

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С СИСТЕМОЙ АВТОКОМПЕНСАЦИИ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОМЕХ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РАЗНОСТИ ЧАСТОТ МИЛЛИГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА

*А.Р.Агачев, А.Б.Балакин, Р.А.Даишев, Г.В.Кисунько,
В.А.Комиссарук, А.В.Лукин, С.В.Маурин, З.Г.Мурзаханов,
А.А.Нюшкин, Р.А.Рафиков, А.Ф.Скочилор*

В рамках Казанского проекта детектирования периодического гравитационного излучения (проект "Дулкын") [1,3] в Объединенной экспериментальной лаборатории гравитационно-оптических исследований НПО ГИПО была разработана и собрана интерферометрическая установка с системой автоматической компенсации тепловых и механических помех, обеспечивающая возможность обнаружения разности частот интерферирующих пучков в миллигерцевом диапазоне. На базе этой установки проведена первая серия предварительных экспериментов по проверке гипотезы о прямом воздействии гравитационного поля на частоту генерации лазерных систем [4,5].

Чтобы исключить влияние тепловых и механических помех и надежно выделить малые сдвиги чистоты (вариации частоты миллигерцевого диапазона), необходимо было отработать систему автокомпенсации помех. Излучение, выходящее из противоположных концов одного линейного ОКГ, является идеальным объектом для этой цели по следующим причинам.

1) В оптических схемах, используемых в проекте "Дулкын", лазерные системы с двумя выходами являются основными рабочими инструментами;

2) Если верна общепринятая концепция о том, что разность частот указанных оптических потоков строго равна нулю, то эта схема является идеальной для отработки и калибровки системы автокомпенсации помех во внешней по отношению к ОКГ части схемы;

3) Если неоднородное гравитационное поле делает неэквивалентными по частоте оптические потоки, выходящие из противоположных концов ОКГ (что допускается рядом теоретических моделей для протяженных лазерных систем),

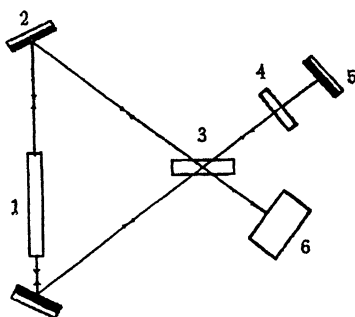


Рис. 1.

то данный эксперимент позволит обнаружить эту неэквивалентность.

Для отработки системы автокомпенсации помех и проведения экспериментов по обнаружению возможной малой разности частот излучения, выходящего из противоположных концов линейного ОКГ, была предложена и реализована оптическая схема, изображенная на рис. 1. Здесь 1 — линейный ОКГ; 2, 5, 7 — зеркала; 3 — светоделительная пластинка; 4 — пластинка в четверть волны; 6 — фотоприемное устройство, созданное на базе фотодиодной линейки ФУК1Л1 и компьютера. При интерференции лучей, исходящих из противоположных концов ОКГ 1, разность хода определяется длинами плеч, у которых один конец находится на рабочей поверхности соответствующего зеркала резонатора ОКГ, а другой — на светоделительной пластине, после которой лучи сходятся и образуют интерференционное поле. В качестве ОКГ 1 использовались гелий-неоновые лазеры ($\lambda = 632.8$ нм) типа ЛГ-52-1 (длина резонатора около 80 см) и ЛГ-52-3 (длина резонатора 28 см).

