

Сто часов астрономии – 2014

ГАИШ МГУ





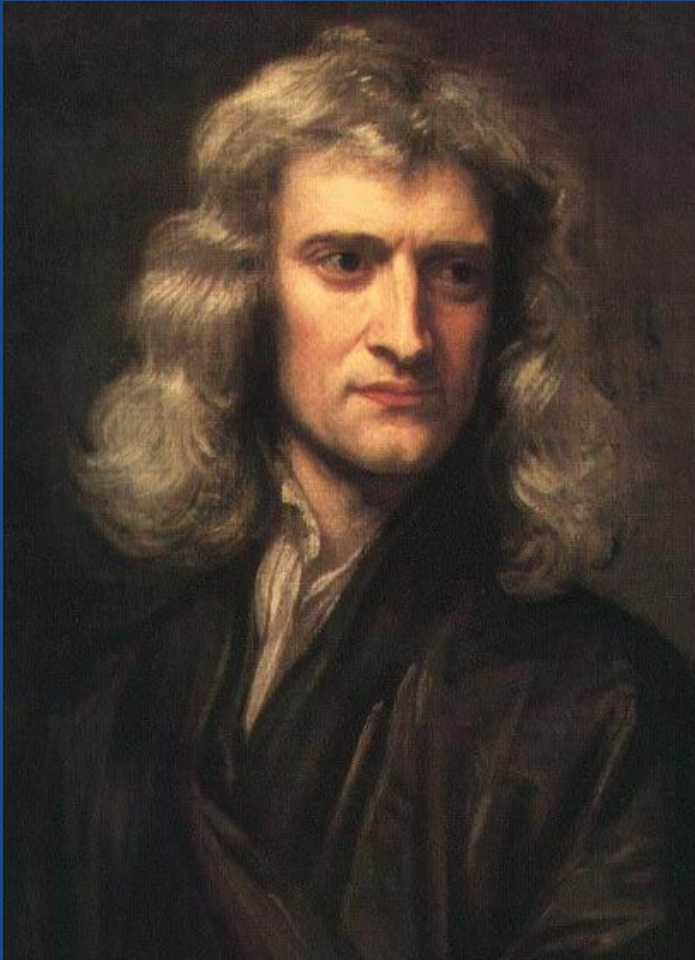
Гравитационно- волновая астрономия

**Постнов Константин Александрович
Физический факультет МГУ**

План

- Введение. Что такое гравитационные волны?
- Астрофизические источники ГВ
- Космологические ГВ
- Методы обнаружения

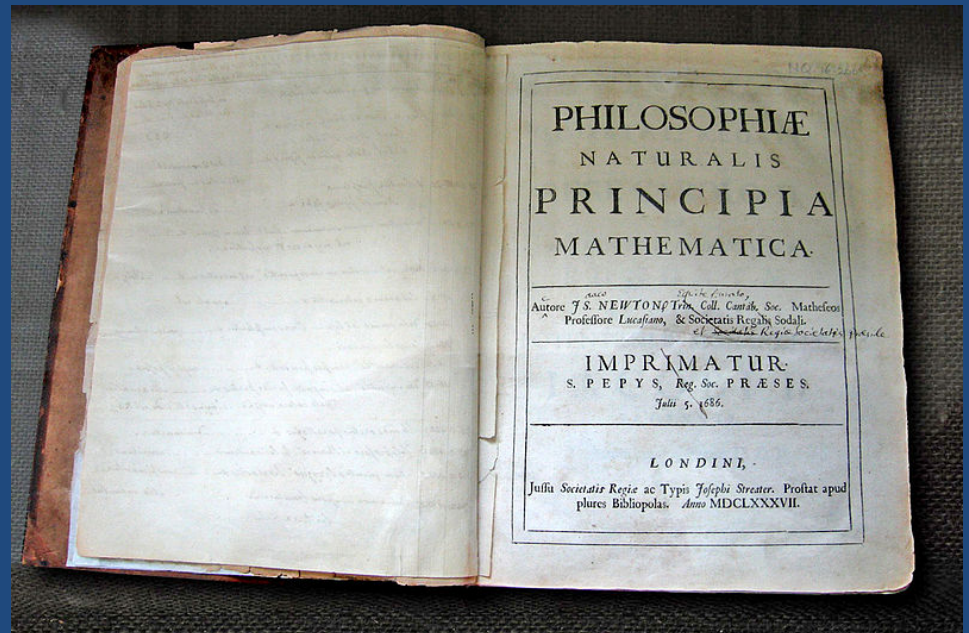
Сэр Исаак Ньютон (1643-1727)



Физика (механика, теория гравитации, оптика)

Математика (дифференциальное исчисление)

Труды по теологии, алхимии, библейской хронологии

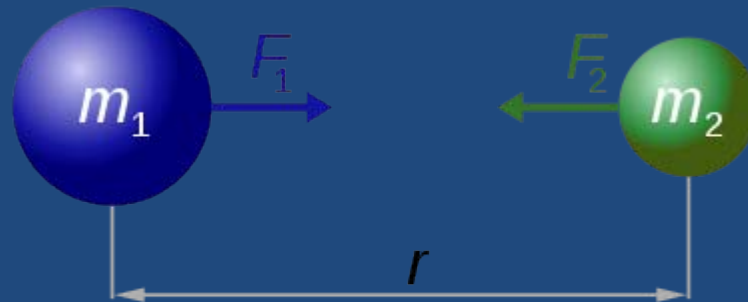


Ньютоновская гравитация (1667)

Ньютон вывел закон тяготения, основываясь на эмпирических законах движения планет (законы Кеплера)

наблюдаемые движения планет свидетельствуют о наличии центральной силы;

центральная сила притяжения приводит к эллиптическим (или гиперболическим) орбитам.



