Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

Наблюдение гравитационных волн в эксперименте LIGO

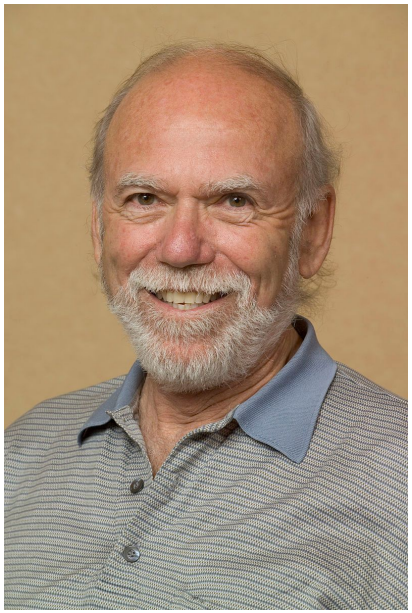
Капитонов Ю.В.

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:

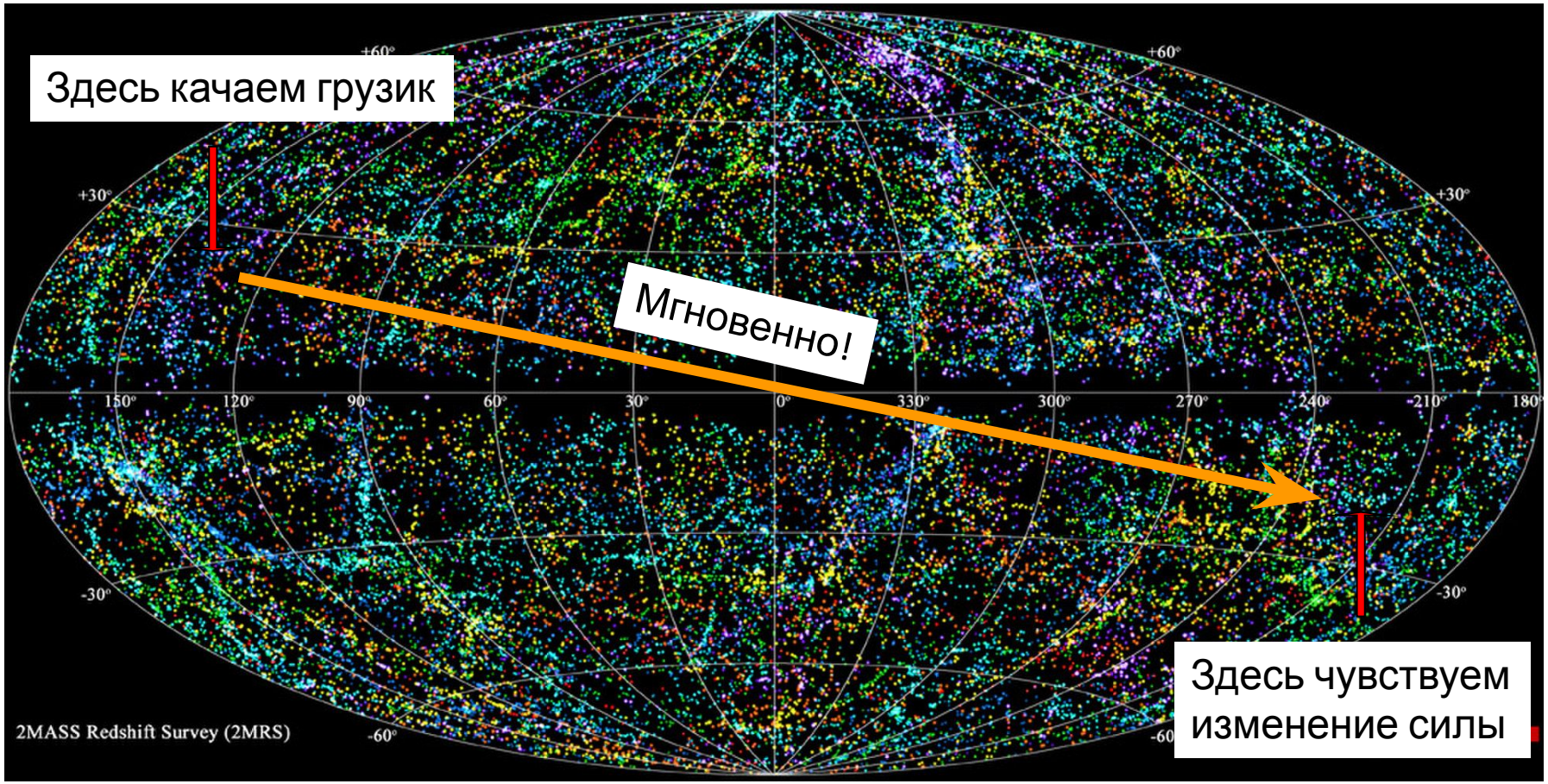
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

Когда справедливо такое рассмотрение?

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

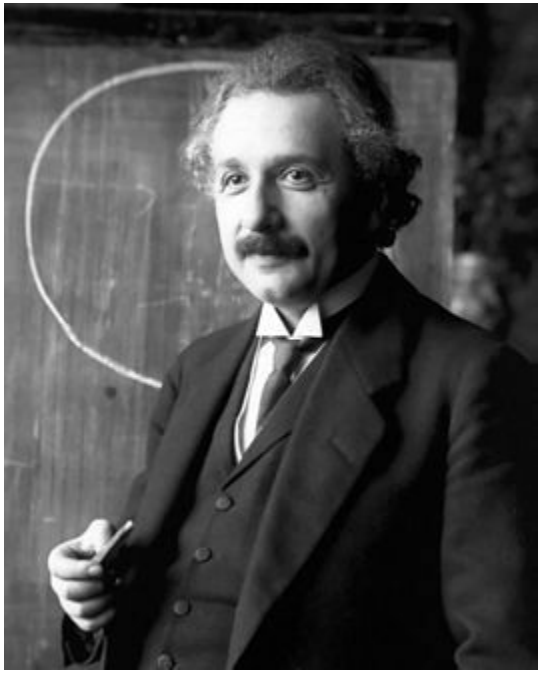
Классическая сила тяготения – дальнодействующая сила

Карта вселенной

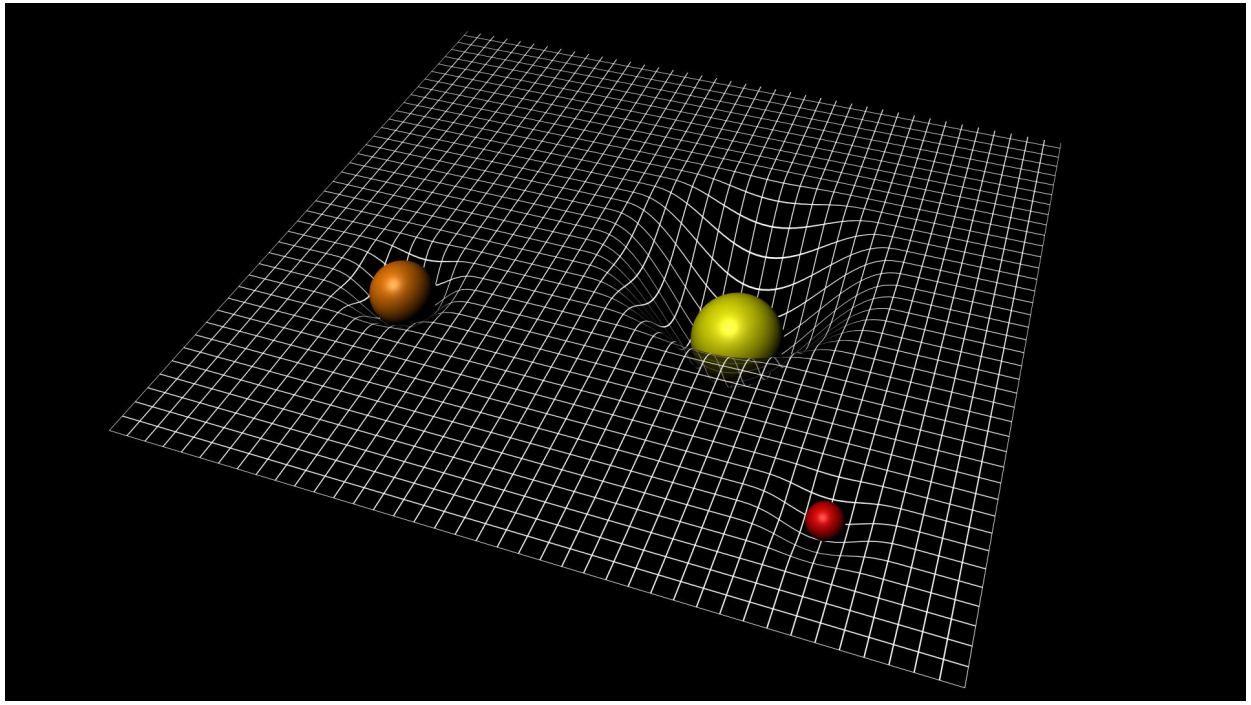


Общая теория относительности

Никакое взаимодействие не может распространяться быстрее скорости света!



Пришлось ввести пространство-время



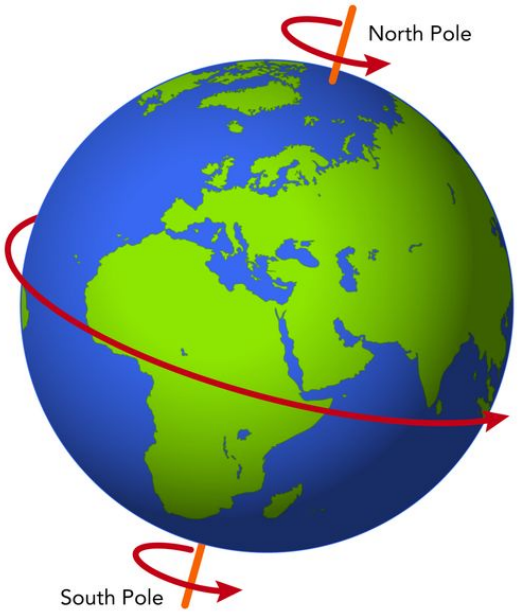
Масса приводит к искривлению пространства вокруг себя…

Появление волн

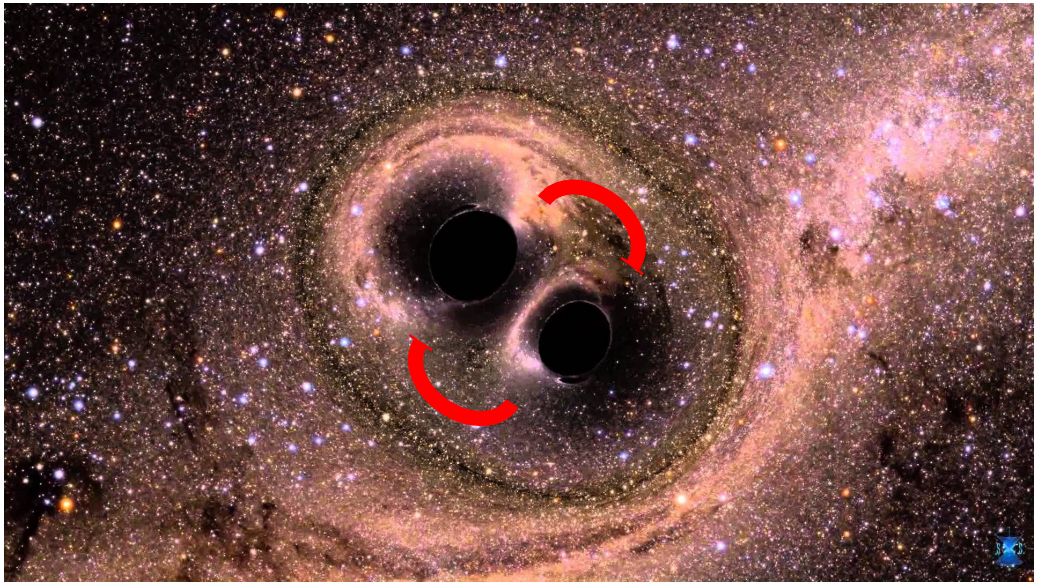
Скорость конечна – могут появиться волны!

