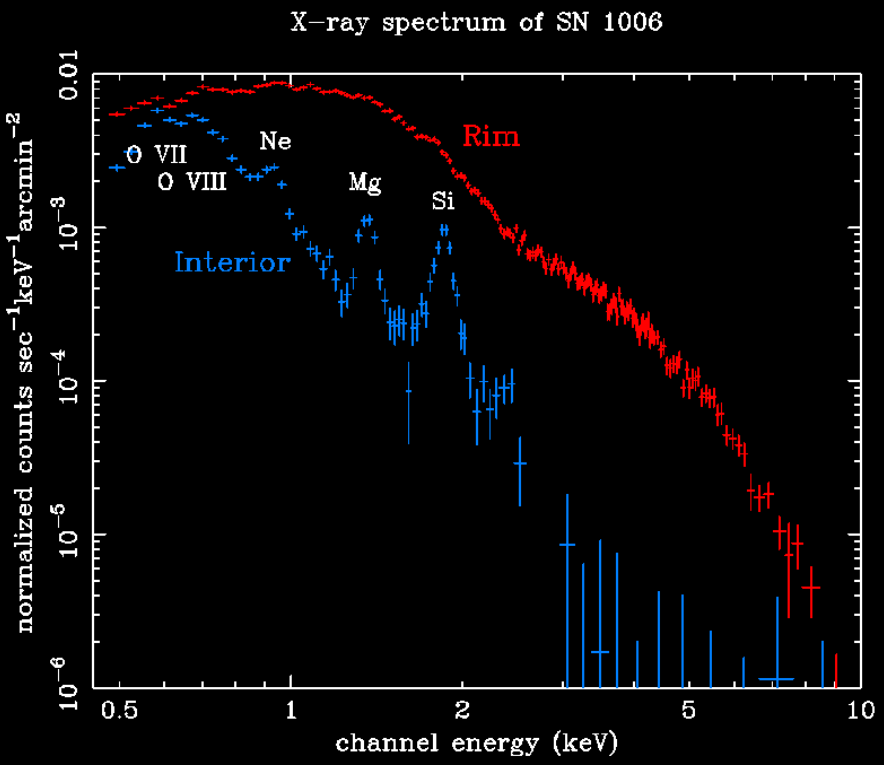


Происхождение

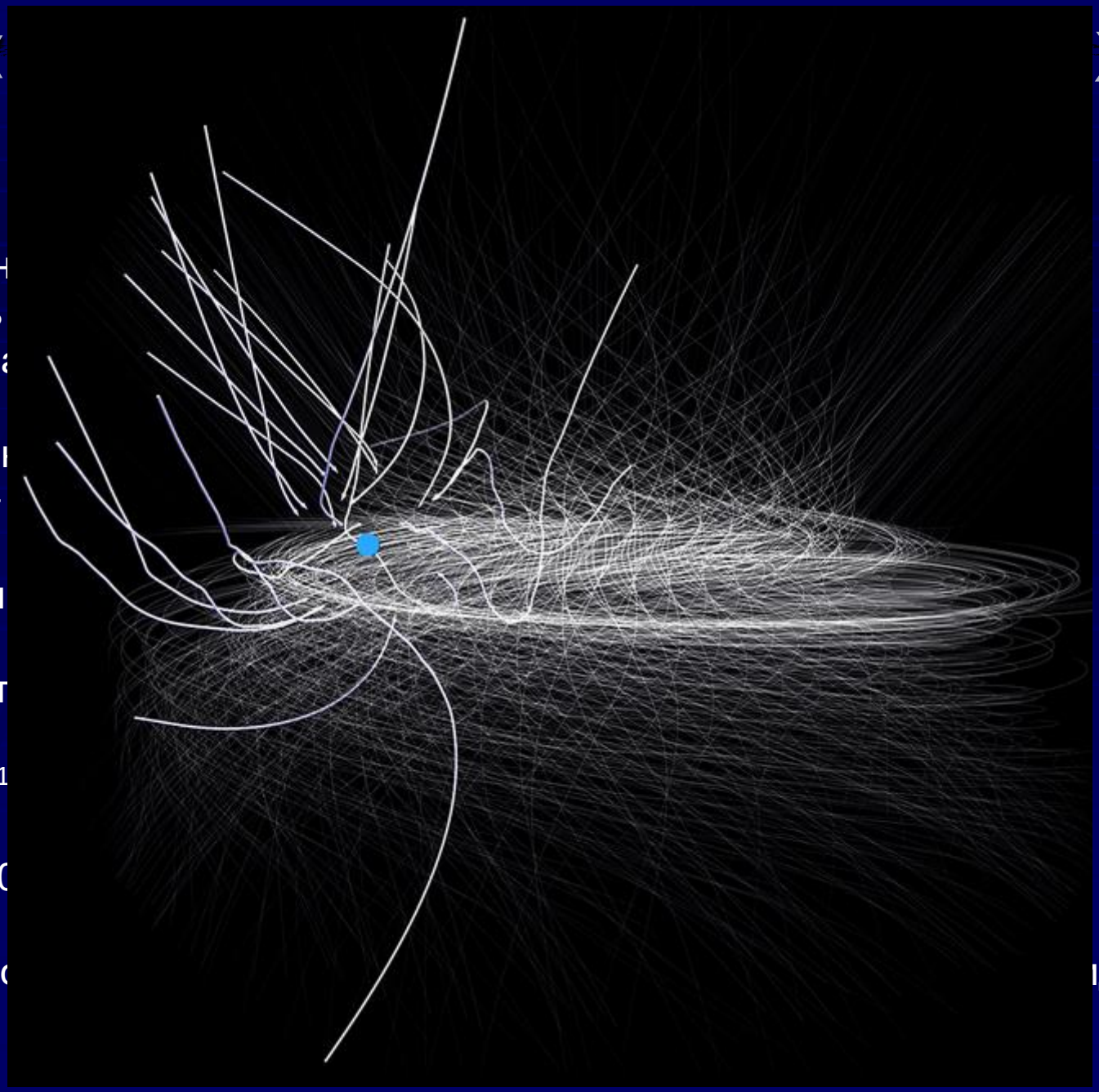
Галактические космические лучи в основном связаны с остатками сверхновых.

