



Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

Наблюдение гравитационных волн в эксперименте LIGO

Капитонов Ю.В.

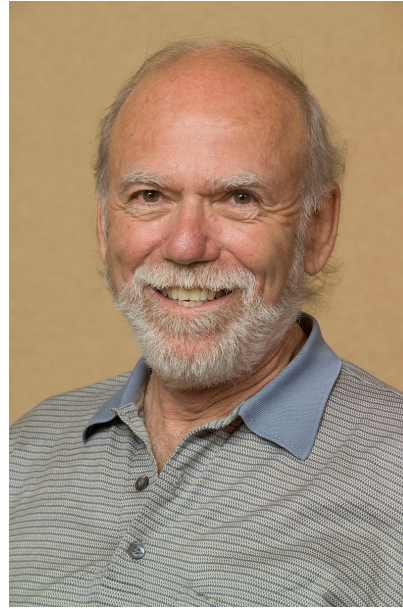
СПбГУ, Физический факультет, кафедра Фотоники

27.10.2017

1 Нобелевская премия по физике 2017



Райнер Вайсс (1/2)



Барри Бэриш (1/4)



Кип Торн (1/4)



«За решающий вклад в детектор LIGO и наблюдение гравитационных волн»

Гравитация в классической механике:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

Когда справедливо такое рассмотрение?

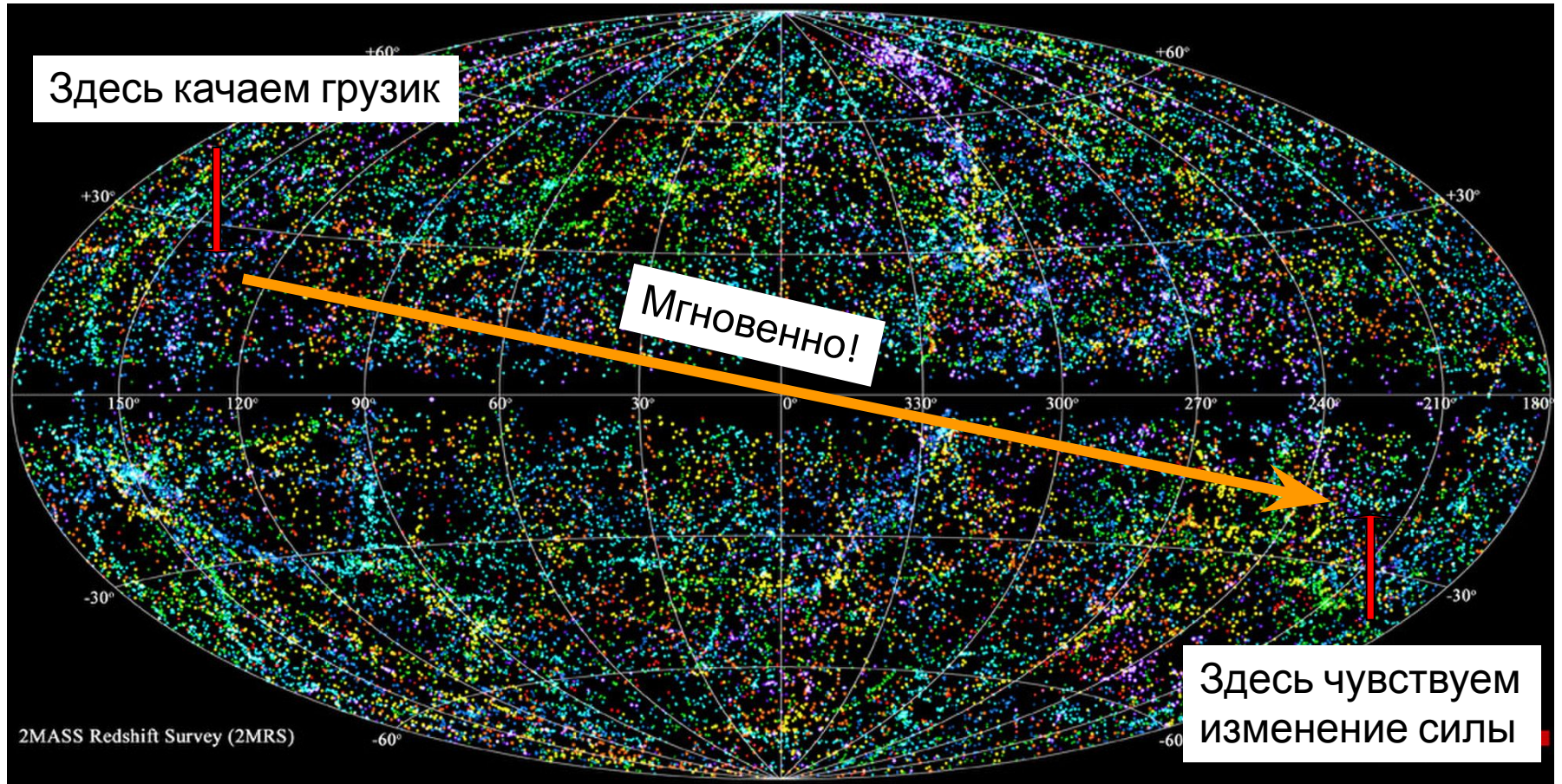
1. Малые массы (даже Солнце – малая масса).
2. Малые скорости движения ($v \ll c$).



3 Где начинаются проблемы?

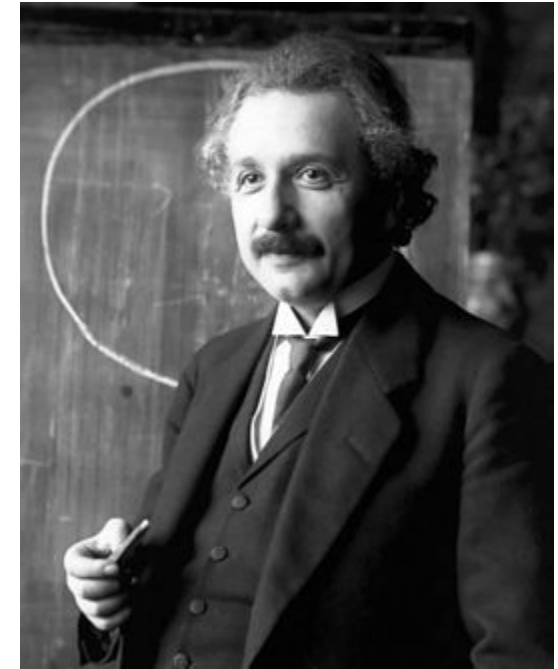
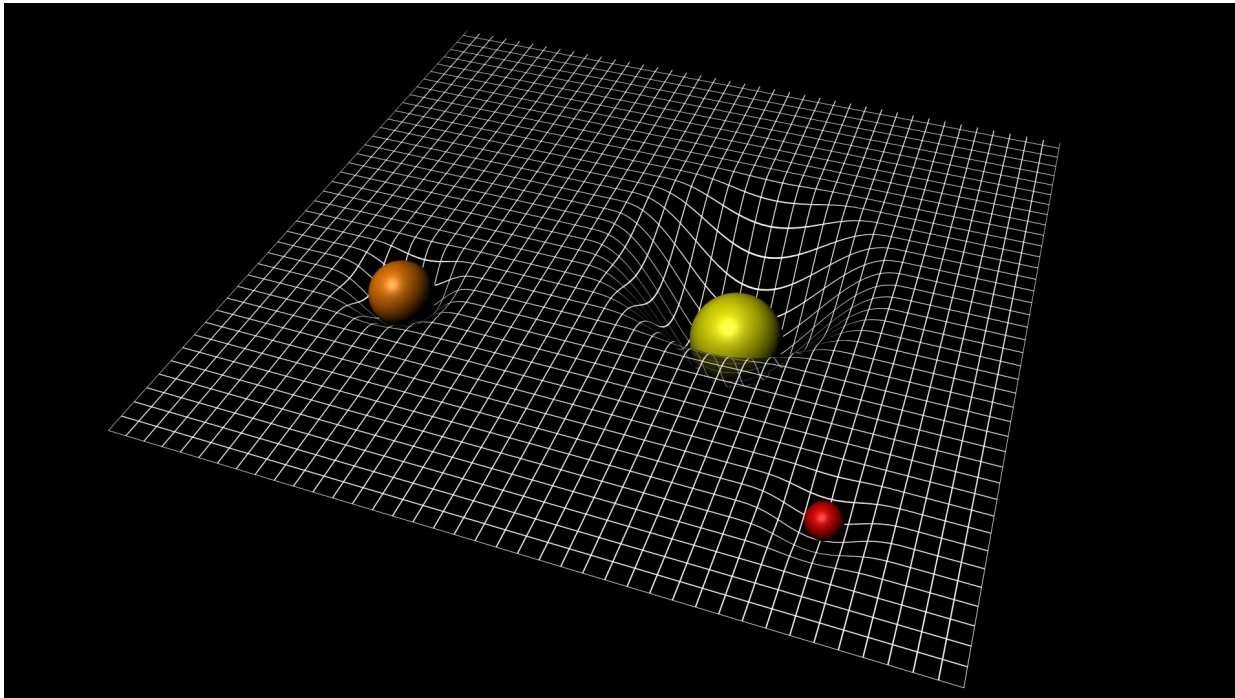
Классическая сила тяготения – далекодействующая сила

Карта вселенной



Никакое взаимодействие не может распространяться быстрее скорости света!

Пришлось ввести пространство-время



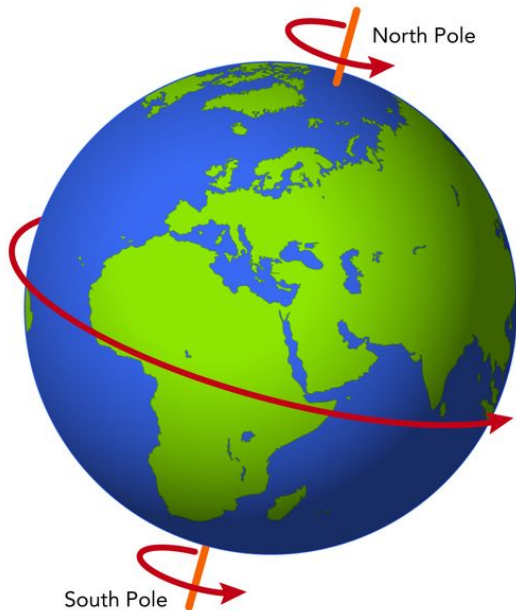
Масса приводит к искривлению пространства вокруг себя...

