

 alizer 28 сентября 2017 в 16:35

Обсерватории LIGO и Virgo зарегистрировали ещё одну гравитационную волну

Научно-популярное, Физика, Астрономия



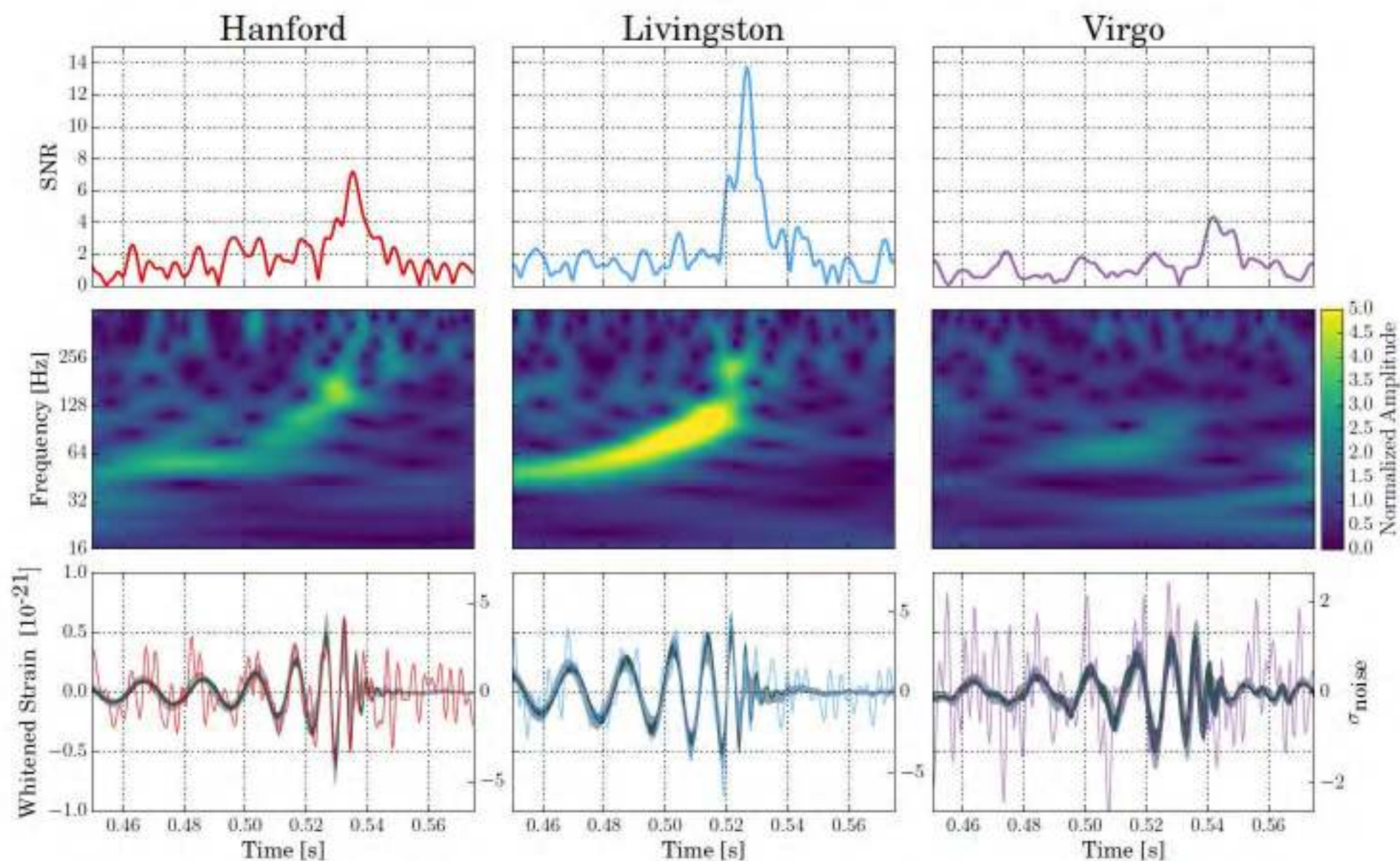
Франко-итальянский детектор Virgo, вид с воздуха на центральное здание, трёхкилометровое западное плечо и начало северного плеча (когда пространство-время сжимается, изменяется длина плеч: одно становится длиннее, а другое короче). Прочие здания — это офисы, мастерские, компьютерные залы и зал управления интерферометром. Фото: The Virgo collaboration/CCO 1.0

В августе три детектора на двух континентах зарегистрировали сигнал гравитационной волны — колебания ткани пространства-времени — от пары чёрных дыр в процессе слияния. Событие наблюдалось в районе GW170814, о нём 27 сентября 2017 года объявила конгломерация LIGO ([пресс-релиз LIGO](#), [пресс-релиз Национального научного фонда](#), [научная статья о событии](#)). Слияние чёрных дыр зарегистрировано 14 августа 2017 года в 10:30:43 UTC.

