

В. ХИЖНЯКОВ

О РЕГИСТРАЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОВАЛА

V. HIZNIAKOV. GRAVITATSIOONIKIIRGUSE REGISTREERIMISEST SPEKTRAALSÄLKAMISMEE-
 TODIL

V. HIZHNYAKOV. THE MEASURING OF GRAVITATIONAL RADIATION BY SPECTRAL HOLE-
 BURNING METHOD

Гравитационное излучение вызывает квадрупольные колебания материального тела. Относительная амплитуда колебаний $\alpha = \Delta L / L$ определяется искажением метрики (ΔL — амплитуда колебаний, L — линейный размер материального тела). Для импульсных космических источников этот параметр оценивается в пределах $\alpha \sim 10^{-18} - 10^{-22}$ [1, 2] (взрыв сверхновой в Магеллановом облаке в феврале 1987 г. дал $\alpha \sim 10^{-19}$ при длительности импульса $\sim 10^{-3}$ сек). Покажем, что гравитационное излучение такой интенсивности может быть зарегистрировано спектроскопически методом спектрального провала.

Предлагаемый метод состоит в следующем. Вызванные гравитационным излучением колебания материального тела (болванки) передаются кристаллу, в котором предварительно приготовлен узкий спектральный провал. Как известно (см., напр., [3]), при сжатии (растяжении) кристалла на величину Δd провал уширяется и сдвигается на величину $\Delta\omega \sim \omega \Delta d / d$, где d — толщина кристалла в направлении сжатия. Это приводит к изменению интенсивности (амплитуды) пропускаемой через кристалл световой волны, которую можно зарегистрировать с использованием интерференционной методики.

Схема эксперимента следующая. Между двумя подвешенными болванками (см. рисунок), служащими детектором гравитационного излучения, помещается нитевидный кристалл, содержащий примесные

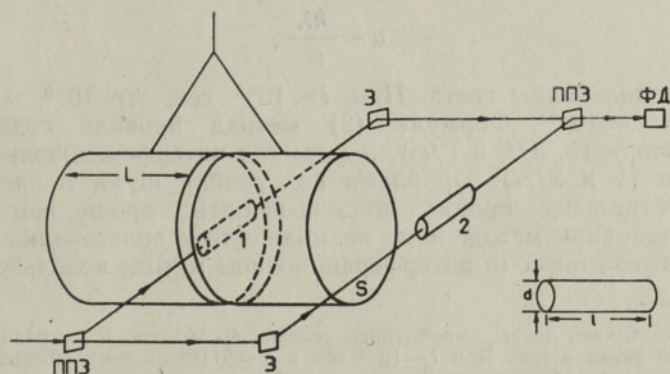


Схема эксперимента (обозначения в тексте). Справа внизу — форма нитевидных кристаллов 1 и 2.

центры. Точно такой же нитевидный кристалл помещается вне болванок. В обоих кристаллах выжжены одинаковые узкие спектральные провалы. Болванки и кристаллы размещены таким образом, чтобы последние находились в разных плечах интерферометра (3 — зеркало, ППЗ — полупрозрачное зеркало интерферометра). Монохроматический лазерный луч с частотой, находящейся в резонансе со спектральными провалами, направляется на интерферометр и проходит через оба кристалла. Интерферометр регулируется таким образом, чтобы на выходе волны от разных плеч интерферометра гасили друг друга и минимум света попадал на фотодетектор (ФД). Теоретический предел гашения волн

$$k \equiv \beta I_1 / I_0 \sim \beta N^{-1/2},$$

где I_0 и I_1 — интенсивность падающего и прошедшего света, N — число падающих на выходное полупрозрачное зеркало фотонов за время регистрации t , β — численный коэффициент меньший или порядка единицы. В случае $I_0 \sim 0,001$ Вт и $t \sim 10^1$ сек можно достичь $k \sim 10^{-9}$.