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

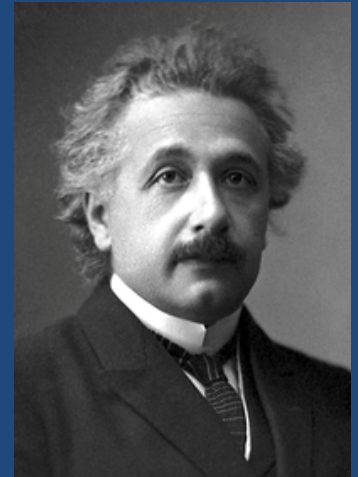
Триумф: открытие Нептуна

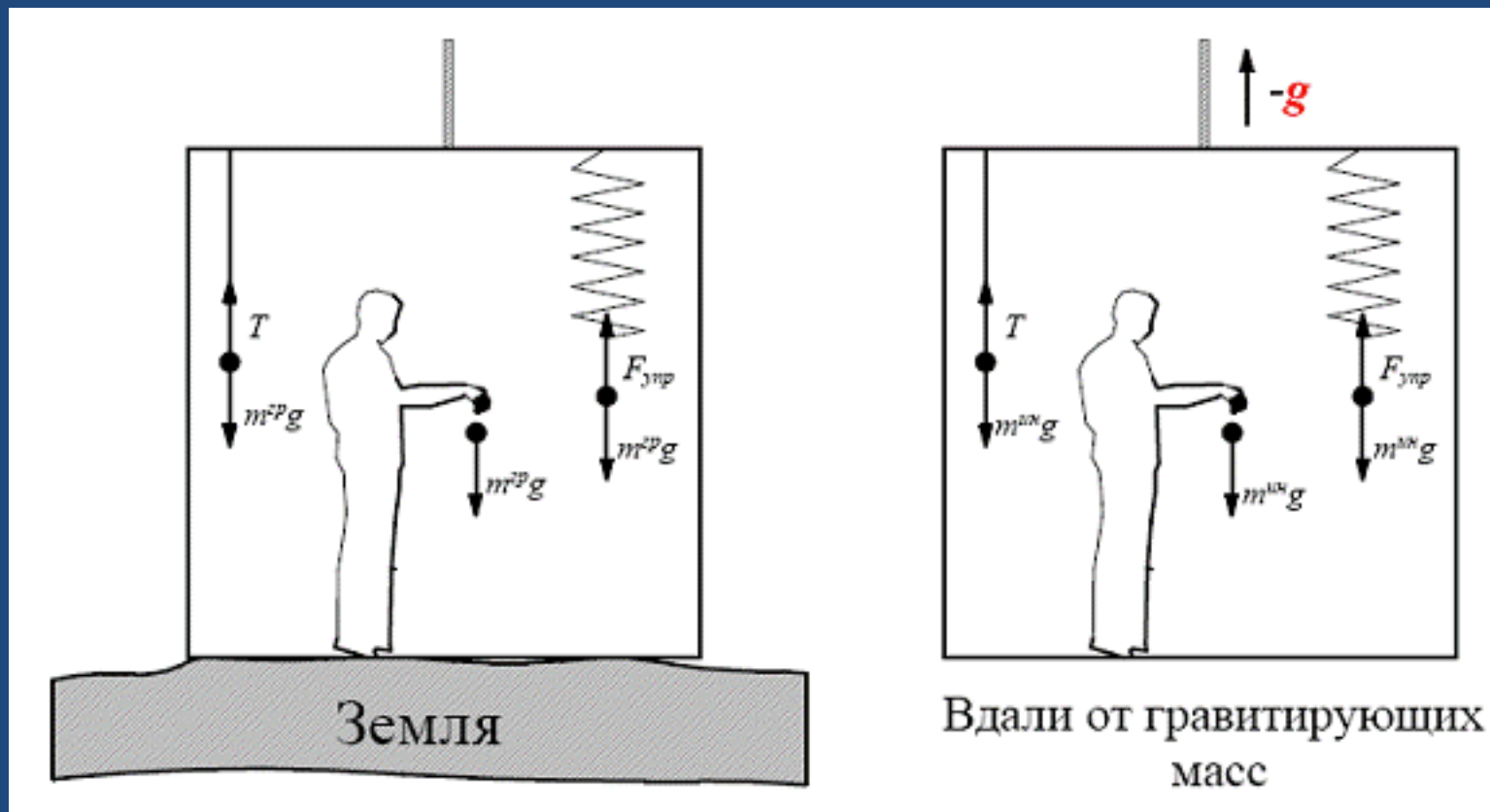


- Ле Верье (Париж),
Адамс (Кембридж)
– открытие Нептуна
по возмущениям
движения Урана
(1843-46)

От Ньютона к Эйнштейну (1915)

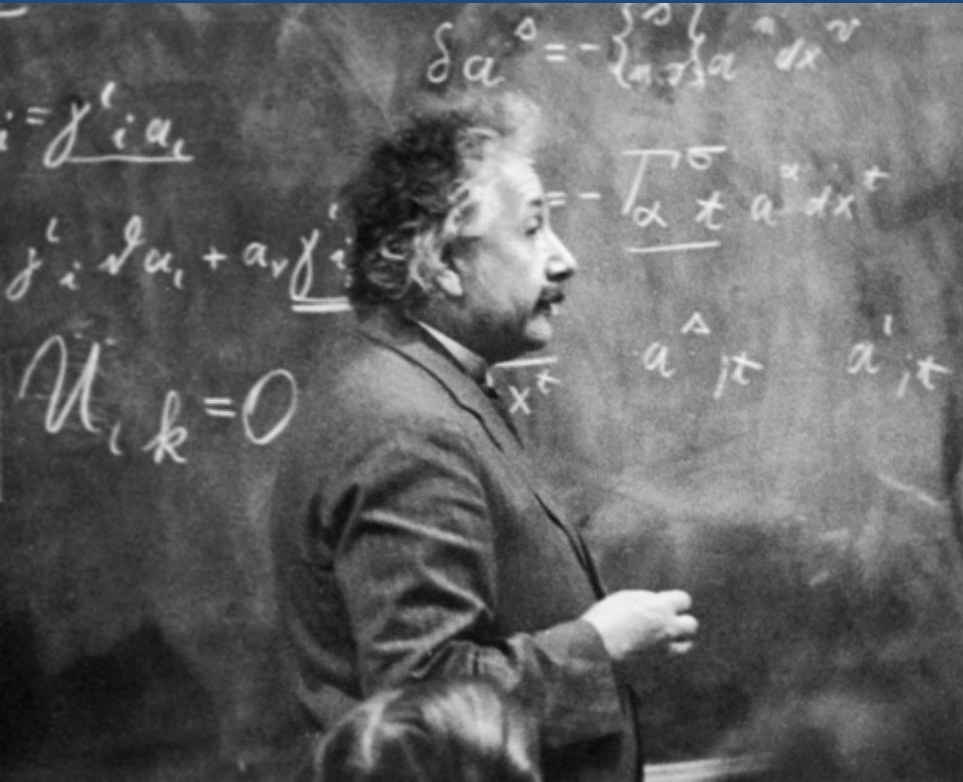
- Ньютоновская гравитация справедлива в слабых гравитационных полях
- В сильных полях (НЗ, ЧД, космология) требуется релятивистское обобщение (ОТО)
- В основе – принцип эквивалентности гравитационной и инертной массы





Гравитация локально эквивалентна движению с ускорением

Общая теория относительности



- А. Эйнштейн, 1915
- Тяготение =
искривление
пространства-
времени

Einstein develops new theory of relativity

Professor Albert Einstein of the Kaiser Wilhelm Institute in Berlin has proposed a theory about the nature of time, space and gravity that will dramatically alter mankind's view of the universe if it is accepted. The new theory is an extension of Einstein's Special Theory of Relativity, which he published in 1905, and which gets its name from the thesis that there is no absolute time and absolute space. Instead, all motion is relative, and the rate at which time passes depends on the velocity of a body in motion.

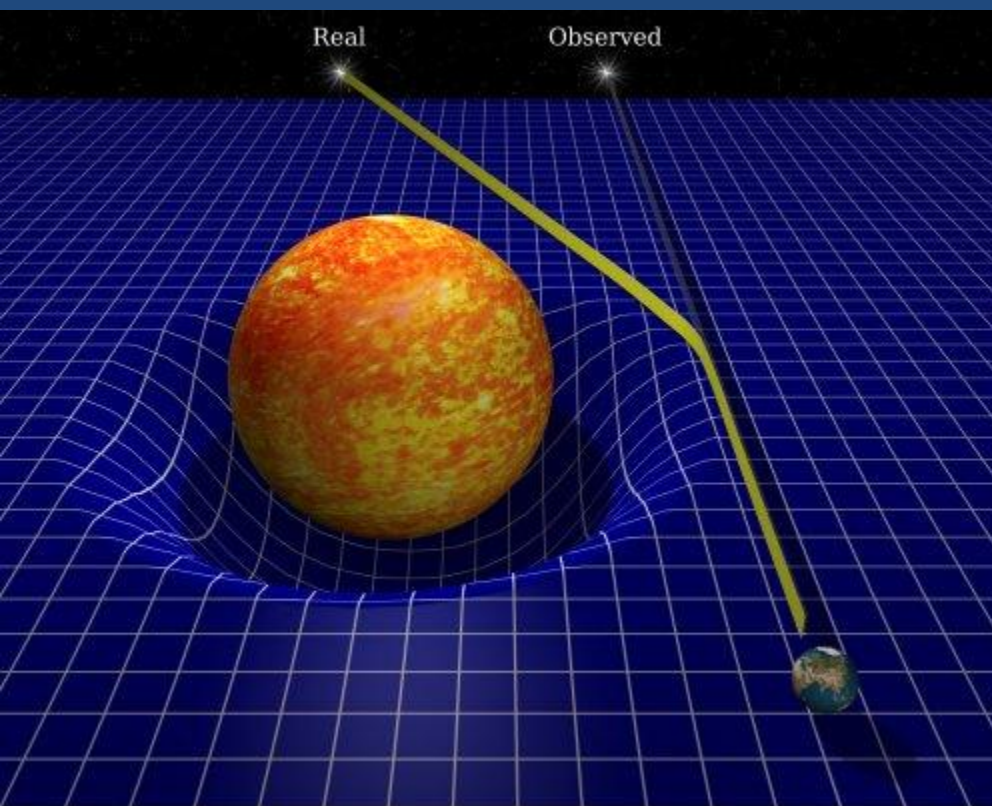
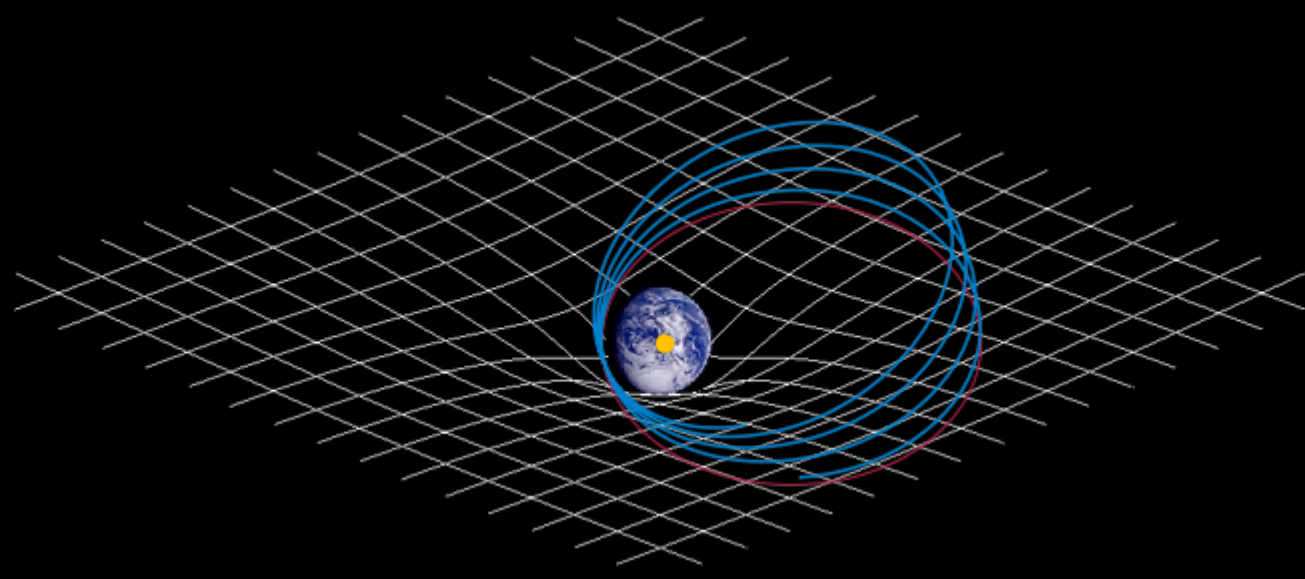
The new General Theory of Relativity alters the view of gravity proposed by Sir Isaac Newton more than two centuries ago. Newton viewed gravity as a force exerted by one body on another. According to Einstein, gravity is a property of space that is induced by the presence of matter. Because the effects predicted by Einstein are subtle and occur only in intense gravitational fields, scientists will not be able to test relativity against Newtonian physics until the war in Europe has ended and peaceful research resumes.