Рентгеновское излучение остатка сверхновой SN1006 говорит о наличии электронов с энергиями 100-200 ТэВ!





« X



Межзвездн
Плотность
энергии (да

Минималы
300 пк ~

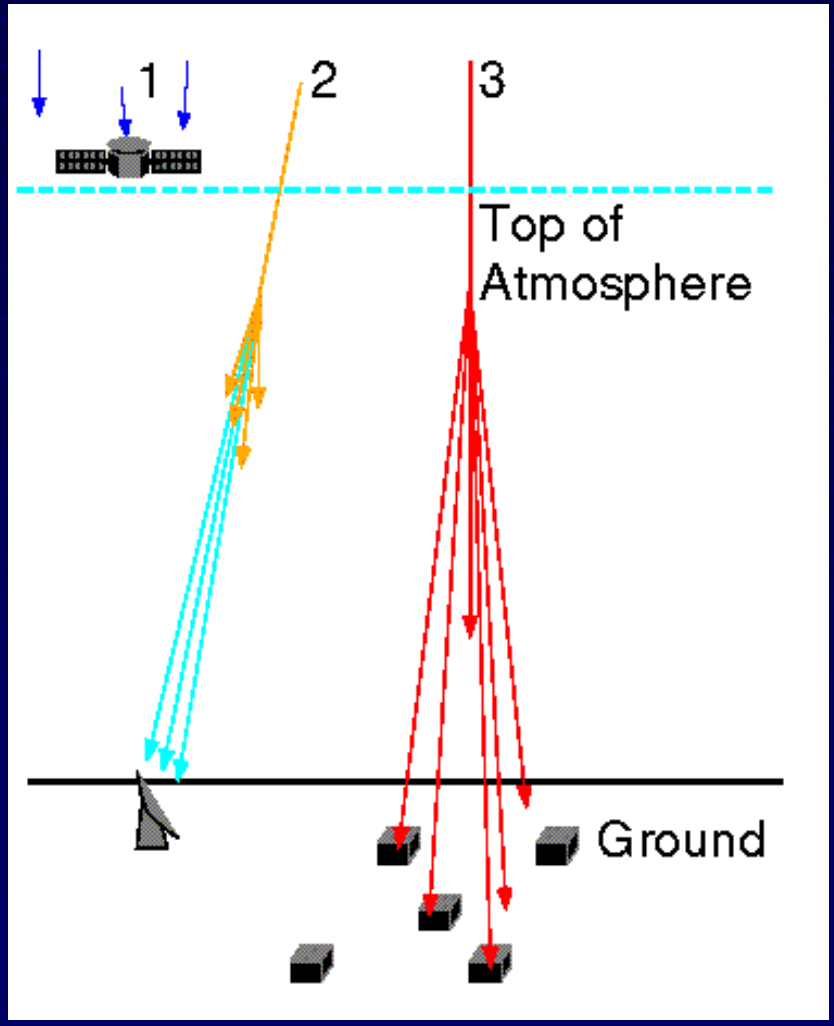
Рассмотри

Кривизна т
r_H~ E/eH
r_H = 3.3 10^1

При E>3 10

В реальнос дать диск.

Регистрация космических лучей



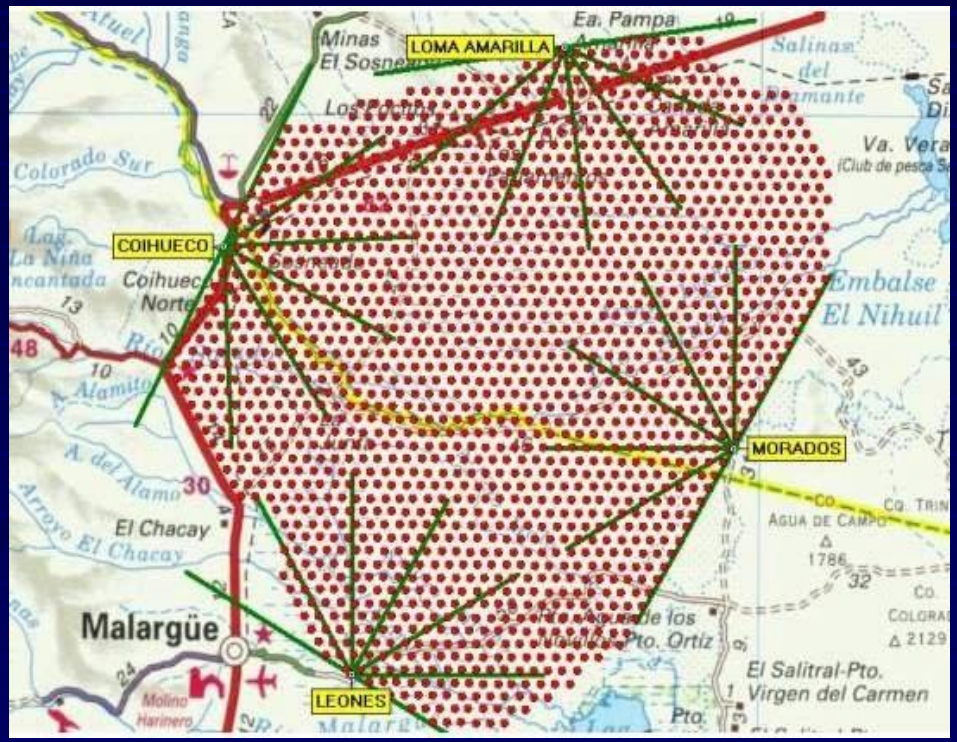
- Можно регистрировать первичные космические лучи над атмосферой на космических аппаратах, или же в самой верхней атмосфере на баллонах
- Можно регистрировать оптическое излучение, возникающее при взаимодействии первичных частиц с атмосферой
- Наконец, можно регистрировать сами вторичные частицы наземными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