Гравитационные волны возникают при сферически-несимметричном ускоренном движении.

Тут волн не будет!

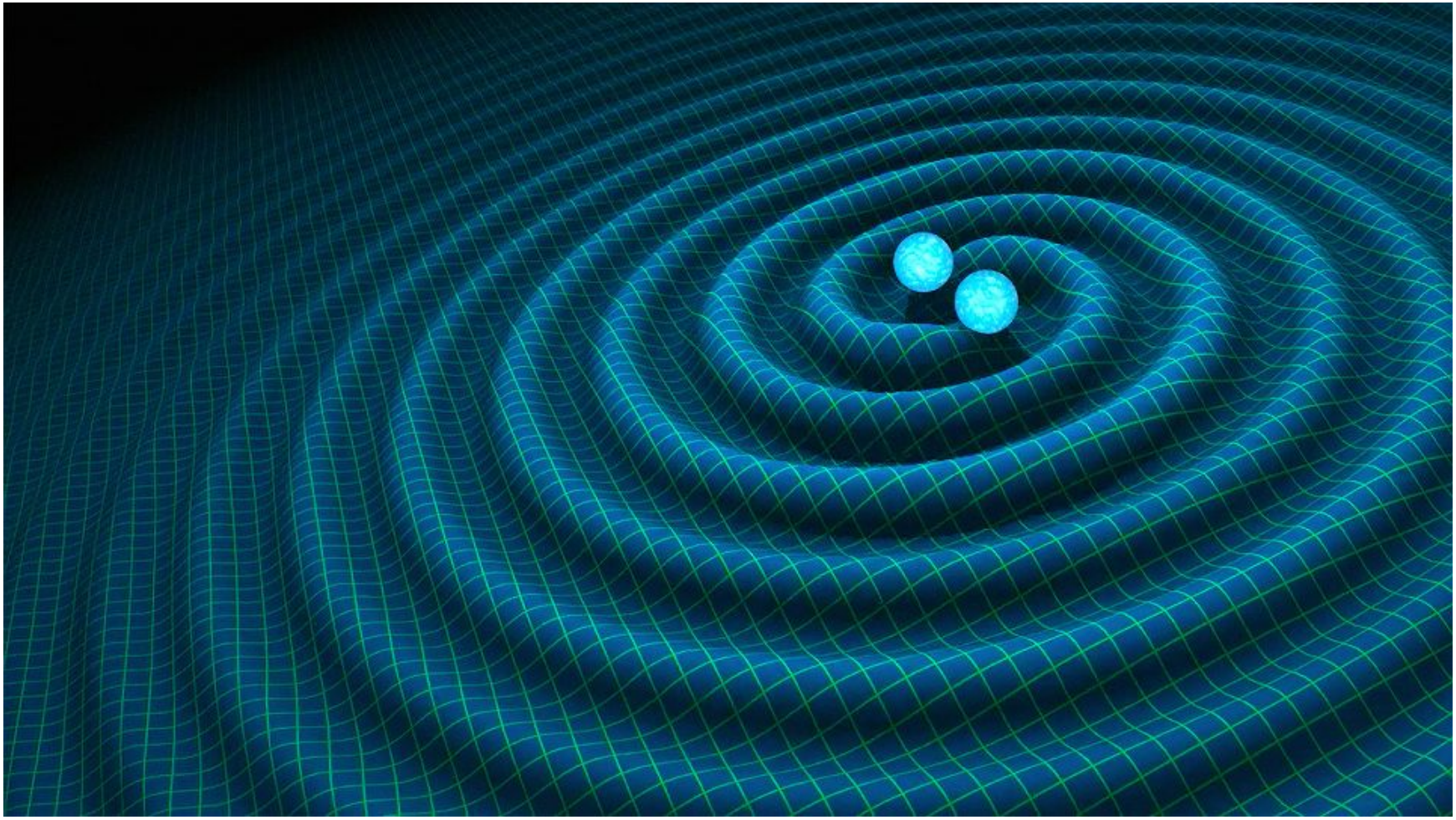


А тут волны пойдут!



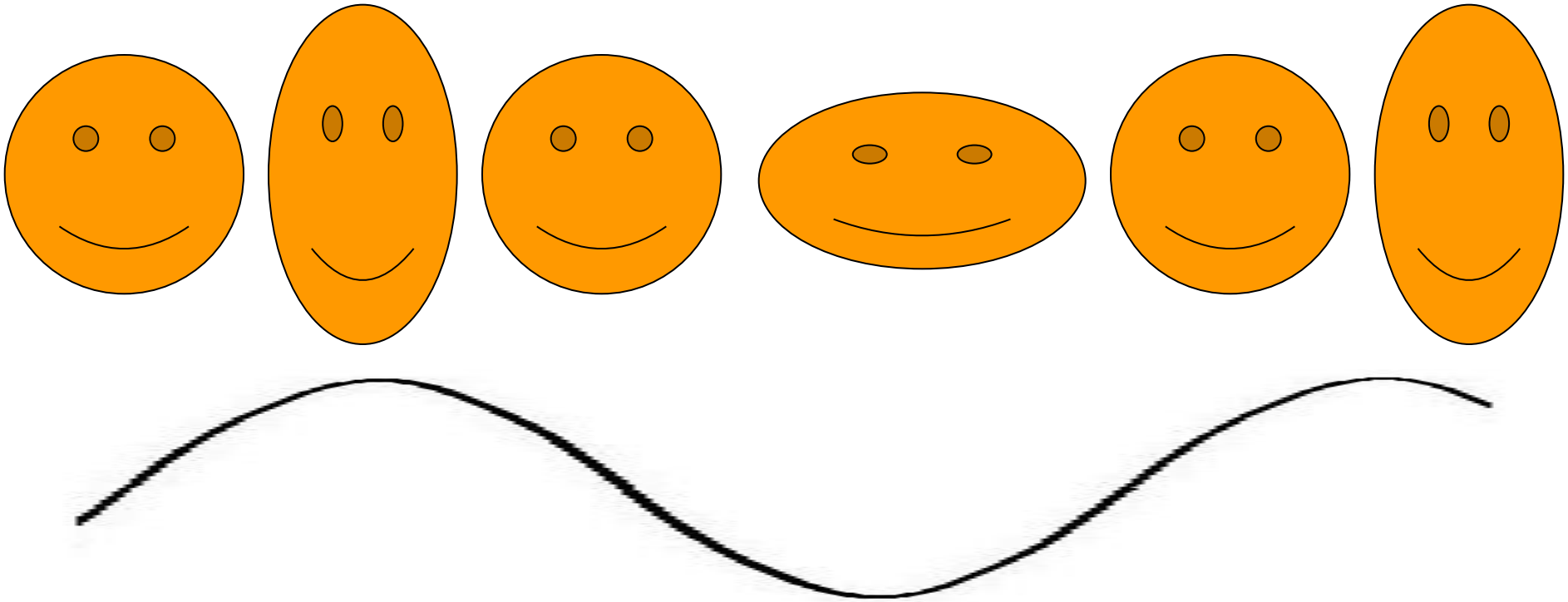
Волны от системы двух черных дыр

«Рябь пространства-времени»