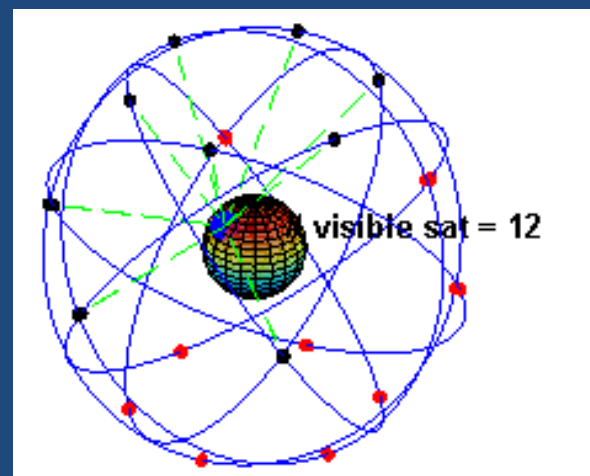
Professor Einstein in Berlin.

Предсказания

- Аномальное движения перигелия Меркурия (1915)
- Отклонение лучей вблизи массивных тел (1919, Эддингтон)
- Гравитационные волны (1992, >2014)



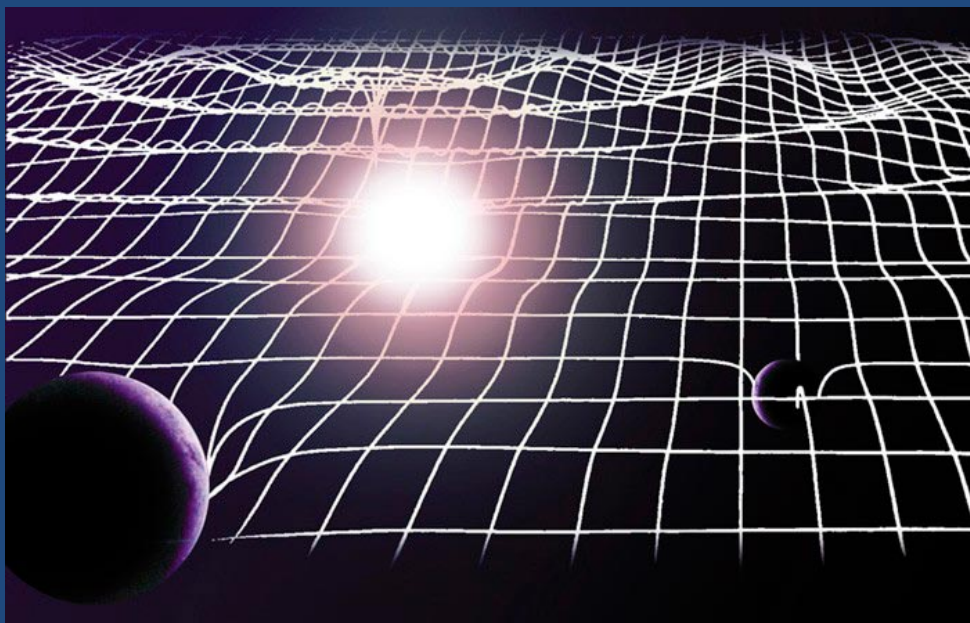
На практике – GPS-навигация



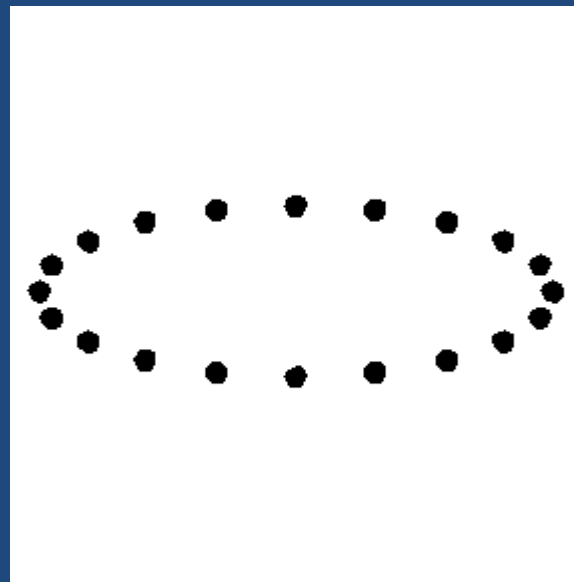
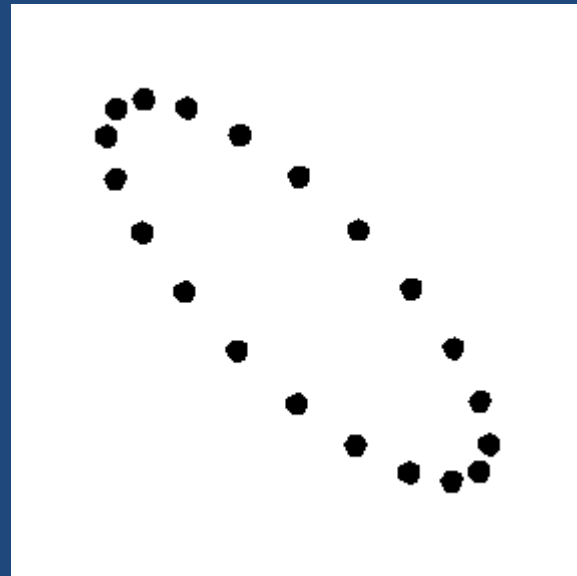
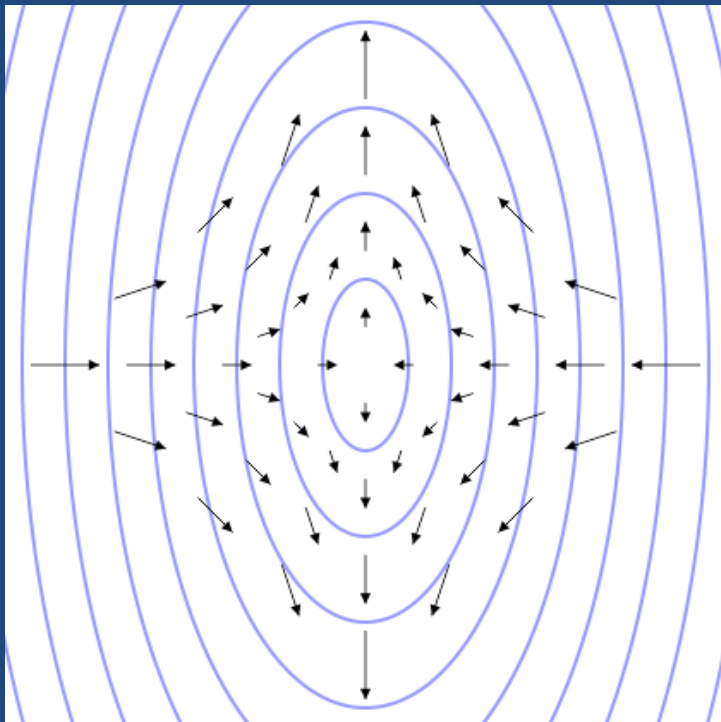
Свойства гравитационных волн