Это уже четвёртая гравитационная волна, которую зафиксировали обсерватории LIGO, но первый случай, когда гравитационные волны зарегистрированы сразу тремя разными детекторами, в том числе европейским Virgo. Работа показывает результат улучшенной локализации космических событий через глобальную систему объединённых в единую сеть обсерваторий гравитационных волн. В открытии участвовали два детектора конгломерации LIGO в штатах Луизиана и Вашингтон (США), а также детектор Virgo, размещённый возле Пизы (Италия). Он впервые участвовал в детектировании гравитационных волн.

«Менее года назад Национальный научный фонд США объявил, что Лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория (LIGO) впервые в мире зарегистрировала гравитационные волны, которые появились в результате слияния двух чёрных дыр в галактике за миллиард световых лет, — [сказал](#) директор Национального научного фонда Франс Кордова (France Córdova). — Сегодня мы рады объявить о первом открытии, сделанном в партнёрстве между гравитационно-волновой обсерваторией Virgo и научной коллаборацией LIGO, первом случае, когда гравитационные волны наблюдались этими обсерваториями, расположенными в тысячах километров друг от друга. Это замечательная веха в растущих международных научных усилиях по раскрытию экстраординарных тайн нашей Вселенной».

Кроме первого случая такого сотрудничества, регистрация тремя детекторами окончательно развеяло сомнения скептиков в том, что гравитация передаётся волнами, а пространство-время может сжиматься: «Регистрация гравитационных волн детектором Virgo, находящемся на другом континенте и значительно отличающемся по конструкции от двух почти идентичных детекторов LIGO, позволяет полностью забыть об и без того крайне маловероятной возможности, что предыдущие события вызывались какими-то земными причинами», — [пояснил](#) Фарит Халили, профессор физического факультета МГУ.



Событие в районе GW170814 зарегистрировано на последнем этапе слияния двух чёрных дыр с массами 31 и 25 солнечных масс на расстоянии около 1,8 млрд световых лет от Солнечной системы. В результате слияния образовалась вращающаяся чёрная дыра массой около 53 солнечных масс, то есть три солнечных массы преобразовались в энергию гравитационных волн.

Детектор Virgo совсем недавно обновили до второго поколения, он вступил в строй 1 августа 2017 года. Учёным повезло зарегистрировать гравитационные волны уже через две недели после начала работы. Одновременно ту же самую волну регистрировали детекторы LIGO.

Начало работы Virgo после шестилетнего апгрейда — очень важное событие. Дело в том, что когда событие регистрируется сразу тремя детекторами, то можно гораздо точнее локализовать его координаты и расстояние. В частности, звёздный регион GW170814 имеет площадь всего 60 квадратных градусов (1стерадиан равен 3282,806 кв. градусов, а полный угол — 41252,96125 кв. градусов). Это более чем в десять раз меньше, чем можно было определить, используя только два интерферометра LIGO. В нашем случае место события расположено в небольшой области в созвездии Часов на ночном небе южного полушария Земли.

Столь точное определение координат важно, потому что многие слияния компактных объектов — например, слияния нейтронных звёзд — обычно приводят к выбросу широкополосного электромагнитного излучения вдобавок к гравитационным волнам. То есть его могут регистрировать и другие инструменты, а не только лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория.

Сразу после регистрации аномалии на регион GW170814 нацелились 25 обсерваторий по всему миру, но никакого дополнительного излучения не последовало, как и должно быть в случае с чёрными дырами.

Учёные отмечают, что во время следующего запуска LIGO осенью 2018 года они надеются регистрировать гравитационные волны более часто: может быть, каждую неделю или ещё чаще. Уж тогда мы будем точно знать, когда колеблется ткань пространства-время, в которой мы находимся.

[Научная статья о событии GW170814](#) принята для публикации в журнале Physical Review Letters.

Теги: [LIGO](#), [Virgo](#), [гравитационные волны](#)

↑ +21 ↓ 18 16,2k 50



837,5

Карма

1962,0

Рейтинг

1341

Подписчики

Анатолий Ализар [@alizar](#)

Редактор

Комментарии 50

 IvanKor2017 28 сентября 2017 в 18:09

#

■

↑ 0 ↓

Вчера здесь утверждали что источником сигнала были сливающиеся черные дыры масс 25 и 30 солнечной, на расстоянии около 1.5 миллиарда световых лет.
Сигнал у всех 3-х станций различный и учитывая невероятно далекое расстояние можно однозначно сказать что это было игольчатое (НАПРАВЛЕННОЕ) излучение ГВ которое попало именно в Землю. Достойное эксп. дополнение ОТО.

 Shkaff 28 сентября 2017 в 21:28

#

■

↵

⬆

↑ +2 ↓

Излучение ГВ по определению не направленное (точнее, не "игольчатое", диаграмма направленности достаточно сложная), просто энергия излучения такова, что даже "размазанную" по всем сторонам ее хватает, чтобы поколебать наши детекторы.

 IvanKor2017 28 сентября 2017 в 21:52

#


■

↵

⬆

↑ 0 ↓

Тогда непонятно почему различная амплитуда с детекторов.