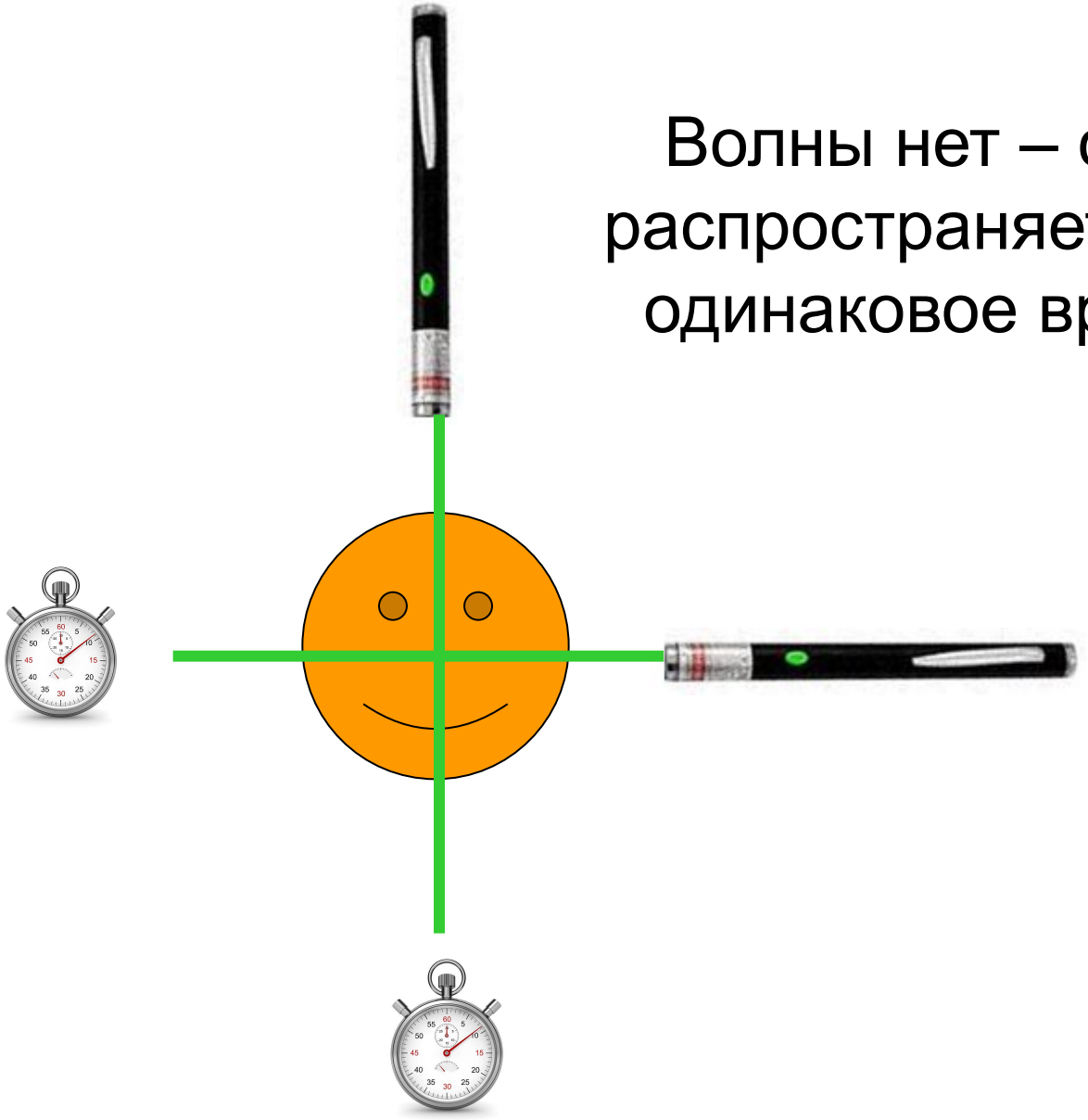


Действие волн

Гравитационные волны искажают пространство одновременно по двум координатам

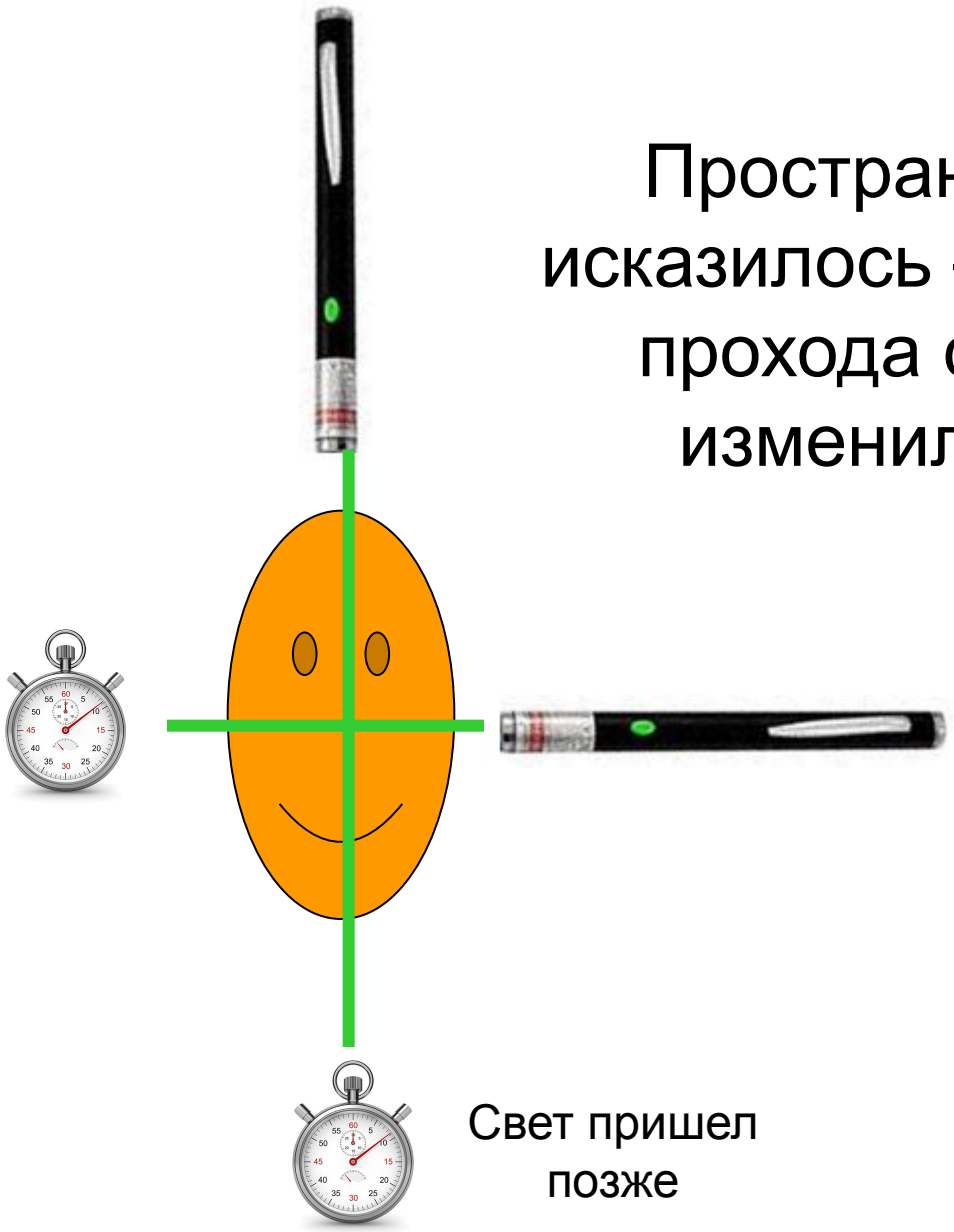


Как увидеть гравитационную волну?



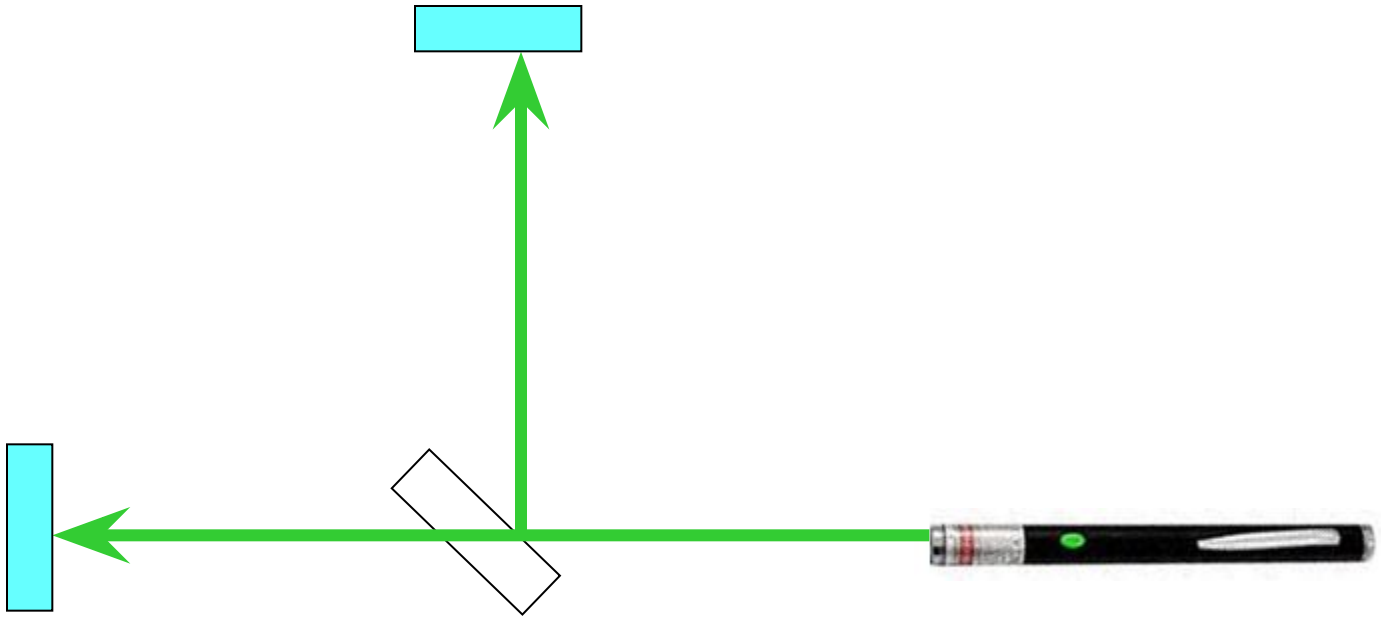
Волны нет – свет распространяется за одинаковое время

Как увидеть гравитационную волну?