Пусть S — поперечное сечение, а κ — сжимаемость болванок, $s \sim dl$ — площадь соприкосновения болванки с нитевидным кристаллом длины l и толщины d , κ_k — сжимаемость кристалла. Если $\kappa \sim \kappa_k$, $d \ll L$, то $\Delta d \simeq \Delta L / \ln(L/d)$, т. е. заметная часть колебаний болванок передается находящемуся между ними кристаллу. При этом в указанном кристалле возникают сдвиг и уширение провала порядка

$$\Delta\omega \sim \omega \Delta d / d \sim \alpha \omega L / d \ln(L/d). \quad (1)$$

Зарегистрировать можно $\Delta\omega \sim k\Gamma$, где Γ — ширина провала. Следовательно, предлагаемым методом можно зарегистрировать гравитационное излучение, дающее относительное искажение метрики

$$\alpha \sim k \frac{d}{L} \frac{\Gamma}{\omega} \ln(L/d) \sim \beta N^{-1/2} \frac{d}{L} \frac{\Gamma}{\omega} \ln(L/d). \quad (2)$$

Оценка при $I_0 = 0,001$ Вт, $t = 10^1$ сек, $L = 10$ см, $S = 50$ см², $l = 1$ см, $d = 10^{-4}$ см, $\Gamma = 3 \cdot 10^{-5}$ см⁻¹, $\Gamma/\omega \sim 10^{-9}$, $k \sim 10^{-9}$ дает $\alpha \sim 10^{-9} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-9} = 10^{-22}$. Отметим, что можно еще уменьшить параметр Γ/ω , например до 10^{-12} ($\Gamma \sim 10^3$ сек⁻¹). Поэтому метод спектрального провала позволяет измерять сигналы от импульсных источников, дающих $\alpha \sim 10^{-26} - 10^{-24}$. Следовательно, методом спектрального провала можно зарегистрировать гравитационное излучение космических источников.

Сравним предлагаемый здесь метод с одним из лучших интерференционных методов (см. [1]). Последний позволяет зарегистрировать сигнал

$$\alpha \sim \frac{k\lambda}{ct}, \quad (3)$$

где λ — длина волны света. При $t \sim 10^{-3}$ сек, $k \sim 10^{-9}$, $\lambda \sim 10^{-5}$ см $\alpha \sim 10^{-9} \cdot 10^{-12} = 10^{-21}$. Формула (2) метода провала содержит три малых фактора (k , d/L и Γ/ω), а формула интерференционного метода (3) — два (k и λ/ct). Проблема подавления шума в предлагаемом методе спектрального провала должна решаться проще, чем в обычном интерференционном методе из-за возможности использования более простого интерферометра (в интерференционном методе используются либо

* Необходимо также, чтобы выполнялось условие $R < tv$, где R — радиус болванки, v — скорость звука в ней. При $t \sim 10^{-3}$ сек и $v \sim 5 \cdot 10^5$ см·сек⁻¹ $R < 500$ см.

** От стационарных источников (напр., от нейтронных звезд) можно зарегистрировать на несколько порядков слабее сигнал. В этом случае нет необходимости проводить эксперимент в патрульном режиме, что позволяет использовать более мощный лазер и достичь меньших k .

очень длинные интерферометры, либо очень точно сделанные линии оптической задержки, захватывающие свет на время $t \sim 10^{-3}$ сек). На практике метод спектрального провала может также оказаться гораздо более дешевым, чем обычный интерференционный метод [1].

Недостаток метода спектрального провала — необходимость использования низкой температуры. Но и метод [1] также требует использования низких температур.

В заключение отметим, что предлагаемую схему эксперимента можно дополнить еще двумя кристаллами со сдвинутыми на величину $\sim \Gamma$ провалами. В таком случае в процессе измерения можно отказаться от использования лазера с высокой стабильностью частоты (такой лазер нужен лишь для выжигания узких спектральных провалов).

Отметим также, что в предлагаемом методе следует использовать системы с двухступенчатым (двухфотонным) выжиганием. Тогда в процессе оптического измерения спектральные провалы не будут разрушаться.

Автор признателен К. К. Ребане и Р. Р. Таммело за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джеффис Э. Д., Соулсон П. Р., Сперо Р. С., Цукер М. Е. Гравитационно-волновые обсерватории. В кн.: В мире науки (перевод Scientific American), август (№ 8). М., «Мир», 1987, 20—29.
2. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация, 3. М., «Мир», 1977, 235—287.
3. Richter, W., Schulte, G., Haarer, D. Opt. Comm., 51, 412—416 (1984).

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21/1 1988