

## **РЕЛИКТОВЫЕ ГРАВИТОНЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ**

*Л.П.Грищук*

Указан механизм образования неравновесного изотропного гравитационно-волнового шума. Рассмотрены некоторые возможности его регистрации, показывающие перспективность соответствующих наблюдений.

В настоящее время усилия экспериментаторов направлены на обнаружение редких импульсов гравитационного излучения, сопровождаю-

щих космические катастрофы, а также монохроматических сигналов от астрономических и лабораторных источников [1 – 4]. Необходимо настоятельно подчеркнуть, что есть веские доводы в пользу существования гравитационного излучения в виде неравновесного изотропного космического шума, содержащего значительную плотность энергии и реализованного в очень широком спектре. Механизмом образования такого гравитационно-волнового шума (ГВШ) должно служить сверхадиабатическое усиление гравитационных волн и спонтанное рождение гравитонов в гравитационном поле Метагалактики на самых ранних стадиях ее эволюции [5]. К этому механизму приводят уже простейшие представления, содержащиеся в стандартной космологической модели, о нестационарности и изотропии сглаженного (фонового) гравитационного поля Метагалактики.

Спектр и интенсивность ГВШ определяются характером нестационарности внешнего гравитационного поля. Шум указанного происхождения полностью отсутствует лишь в том исключительном случае, если масштабный фактор фонового мира подчинялся закону  $a(t) = a_0 \sqrt{t}$  вплоть до границ применимости современной теории тяготения  $t = t_{Pl} = \sqrt{G\hbar/c^5}$ <sup>1</sup>. Если по каким-либо причинам  $a(t)$  имело минимум при плотностях, соответствующих  $t_{Pl}$  или меньших, то в нынешнюю эпоху  $t_0$  ГВШ должен состоять из порожденных гравитонов и содержать также в своем

низкочастотном диапазоне  $\nu < \nu_c = \frac{a(t_{Pl})}{a(t_0)} \nu_{Pl}$ ,  $\nu_{Pl} = t_{Pl}^{-1}$  усиленные

гравитационные волны эпохи сжатия<sup>2</sup>). Сечения процессов с участием гравитонов столь малы [3, 9], что можно, видимо, рассчитывать на "замывание" произвольного начального спектра и его переработку в планковский лишь в области  $\nu > \nu_c$  ( $\nu_c$  лежит в районе  $10^{11}$  гц).

Известны косвенные ограничения на возможную плотность энергии гравитационных волн  $\epsilon_g$  [3]. Они используют дополнительные предположения и не имеют доказательной силы, но все-таки являются довольно правдоподобными. Наиболее сильное ограничение [10] сводится к тому, что  $\epsilon_g$  для волн с  $0 < \lambda_g < \lambda_m = 3 \cdot 10^{17}$  см не может значительно превышать плотность энергии 3К электромагнитного излучения  $\epsilon_\gamma \approx 4 \cdot 10^{-13}$  эрг/см<sup>3</sup>. Интегральные ограничения на  $\epsilon_g$  ничего не говорят о спектре. Механизм образования ГВШ предсказывает гладкую зависимость от частоты для спектральной плотности потока. Представим спектр степенным законом  $F_\nu = K \nu^{-\alpha}$ , где  $K$  выражается через

<sup>1</sup>) В [5] доказана возможность рождения гравитонов, а отнюдь не обратное, как можно было бы подумать, ознакомившись с [6]. Для этого процесса необходимо, чтобы  $a(t) \neq a_0 \sqrt{t}$  безотносительно к тому вызывается ли это "истинным" или "эффективным" тензором энергии-импульса.

<sup>2</sup>) Низкочастотная часть спектра гравитонов, порожденных при переходе от сжатия к расширению по степенному закону, рассчитана в [7]. Там же отмечено, что спектр, близкий к равновесному, на котором настаивает [8], получается лишь в частном случае.

$\epsilon_g$  путем интегрирования  $F_{\nu}/c$  по  $\nu$  от  $\nu_m$  до  $\nu_c$ . При  $a > -2$  эффективная температура  $T_g = c^2 F_{\nu} / 2k\nu^2$  на низких частотах значительно превышает равновесную, что облегчает обнаружение ГВШ.

Среднеквадратичная амплитуда хаотически модулированных колебаний гравитационной антенны  $A_g^2$  в отсутствие собственных (тепловых) шумов  $A_B^2$  определяется энергией  $F_{\nu_0} \sigma \tau^*$ , где время релаксации  $\tau^* \sim \sim Q/\nu$ ,  $Q$  — добротность,  $\sigma$  — эффективное сечение антенны, проинтегрированное по углам и частотам  $\Delta\nu \sim \nu_0/Q$ . Поскольку от изотропного гравитационного излучения невозможно ни "заслониться", ни "отвернуться", то для выделения ГВШ на фоне собственных шумов антенны целесообразным выглядит использование корреляционной схемы (см. также [11, 12]). Пусть два осциллятора расположены перпендикулярно друг к другу. Их собственные шумы некоррелированы (взаимное гравитационное влияние осцилляторов ничтожно). ГВШ представим в виде частой последовательности импульсов со случайной амплитудой и поляризацией. Каждый импульс, приходящий с направлений в которых диаграммы направленности осцилляторов перекрываются, оказывает на них воздействие противоположных знаков в силу тензорного характера гравитационного излучения. Произведение шумов осцилляторов, усредненное за бесконечное время, позволило бы найти любое  $A_g^2$ . Усреднение по времени наблюдения, содержащего  $n$  интервалов  $\tau^*$ , позволяет найти  $1/\sqrt{n}$  — долю от  $A_B^2$ .