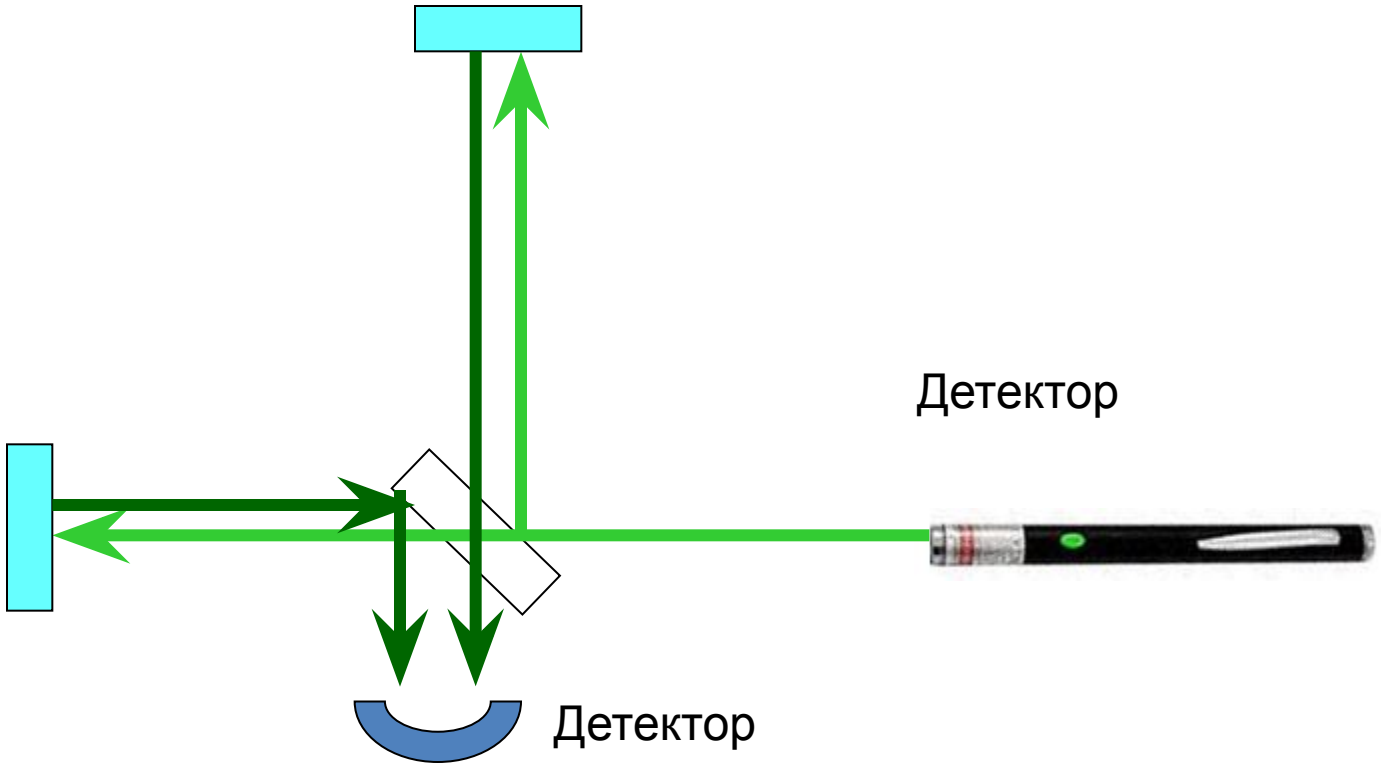


Пространство исказилось – время прохода света изменилось

Интерферометр Майкельсона

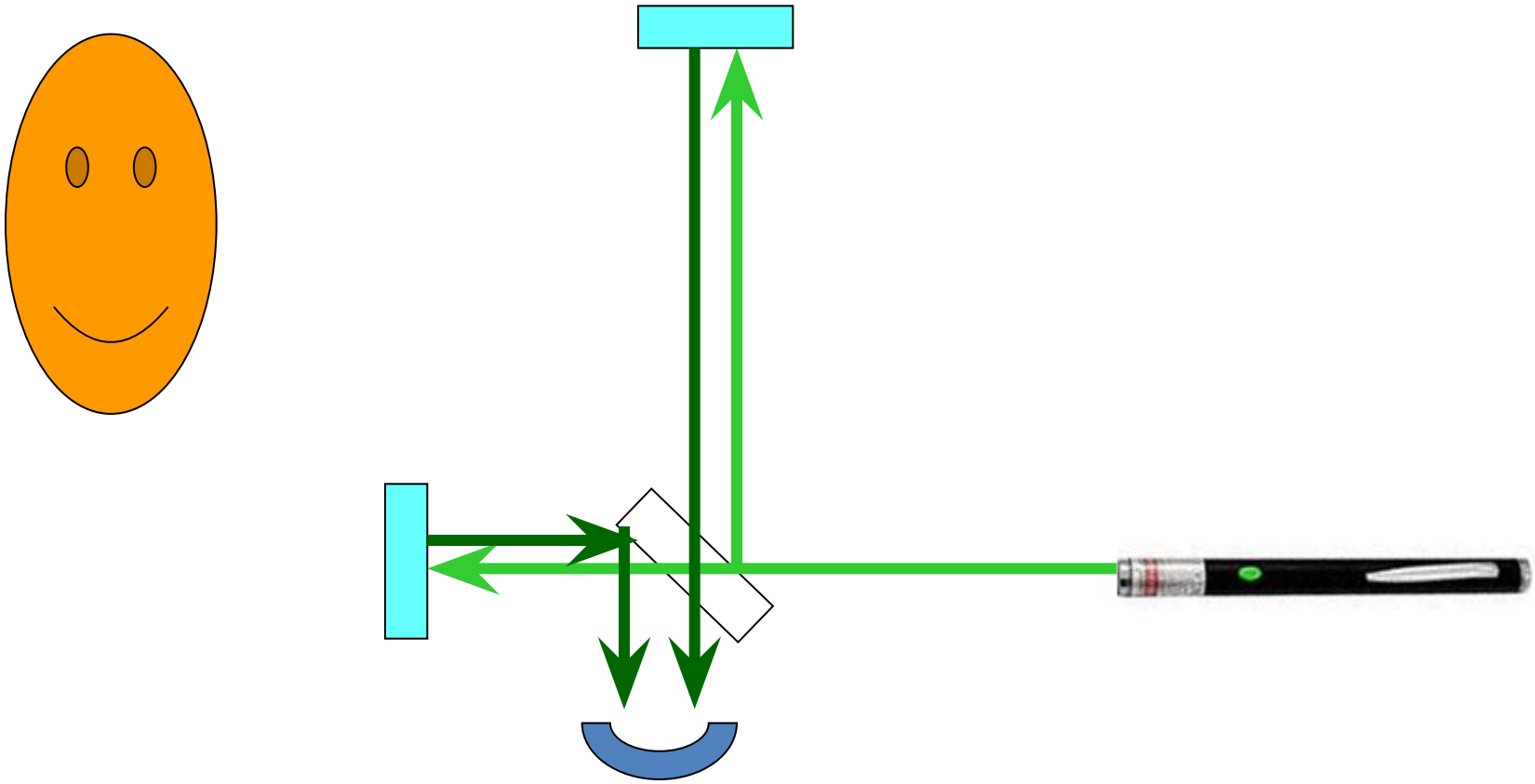


Интерферометр Майкельсона



Пришла волна

Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

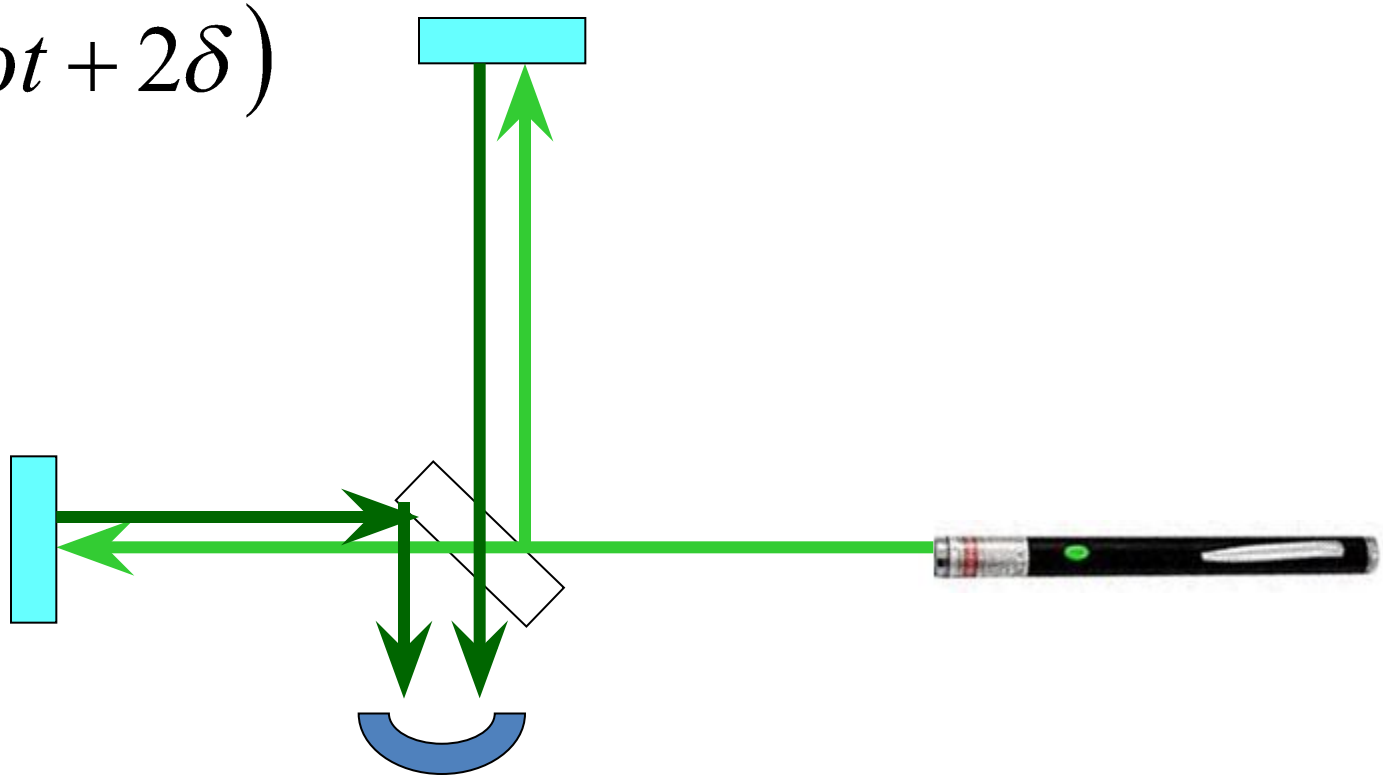


Как изменятся показания детектора?

Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

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

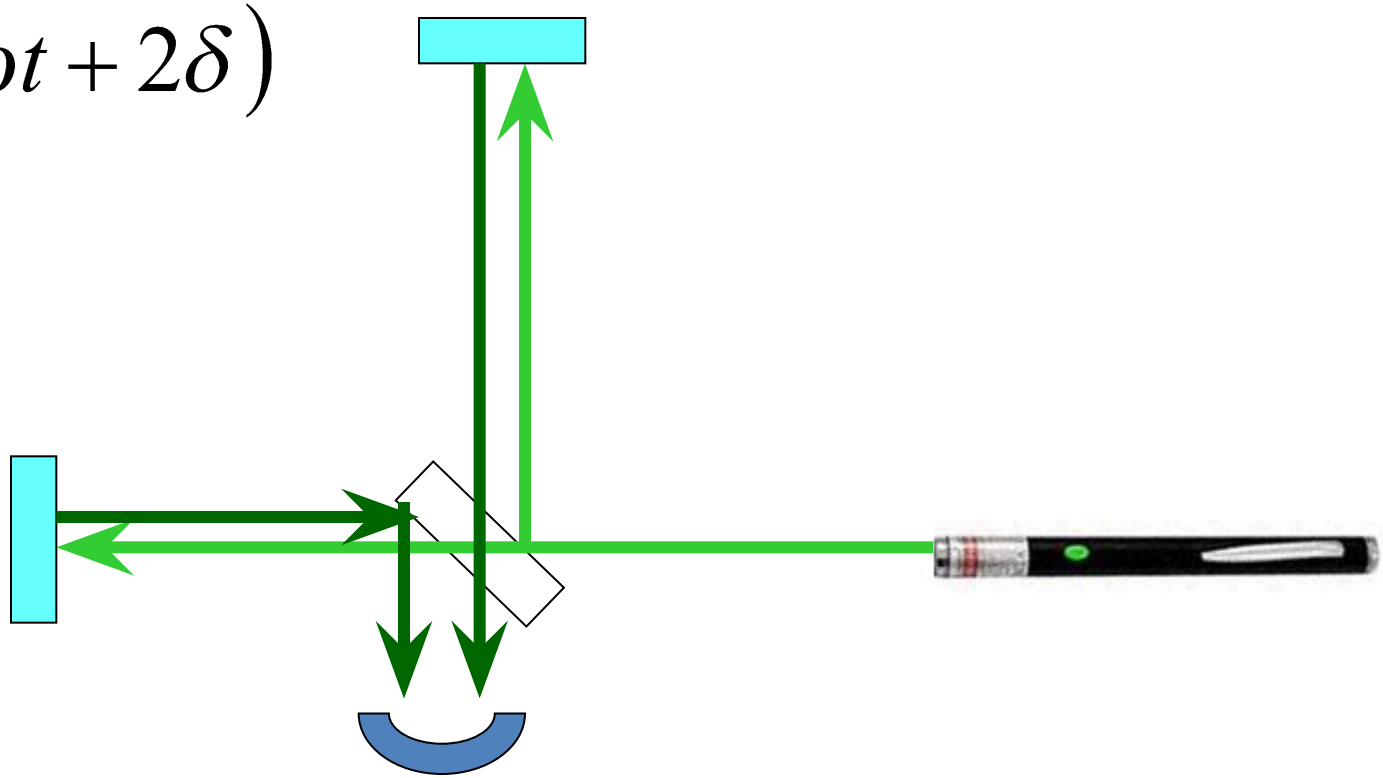
$$E_2 = \sin(\omega t + 2\delta)$$



Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

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

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

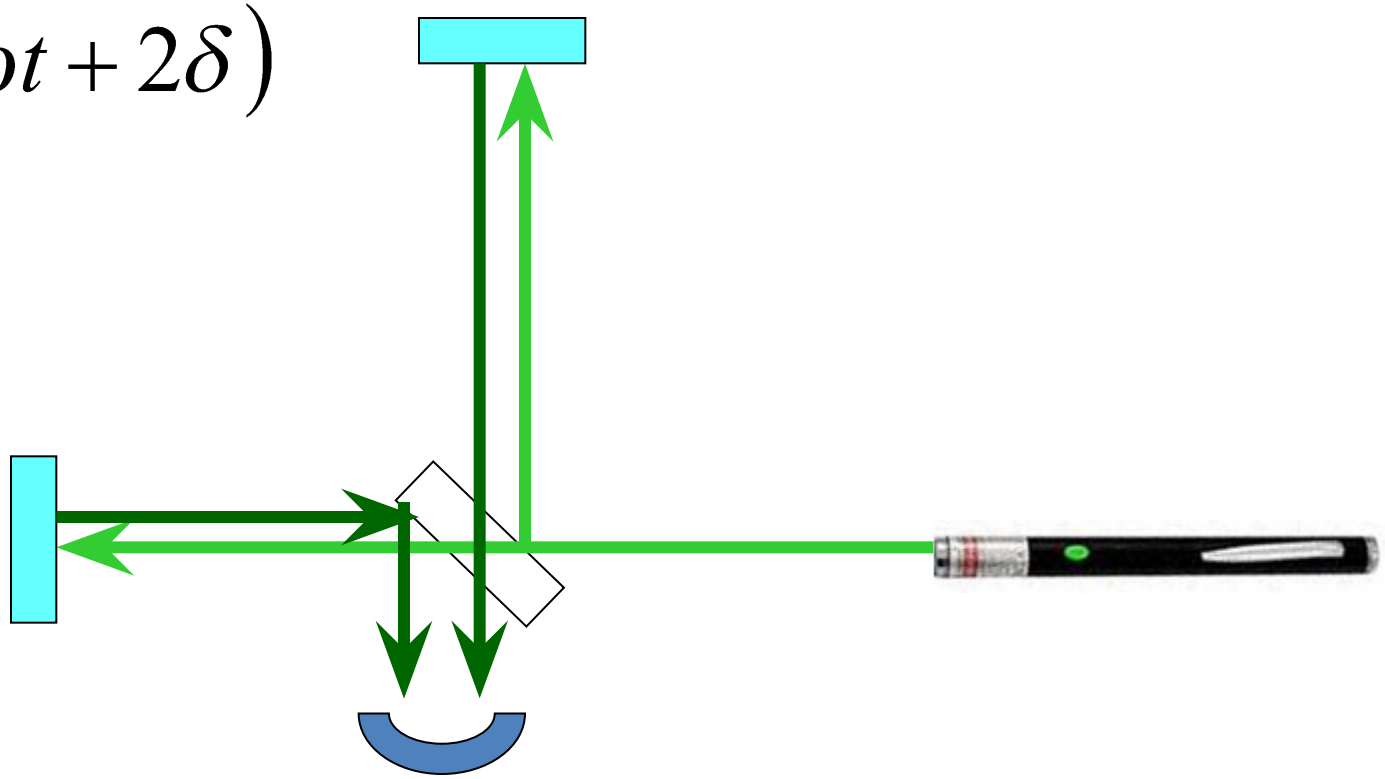


$$I = (E_1 + E_2)^2$$

Saint Petersburg State University
www.spbu.ru

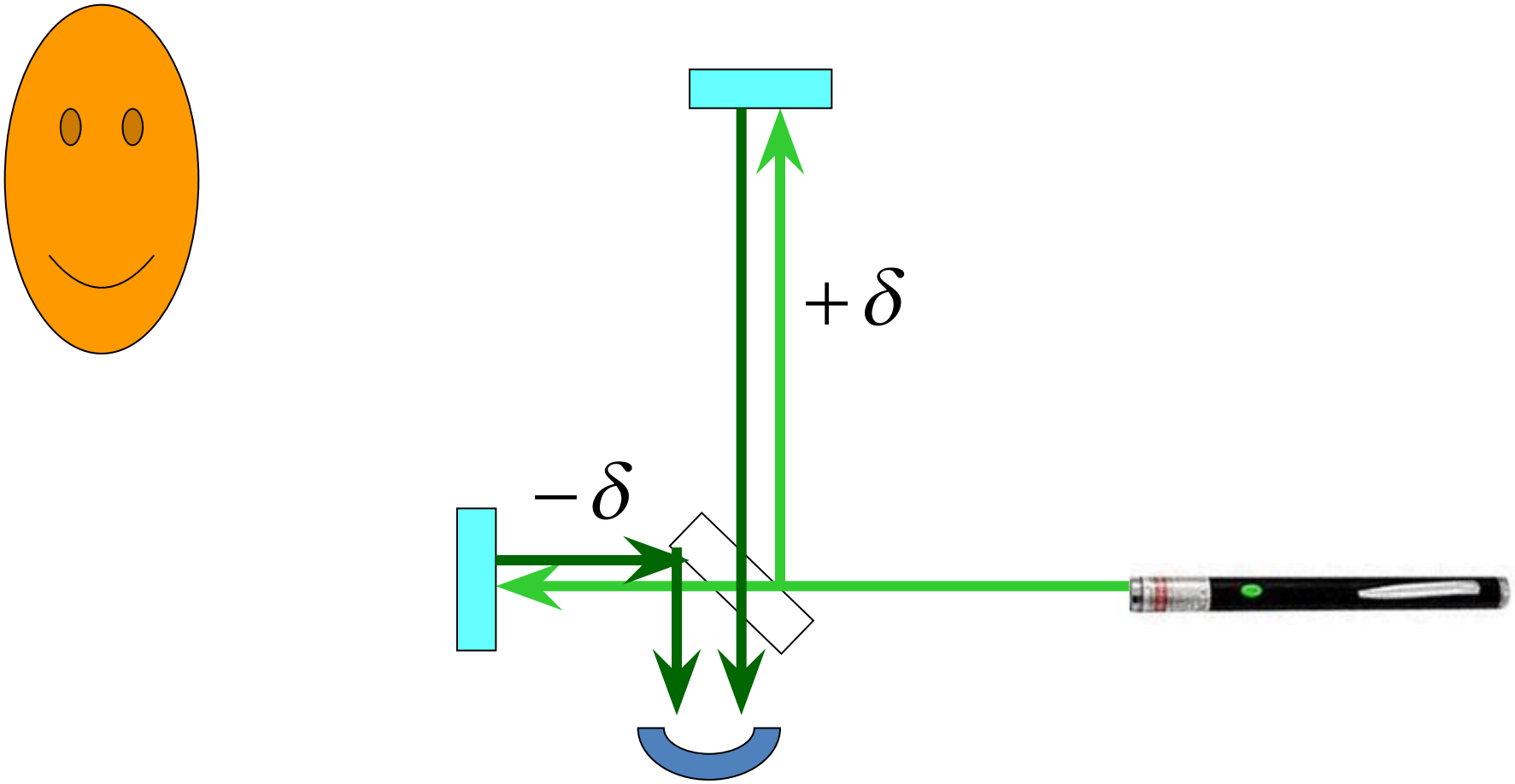
$$E_1 = \sin(\omega t - 2\delta)$$

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



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

Saint Petersburg
State University
www.spbu.ru

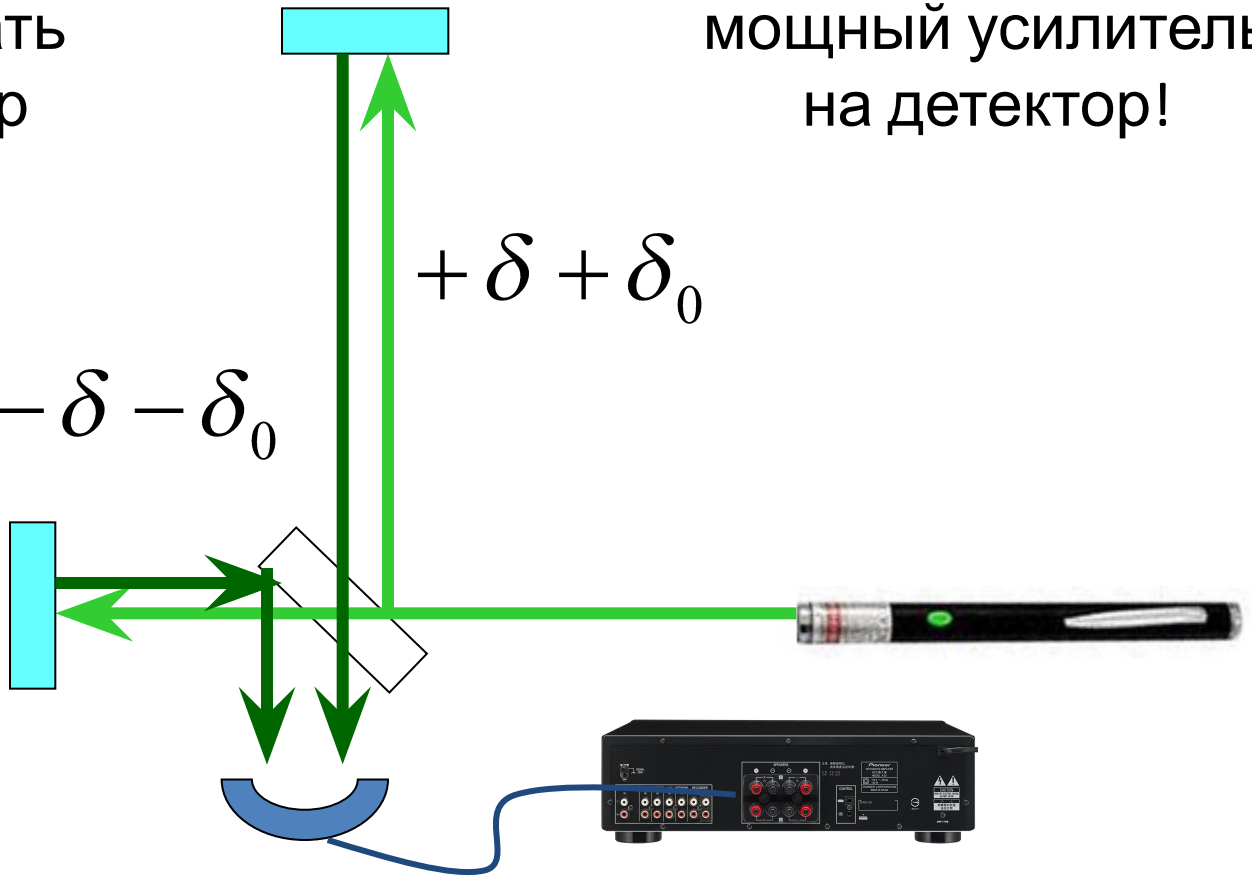


$$I = \left(E_1 + E_2\right)^2 = \left(2\sin\left(\omega t\right)\cos\left(2\delta\right)\right)^2$$