5 Появление волн

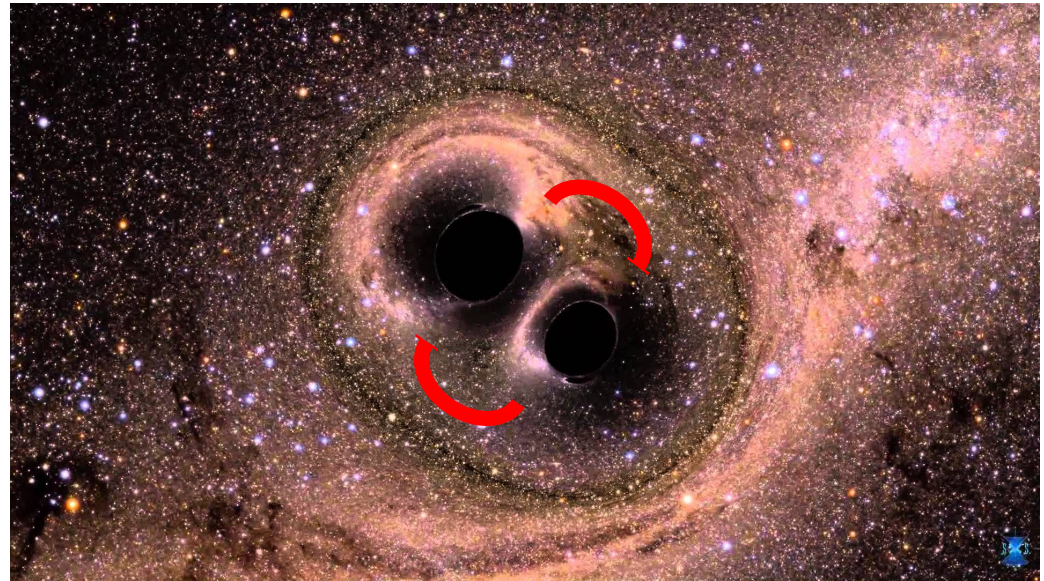
Скорость конечна – могут появиться волны!

Гравитационные волны возникают при сферически-несимметричном ускоренном движении.

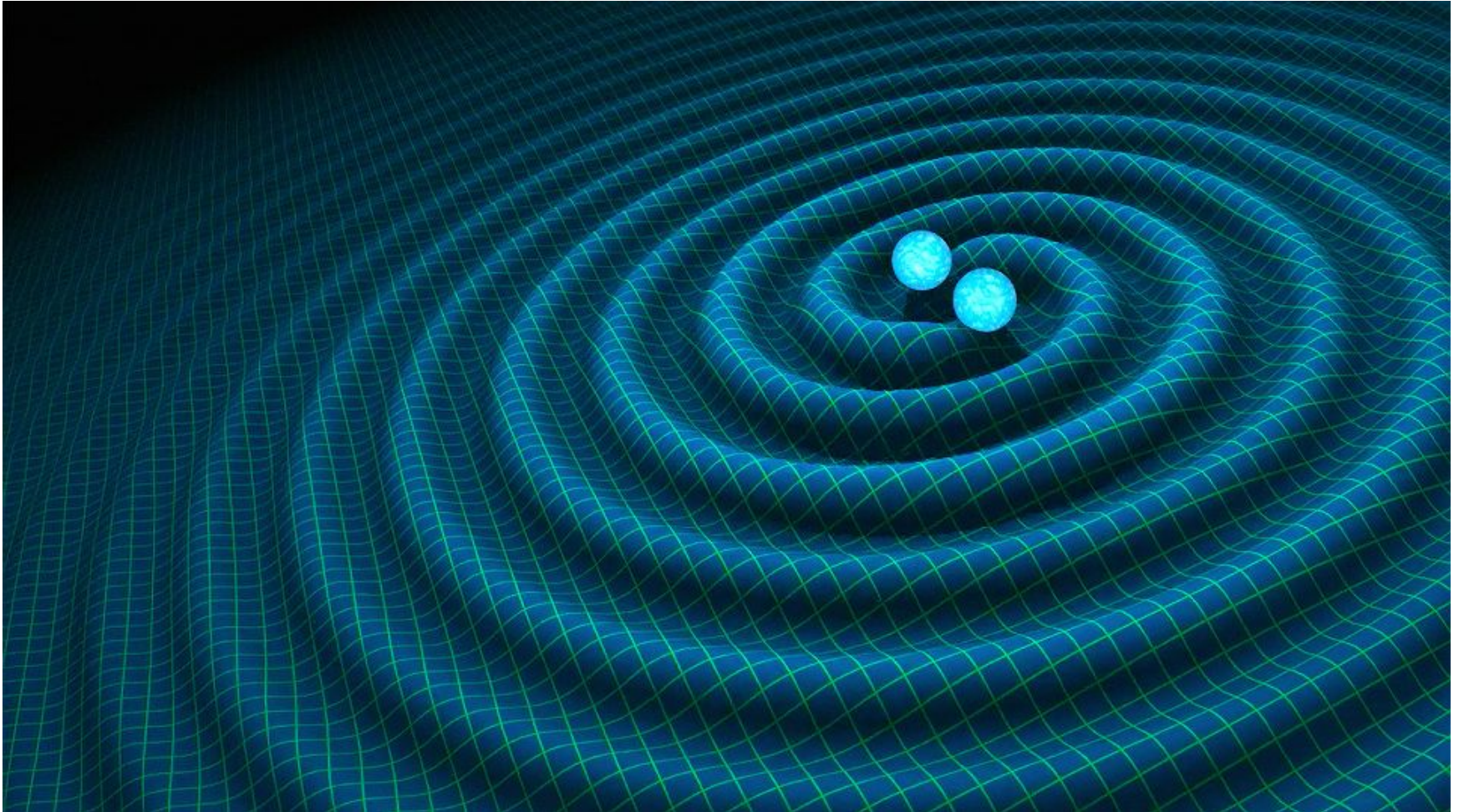
Тут волн не будет!



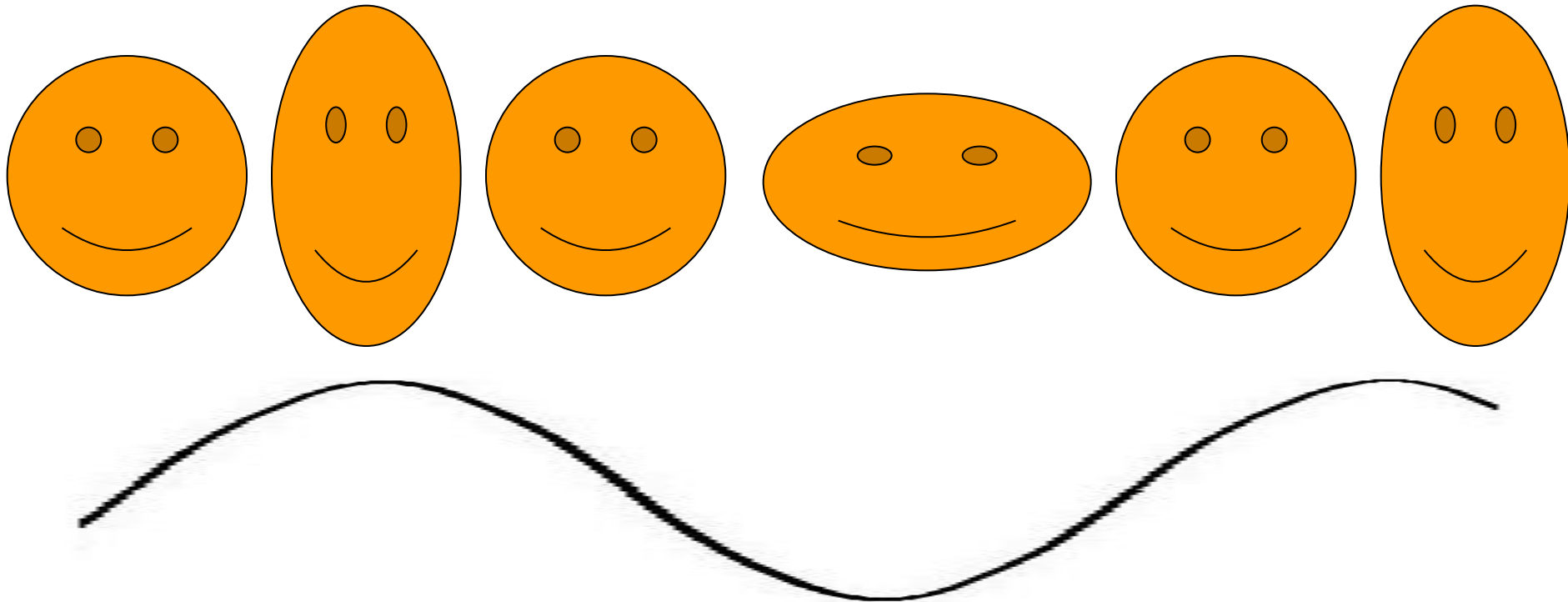
А тут волны пойдут!



«Рябь пространства-времени»