 Shkaff 28 сентября 2017 в 22:27

#

■

↵

⬆

↑ +2 ↓

Ну, источник-то точечный (как мы видим), а детекторы под разными углами к направлению распространения, так что тригонометрия просто.

 IvanKor2017 29 сентября 2017 в 12:15

#

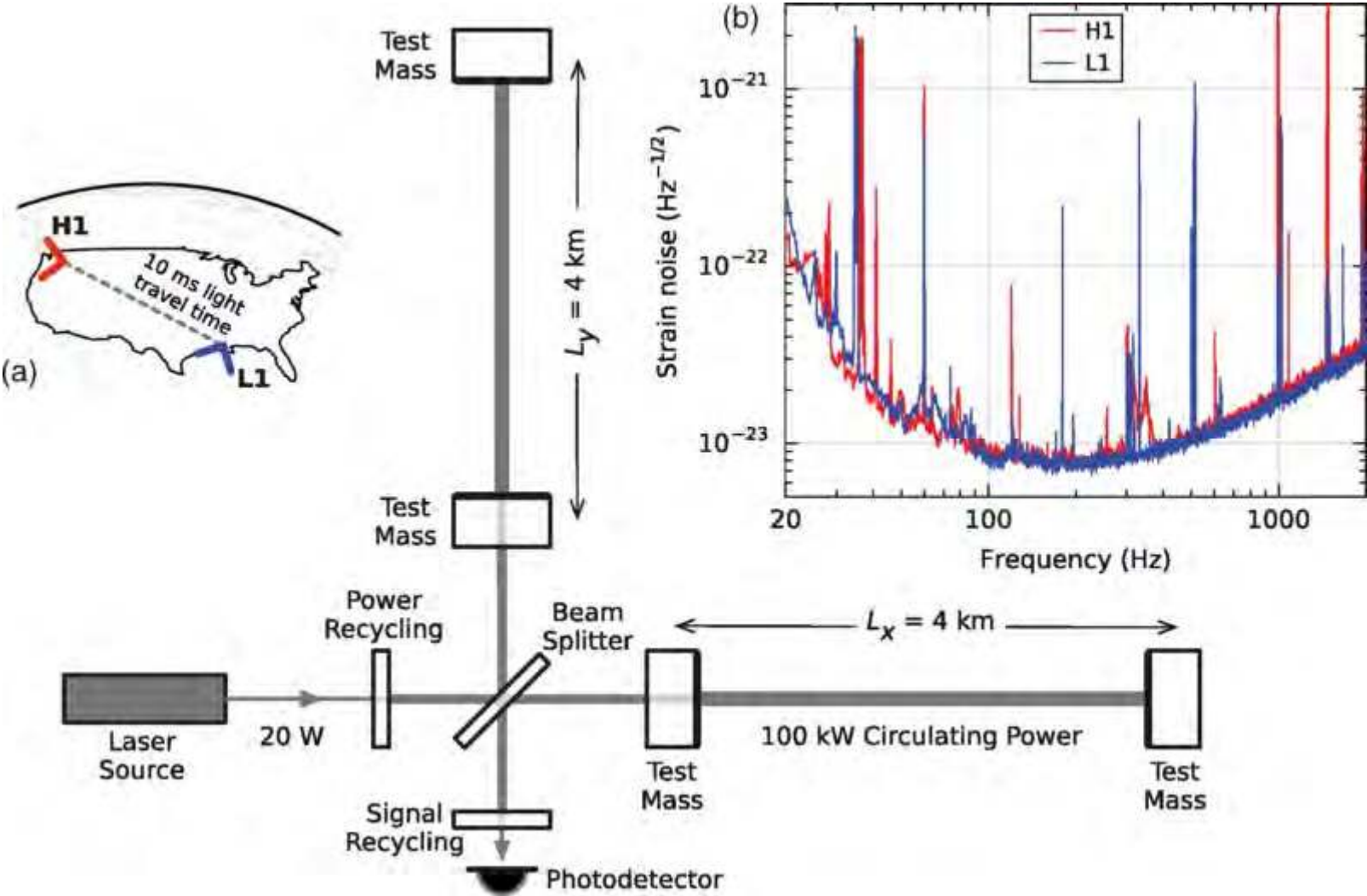
■

↵

⬆

↑ 0 ↓

С интерферометра мы видим фурье отклик задемпфированных зеркал. Обратное преобразование дает вид возмущения который породил покой зеркал. Это может быть что угодно, скорее всего сейсмическая волна или аномальный всплеск экстростатики.
Полоса пропускания интерферометра никакая, рассчитанная только на вибрацию зеркал



а не на реакцию света в плечах и лаз. источника. Это если предположить что скорость ГВ близка или равна скорости ЭМВ.Если скорость ГВ маленькая и попадает в полосу пропускания то источник ГВ должен возникнуть задолго до возникновения вселенной. Поэтому о геометрии и речи не может быть.

 Shkaff 29 сентября 2017 в 12:40

#

■

↵

⬆

↑ 0 ↓

Я не понимаю вашего комментария. Все измеряется во временном диапазоне, почему фурье отклик?