Saint Petersburg State University
www.spbu.ru

Немного разбалансировать интерферометр заранее

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



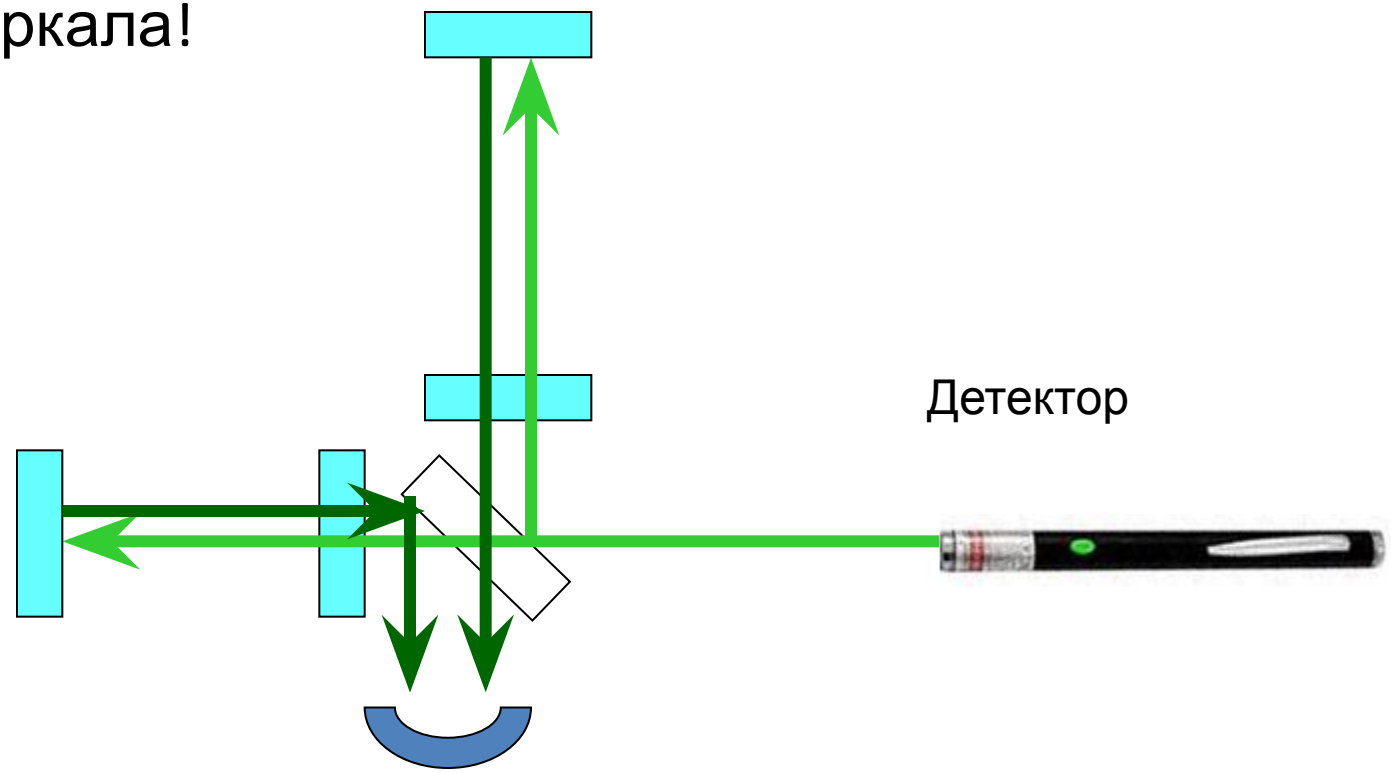
И поставить мощный усилитель на детектор!

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

Тогда без волны сигнал будет ноль

Saint Petersburg State University
www.spbu.ru

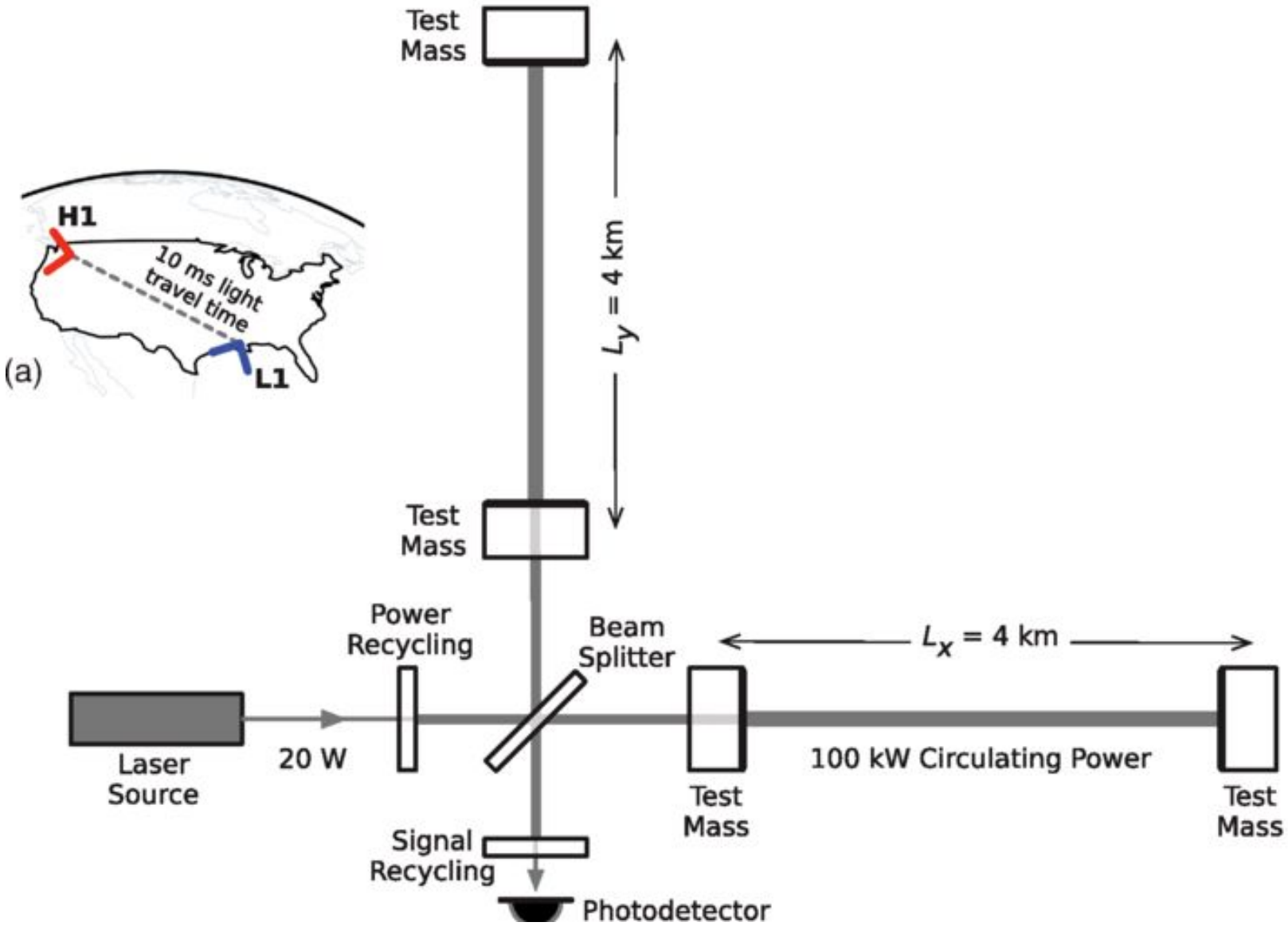
Можно добавить еще два зеркала!



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

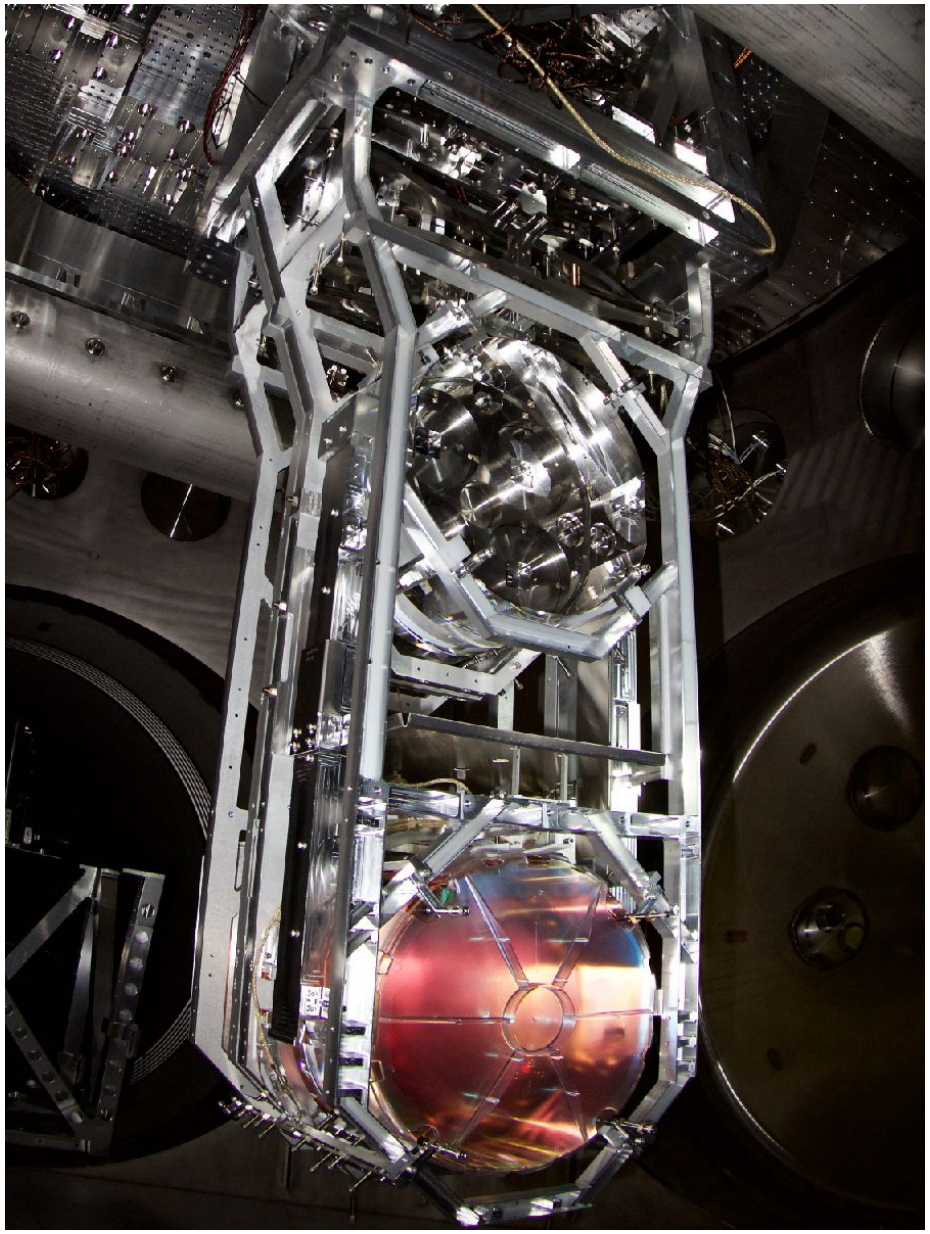
LIGO: Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