Наблюдения космических лучей

PAMELA

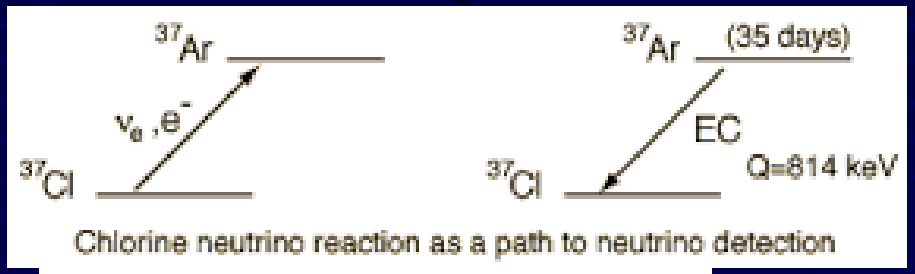
Полеты Гесса (1912 г.)

Обсерватория имени Оже



Более 1000 наземных детекторов.
Плюс 24 телескопа.

Нейтринные эксперименты



Chlorine neutrino reaction as a path to neutrino detection

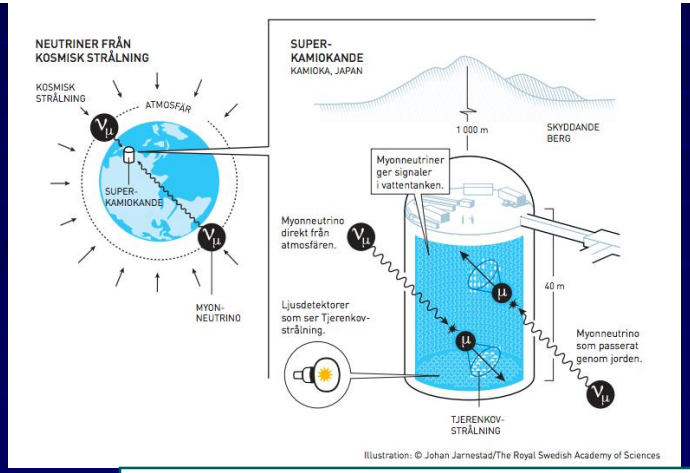
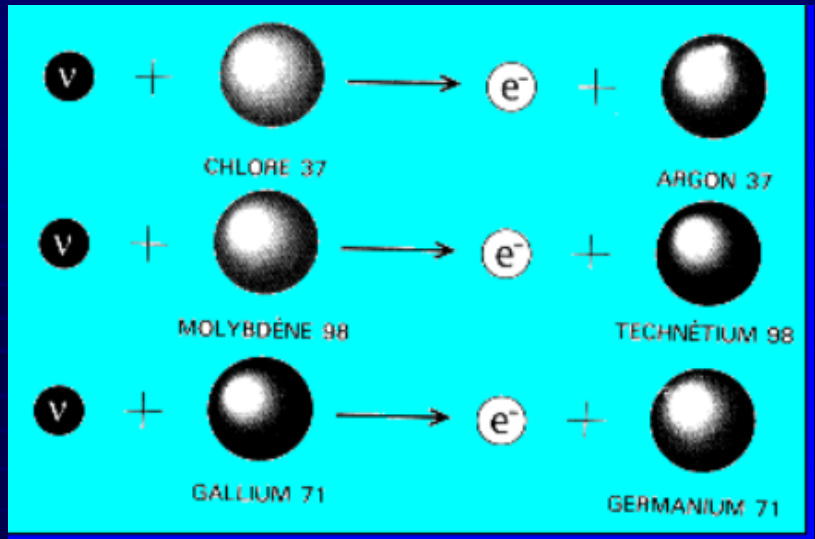
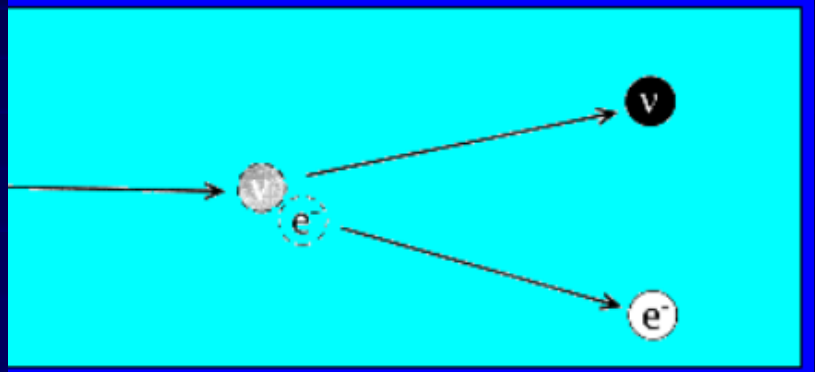


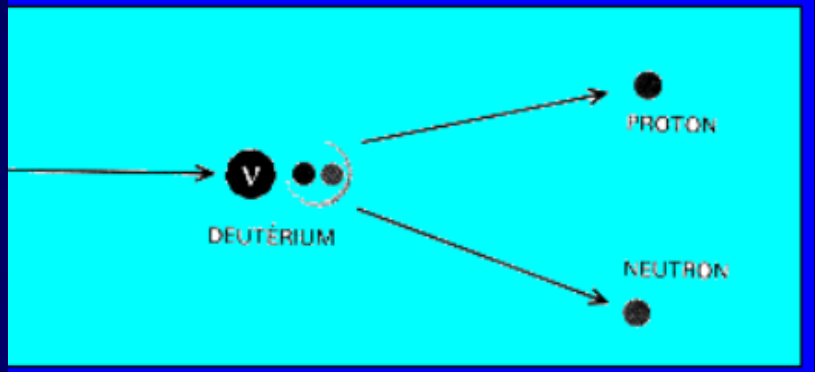
Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

CC Charged Current Reaction	$\upsilon_e + d \rightarrow p + p + e^-$	$E_{threshold} = 1.4MeV$
NC Neutral Current Reaction	$\upsilon_x + d \rightarrow \upsilon_x + p + n$	$E_{threshold} = 2.2MeV$
ES Elastic Scattering Reaction	$\upsilon_x + e^- \rightarrow \upsilon_x + e^-$	$E_{threshold} \approx 0$

x denotes that this reaction will take place with any neutrino.