Это может быть что угодно...

На трех детекторах одновременно одинаковый сигнал?

Скорость ГВ близка (равна) скорости света.

 IvanKor2017 29 сентября 2017 в 12:57

↑ 0 ↓

Классический фурье отклик [показан внизу этого рисунка](#) вверху рисунка вычисленное возмущение. То что на трех детекторах примерно одновременно одинаковый сигнал это вполне может быть сейсмическая волна и т.п. Более 40 лет назад как то увлекался несколько лет проблематикой обнаружения ГВ. Был у меня и маятниковый подвес зеркала на алюминизированной кварцевой нити общим диаметром 12 мкм, вот там тогда я познал как тяжело исключить влияние электростатики, МП и особенно сейсмических волн. Нынешние экспериментаторы используют маятниковый подвес зеркал на металлизированных нитях? Что то я не нашел ответа на этот вопрос. Если нет то ловить будет что угодно.

Скорость ГВ близка (равна) скорости света

тогда только реакция зеркал/а о направленности речи не может быть.

 Shkaff 29 сентября 2017 в 13:02

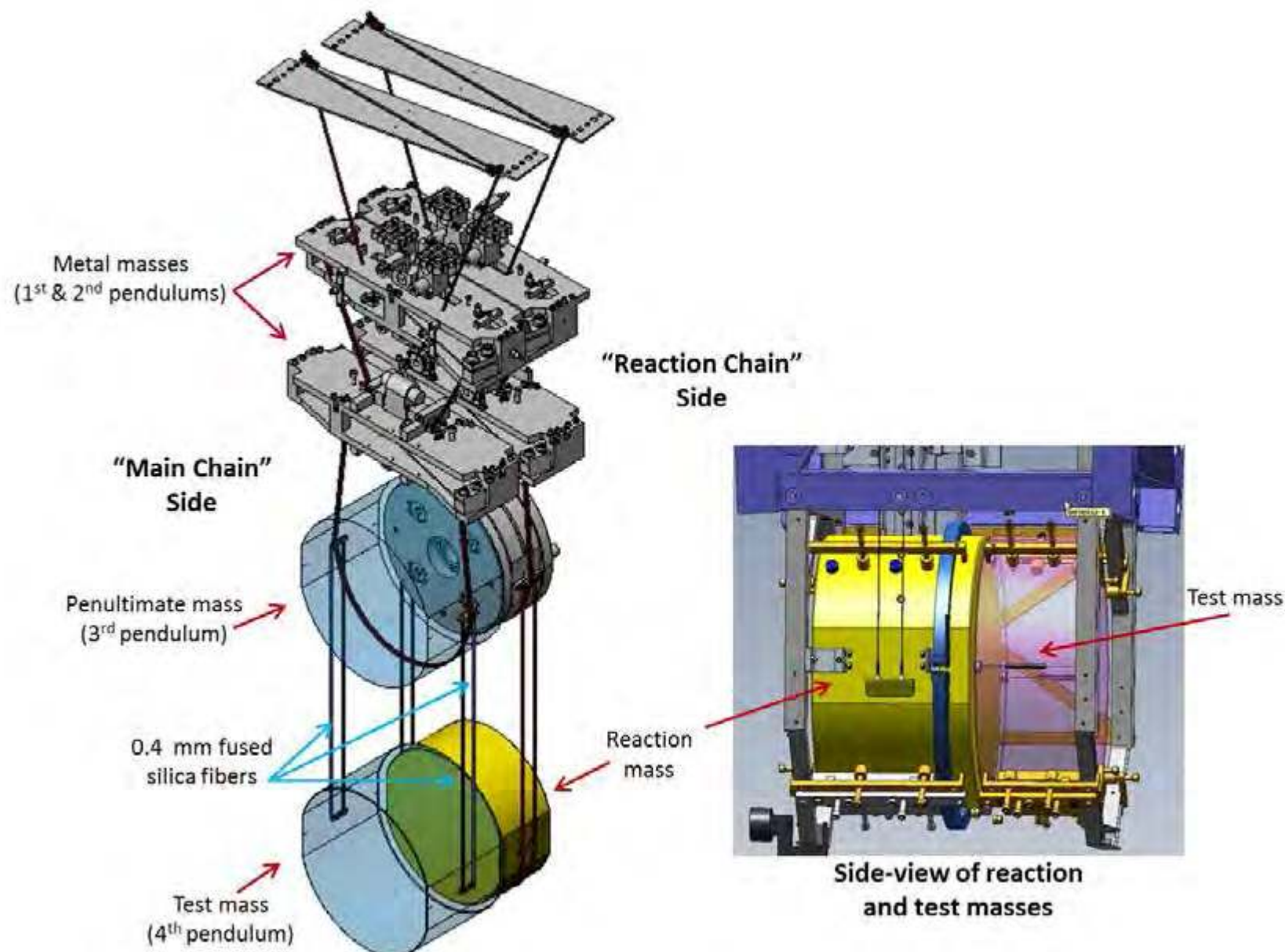
↑ 0 ↓

это вполне может быть сейсмическая волна

Вся сейсмика во-первых, очень точно измеряется независимыми датчиками, а во-вторых, неплохо изолируется (пассивно и активно).