Реальная схема

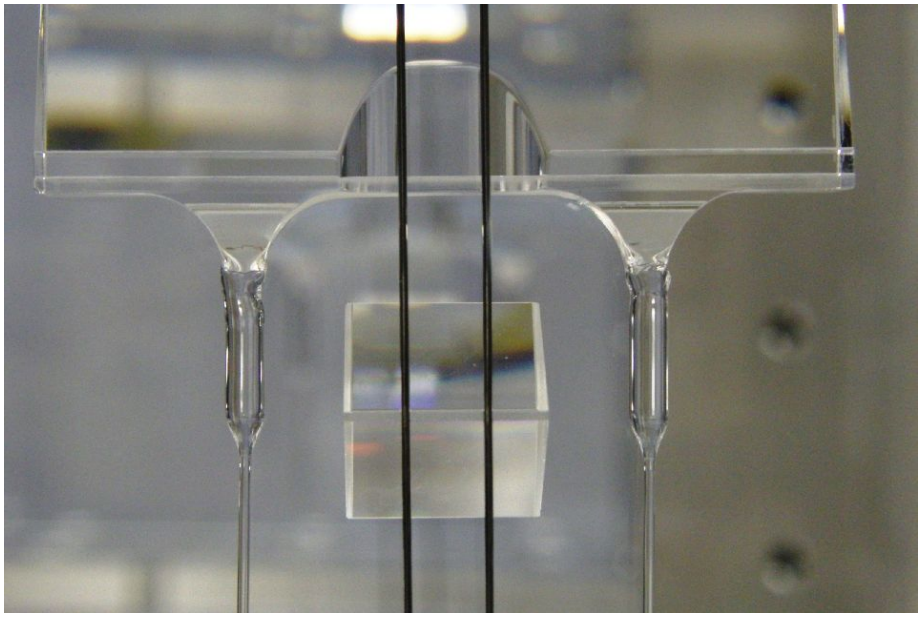


17 Плечо интерферометра

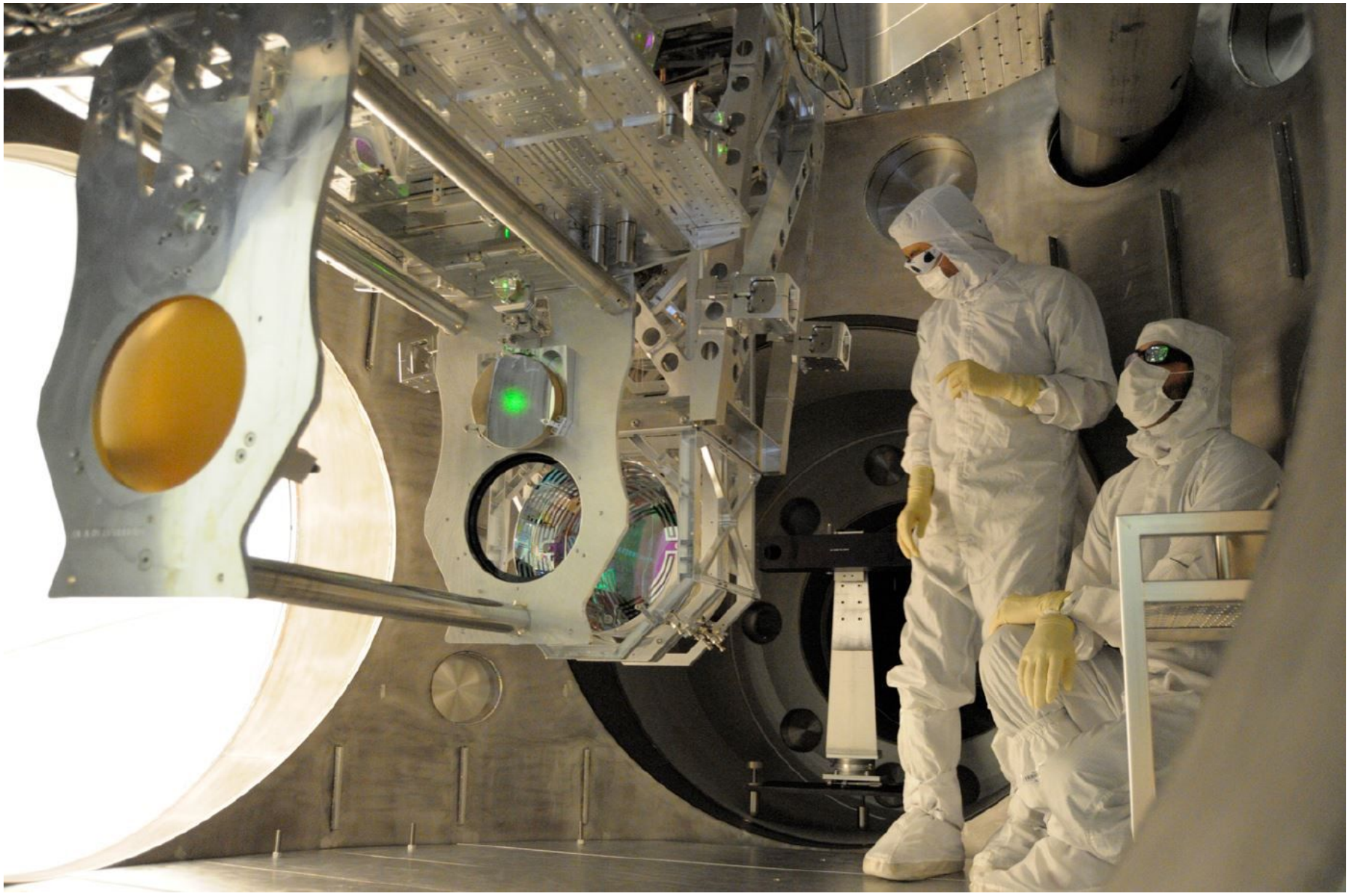
18 Торцевое зеркало



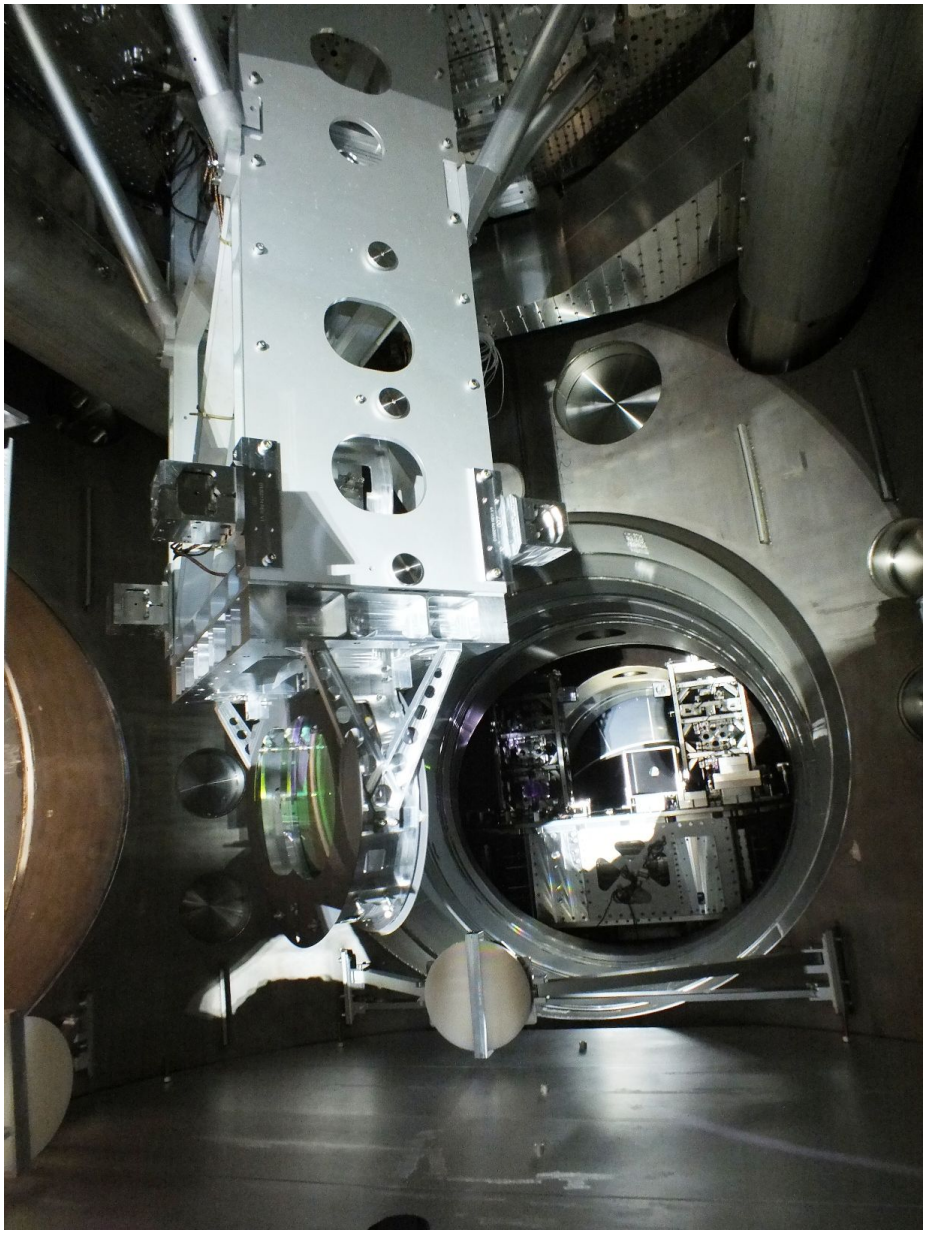
Подвес зеркала



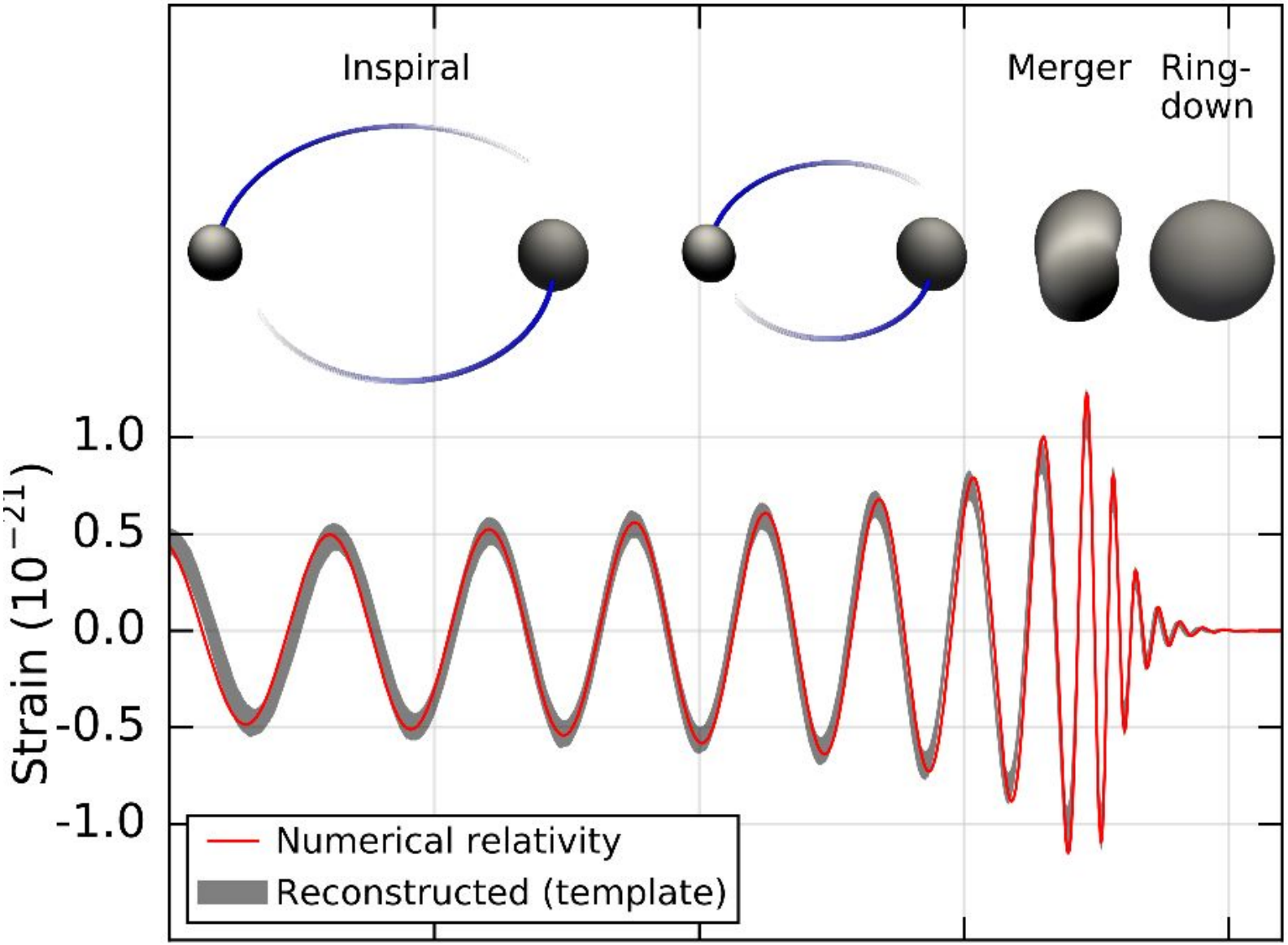
Тестирование зеркала



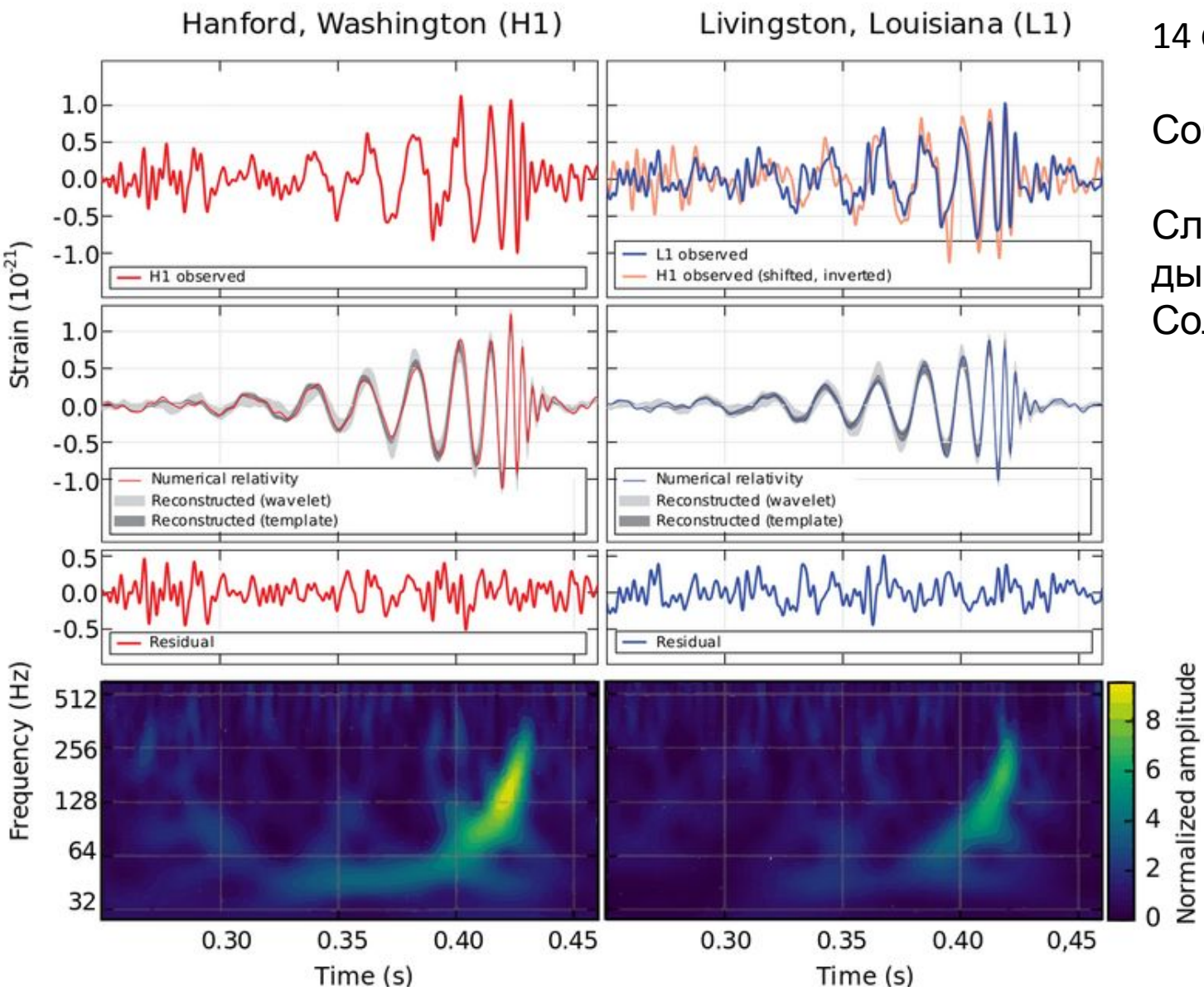
Делитель пучка



Слияние черных дыр



Первый сигнал



14 сентября 2015 г.