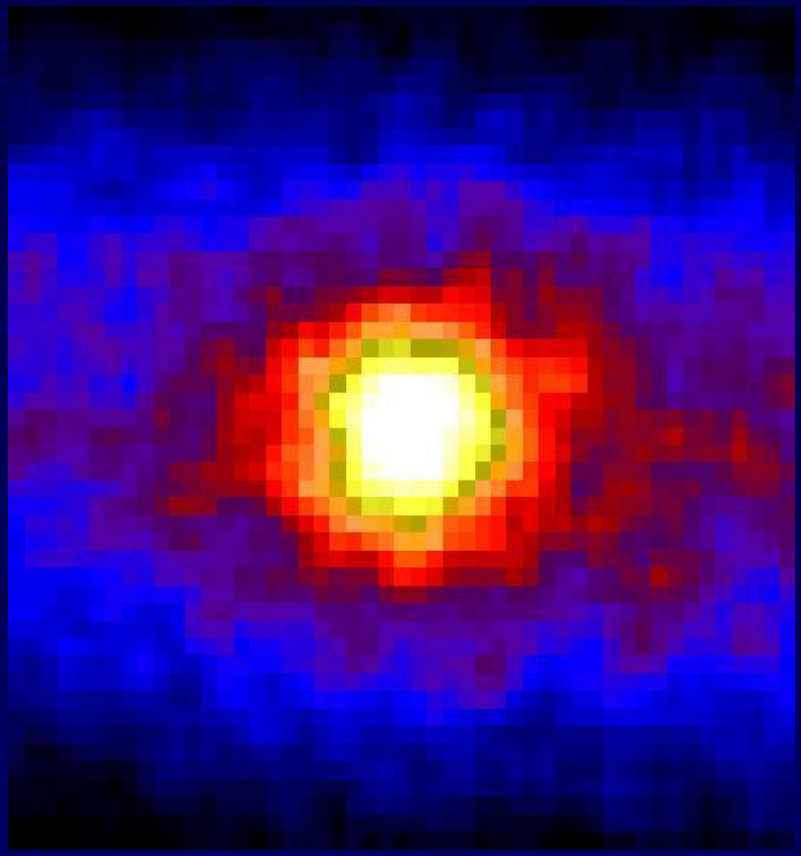






http://lappweb.in2p3.fr/neutrinos/anexp.html

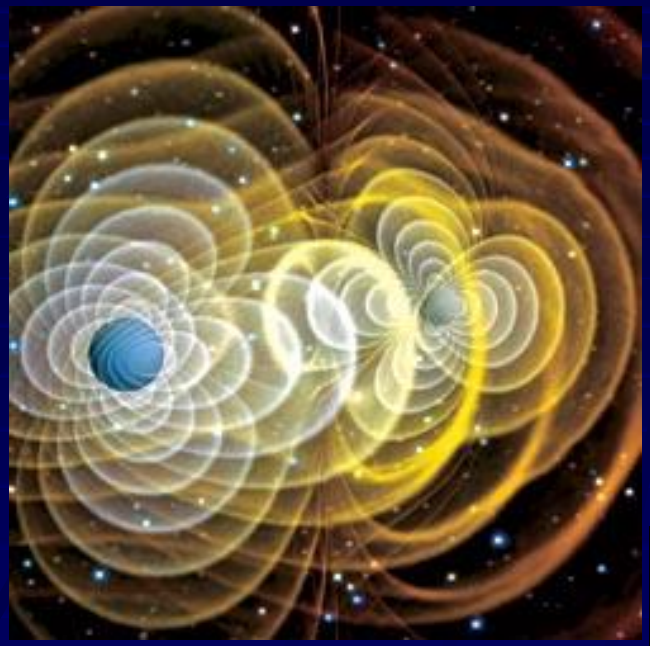
Нейтринная астрофизика



Нейтрино от Солнца

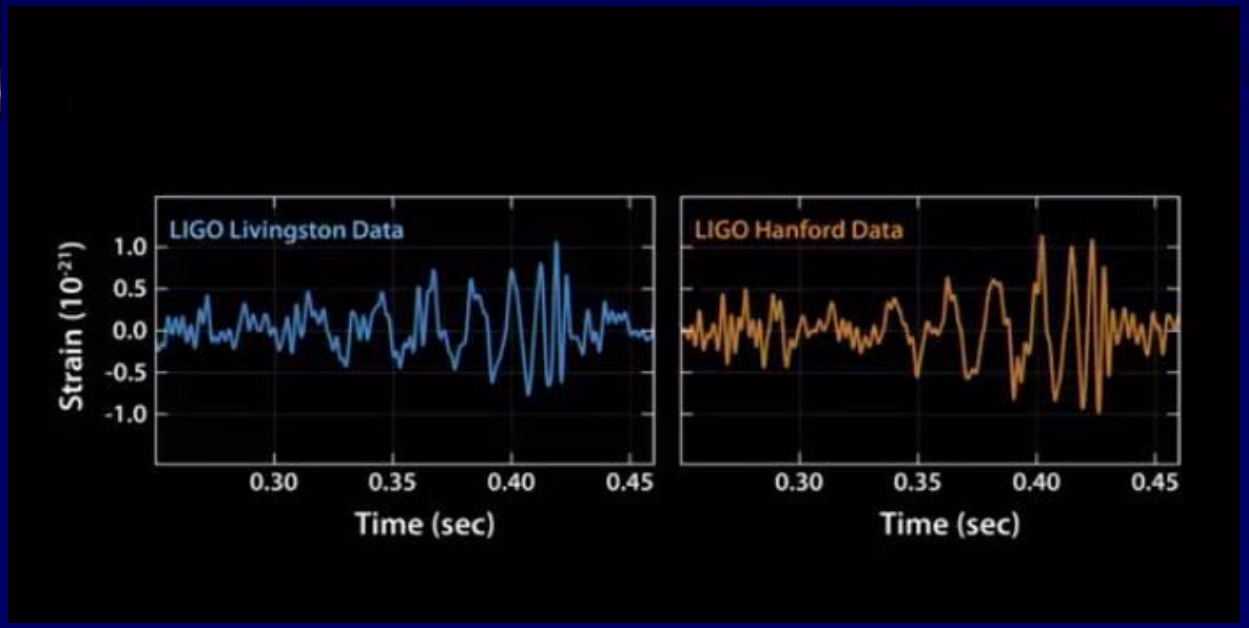
Нейтрино от взрывов сверхновых