маятниковый подвес зеркал на металлизированных нитях?

Тройной маятник на кварцевых монокристаллических подвесах



Электростатика — иногда мешает, но коррелированный сигнал не создает.

тогда только реакция зеркал/а о направленности речи не может быть.

Я, наверное, что-то туплю, но все равно не понимаю. Волна — квадрупольная, если детектор перпендикулярен направлению распространения, он получает максимальный сигнал, если параллелен — никакого сигнала. Любой другой угол дает разную амплитуду. Далее, по задержкам — если сигнал сначала на L1, потом на H1, потом на V1 — то очень просто определить направление, так?

 IvanKor2017 29 сентября 2017 в 13:49

↑ 0 ↓

Если ГВ то это волна пространства она накроет всю установку, все элементы будут в одной системе координат и естественно никакого взаимного перемещения не произойдет. Если это сейсмическая или. проч. волна то да, перемещения будут всегда, преимущественно в каком то направлении и с точностью до крутильных и проч.

характеристик подвеса.

Подвес очень жесткий (8 нитей и каждая по 400 мкм).

На этом разрешите откланяться. Спасибо что помогли разобраться в установке, а мнение о её работе каждый вправе иметь свои.



Shkaff 29 сентября 2017 в 14:28



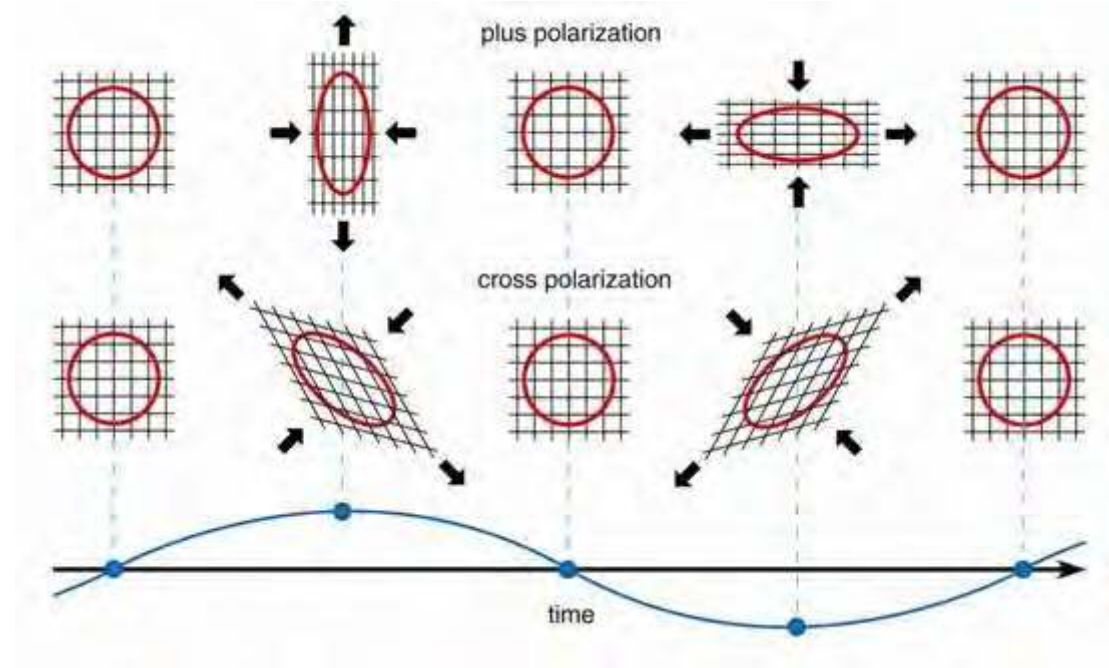
↑ 0 ↓

Да всегда пожалуйста:)

Не для вас, а для читателей:

Если ГВ то это волна пространства она накроет всю установку

Это не так, волна растягивает и сжимает пространство в зависимости от направления, вот так:



Поэтому зеркало в одном плече смещается в одну сторону (пространство растягивается), а в другом плече — в противоположную (пространство сжимается), что и вызывает сигнал.

Сейсмическая активность не может вызвать коррелированный сигнал на трех детекторах с задержкой в миллисекунды — все же акустические волны гораздо медленнее.



Wizard_of_light 28 сентября 2017 в 22:33



↑ +2 ↓

Если вы о первом графике, то там по вертикали отношение сигнал/шум. LIGO-Хэнфорд и VIRGO просто зашумлены сильнее были в момент прихода сигнала.



IvanKor2017 29 сентября 2017 в 12:23



↑ 0 ↓

[Интерферометр майкельсона](#) уже как то использовали в дырявом заброшенном сарае на горе в ветрянную погоду. Где принципиально что либо замерять было невозможно. Примерная ситуация и сейчас. Что например мешало/ет убрать детерминированные наводки в виде 50/60 Hz, их гармоник, и тем самым улучшить отношение сигнал/шум и доверие к этому эксп.