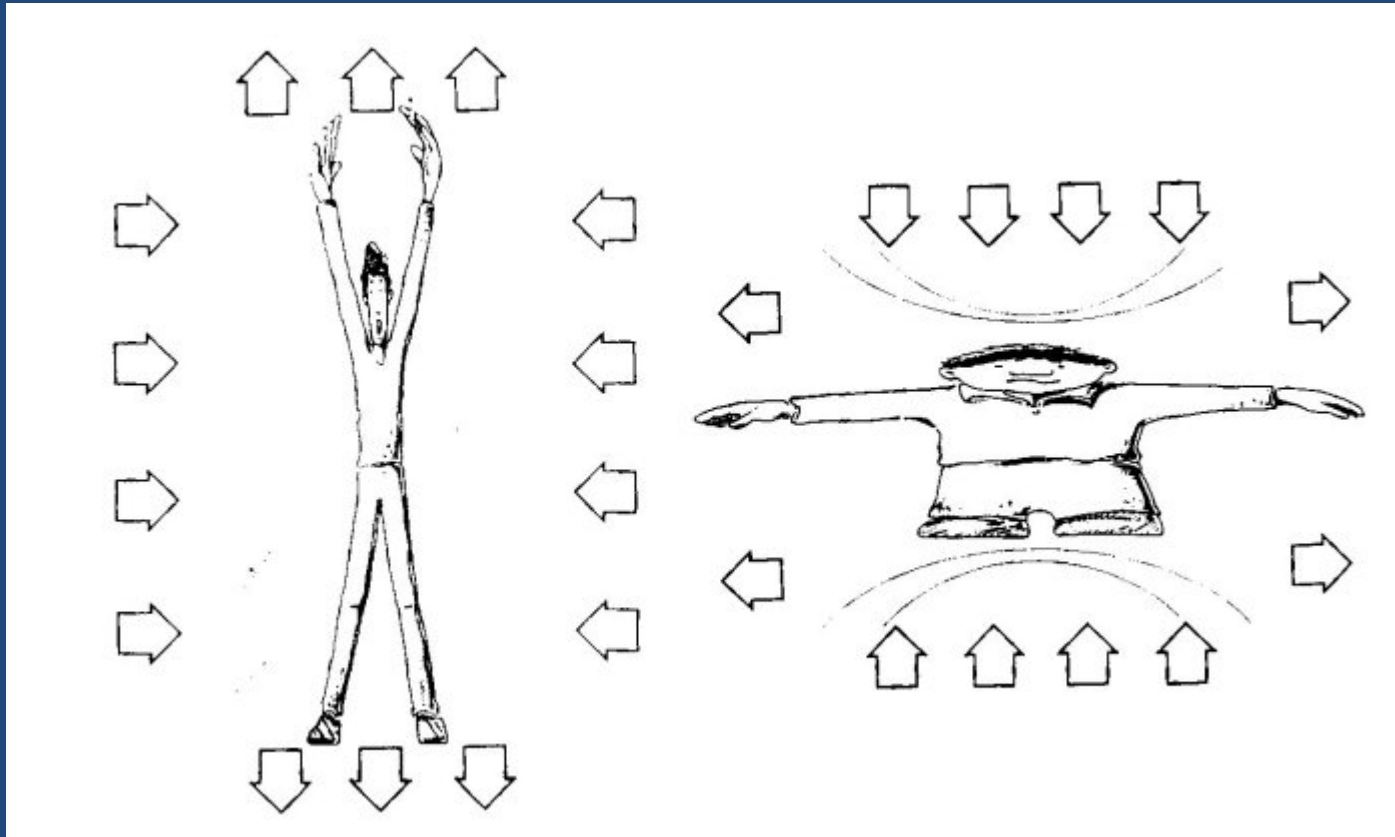
- Обычные волны – «рябь» на поверхности
- Гравитационные волны – «складки» пространства-времени



ГВ создает поле приливных ускорений

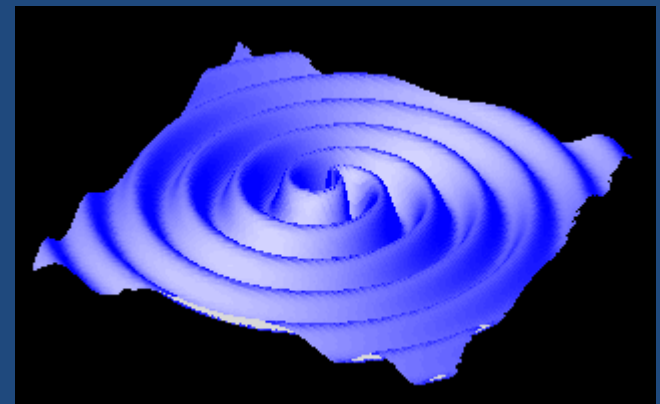
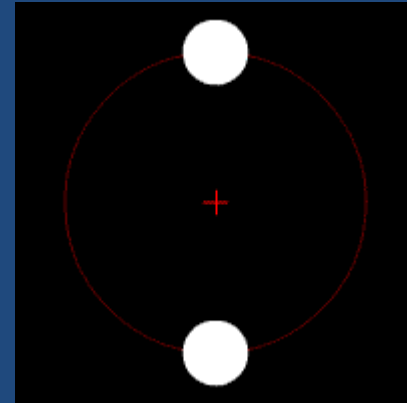


Амплитуда волны h = относительное растяжение/сжатие



Астрофизические источники

- Несимметричные движения больших масс с большими скоростями
- Тесные двойные компактные звезды (белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры)
- $h \sim r_g / D \sim 10^{-22}$