Ввиду того что в излучении ОКГ 1 присутствуют две соседние продольные моды, плечи интерферометра были сделаны существенно различными (отличающимися на длину резонатора, что для указанных типов ОКГ не приводило к ухудшению степени временной когерентности [6,7]). Из-за этого при изменении средней частоты излучения вследствие задержки, определяемой разностью длин плеч, имело место движение интерференционных полос, не связанное с возможной разностью частот верхнего и нижнего лучей. Эта помеха наряду с обычными возмущениями (тепловые потоки воздуха, вибрации) устранивается системой автокомпенсации, основанной на сравнении основной интерференционной картины с вспомогательной, для получения которой служит возвратное зеркало 5. Луч, возвращенный зеркалом 5, раз-

деляется пластиной 3 на два, которые отражаются от соответствующих рабочих поверхностей зеркал резонатора ОКГ 1, возвращаются к пластине 3, которая сводит их воедино, и дают вспомогательную интерференционную картину на фотоприемном устройстве 6. Из рис. 1 видно, что обе картины образованы одними и теми же элементами, причем вспомогательной картине отвечает удвоенная длина плеч. Чтобы избежать попадания внутрь резонатора излучения с исходным азимутом поляризации, в интерферометр введена четвертьволновая пластинка 4. Она ориентирована так, что азимут поляризации пучка, отраженного от зеркала 5 и дважды прошедшего пластинку 4, поворачивается на 90° .

Интерферометр настраивается таким образом, что обе интерференционные картины на фотоприемном устройстве пространственно разделены. Изменение фазы ϕ_0 основной интерференционной картины в случае равенства частот ($\Delta\nu = 0$) излучения, выходящего из торцов ОКГ 1, должно приводить к вдвое большему изменению фазы вспомогательной интерференционной картины ϕ_1 . Поэтому величина $\Phi = \phi_0 - 0.5\phi_1$ может служить критерием наличия разности частот $\Delta\nu$: при $\Delta\nu = 0$ результирующая функция Φ должна быть тождественно равной нулю, а при ненулевой постоянной разности частот будет линейной функцией времени $\Phi = \Delta\nu t$.

Изменение спектрального состава излучения ОКГ, связанное с тепловым изменением длины резонатора, контролировалось с помощью интерферометра Фабри-Перо с базой 120 мм. Оптическое излучение, падающее на фотодиод, преобразуется в напряжение и оцифровывается 12-разрядным АЦП с временем преобразования 3 мкс. Управление экспозицией, цифровое преобразование, передача информации и обработка результатов измерений осуществляется компьютером по специально разработанной программе. Предварительная обработка результатов измерений и выдача их в виде графиков на экране дисплея производится в режиме реального времени в ходе проведения эксперимента.

Все оборудование было расположено в специализированной виброзащищенной термостабилизированной камере на глубине 12 м. Эксперименты проводились непрерывно с декабря 1993 по июль 1994 г. при горизонтальном и вертикальном расположении установки. При отработке системы автокомпенсации создавались различные искусственные тепловые, вибрационные, аэродинамические, магнитные и т.д. помехи.

Мы исходили из предположения, что при горизонтальном расположении оптической системы противоположные

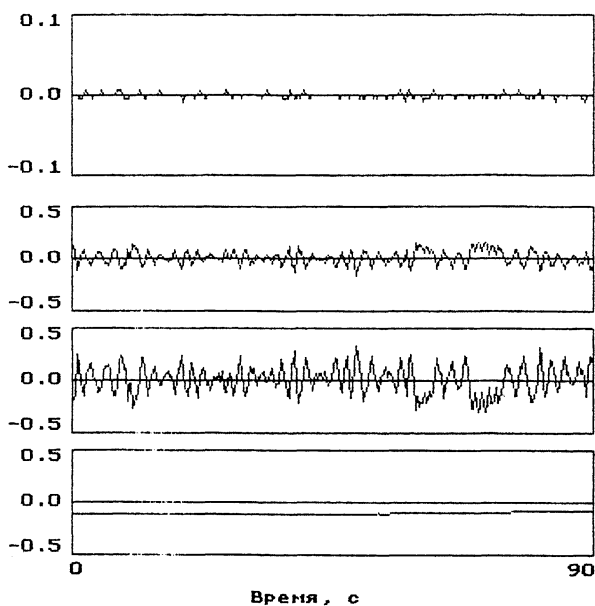


Рис. 2.