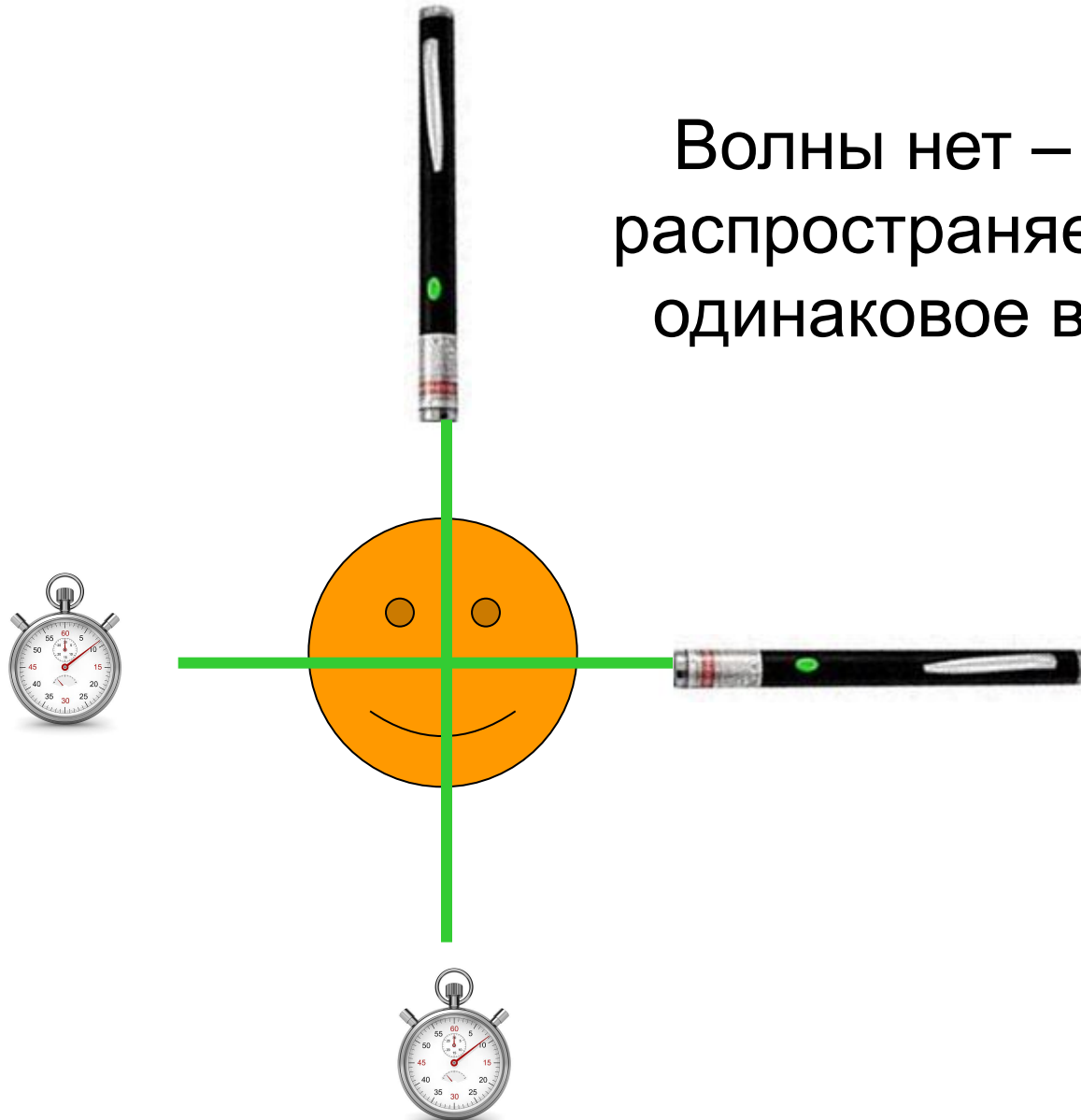


Гравитационные волны искажают пространство
одновременно по двум координатам



8 Как увидеть гравитационную волну?

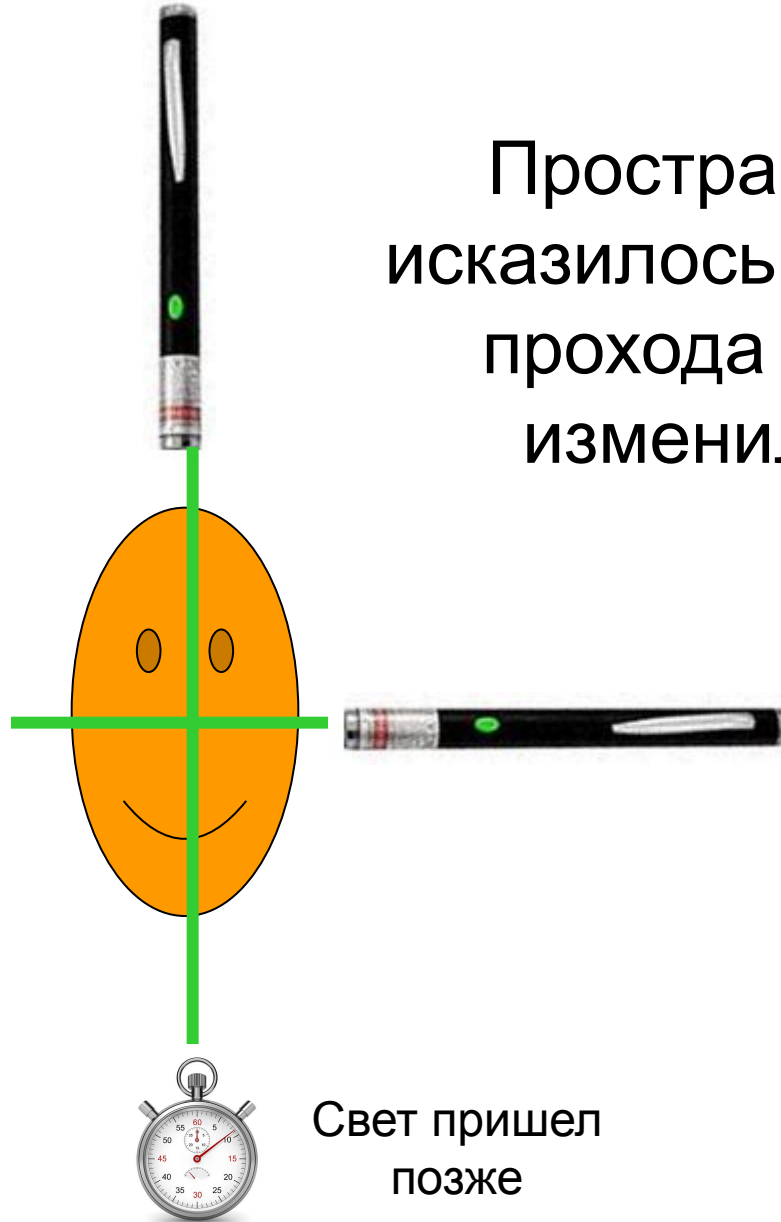
Волны нет – свет
распространяется за
одинаковое время



8 Как увидеть гравитационную волну?