Гравитационные волны



Предсказаны Общей теорией относительности.

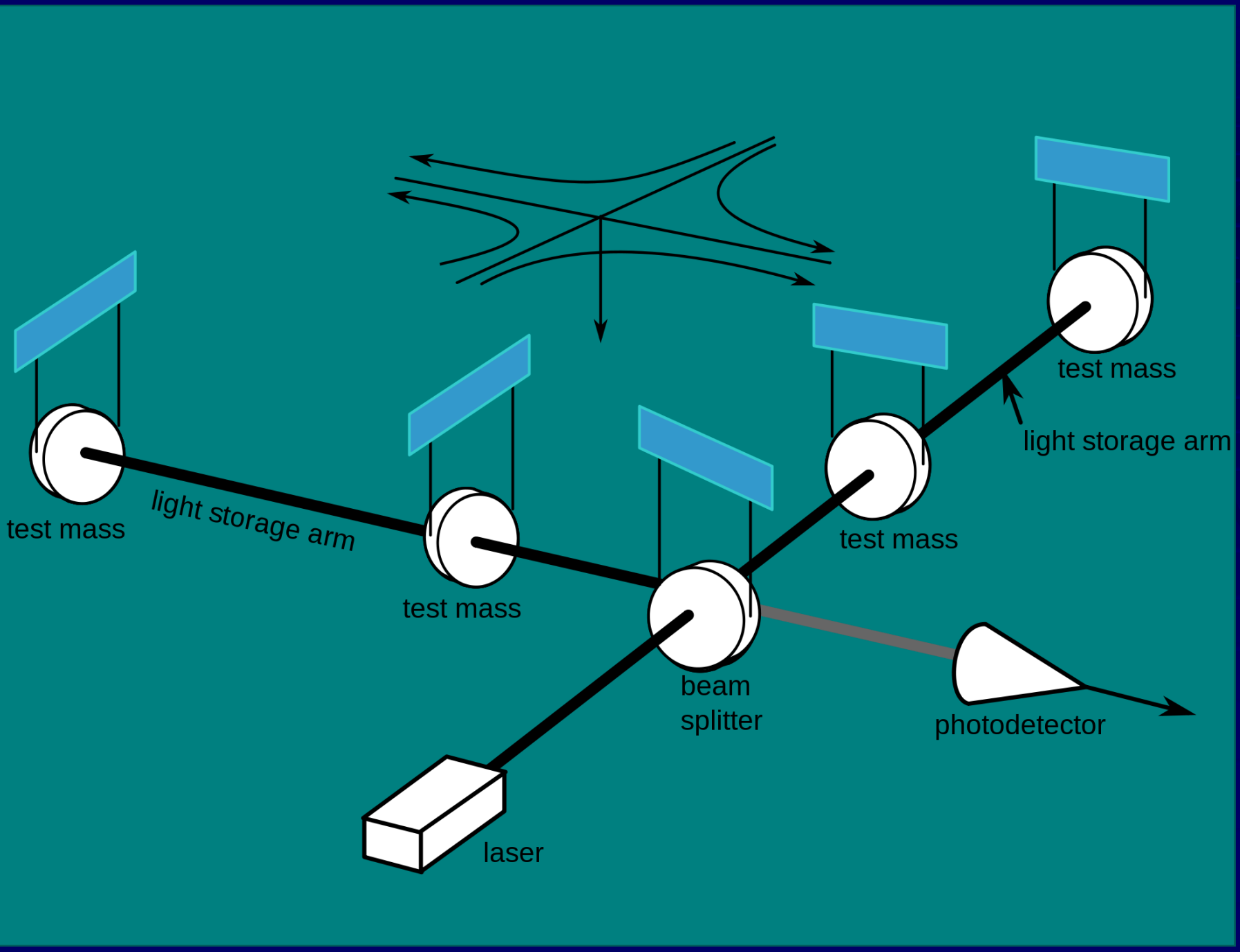
Возникают при слиянии нейтронных звезд и черных дыр.
А также при вращении нейтронных звезд и при эволюции тесных двойных звезд.