Запишем условие обнаружения в виде  $F_{\nu_0} \sigma \tau^* \geq n^{-1/2} kT$ . Для электромагнитной антенны-резонатора с характерными размерами  $l \sim 1/2 \lambda_g$  и напряженностью постоянного поля  $H$  имеем  $\sigma_e \sim G/c^3 H^2 \lambda_g^3$ . Твердотельная антенна с  $l \sim 1/2 \lambda_s \sim 1/2 v_s/c \lambda_g$  ( $v_s$  — скорость звука) и массой  $M$  дает  $\sigma_m \sim G/c^3 (M c^2) (v_s/c)^2 \sim G/c^3 M l^2 \nu_0^2$ . Наиболее выгодным для обнаружения является спектр с  $a \approx 1$ , он отвечает разумным моделям начального состояния, хотя и не обязателен. Подставляя  $F_{\nu_0} \approx c \epsilon_g \nu_0^{-1}$  и, соответственно,  $\sigma_m$  и  $\sigma_e$ , перепишем условие обнаружения

$$\frac{\sqrt{n} G \epsilon_g M l^2 Q}{c^2 k T} \geq \mu, \quad (1)$$

$$\frac{\sqrt{n} c G \epsilon_g H^2 Q}{k T \nu_0^5} \geq \mu, \quad (1')$$

где  $\mu$  — комбинация неучтенных числовых коэффициентов и может достигать значений  $\mu \sim 10^2$ . Используем жесткую оценку  $\epsilon_g \approx 10^{-12} \text{ эрг/см}^3$ . Для первых антенн веберовского типа (и при  $\sqrt{n} = 3 \cdot 10^2$ ) левая часть (1) примерно равна  $10^{-9}$ : Электромагнитный вариант с  $\nu_0 = 10^7 \text{ иц}$ ,  $H = 3 \cdot 10^5 \text{ ис}$ ,  $Q = 10^{13}$ ,  $T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ К}$  и  $n = 1$  дает величину порядка  $3 \cdot 10^{-2}$  в левой части (1'). Требуемый уровень, вероятно, достигнут твердотельные антенны следующего поколения, обладающие гигантскими добротностями и поддерживаемые при субгелиевых температурах [2]. В.Б.Брагинский обратил мое внимание на перспективность использования спутников, свободных от сноса. Действительно, два спутника,

находящихся на расстоянии  $l$  друг от друга, могут приобрести за время  $\Delta t \sim l/c$  относительную скорость  $v \sim l\sqrt{G/c^2\epsilon_g}$ . При  $l = 3 \cdot 10^{13}$  см имеем  $v \approx 2 \cdot 10^{-7}$  см/сек, что приближается к достигнутому уровню чувствительности [2]. Разумеется, ГВШ должен проявляться также в избыточном "дрожании" Земли, планет и других астрономических систем. Регистрация ГВШ либо экспериментальное ограничение формы его спектра может дать фундаментальные сведения о чрезвычайно ранних стадиях эволюции Метагалактики.

Автор благодарен Я.Б.Зельдовичу, В.И.Слышу, а также радиоастрономам ГАИШ и Кавендишевской лаборатории в Кембридже за обсуждения.

Государственный  
астрономический институт  
им. П.К.Штернберга

Поступила в редакцию  
9 февраля 1976 г.  
После переработки  
26 февраля 1976 г.

### Литература

- [1] С. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation. S-F. 1973.
- [2] В.Б.Брагинский, А.Б.Манукин. Измерение малых сил в физических экспериментах, М., изд. Наука, 1974.
- [3] Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков. Строение и эволюция Вселенной М., изд. Наука, 1975.
- [4] Л.П.Гришук, М.В.Сажин. ЖЭТФ, 68, 1569, 1975.
- [5] Л.П.Гришук. Lett. Nuovo Cim., 12, 60, 1975; ЖЭТФ, 67, 825, 1974.
- [6] Б.В.Вайнер, П.Д.Насельский. Письма в ЖЭТФ, 23, 141, 1976.
- [7] А.А.Старобинский. Phys. Lett., (в печати)
- [8] L. Parker. Preprint Univ. Wisconsin-Milwaukee, 1975.
- [9] И.Ю.Кобзарев, П.И.Пешков. ЖЭТФ, 67, 428, 1974.
- [10] В.Ф.Шварцман. Письма в ЖЭТФ, 9, 315, 1969.
- [11] W. L. Burke. Phys. Rev., D8, 1030, 1973.

[ 12 ] А.В.Гусев, В.Н.Руденко. Сб. Проблемы теории гравитации и элементарных частиц вып. 5, стр. 183, Атомиздат, 1974.

---