Пространство
искажилось – время
прохода света
изменилось

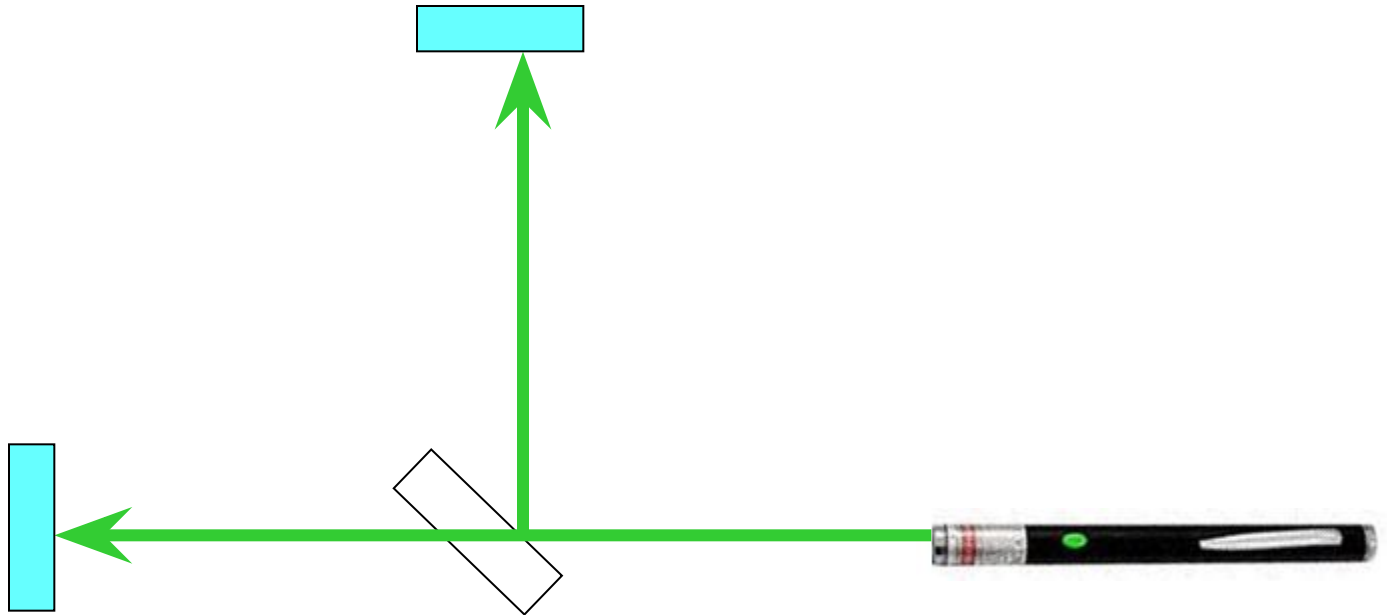
Свет пришел
раньше



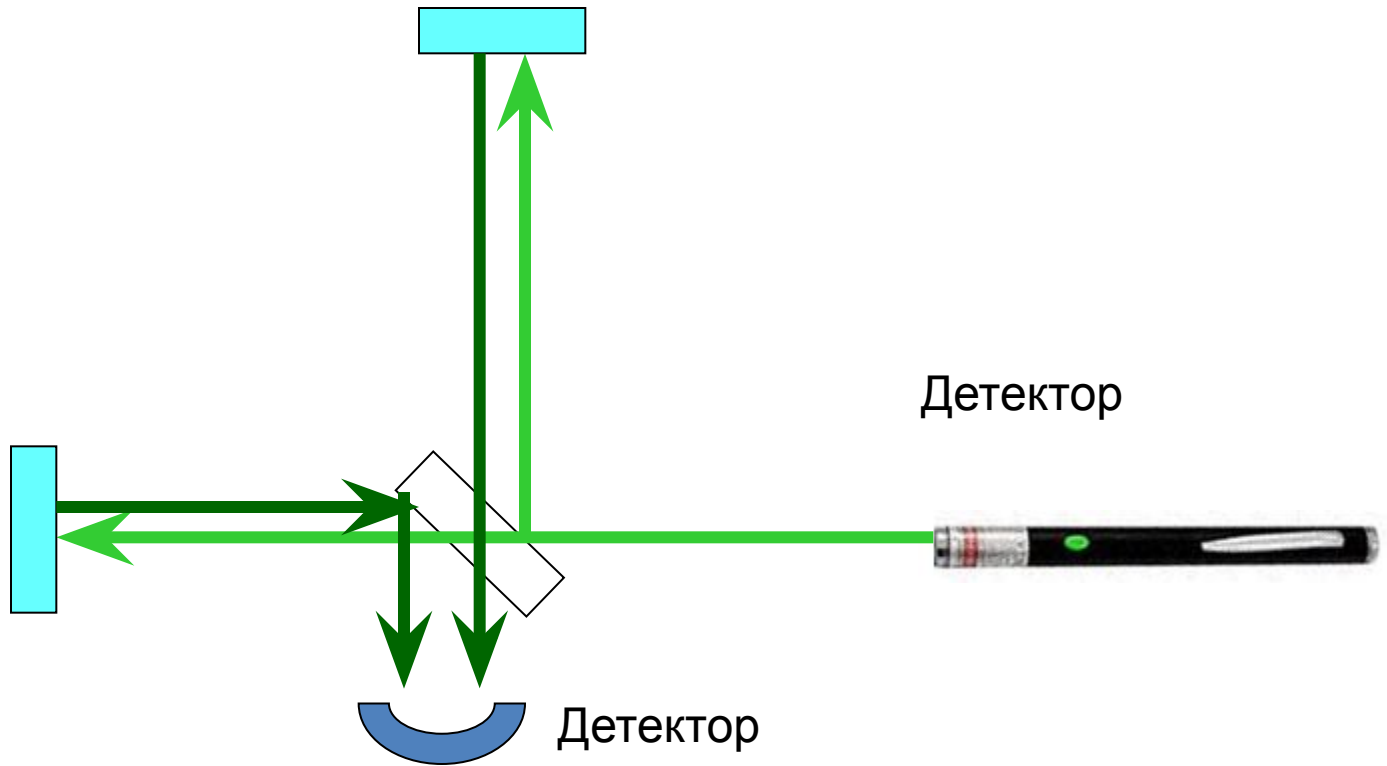
Свет пришел
позже

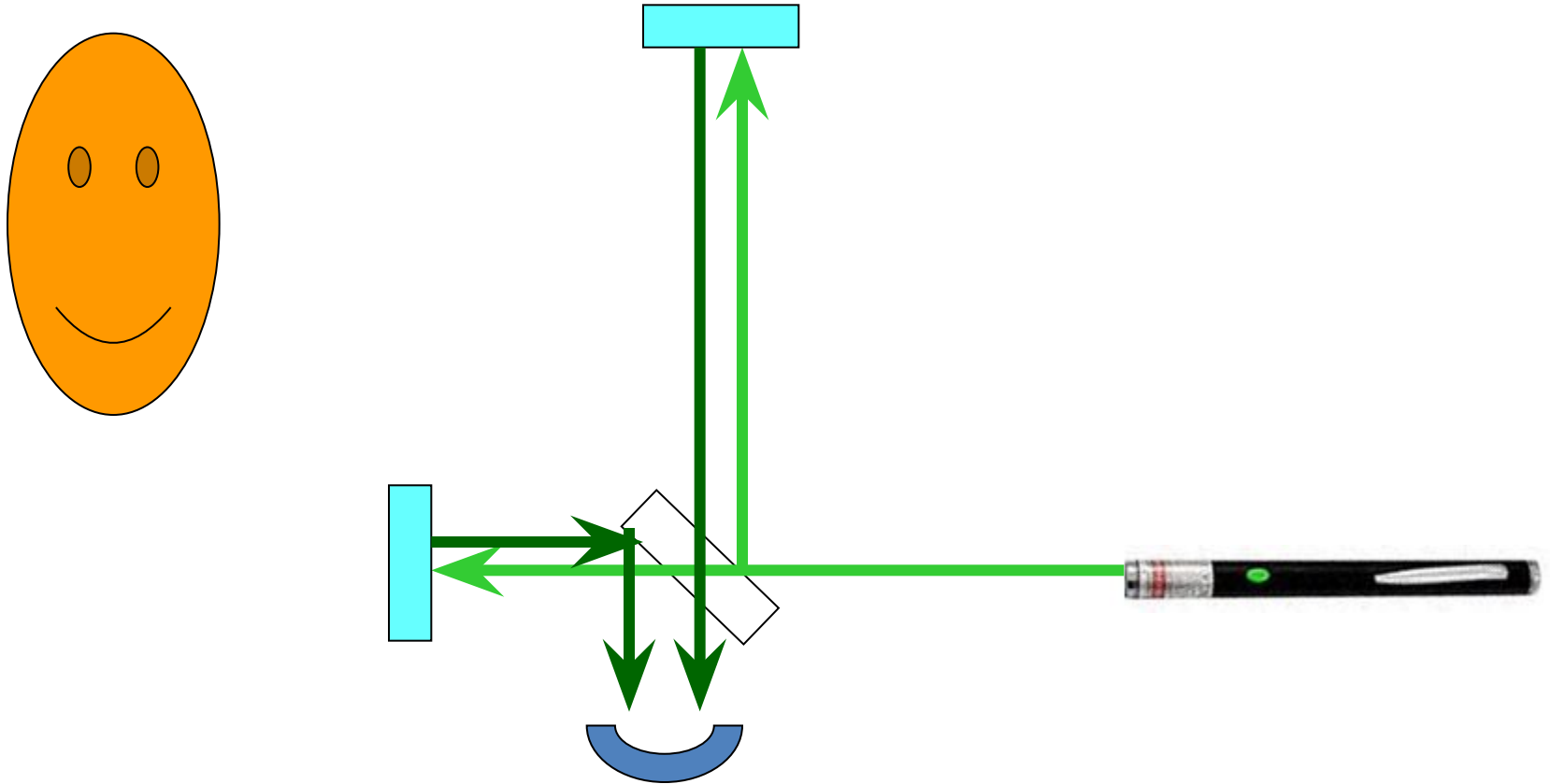


9 Интерферометр Майкельсона



9 Интерферометр Майкельсона



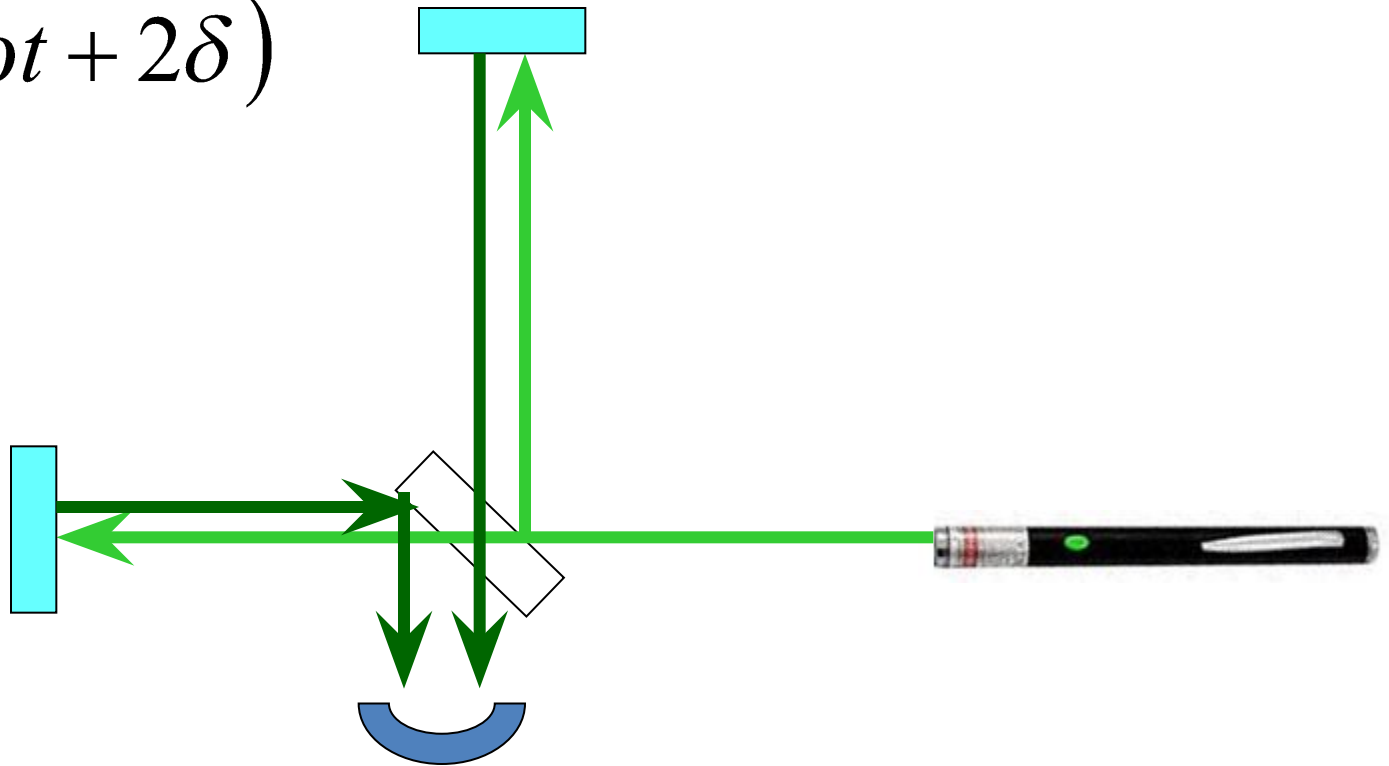


Как изменятся показания детектора?