Детекторы гравитационных волн

Первый детектор Вебера

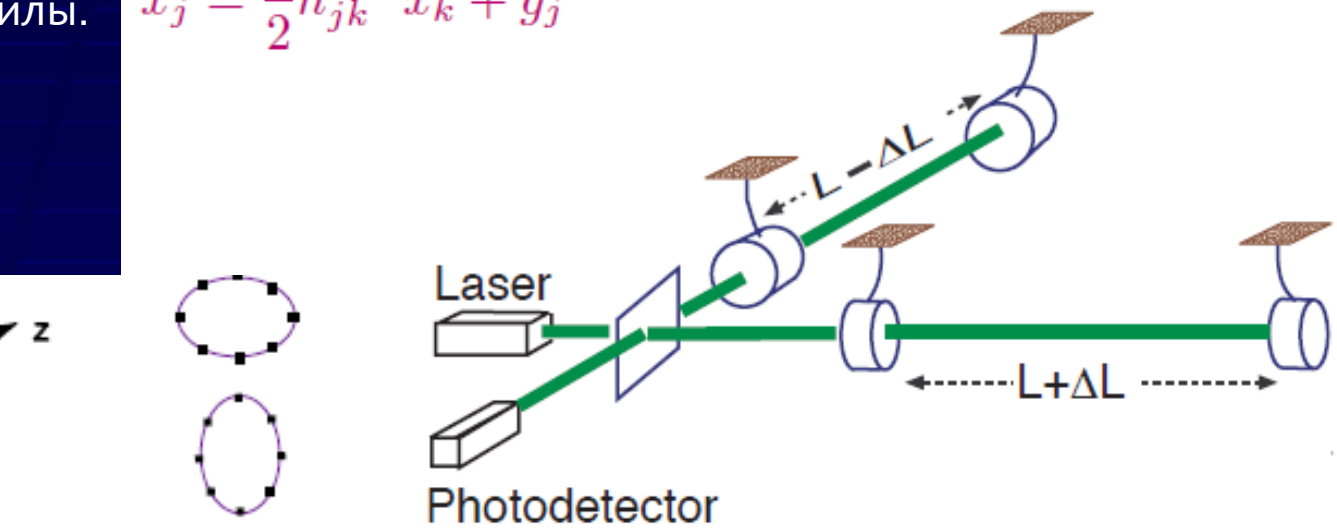
Эксперимент VIRGO

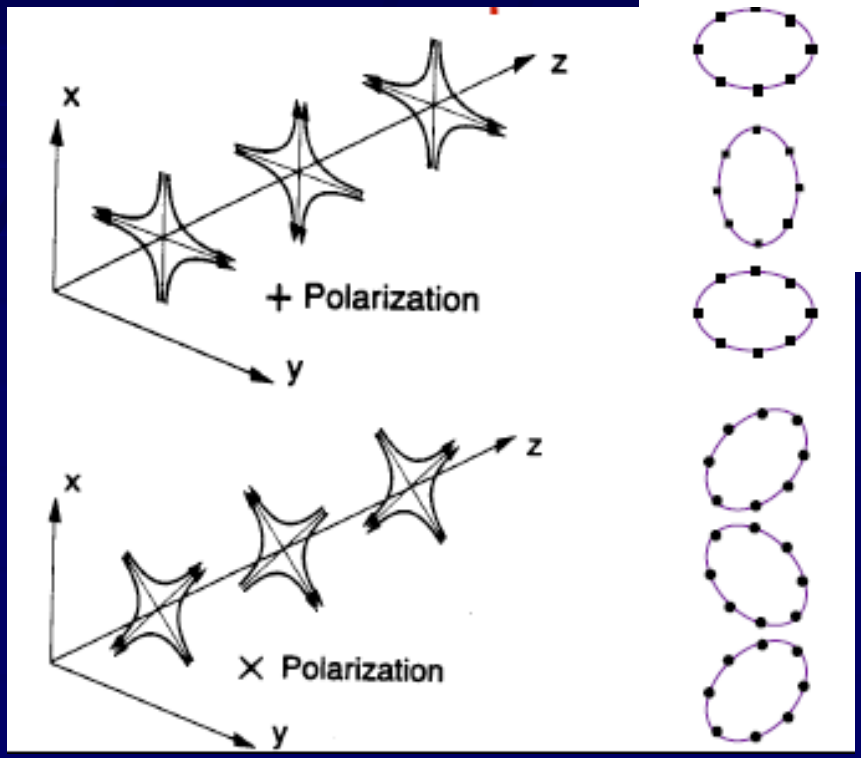

test mass
light storage arm
test mass
beam
splitter
test mass
light storage arm
test mass
photodetector
laser
Wikipedia.org