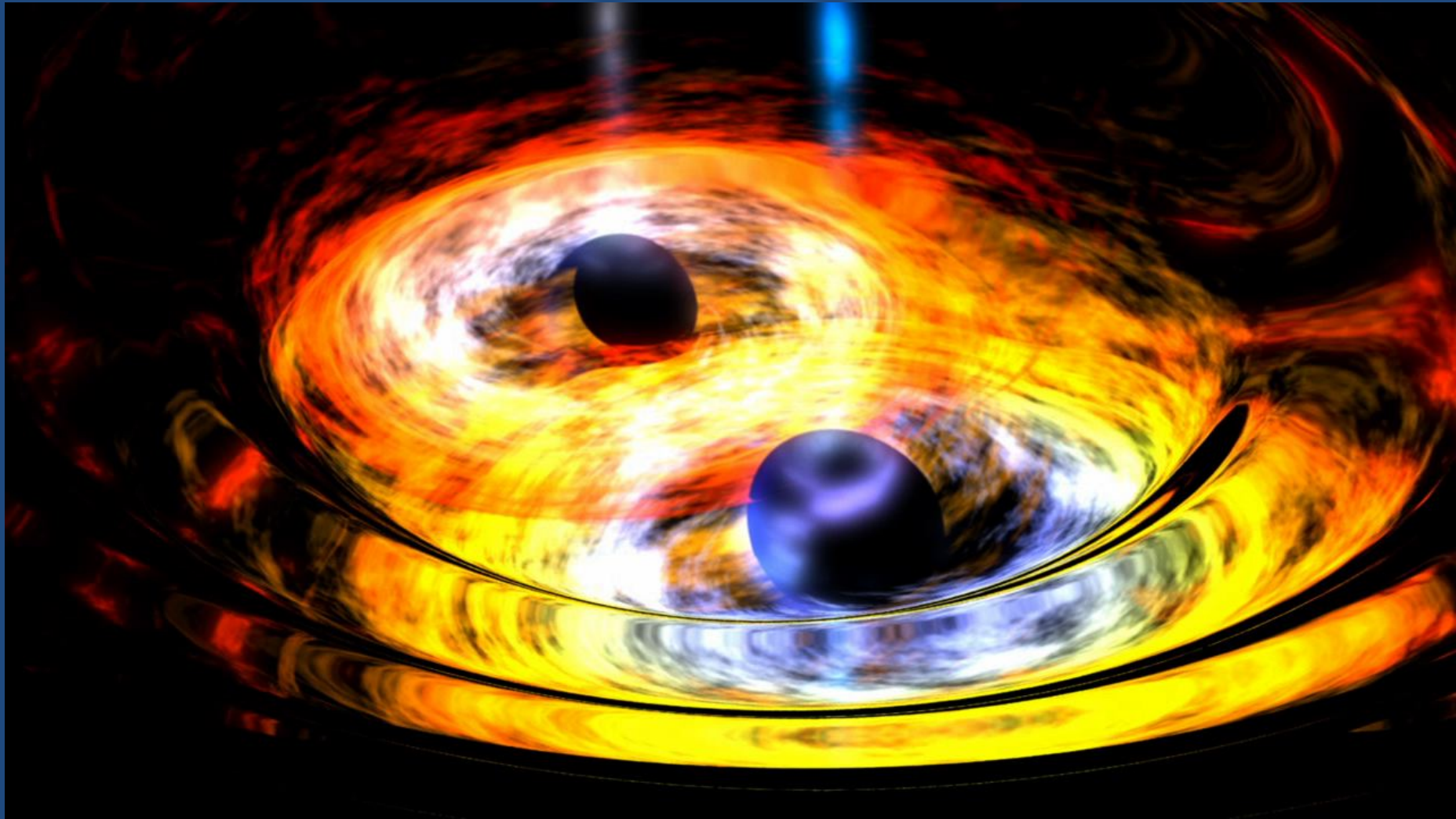
Слияние H3

- Приводит к мощному выделению ЭМ энергии (космические гамма-всплески)



binary_crash_sm.mpg

Слияние черных дыр



Самое мощное излучение ГВ

- Сверхмассивные ЧД
в ядрах галактик



11086_BH_Merger_H264_Good_1280x720_29.97.mov



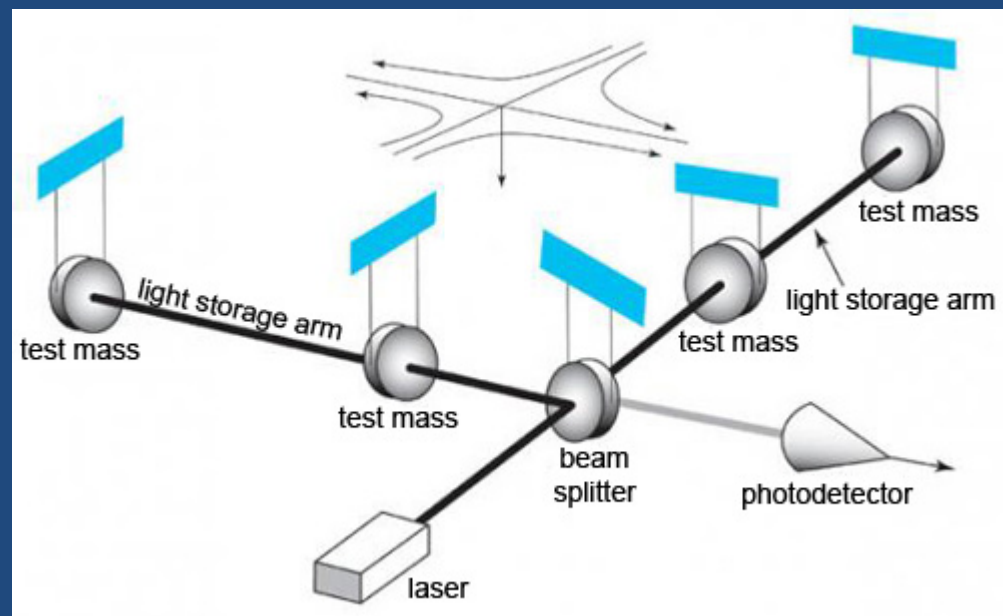
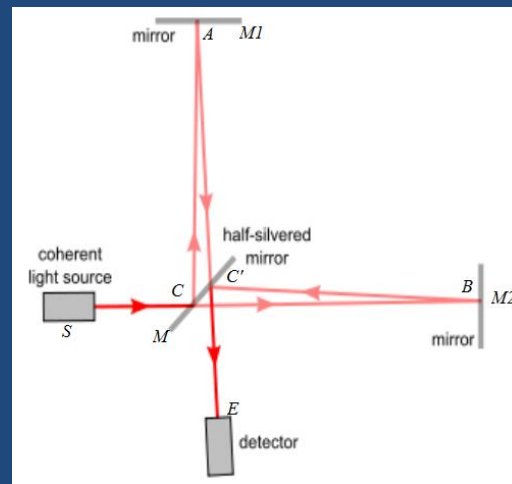
$$\bullet h \sim r_g / D \sim 10^{-22}$$

HST

Как детектировать ГВ?

- Интерференция света
(интерферометр Майкельсона)
- Лазерная интерферометрия

- $h \sim \Delta L/L$



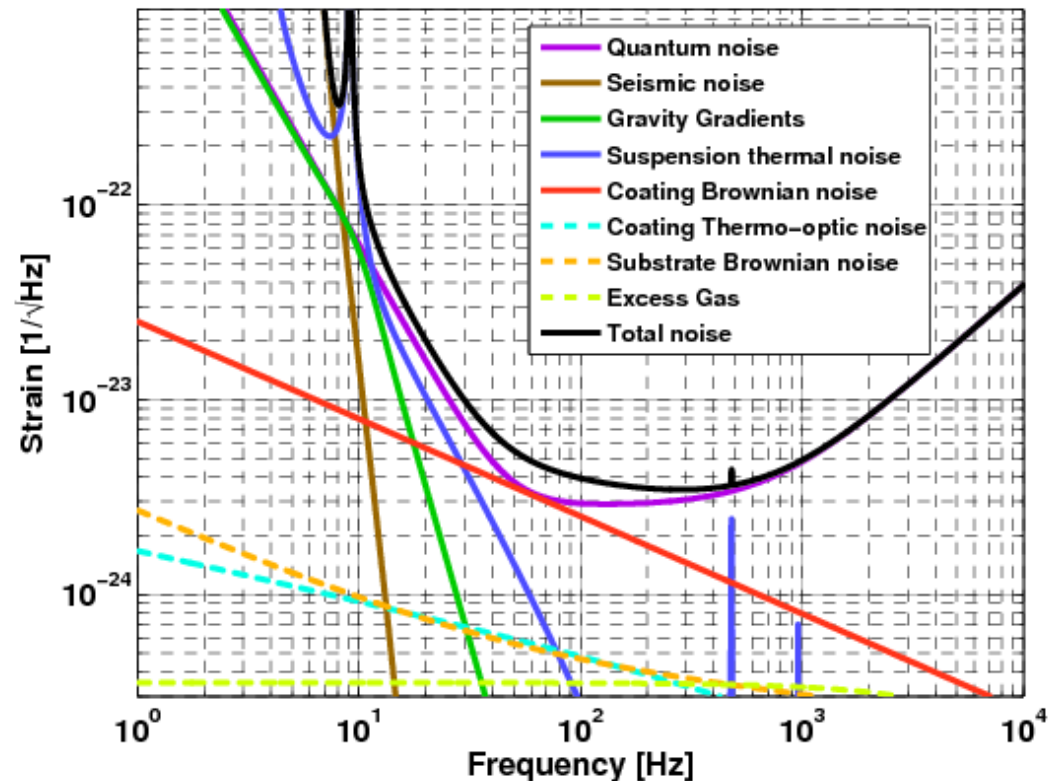
Действующие ГВ-обсерватории

- LIGO (США)
- Virgo (Италия)
- С 2002 года
- Чувствительность $h \sim 3 \cdot 10^{-22}$
- Модернизация до $h \sim 10^{-23}$ (2015-2017)