11 Интерференция

$$E_1 = \sin(\omega t - 2\delta)$$

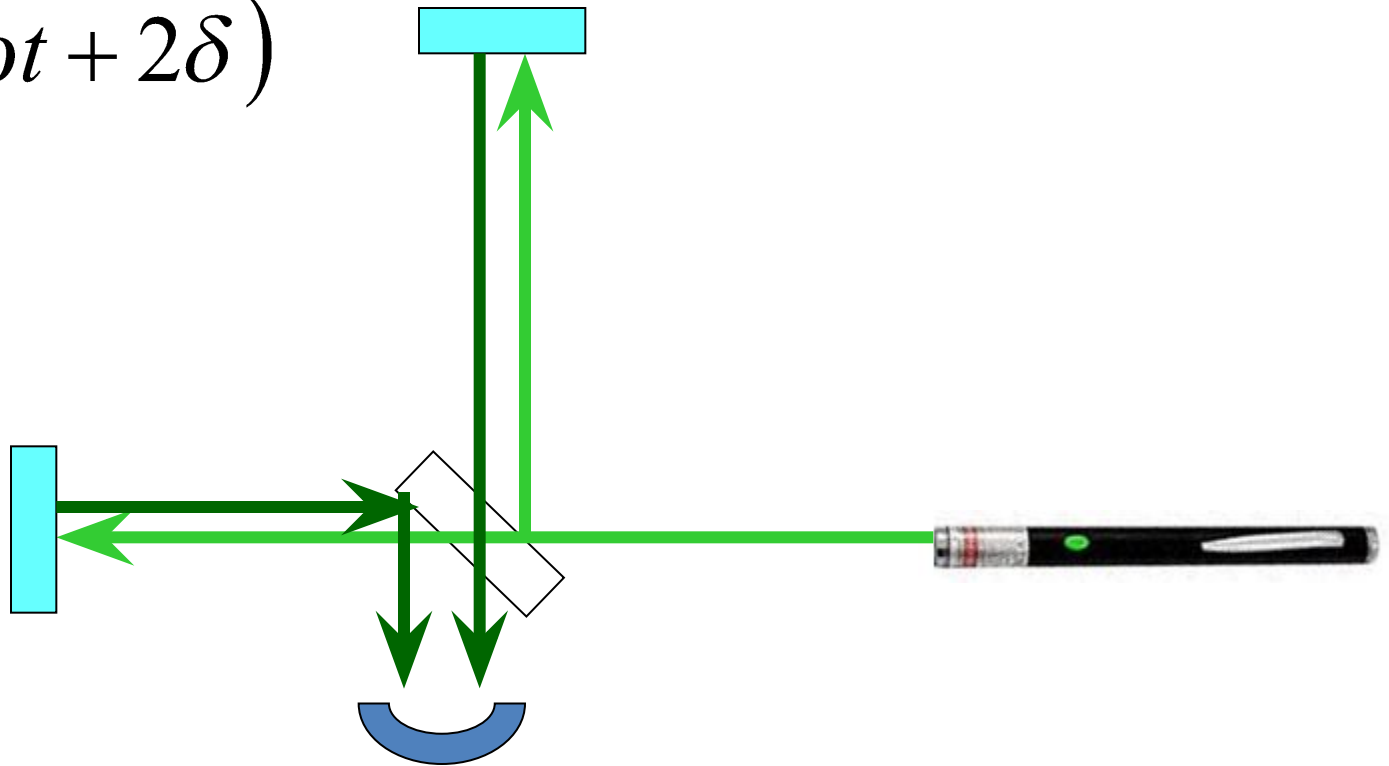
$$E_2 = \sin(\omega t + 2\delta)$$



11 Интерференция

$$E_1 = \sin(\omega t - 2\delta)$$

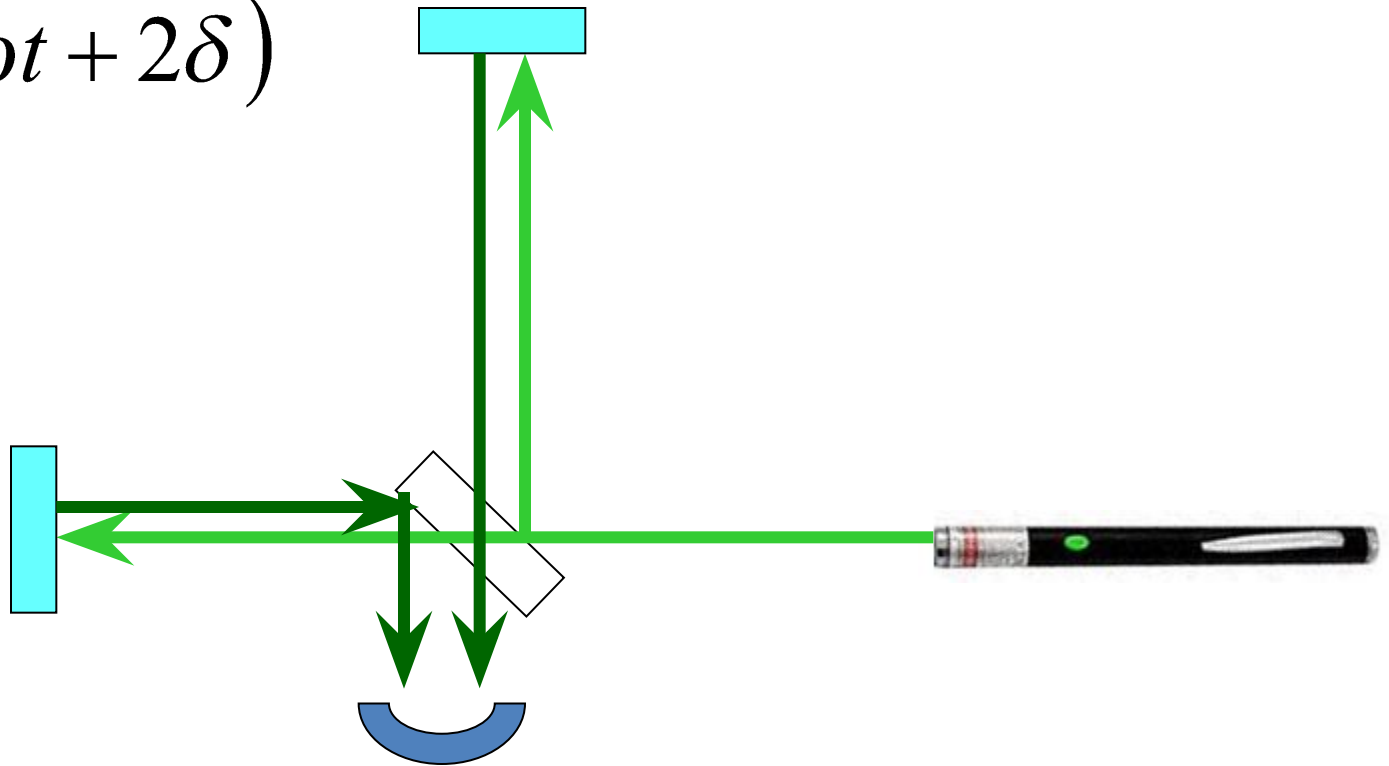
$$E_2 = \sin(\omega t + 2\delta)$$



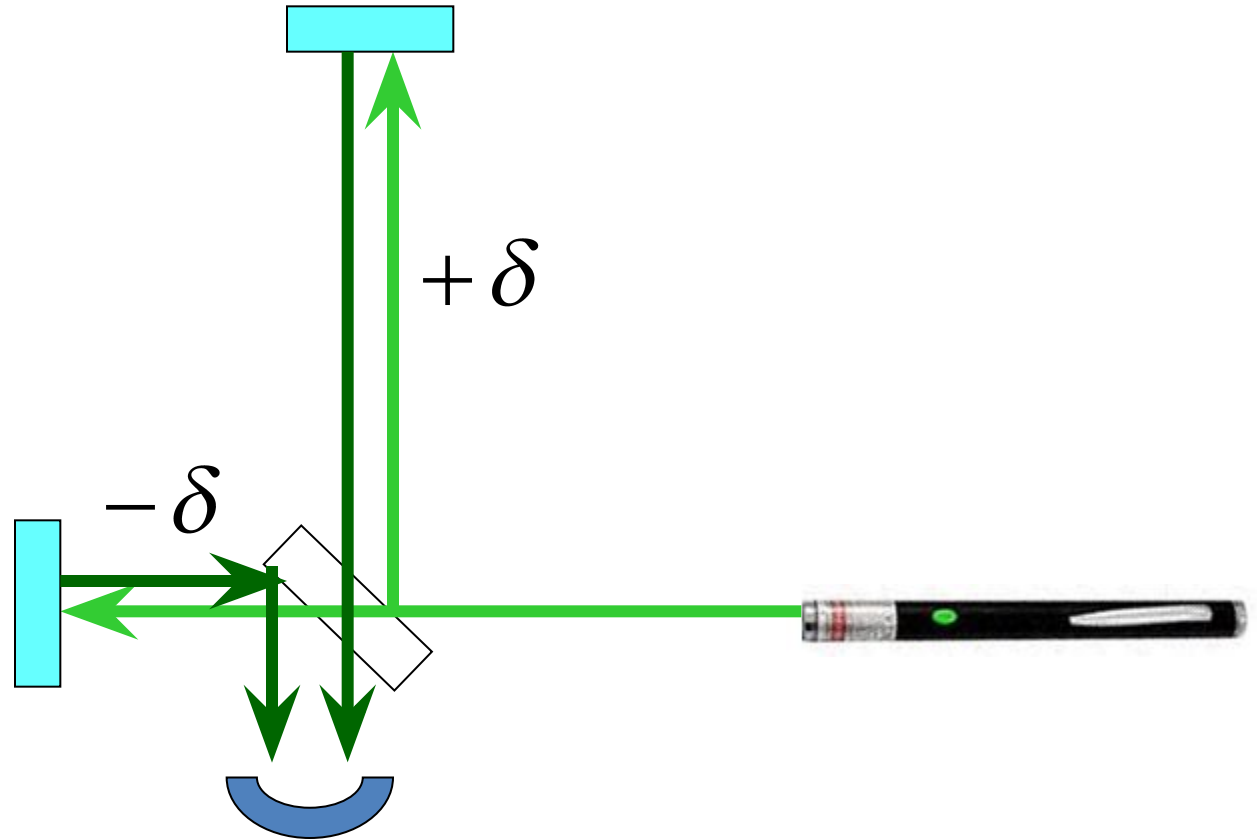
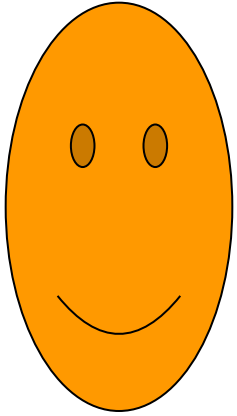
$$I = (E_1 + E_2)^2$$