Изменение длины плеч

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

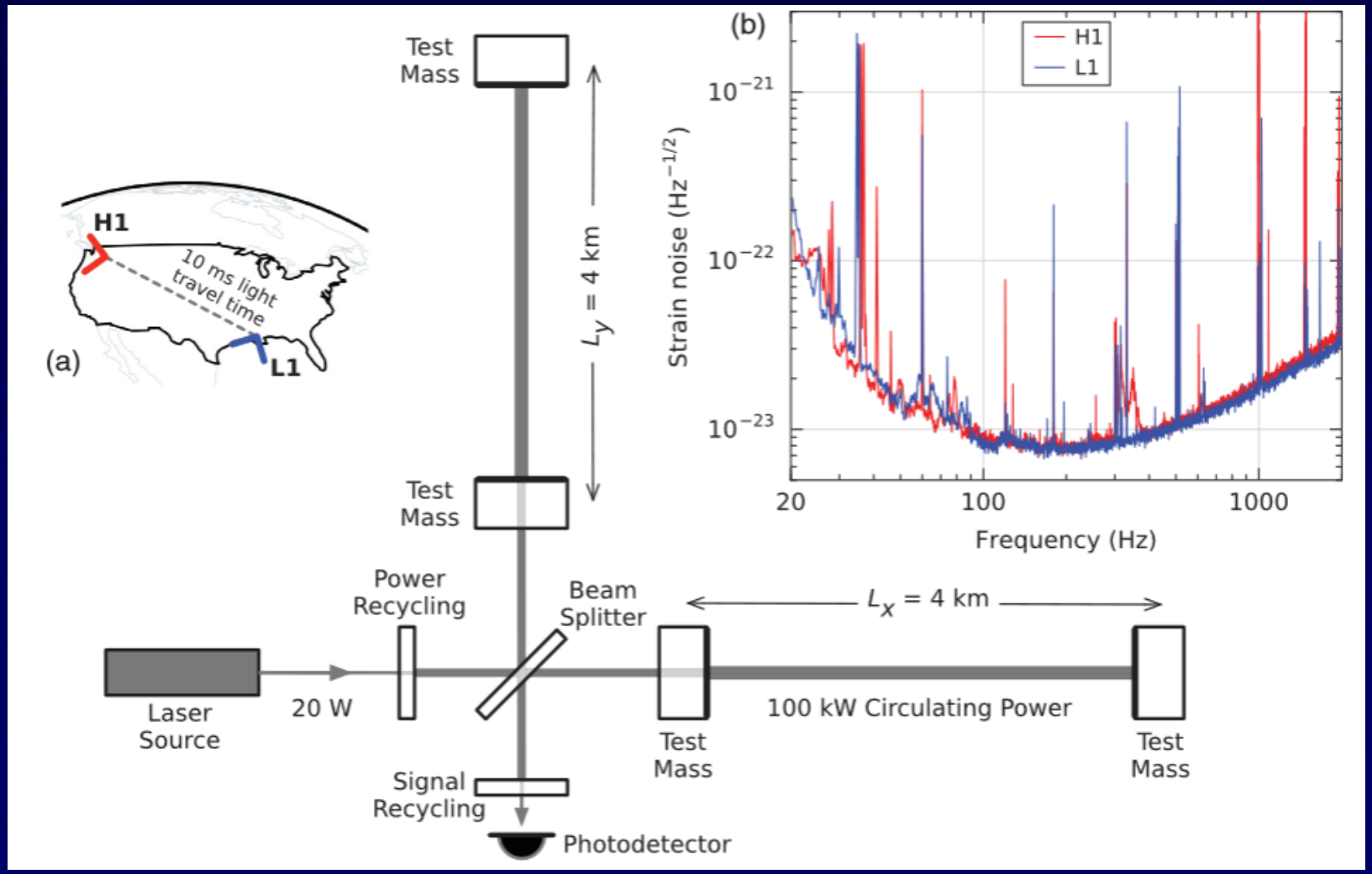
$$\ddot{x}_j = \frac{1}{2}\ddot{h}^{\mathrm{GW}}_{jk} x_k + g_j$$





