

На рис. 2 показаны оценки амплитуд гравитац. излучения от осн. астрофиз. источников.

Проблема обнаружения (детектирования) Г. в. Мощность гравитац. излучения, к-рая может быть создана в лабораторных условиях генератором Г. в. даже при значительной его массе, весьма невелика. Напр., согласно расчётам, при собств. колебаниях кварцевого бруса объёмом в неск. м³ с макс. амплитудой, ограниченной пределом прочности кварца, генерируемая мощность Г. в. составит лишь $\sim 10^{-20}$ Вт. Осн. причина низкой эффективности преобразования механич. энергии в энергию Г. в. состоит в малости гравитац. постоянной, к-рая входит как в ур-ния Эйнштейна, так и в закон всемирного тяготения Ньютона. Невелики и достижимые в экспериментах с макроскопич. телами ускорения (т. к. при больших ускорениях тела разрушаются). Если же использовать в качестве источников Г. в. микрообъекты — ступки электронов или фотонов, то выигрыш в величине ускорения компенси-

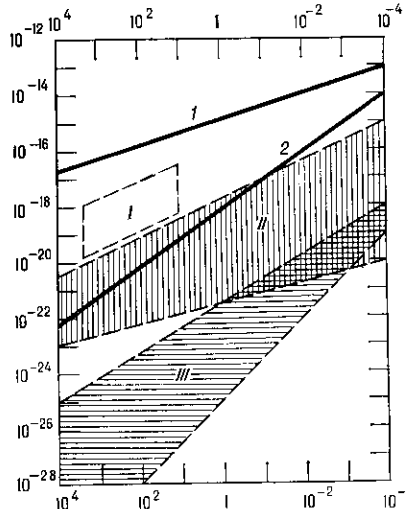


Рис. 2. По оси абсцисс отложена характеристическая частота гравитационной волны, в Гц, а по оси ординат — её безразмерная амплитуда. I — самые оптимистические оценки всплесков, II — фоновое гравитационное излучение, плотность энергии которого достаточна, чтобы сделать Вселенную закрытой; I — сверхновые в нашей Галактике, II — всплески гравитационного излучения, III — периодическое гравитационное излучение.

руется малостью массы и полная мощность Г. в. и в этом случае оказывается весьма незначительной. Поэтому именно на астрофиз. источники рассчитаны наземные лабораторные гравитац. антенны, работающие или создаваемые более чем в 20 лабораториях разных стран. Обнаружение на Земле всплесков гравитац. излучения от этих источников означало бы одновременно и появление качественно нового канала астрофиз. информации. В одной галактике можно ожидать одну астрофиз. катастрофу, сопровождающуюся значит. всплеском гравитац. излучения, примерно раз в 20—30 лет (с такой частотой в ср. происходят взрывы сверхновых в одной галактике). Поэтому, чтобы ориентироваться на регистрацию одного всплеска гравитац. излучения в месяц, необходимо иметь достаточно чувствительные наземные гравитац. антенны, способные обнаружить всплеск в любой из галактик, находящихся на расстоянии до 3 Мпк (в сфере с таким радиусом находятся ок. 300 галактик).

Гравитац. антенной может быть любая пара пробных масс (тел) или протяжённое тело и чувствит. устройство, регистрирующее малые отпосит. смещения масс или вызывающие их силы. Всплеск гравитац. излучения, распространяющийся со скоростью света, несёт измененные свойств. (кривизны) пространства, воздействующее на пробные тела. Амплитуда возмущений гравитац. поля, вызванных Г. в., убывает обратно пропорционально расстоянию от источника (излучателя). При расстоянии между двумя свободными пробными телами l вариации этого расстояния, вызванные всплеском Г. в. с амплитудой $h \sim h_+ \sim h_\times$, по порядку величины равны $\Delta l \approx lh$. Оптимистич. оценка для величины h в Солнечной системе в случае взрыва сверхновой на рас-

стоянии 3 Мпк лежит в пределах $(3-1) \cdot 10^{-19}$ (при длительности всплеска $\sim 10^{-4}-10^{-3}$ с). Более реалистич. оценка для того же случая: $h \approx 10^{-21}$ (выбор оценки зависит от неизвестной степени асимметрии взрыва сверхновой; см. рис. 2).