Борьба с шумами

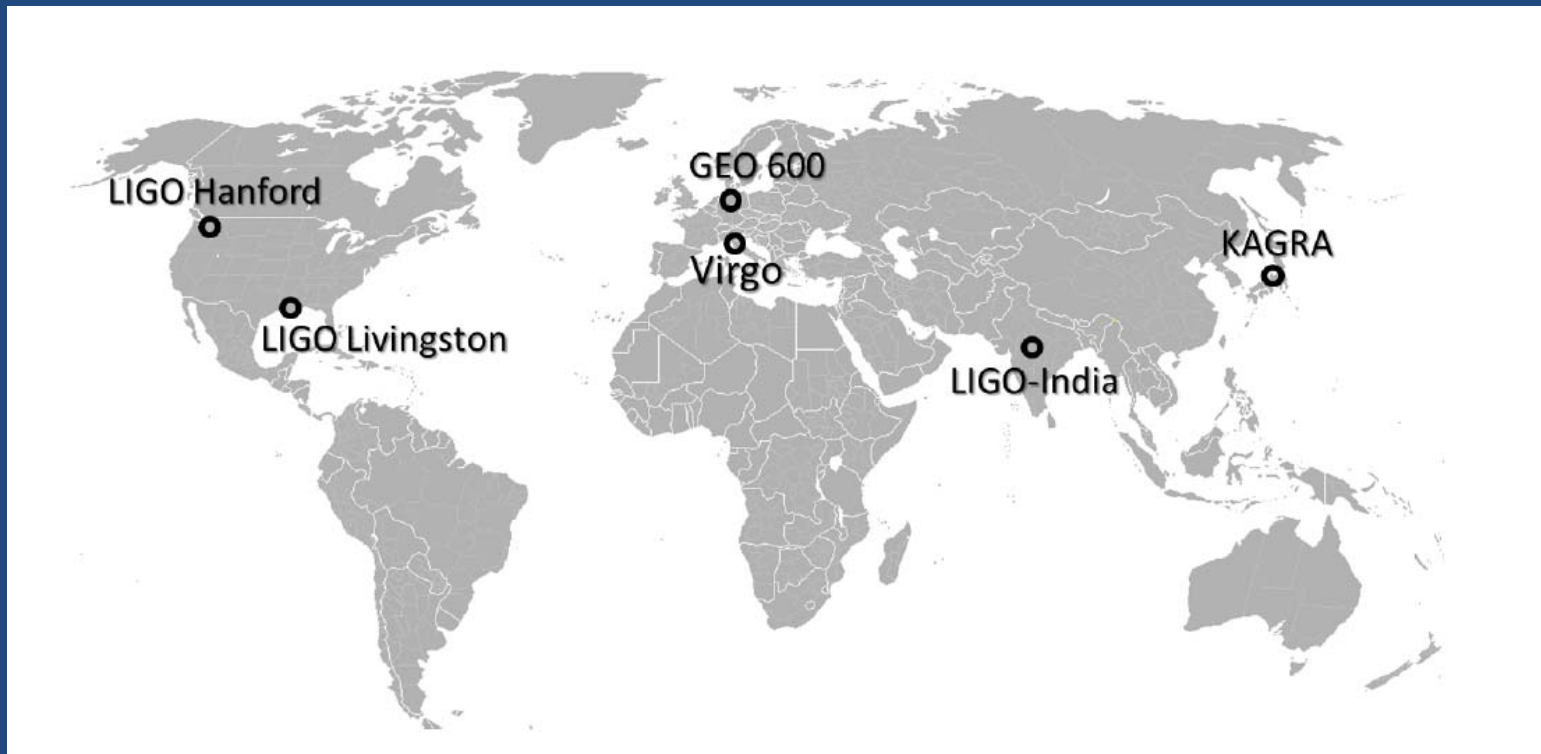
- Чувствительность ограничена шумами разной природы
- Диапазон 10-1000 Гц