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

Детекторы и их чувствительность

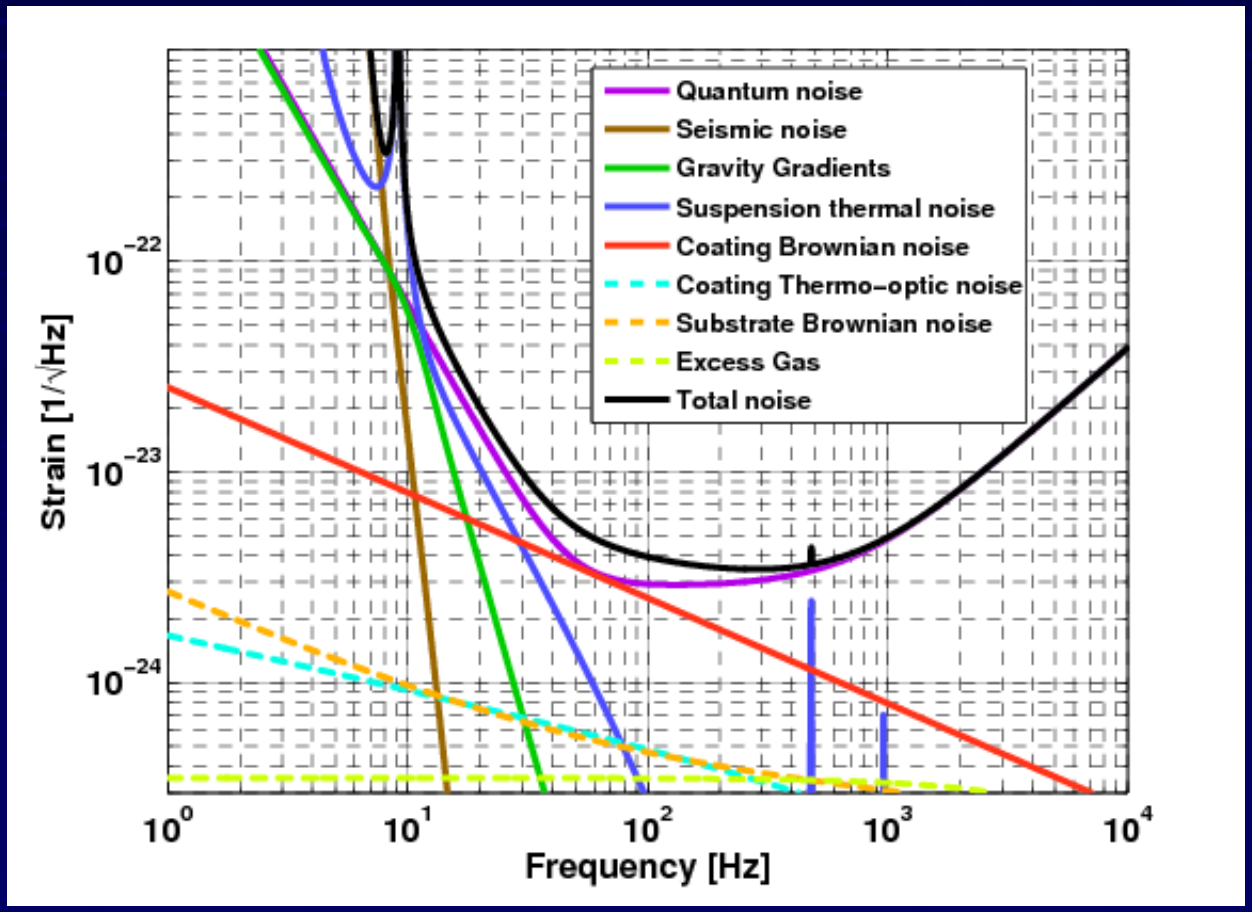


http://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102

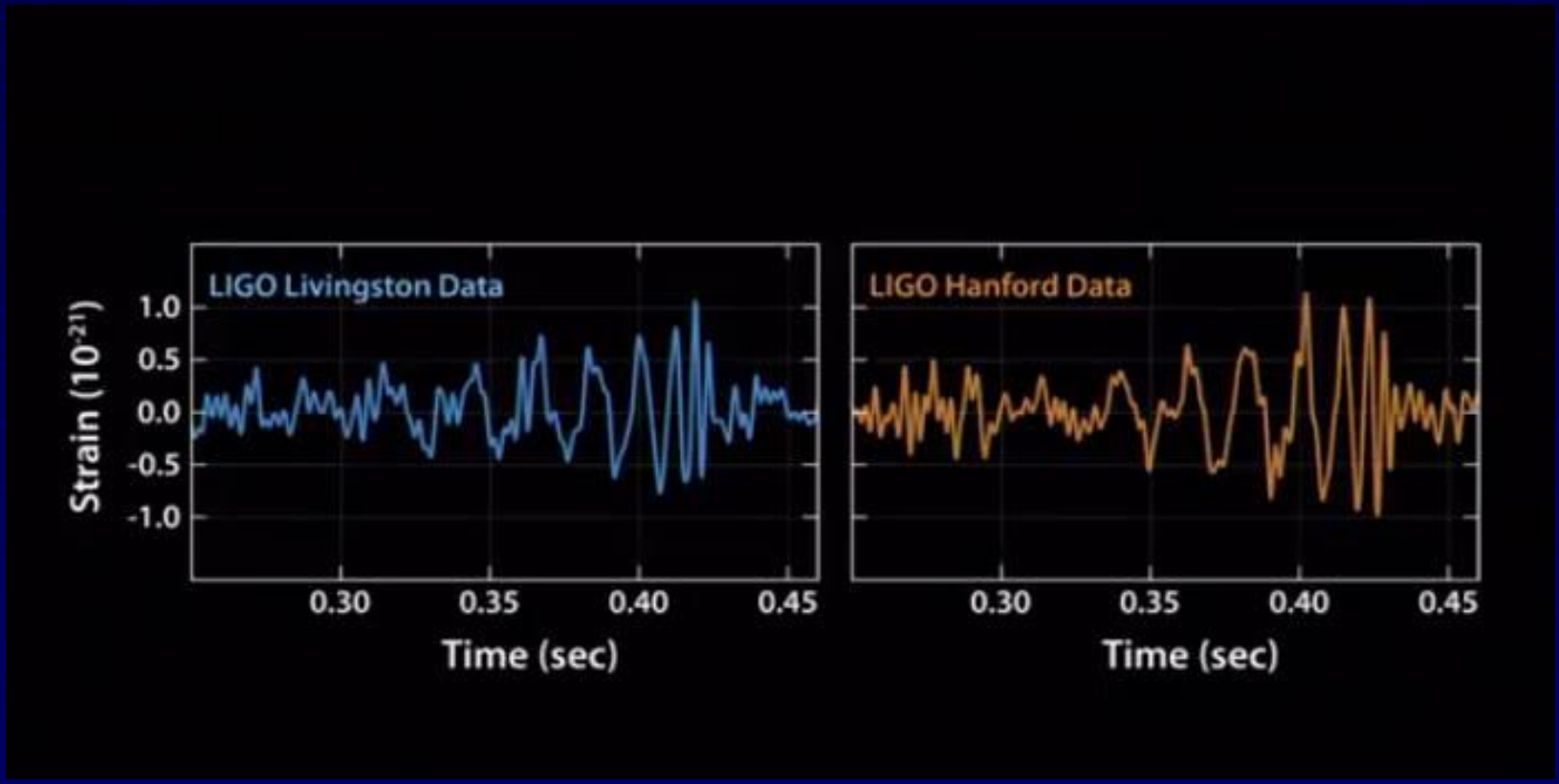
Разнообразные шумы

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 событий – слияние двух черных дыр в >400 Мпк от нас.

Итак …..

Астрономия – наблюдательная наука.

Наблюдения идут во всех диапазонах спектра.

Для многих видов наблюдений детекторы необходимо выводить в космос.

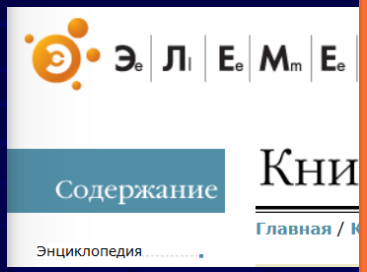
Наблюдают не только электромагнитные волны, но и различные виды частиц.

Открыты гравитационные волны.

Лекции будут выкладываться у меня на сайте
http://xray.sai.msu.ru/~polar/

Источники

А. В. Засов, К. А. Постнов
Общая
АСТРОФИЗИКА


Содержание
Энциклопедия

ads

Cornell University
Library
arXiv.org

astro-ph

ВСЕЛЕННАЯ
Краткий путеводитель по пространству и времени: от Солнечной системы до самых далеких галактик и от Большого взрыва до будущего Вселенной
СЕРГЕЙ ПОПОВ
Ученый и популяризатор науки, доктор физико-математических наук, профессор РАН и лауреат премии «За верность науке» 2015 года
Совместный проект Политехнического музея и издательства «Альпина нон-фикшн»
КНИГИ ПОЛИТЕХА