Shkaff 29 сентября 2017 в 12:38



↑ 0 ↓

В LIGO это и делают, в Virgo — пока нет, но будут.



halfhope 29 сентября 2017 в 06:36



↑ 0 ↓

Они просто в разных местах находятся. В общем все выглядит как триангуляция сигнала. Детекторы работают как антенна Допплеровского пеленгатора, только они находятся далеко друг от друга и под разными углами, а синхронизация происходит с помощью атомных часов. Точность определения вектора можно повысить разместив детекторы как можно дальше друг от друга (макс 20 тыс км), увеличить их количество, увеличить длину плеча. Сейчас работают 3 детектора, 2 строятся и один планируется построить. Из массива детекторов получается один огромный гравитационный телескоп планетарных масштабов.



CYBOPOB 28 сентября 2017 в 19:04



↑ 0 ↓

Вот любопытно, если такое событие произойдет на более близком расстоянии. Гравитационная волны проявят себя как то, кроме регистрации на сверх точных прибора? Есть тут сведущие по данному вопросу люди?



zookko 28 сентября 2017 в 20:51



↑ 0 ↓

Если на очень близком — да, проявит. Планета будет уничтожена. Фактически разорвана на множество частей.








apiksDen 28 сентября 2017 в 23:28





↑ 0 ↓

Почему? ничего же не должно произойти, но это не точно

 Shkaff 28 сентября 2017 в 21:24    






↑ +1 ↓

Можно оценить: амплитуда волны падает линейно с расстоянием. Сейчас источник находился примерно в 10^{25} метров, а амплитуда — около 10^{-18} м (для примера). Допустим, ЧД сливаются на границе солнечной системы — это в 10^{13} м от нас. То есть, амплитуда будет около 10^{-5} м, что не так уж мало. Думаю, это может сильно повлиять на всякие приборы. Если бы ЧД были у Альфа Центавра — амплитуда волн была бы около 10^{-8} м, что уже менее видимо, но все равно точно повлияет на всякий gps.

 ivlis 29 сентября 2017 в 07:05    

↑ 0 ↓

Квадратично же, нет?

 Shkaff 29 сентября 2017 в 08:30    






↑ 0 ↓

Таки линейно! В том и вся прелесть, потому и можем мы их на таком расстоянии детектировать. Это закон притяжения квадратичный, а амплитуда волн — линейна.

 ivlis 29 сентября 2017 в 08:32    

↑ 0 ↓

а, ну да, точно.






 coturnix19 29 сентября 2017 в 11:44    

↑ 0 ↓

10^{-5} — это порядка теплового расширения многих материалов, это уже вполне макроскопическое воздействие. И хотя наверное особо точные приборы это заметят, большинству будет незаметно.

С другой стороны, для земли как планеты 10^{-5} изменение радиуса уже получается порядка десятков метров — в зависимости от частоты, можно получить нехилое такое землетрясение.






С совсем третьей стороны, модуль юнга типичных твердых веществ (например, оболочки костей) составляет порядка $1e7$, так что при деформациях порядка $1e-5$ получаются давления до 100 Па, что вроде не много но в терминах звука получается очень даже громко — примерно как безумный крик прямо в ухо (данные из вики).

 Shkaff 29 сентября 2017 в 12:43    

↑ 0 ↓

10^{-5} м это все же абсолютная магнитуда, а не относительное изменение (это я про радиус Земли).

А так да. Другое дело, что, думается, грав волны при наличии двух массивных ЧД на границе солнечной системы были бы нашей самой малой проблемой:)

 coturnix19 30 сентября 2017 в 12:29    

↑ 0 ↓






>> 10^{-5} м это все же абсолютная магнитуда, а не относительное изменение (это я про радиус Земли).

— чето я туплю, поясните какая разница, или точнее что вообще имеется ввиду под абсолютной магнитудой? относительно чего?

>>

А так да. Другое дело, что, думается, грав волны при наличии двух массивных ЧД на границе солнечной системы были бы нашей самой малой проблемой:)






— ну, для начала сс не будет — вместо этого мы все вместе (включая солнце) будем дружно вращаться вокруг этих самых черных дыр =)

 Shkaff 30 сентября 2017 в 13:56    

↑ +2 ↓

относительно чего?

Строго говоря, это амплитуда возмущения метрики пространства-времени относительно невозмущенного состояния. Эту амплитуду можно пересчитать в смещение объекта относительно положения покоя (ну или в изменение расстояния между двумя объектами).

 coturnix19 30 сентября 2017 в 19:34    

↑ 0 ↓

Т.е., возьмем например большую и плоско-параллельную волну. Т.е. конечно такие волны — абстракция и звездами не излучаются, но на большом расстоянии должно быть достаточно точным приближением. Возьмем две пылинки, на расстоянии 1см друг от друга. При прохождении волны расстояние между ними уменьшилось на 10^{-5} метра. Чуть дальше находятся уже две пылинки с расстоянием между ними 10 см. И между ними расстояние уменьшилось на 10^{-5} метра. А теперь возьмем три пылинки — с расстоянием 1, 10 и 11 см между ними, расположенные на линии. Между первой и

третьей — на 10^{-5} , первой и второй 10^{-5} , тогда получается что между второй и третьей — 0, а такого быть не может, ведь взяты они случайно. Значит, амплитуда не может быть абсолютной — она должна быть отнесена к какому-то фиксированному расстоянию — либо к метру/сантиметру если работаем в человеческой системе величин, либо к 29979245800 см если в учёной.