$$E_1 = \sin(\omega t - 2\delta)$$

$$E_2 = \sin(\omega t + 2\delta)$$



$$I = (E_1 + E_2)^2 = (2 \sin(\omega t) \cos(2\delta))^2$$

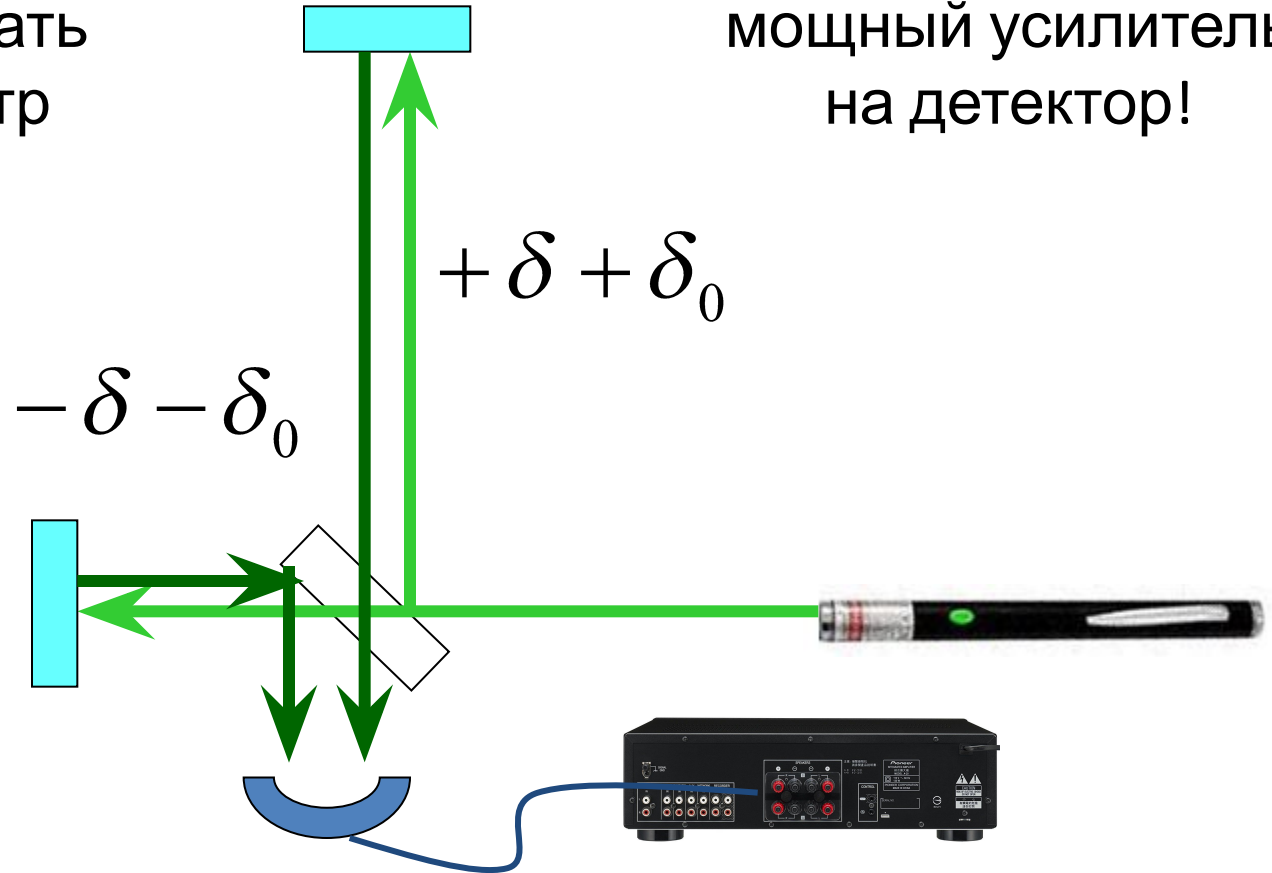


$$I = (E_1 + E_2)^2 = (2 \sin(\omega t) \cos(2\delta))^2$$

13 Увеличение чувствительности

Немного
разбалансировать
интерферометр
заранее

$$\delta_0 = \frac{\pi}{4}$$



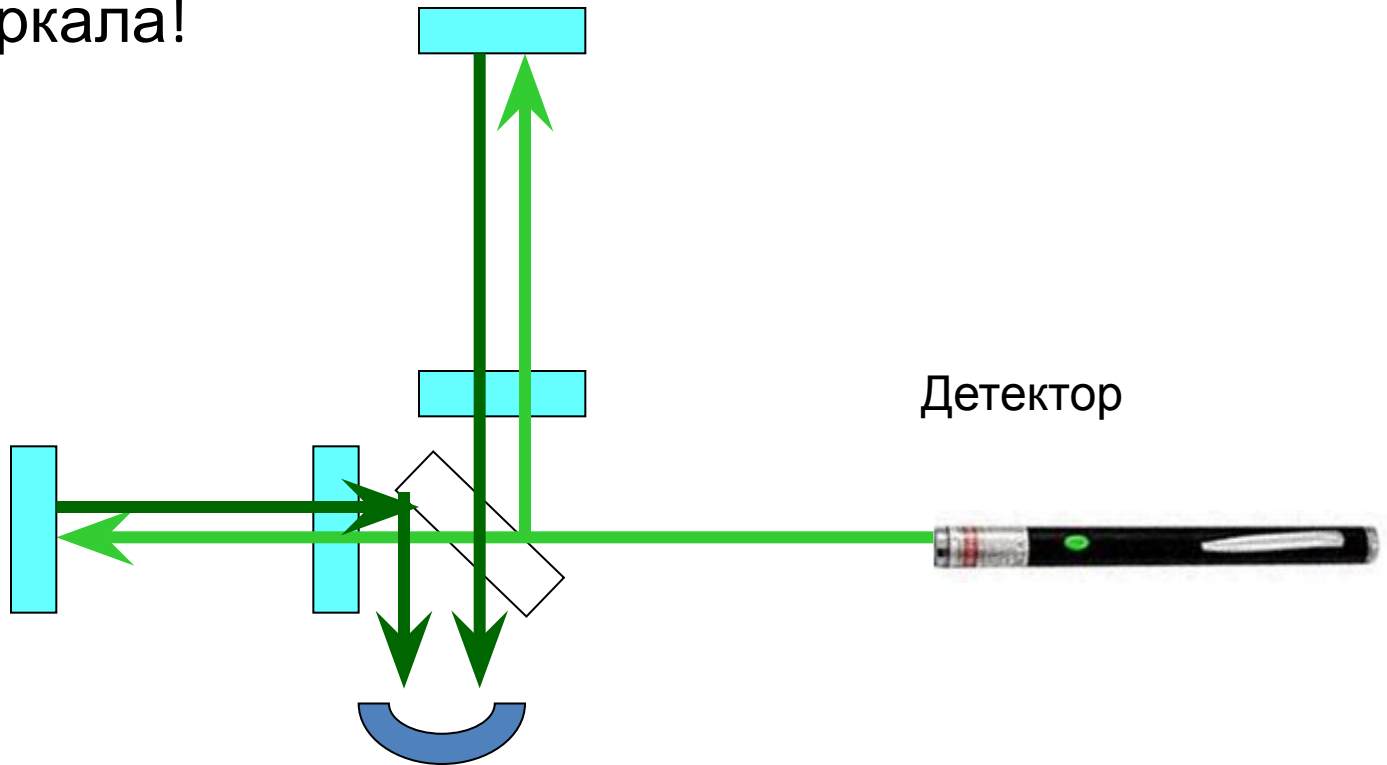
И поставить
мощный усилитель
на детектор!

$$I = (E_1 + E_2)^2 = (2 \sin(\omega t) \cos(2(\delta + \delta_0)))^2$$

Тогда без волны сигнал будет ноль

14 Увеличение чувствительности

Можно добавить
еще два зеркала!



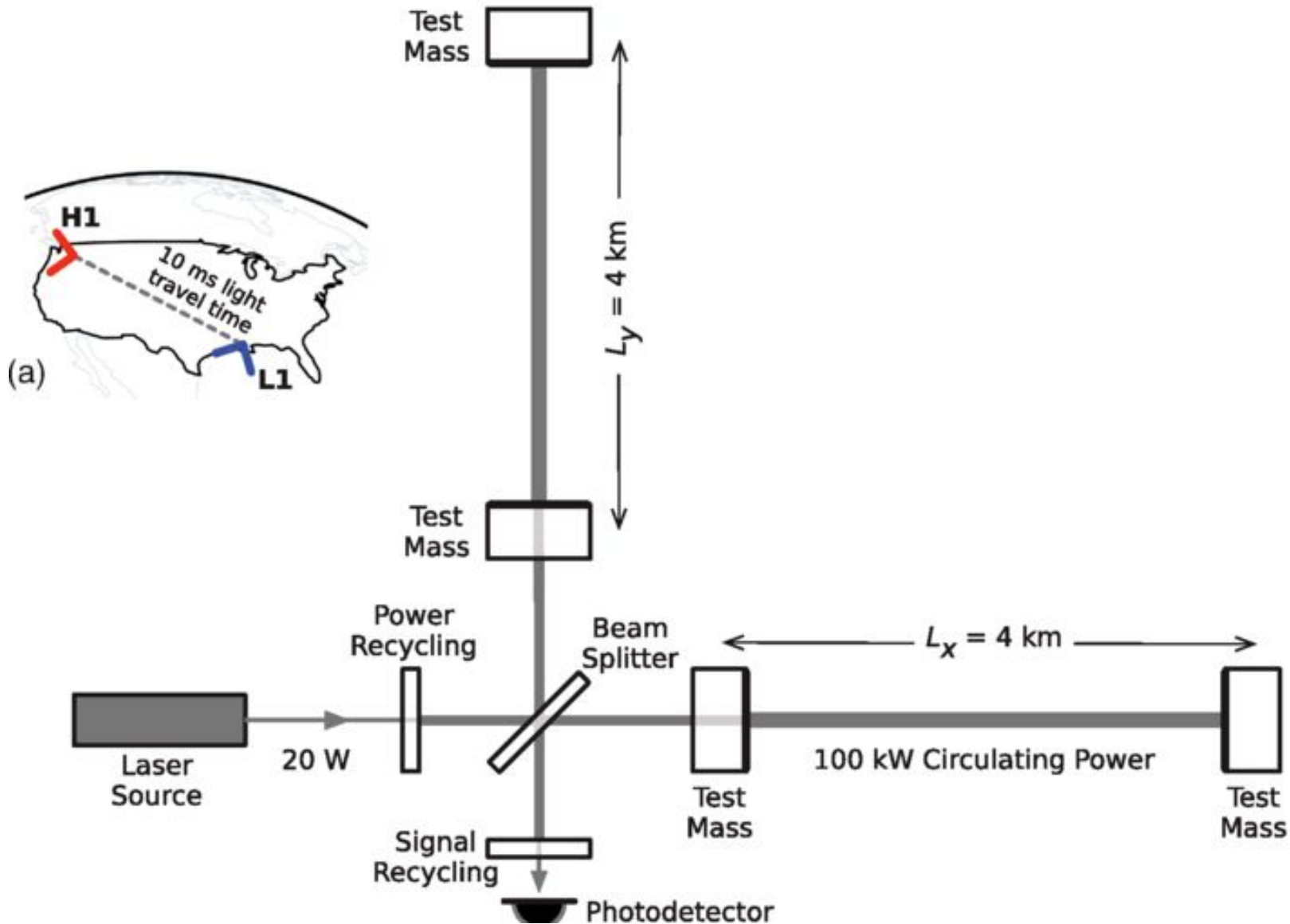
Тогда свет будет многократно ходить вдоль плеча, и сдвиг фаз будет накапливаться