Событие GW150914

Слияние черных дыр в 36 и 29 масс Солнца

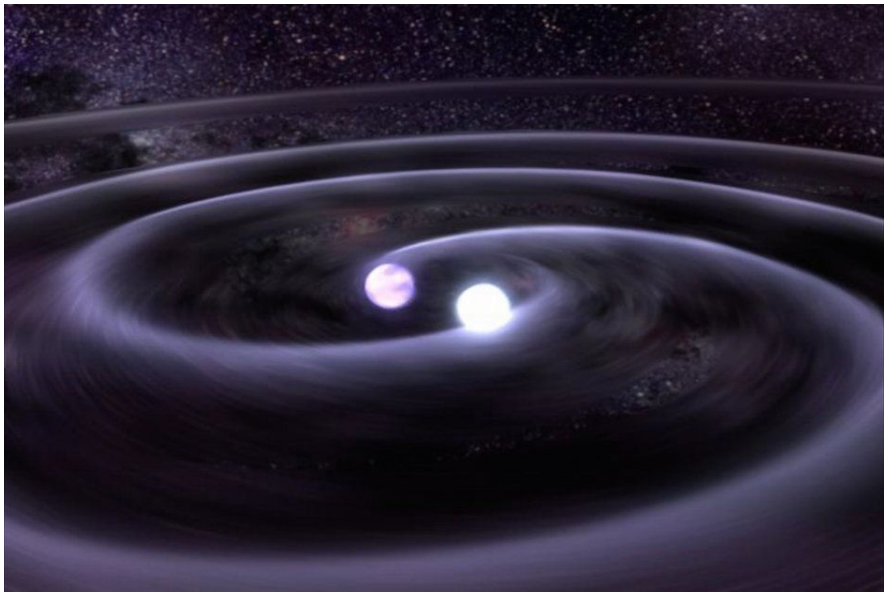
23 Перспективы

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:

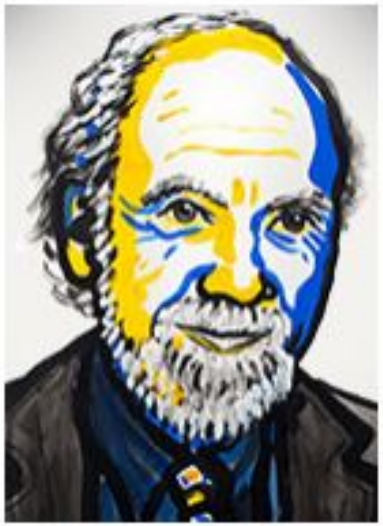
- Увеличение чувствительности (= исследуемого объема) на порядок
- Строительство еще одного LIGO в Индии
- Строительство «LIGO» в космосе

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!