Сеть ГВ-интерферометров

- $h \sim \Delta L / L$
- $L \sim 4 \text{ км}$

~ 2017-2019

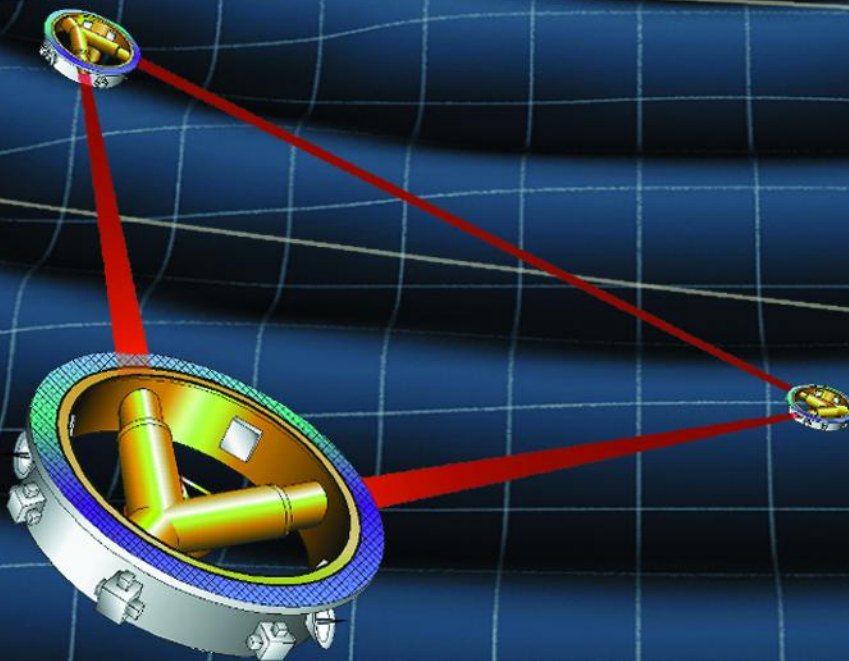


Космический интерферометр eLISA

0.1 мГц-1 Гц, $L \sim 1$ млн км

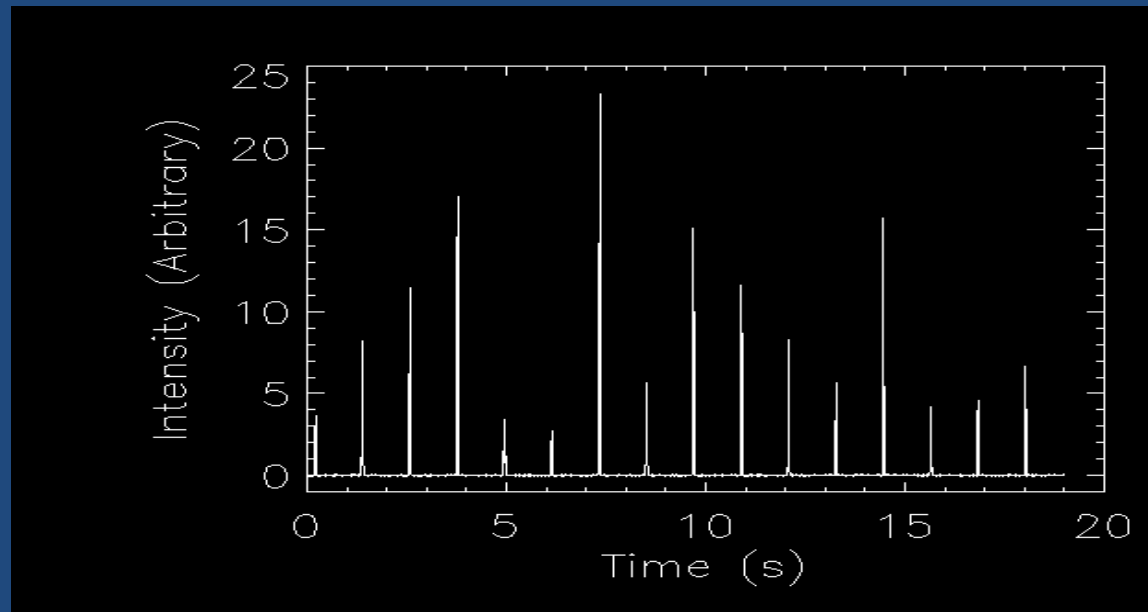
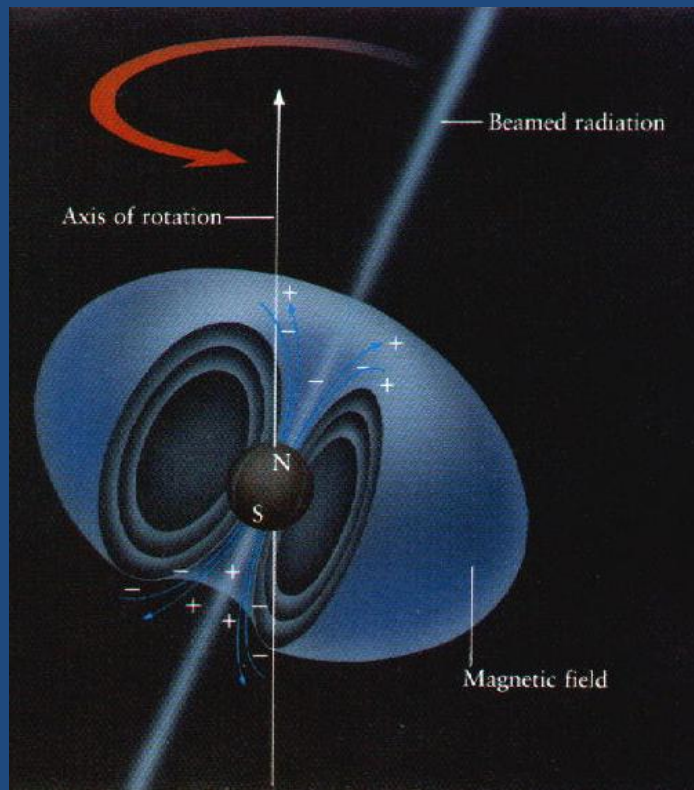
Источники – сверхмассивные ЧД

>2030



Радио пульсары как детекторы нано ГЦ ГВ

- Открыты в 1967





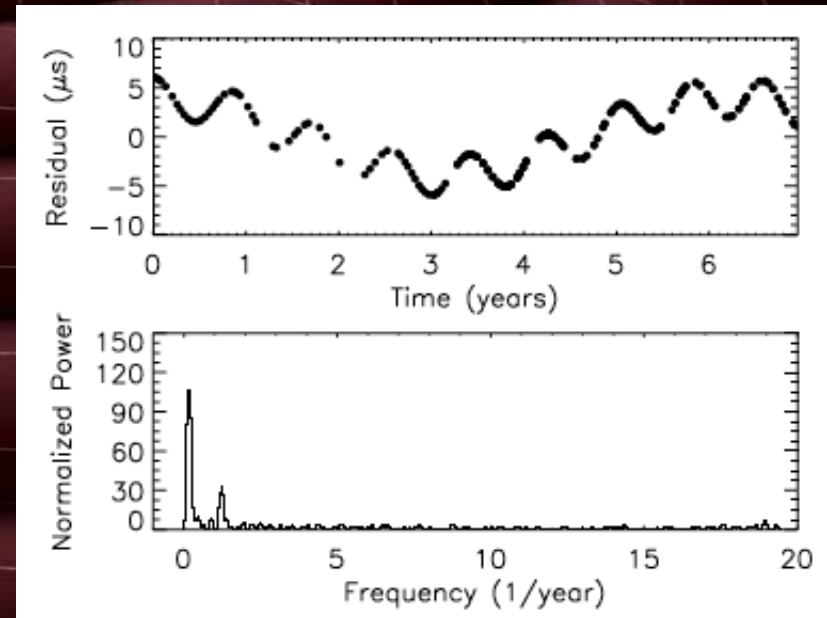
ГВ модулирует сигнал из-за эффекта Доплера

Jenet et al. (2004)