15 Пора строить интерферометр

LIGO: Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory



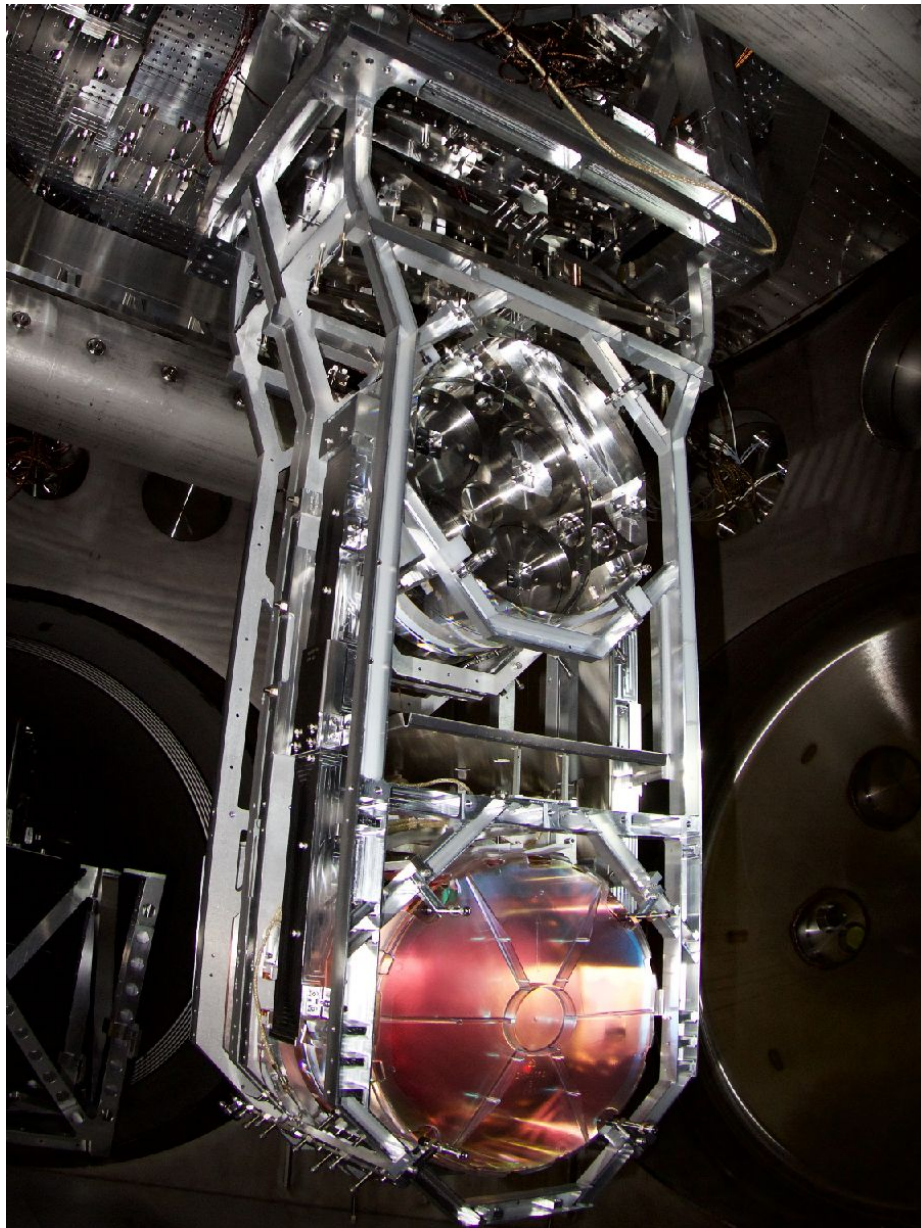
16 Реальная схема



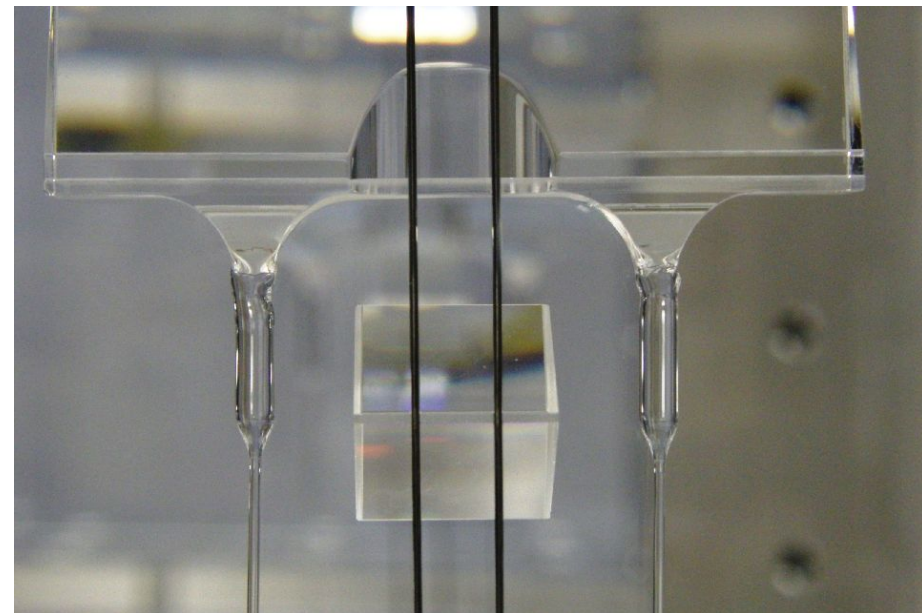
17 Плечо интерферометра



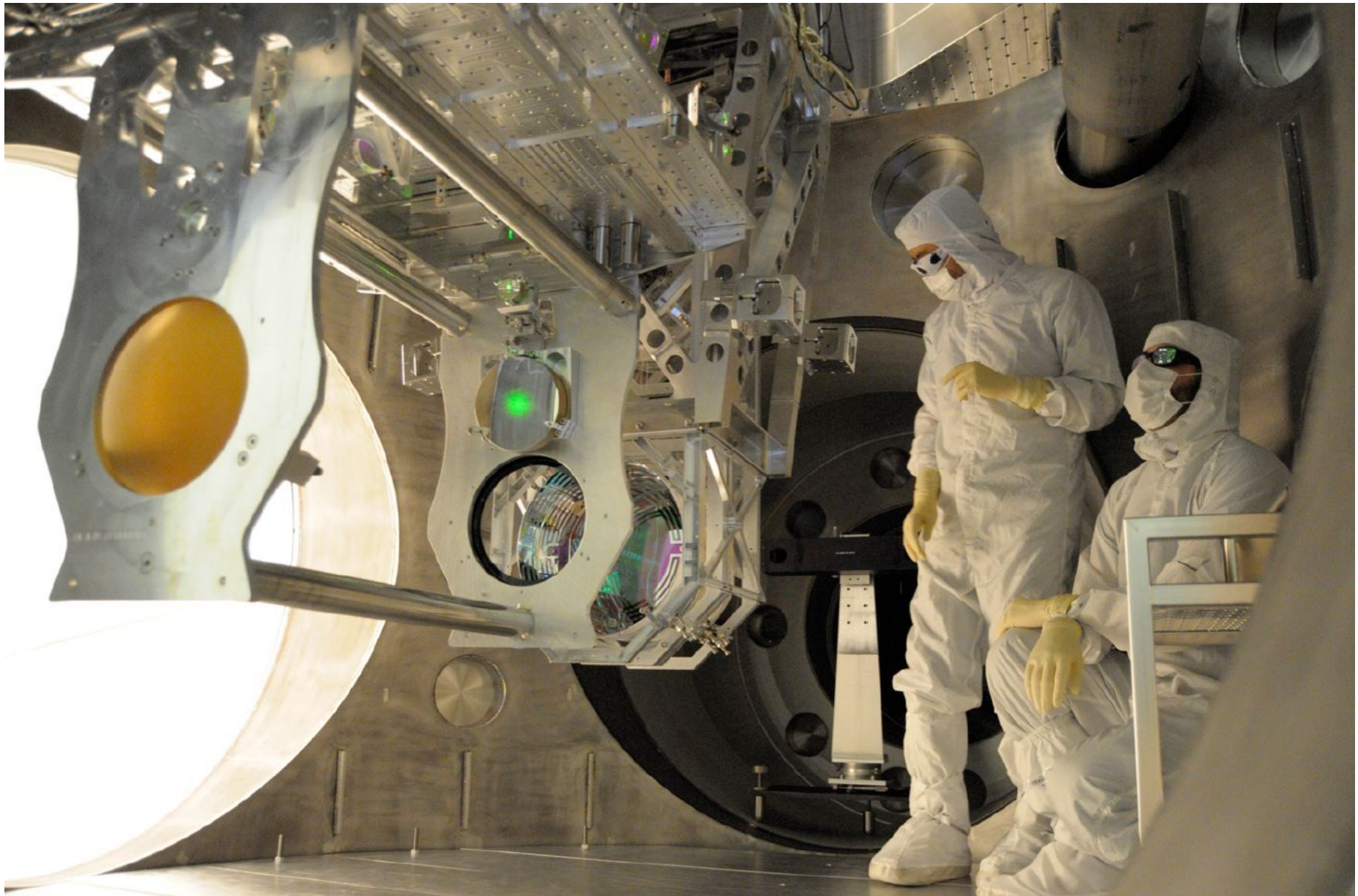
18 Торцевое зеркало



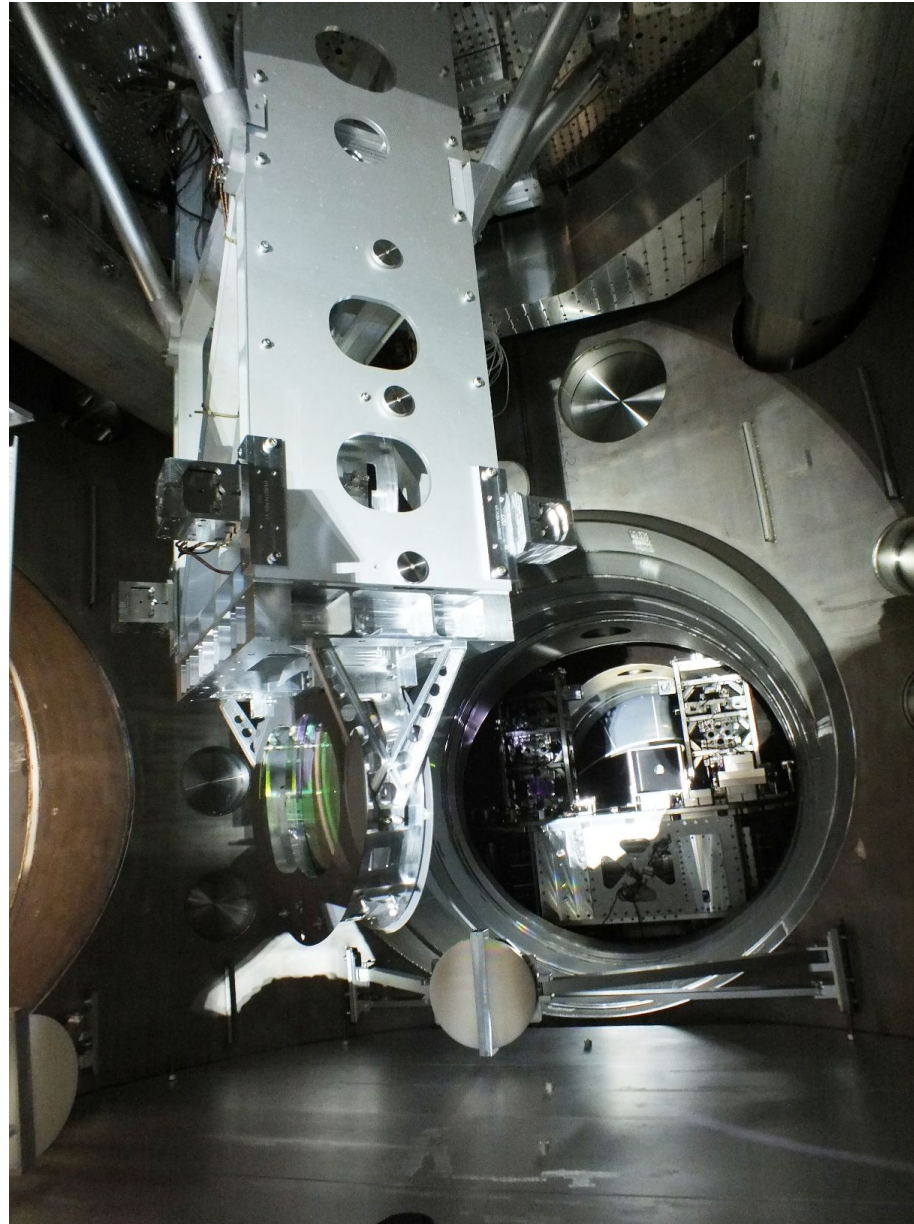
Подвес зеркала



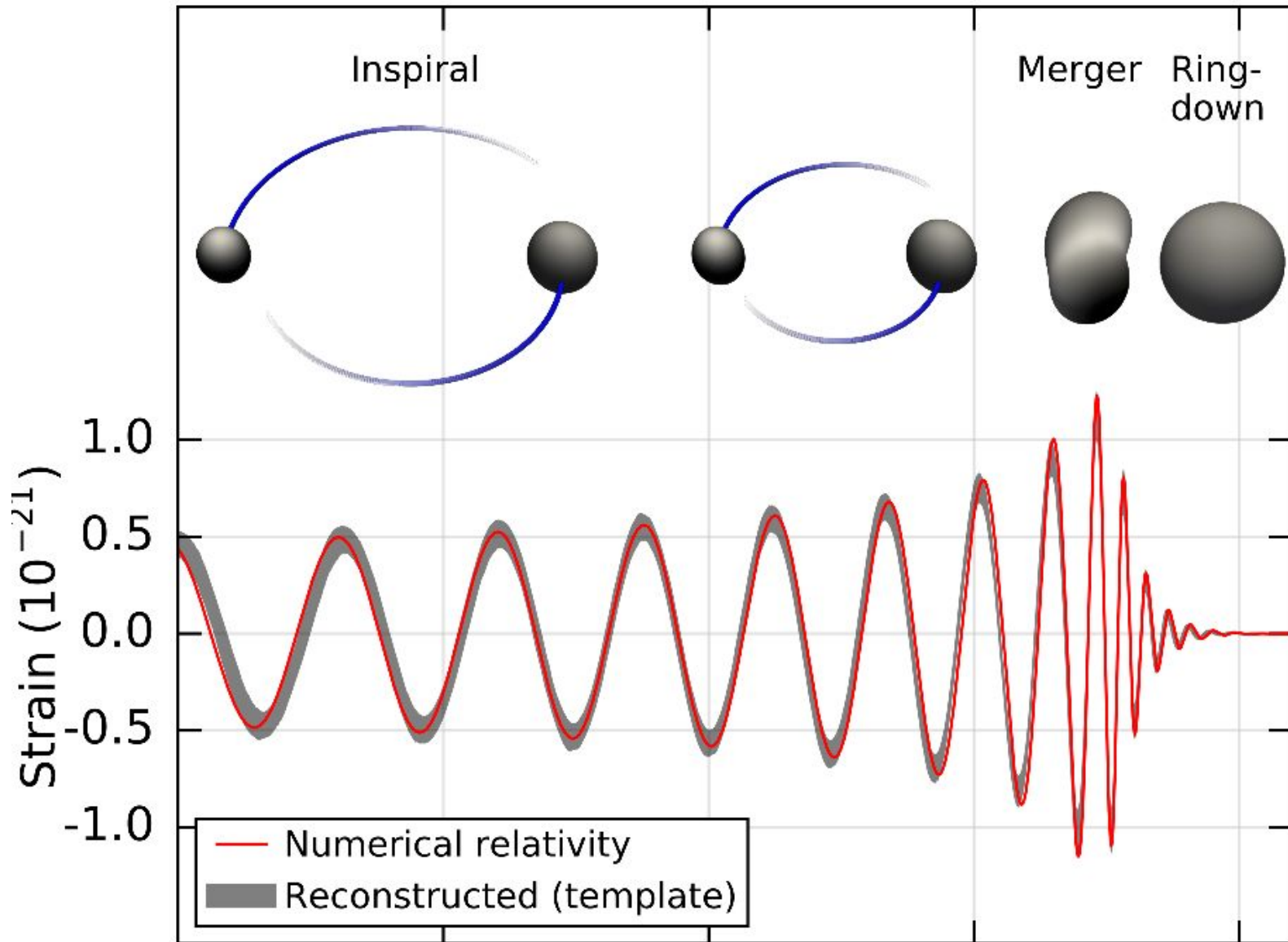
19 Тестирование зеркала



20 Делитель пучка



21 Слияние черных дыр

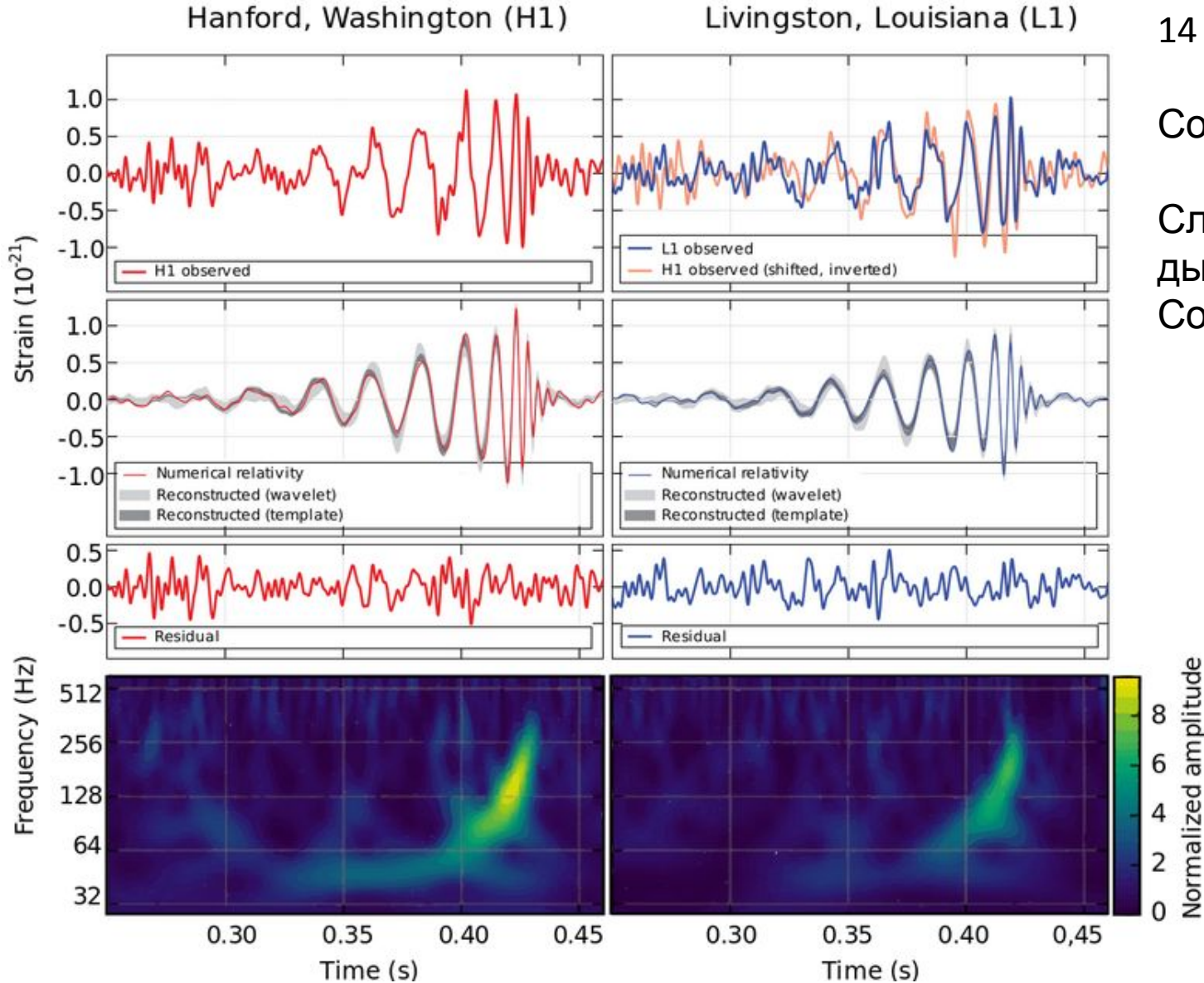


22 Первый сигнал

14 сентября 2015 г.

Событие GW150914

Слияние черных дыр в 36 и 29 масс Солнца