 Shkaff 30 сентября 2017 в 21:21

#

🔖

↩

🔄


↑ +1 ↓

Оу, я написал коммент и понял, что именно об этом вы и говорите. Все было правильно с самого начала, а я, видимо, сперва неправильно вас понял, а потом забыл, о чем речь идет:(Мои извинения, был неправ!
Собственно, коммент:

Гравитационная волна определяется как возмущение метрики пространства-времени. Метрика, по сути дела — множитель в определении длины между двумя объектами. Соответственно, ее возмущение — изменение множителя перед длиной. Как результат, амплитуда волны пропорциональна изменению в расстоянии между объектами:

$$\text{Amplitude} \sim \frac{\delta L}{L}$$

Например, если принять определенную точку пространства за ноль — расстояние от нее до частицы изменится пропорционально амплитуде волны. На этом и основаны ГВ детекторы.

 Arxitektor 28 сентября 2017 в 19:43

#

🔖

↑ 0 ↓

Есть тут сведущие по данном вопросу люди?

Вроде в предыдущих статьях говорилось что никак.
Прочие эффекты от слияния умножат на 0 наблюдателя гораздо раньше.

 Klerpus 28 сентября 2017 в 21:50

#

🔖

↑ -1 ↓

Вот смотрю на это фото и недоумеваю — писАли же, что приборы чрезвычайно чувствительны к посторонним вибрациям, что улавливают чуть-ли не авто на расстоянии несколько км, но, блин, над одним детектором 2(ДВЕ, карл) эстакады... и в ста метрах, судя по фото автомобилей, оживленная дорога... Неужели нельзя было найти место БЕЗ дорог в радиусе 10 км??!!! У них с этим проблема???

 zookko 28 сентября 2017 в 22:54

#

🔖

↩

🔄

↑ 0 ↓

Ну, стало быть, система подвесов настолько крута, что дороги не мешают.

 Tremere 29 сентября 2017 в 04:09

#

🔖

↩

🔄

↑ 0 ↓

там защита от внешних вибраций, а эффект, по которому регистрируются ГВ, если я не совру — это изменение длины луча лазера от ГВ

 Shkaff 29 сентября 2017 в 08:32

#

🔖

↩

🔄

↑ 0 ↓

Вы правы, но по этим дорогам особо никто не ездит. Эстакады — вообще технические, там проезд запрещен, а дороги — куда без них. А вообще автомобили сильно мешают, даже несмотря на всю изоляцию.

 stepmex 29 сентября 2017 в 10:46

#

🔖

↩

🔄

↑ 0 ↓

Если такое сильное влияние дорог, почему не строить подобные объекты где-нибудь в тундре?
Территории огромные, цивилизации фактически нет, внешних «раздражителей» нет, идеальная среда.
ЗЫ я понимаю про технические сложности строительства и обслуживания в дали от цивилизации, но это же идеальная среда для подобных проектов.

 Shkaff 29 сентября 2017 в 12:44

#

🔖

↩

🔄

↑ 0 ↓

Тут всегда оптимум: доступность для ученых и обслуживания против влияния шумов. Места для детекторов выбирались очень тщательно. Вот в штатах там побольше пустого места, там и засунули их в болота луизианы, где никого нет рядом, и на север в Вашингтон, где пустыня по сути дела. А Европе тоже хотелось свой детектор, а места без людей мало... вот что нашли — то нашли:)

 mwaso 29 сентября 2017 в 06:40


#

🔖

↑ 0 ↓

Сразу после регистрации аномалии на регион GW170814 нацелились 25 обсерваторий по всему миру, но никакого дополнительного излучения не последовало, как и должно быть в случае с чёрными дырами.

Тут еще не хватает слова «очевидно». /sarcasm Почему? А столкновение вещества в аккреционных дисках не порождает дополнительных излучений, которые успевают вырваться за горизонт новой ЧД? А если туда смотреть в тот самый момент?

 Shkaff

29 сентября 2017 в 08:34

#

🔖


↗

⬆

0

⬇

Ну потому что Ализар, что вы, в самом деле. Все правильно, может быть сигнал, если достаточно вещества вокруг ЧД, потому и ищут.

 Algoll

29 сентября 2017 в 08:02

#

🔖

0

⬇

Но ведь наличие аккреационного диска у черной дыры совсем не обязательно.

 Andronas

29 сентября 2017 в 10:30

#


🔖

0

⬇

Возникал вопрос почему первоначально зарегистрировали только одно событие. Ведь гравитационные волны должны приходить довольно часто? Или детектор работал не постоянно, а включался периодически на небольшое время?