Наиболее перспективными считают два типа наземных гравитац. антенн. В первом типе вместо отпосит. смещений двух пробных масс регистрируют низкочастотные механич. колебания массивного цилиндра длиной $\sim 1-3$ м, вызванные Г. в. Во втором типе используются две свободные массы, разнесённые на расстояние $\sim 10^3-10^4$ м, и лазерный интерферометр для регистрации малых изменений этого расстояния (Δl) под действием Г. в. При ориентации на оптимистич. прогноз чувствительность датчиков для первого типа антенн должна быть не хуже $\Delta l \approx (2-3) \cdot 10^{-17}$ см, а для второго типа — не хуже $\Delta l \approx (2-3) \cdot 10^{-14}$ см. Криогенные СВЧ-датчики малых колебаний для первого типа и лазерные датчики для второго типа, обладающие такой чувствительностью, уже созданы.

Тепловые колебания вызывают помехи приёму Г. в. Наим. обнаружимая амплитуда вариации метрики h в классич. приближении для антенн первого типа может быть оценена из след. ф-лы:

$$(h_{\text{класс}})_{\text{мин}} \approx 4 \sqrt{\frac{h}{\pi v^2}} \cdot \sqrt{\frac{T}{mQ}} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_{\text{ГР}}}}, \quad (22)$$

где v — скорость звука, T — абс. темп-ра, m — масса цилиндра, Q — добротность выбранной моды колебаний, τ — время усреднения, $\tau_{\text{ГР}}$ — длительность импульса гравитац. излучения. В совр. антеннах первого типа при использовании масс порядка неск. т из алюминия или десятка кг из лейкоапатита или монокристаллич. кремния достигнута величина $m \cdot Q \approx 3 \cdot 10^{13}$ г. При $T=2$ К и $\tau \approx \tau_{\text{ГР}}$ эти антенны имеют, т. о., потенц. чувствительность $(h_{\text{класс}}) \approx 10^{-20}$. Реально достигнутый уровень чувствительности несколько хуже, $h \approx (3-1) \times 10^{-18}$.

В антеннах второго типа осн. помехой являются сейсмич. возмущения, к-рые могут быть устранены антисейсмич. фильтрами. Можно ожидать, что в ближайшие годы неск. антенн будут синхронно (в режиме совпадений) регистрировать возможные редкие всплески Г. в. с амплитудой $h \approx 1 \cdot 10^{-19}$.

Следует отметить, что приведённый выше предел для $h_{\text{класс}}$ имеет квантовомеханич. ограничение. Если использовать непрерывную систему регистрации координаты, то

$$(h_{\text{квант}})_{\text{стандарт}} \approx \sqrt{\frac{4h}{\pi v^2 m \tau_{\text{ГР}}}}. \quad (23)$$

Отказ от непрерывной системы регистрации координаты позволяет в принципе обнаруживать вариации метрики меньше, чем $(h_{\text{квант}})_{\text{стандарт}}$. Теория таких измерений, называемых *квантовыми неразрушающими измерениями*, детально разработана.

В 70-х гг. было получено косв. подтверждение существования Г. в. Долголетие наблюдения за двойной звездой, один компонент к-рой — пульсар PSR 1913+16, а другой, по-видимому, также нейтронная звезда, показали, что период обращения компонентов вокруг общего центра масс монотонно сокращается. Это сокращение периода означает сближение компонентов, к-рое, возможно, вызвано потерей энергии на Г. в. Числ. оценки изменения периода, вызываемого Г. в., удовлетворительно согласуются с известными данными о вращении тесной пары нейтронных звёзд.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 6 изд., М., 1973; Зельдович Я. В., Новиков И. Д., Теория тяготения и эволюция звёзд, М., 1971; Брагинский В. Б., Манукин А. Б., Измерение малых сил в физических экспериментах, М., 1974; Мизнер Ч., Торнкв. Уилер Д. Ж., Гравитация, пер. с англ., т. 1—3, М., 1977; Вайсбаерг Д. Ж., Тейлор Д. Ж., Фаулер Л., Гравитационные волны от пульсара в двойной системе, пер. с англ., «УФН», 1982, т. 137, с. 707.

В. Б. Брагинский, А. Г. Полмарёв.