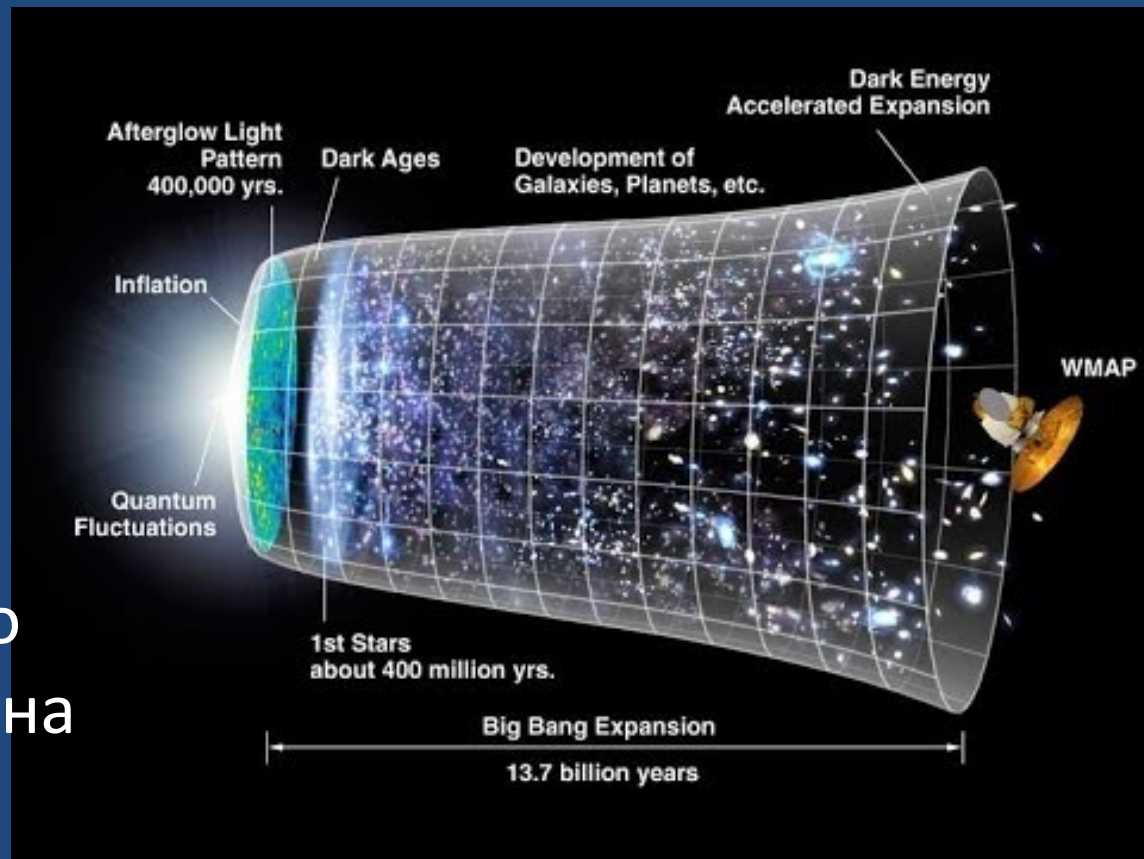
Пульсар

Земля



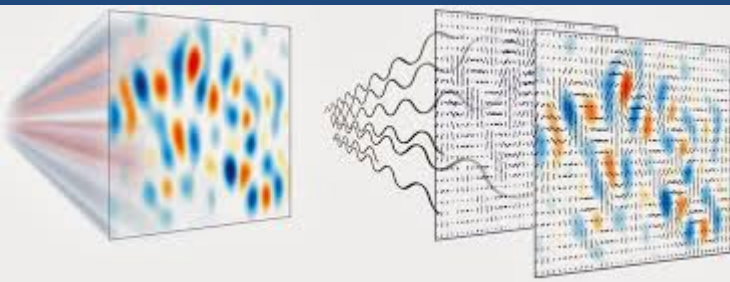
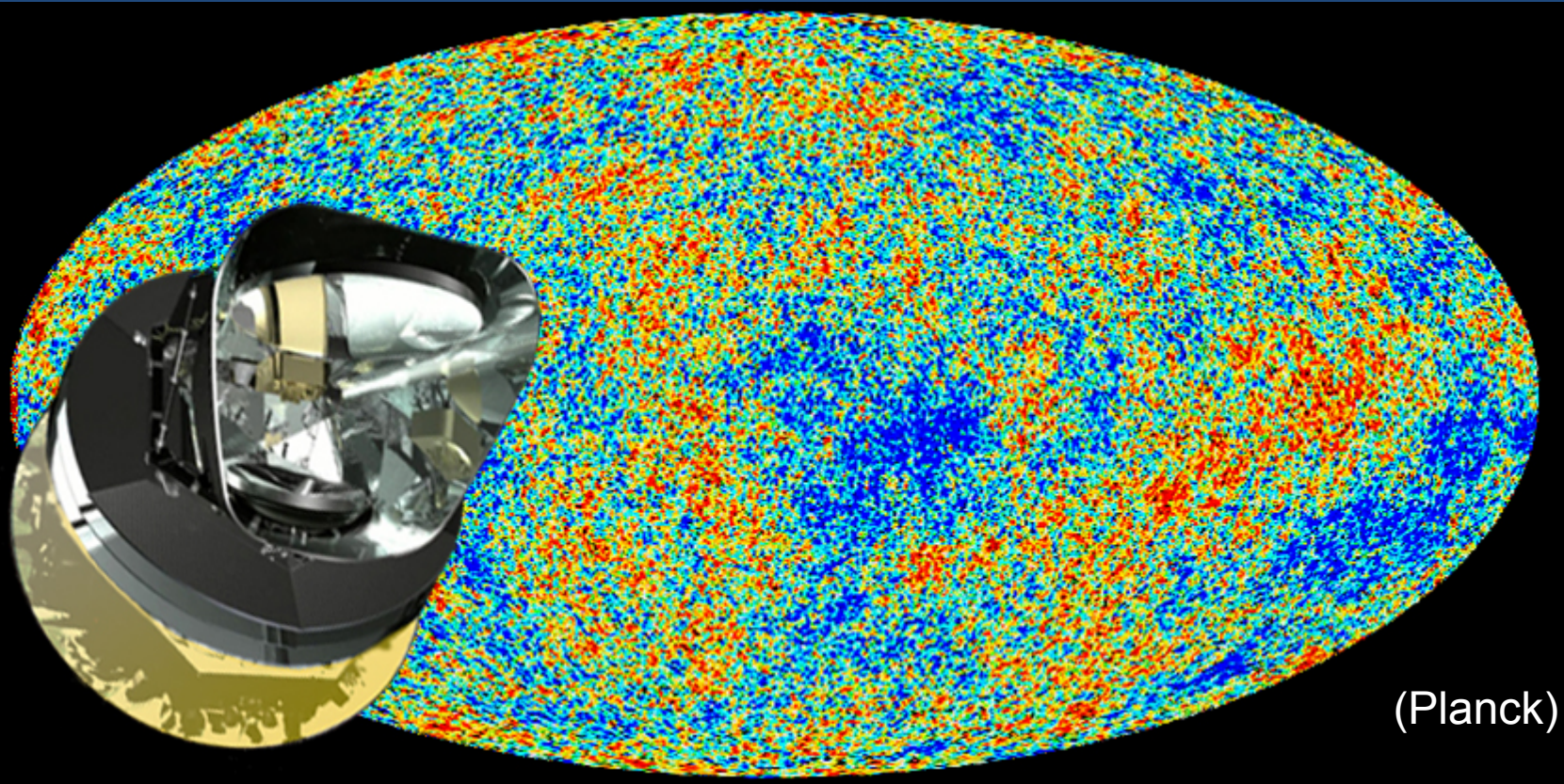
Реликтовые ГВ

- Первичные квантовые флуктуации пространства-времени
- Могут генерироваться до Большого Взрыва на стадии инфляции



(NASA)

След ГВ в флуктуациях реликтового излучения



- Специфический характер линейной поляризации

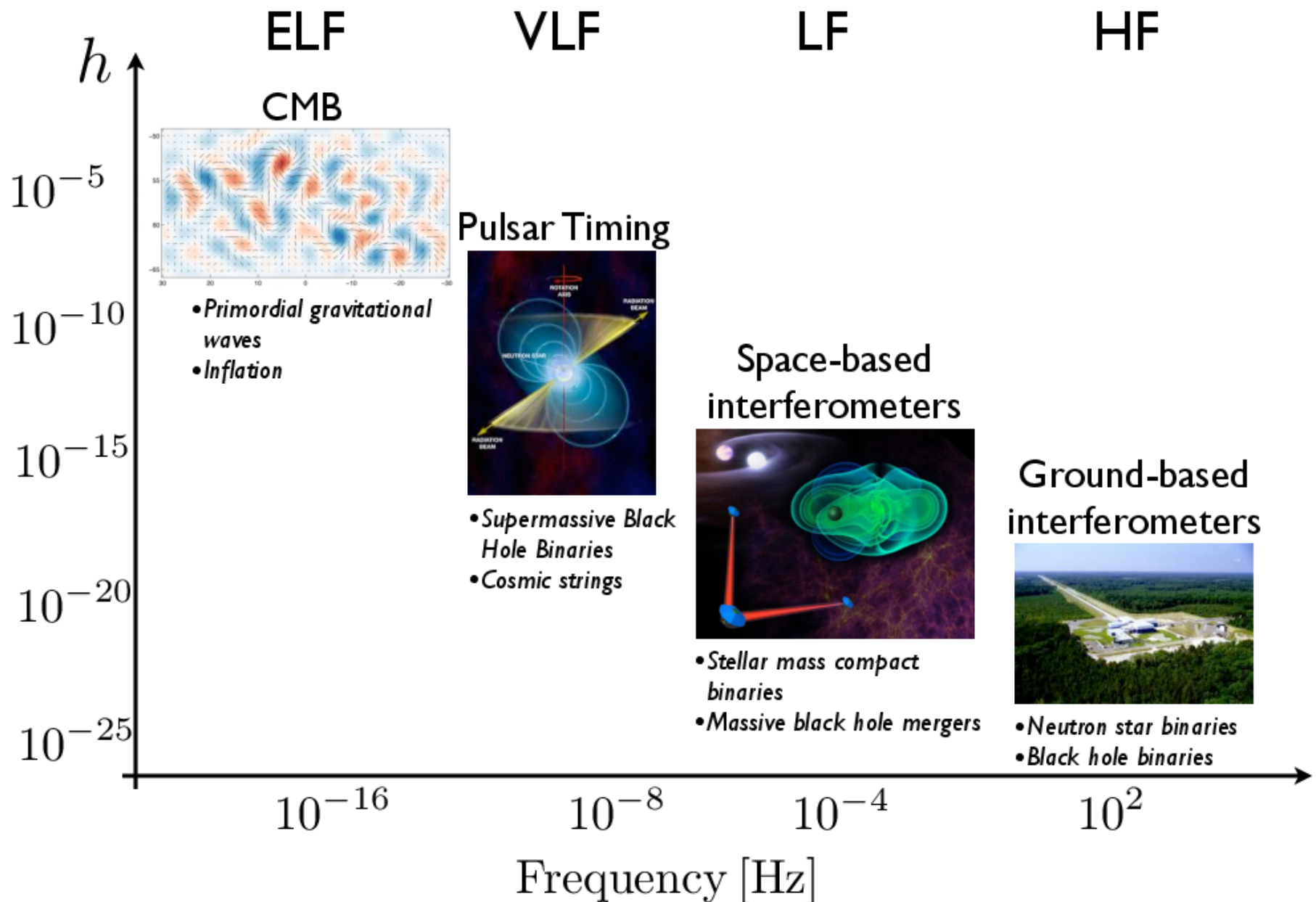
Поиск реликтовых ГВ



31.10.2014

Телескоп BISEP-2 на Южном полюсе

The big picture of gravitational wave astronomy



Заключение

- Гравитационно-волновая астрономия – наука 21 века
- Косвенное подтверждение реальности ГВ, предсказанных ОТО А. Эйнштейна в 1915 году, получено уже в начале 1990 гг по наблюдениям двойных пульсаров
- Прямая регистрация ГВ лазерными интерферометрами ведется с 2002 г.
- Ожидаем открытие через несколько лет!