Учёные от мечают , чт о во время следующего запуска LIGO осенью 2018 года они надеют ся регист рирова т ь гравит ационные волны более част о: может быт ь, каждую неделю или ещё чаще.

 Shkaff

29 сентября 2017 в 12:46

#

🔖


↗

⬆

0

⬇

Детектор работал на протяжении нескольких месяцев, а потом был выключен. Сейчас чувствительности не хватает, чтобы наблюдать много событий. Поэтому только исключительно мощные или близкие получается поймать.

 SpaceEngineer

30 сентября 2017 в 01:18

#

🔖

0

⬇

GW170814 — это не область неба, а номер события в каталоге. 170814 — это 2017 год, 08 месяц, 14 число.

 MatiasGray

2 октября 2017 в 16:46

#

🔖

0

⬇

Ух! С появлением таких невероятных инструментов начинает воплощаться в реальность фантастическая картина будущего, в которой мы, сидя на одном шарике, можем наблюдать события во всей вселенной.

 Wan-Derer

5 октября 2017 в 11:58

#

🔖

0

⬇

А я чёт не понял как можно измерить колебание пространства. Допустим, есть 1 метр пространства, 2 точки, между которыми лежит линейка в 1 метр. Пришла волна, которая этот метр сплющила или растянула. Но линейка-то находится в этом же пространстве, значит она покажет тот же метр... И если линейку заменить на луч лазера, то тоже не покажет, по той же причине.

Можно как-то на пальцах, как сей прибор работает?

 Shkaff

5 октября 2017 в 13:02

#

🔖

↗

⬆

+1

⬇

Луч света не "растягивается" — ему становится дольше лететь до зеркала и обратно. То есть, меняется его фаза. Дальше, волна растягивает в одном направлении, и сплющивает в перпендикулярном. Мы посылаем два луча света в этих двух направлениях, один идет туда-обратно дольше, чем обычно, а другой — быстрее, так что потом сравниваем разницу во времени прибытия (фазу) и говорим о свойствах гравитационной волны.

По аналогии с линейками... Если бы мы положили две линейки перпендикулярно, то обе бы показали метр, и если бы мы могли их сравнить, положить рядом, скажем (с линейками не получится, но все же), то они оказались бы разной длины.

 Wan-Derer

5 октября 2017 в 13:31

#

🔖

↗

⬆

0

⬇

Не могу уловить. Почему луч не растягивается? Время прохождения зависит от расстояния, а оно — характеристика пространства. И луч существует в этом пространстве. Значит для него ничего не изменится.

Для измерений надо иметь другое, референсное пространство, относительно которого можно проводить измерение.

Например, наблюдаем волны в ёмкости с водой. Вода — измеряемое пространство, а воздух, откуда наблюдаем — неподвижное референсное пространство. Только благодаря этому и видим волны. Находясь в самой воде, никаких волн не увидим.

 Shkaff

5 октября 2017 в 14:10

#

🔖

↗

⬆

+1

⬇

Я неточно выразился. Конечно, свет растягивается и сжимается — его длина волны. Но мы измеряем не разницу в длине волн, а разницу в фазе (времени прихода). Представьте себе один фотон, который мы посылаем к зеркалу, а потом измеряем расстояние до него как $2L = (\text{скорость света}) \cdot (\text{время в пути})$. Если изменяется расстояние, изменяется время в пути. Теперь мы шлем два фотона одновременно, но перпендикулярно друг другу. Для одно расстояние уменьшилось, для другого — увеличилось, поэтому между ними будет задержка.

 Wan-Derer

5 октября 2017 в 14:48

#

🔖

↗


⬆

0

⬇

Если меняет только пространство, а время остаётся неизменным, то да, понятно как оно работает. Тогда время и есть наше референсное пространство.

Просто исходно речь шла как раз про колебания пространства-времени....

 Shkaff

5 октября 2017 в 16:16

#

🔖

↗

⬆

+1

⬇

Время тоже меняется, конечно, но очень-очень слабо. Это эффект более высокого порядка по сравнению с изменением пространства (волны — линейное приближение возмущения метрики пространства-времени).



Wan-Derer 5 октября 2017 в 16:22



0



Чтобы поменять время нужна или очень высокая скорость или очень большая масса поблизости. Гравитационная волна — это и есть влияние массы, но т.к. масса очень дклеко, то и влияние очень мало. Так получается?



Shkaff 5 октября 2017 в 16:27



+1



В принципе, в ОТО достаточно энергии — где энергия (в виде массы или кривизны пространства) — там есть и изменение времени. Но все правильно, искривление пространства-времени за счет волн настолько мало, что влияние на время пренебрежимо. Немного технического: обычно гравитационные волны математически рассматриваются в *transverse-traceless gauge* (не знаю, как по-русски), где время вообще не входит, и то, что мы называем гравитационными волнами, не влияет на время совсем. Эффект следующего порядка, который будет влиять на время — будет уже не совсем волны, а что-то хитрее.



Wan-Derer 5 октября 2017 в 16:29



+2



Спасибо за разъяснения :)