На сегодняшний день: 5 событий зафиксировано

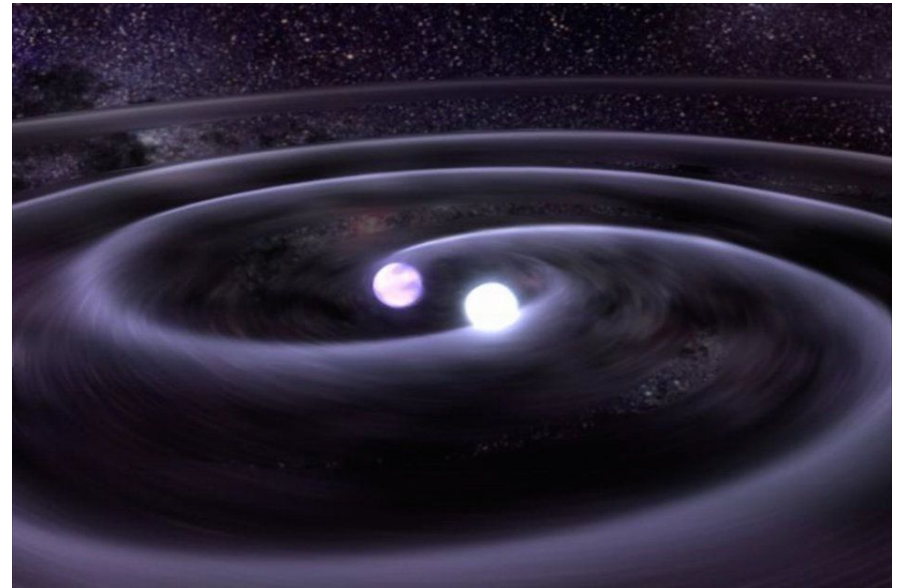
Например, GW170817: слияние двух нейтронных звезд (успели их увидеть и в телескопы спустя 1.5 часа)

Изначальный диаметр области поиска – 120 лун

Перспективы LIGO:

- Увеличение чувствительности (= исследуемого объема) на порядок
- Строительство еще одного LIGO в Индии
- Строительство «LIGO» в космосе

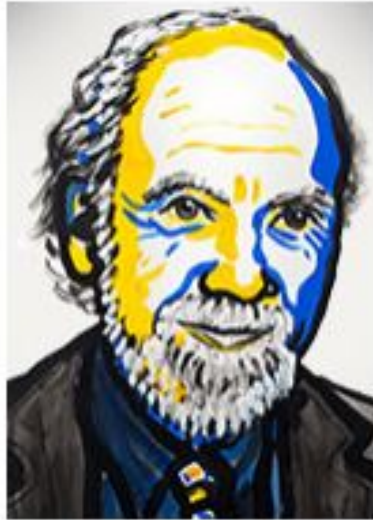
Гравитационно-
волновая астрономия!



The Nobel Prize in Physics 2017



Rainer Weiss
Prize share: 1/2



Barry C. Barish
Prize share: 1/4



Kip S. Thorne
Prize share: 1/4

Спасибо за внимание!