выходы ОКГ эквивалентны, но при вертикальном расположении они находятся в точках с разными гравитационными потенциалами, что в принципе может привести к ненулевой разности частот излучения, выходящего из верхнего и нижнего торцов лазера. Во время эксперимента на дисплее можно было наблюдать за движением интерференционных полос основной и вспомогательной картин, которое время от времени бывало довольно интенсивным. Тем не менее результирующая функция Φ в течение многих часов практически не отклонялась от нуля.

На рис. 2 представлена типичная картина, наблюдаемая на экране дисплея. Три верхние дорожки отображают изменения (в долях интерференционной полосы) величин Φ , ϕ_0 и ϕ_1 соответственно, а нижняя — отклонение η частоты генерации продольной моды с максимальным коэффициентом усиления от центральной частоты доплеровского контура (в долях разности частот между соседними продольными модами).

На основании анализа результатов проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1) Созданная система автокомпенсации позволяет уверенно регистрировать разность частот $\Delta\nu = 0.01 \cdot T^{-1}$ Гц, где T — время в секундах; в течение которого разность

частот постоянно, при уровне искусственных помех, превышающих по интенсивности естественные помехи (тепловые, сейсмические и т.д.) на два порядка. Чувствительность системы может быть существенно улучшена за счет применения специальных мер, повышающих стабильность установки в целом (низкие температуры, вакуумирование);

2) Система обработки информации позволяет анализировать отдельно, а также подвергать совместной корреляционной обработке записи шумовых характеристик (функции ϕ_0 , ϕ_1 , η на рис. 2), что особенно важно для выделения быстрых механических колебаний зеркал (ϕ_0 , ϕ_1) и медленных тепловых искажений (η) размеров резонатора при анализе сигнала в детекторе "Дулкын" [8];

3) При горизонтальном расположении лазерной системы достоверно установлено отсутствие разности частот излучения, выходящего из противоположных концов ОКГ;

4) При вертикальном расположении лазерной системы несколько раз зафиксировано появление отличной от нуля результирующей функции Φ (нам не ясно: действительная ли это разность частот или скрытая ошибка). Однако явление это не систематическое и достаточно редкое; мы накапливаем статистические характеристики этих событий.

В заключение подчеркнем, что отработанную систему автокомпенсации предполагается использовать во второй серии предварительных экспериментов по проверке гипотезы о прямом воздействии гравитационного поля на частоту генерации двойной лазерной системы [4,5].

Список литературы

- [1] *Balakin A.B., Murzakhanov Z.G., Ryabov O.R.* Preprint N 2 of Laboratory of Gravitational Wave Astronomy of Kazan University. 1992. 24 p.
- [2] *Balakin A.B., Murzakhanov Z.G., Ryabov O.R.* // Experimental Gravitation: Proceedings of First International Symposium on Experimental Gravitation. Nathiagali, Pakistan, 26 June–2 July. 1993. P. A273–A276.
- [3] *Балакин А.Б., Кисунько Г.В., Мурзаханов З.Г.* // ДАН СССР. 1991. Т. 321. В. 6. С. 1187–1191.
- [4] *Балакин А.Б., Мурзаханов З.Г., Скочилов А.Ф.* // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 76. В. 4. С. 671–676.
- [5] *Балакин А.Б., Даишев Р.А., Мурзаханов З.Г., Скочилов А.Ф.* Препринт № 5 Лаборатории гравитационно-волновой астрономии КГУ. Казань, 1993. 26 с.

- [6] *Гербрант В.В., Жолудев А.А., Лукин А.В.* // Оптический журнал. 1993. В. 9. С. 39–40.
- [7] *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М., 1973. 720 с.
- [8] *Балакин А.Б., Мурзатанов З.Г.* Препринт № 3 Лаборатории гравитационно-волновой астрономии КГУ. Казань, 1993. 34 с.

Поступило в Редакцию
23 августа 1994 г.

Казанский государственный
университет
Научно-производственное
объединение прикладной оптики
Казань
Отдел теоретических проблем РАН
Москва
