

СХЕМА ПРЯМОГО СЧИТЫВАНИЯ СИГНАЛА И УСТОЙЧИВАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ЖЕСТКОСТЬ В ЛАЗЕРНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕННАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Н.А. Востросаблин, С.П. Вятчанин

¹Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова,
Физический факультет
vostrosablin@physics.msu.ru

Существование гравитационных волн было предсказано общей теорией относительности Эйнштейна. Лазерные интерференционно-гравитационные обсерватории (LIGO) призваны обнаружить эти волны и стать инструментом в изучении их источников [1]. В скором времени планируется запуск гравитационных антенн нового поколения (Advanced LIGO), являющихся существенно модернизированными по отношению к своим предшественницам. Одной из модификаций будет переход от считывания сигнала с помощью гетеродинной схемы к схеме прямого считывания сигнала (DCreadout scheme). Эта схема имеет ряд преимуществ: ожидается уменьшение влияния технических шумовых источников, полностью устраняются шумы, которые вносит гетеродинная схема. Кроме того, учитывая, что схема DCreadout является частным случаем гомодинной схемы, можно указать на то, что опорная волна будет автоматически стабилизироваться, что является большим плюсом.

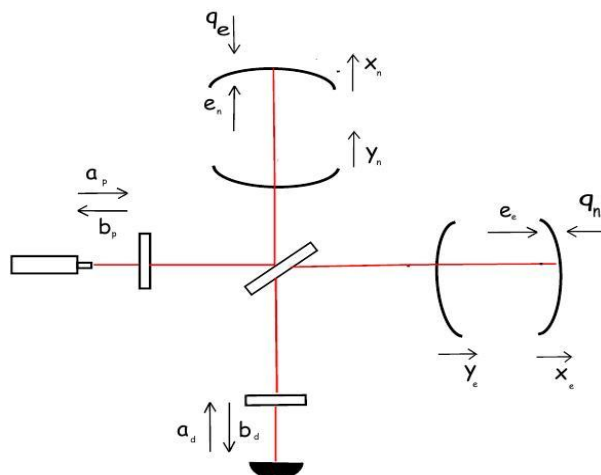


Рис.1. Схема aLIGO

Техническая реализация данной схемы тоже проще, чем в гомодине или гетеродине [2]. Основная идея состоит в том, чтобы внести разбалансировку в интерферометр с целью получить постоянную засветку на детекторе (в предыдущих схемах LIGO использовался так называемый режим “темного порта”, когда в отсутствие сигнала на фотодетекторе не было ни-

какой лазерной мощности). Это постоянная небольшая засветка на фотодетекторе будет играть роль опорной волны в схеме гомодинирования. В таком случае нужен всего лишь один фотодетектор, вместо двух идентичных (как в предыдущих схемах). Схема лазерной гравитационной антенны приведена на Рис. 1. Она состоит из интерферометра Майкельсона с интерферометрами Фабри-Перо в плечах.

Возможны два способа внесения разбалансировки. Первый состоит в небольшом смещении дальних зеркал в каждом резонаторе Фабри-Перо в противоположные стороны. Второй состоит в изменении расстояния между резонаторами Фабри-Перо и светоделителем в интерферометре Майкельсона. Мы рассматриваем первый способ.

В такой оптомеханической системе существуют две механические и две оптические моды. По причине внесенной разбалансировки две механические моды оказываются связаны через коэффициент связи, роль которого исполняют перекрестные оптические жесткости (оптические моды также оказываются связаны). Эффект оптической жесткости является известным физическим явлением в такого рода схемах [3-8]. Система начинает очень сильно напоминать систему двух связанных маятников. В таком случае на фотодетектор поступают дополнительные квантовые шумы, связанные с шумами лазера накачки, что естественно ухудшает чувствительность. Нами был проведен аналитический расчет такой схемы, и было оценено ухудшение чувствительности в случае внесения разбалансировки.

Как уже было упомянуто, в таких системах возможно присутствие эффекта оптической жесткости. Оптическая жесткость позволяет превратить свободную массу в осциллятор, для которого величина стандартного квантового предела меньше. Однако оптическая жесткость вносит неустойчивость в систему. Поэтому было бы желательно найти устойчивый режим.

Нами был проведен анализ для оценки минимальной величины расстройки детектора, достаточной для реализации устойчивой оптической жесткости в случае присутствия в системе только разностной механической моды (это возможно реализовать, например, в интерферометре Майкельсона-Саньяка).

ЛИТЕРАТУРА

1. Abbot B. P., et.al. // Reports on Progress in Physics. 2009. V.72. P. 0769.
2. McKenzie. K., Gray M.B, Lam P.G., McClelland D.E. // Appl. Opt. 2007. V. 46 P. 3389-3395.
3. Braginsky V.B., Minakova I.I. // Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seria 3: fizika i Astronomiya. 1964. No. 1, P. 83.
4. Braginsky V.B., Manukin A.B. // Sov. Phys. JETP 1967. V. 25, P. 653.
5. Braginsky V.B., Manukin A.B., Tikhonov M. Yu. // Sov. Phys. JETP 1970. V. 31. P. 829.

6. Braginsky V.B., Khalili F.Ya. // Phys. Lett. A 1999. V. 257. pp. 241-246.
7. Khalili F.Ya. // Physics Letters A 2001. V. 288. pp. 251-256.
8. Lazebny V.I., Vyatchanin S.P. // Phys. Lett. 2005. V. 344, No 1 pp. 7-1.