

О ГРАВИТАЦИОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ ВЗРЫВНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Л.М.Озерной

Одно из ведущих направлений в современном развитии общей теории относительности занимает поиск новых экспериментов для ее проверки. Среди них как наиболее обещающие выделяются исследования по

генерированию и детектированию гравитационных волн [1-3]. Сейчас обсуждается возможность обнаружения гравитационных волн от ближайших короткопериодических двойных звезд [4], а также от коллапсировавших масс [5]. В случае коллапса тел их гравитационное самозамыкание существенно уменьшает количество высвечиваемой гравитационной энергии. При расширении из сингулярной сферы или при взрыве это ограничение отсутствует. Настоящая заметка имеет целью приближенно оценить мощность гравитационного излучения, возникающего при взрывном разлете вещества в ходе различных природных катаклизмов.

Будем основываться на следующей модели асимметричного разлета: поверхность, ограничивающая разлетающиеся массы, является конической с неизменным углом раствора 2α , плотность расширяющейся материи не зависит от координат и является функцией времени. Когда ось конуса направлена по оси z , компоненты тензора квадрупольного момента масс таковы: $D_{xx} = D_{yy} = -\frac{1}{2} D_{zz} = \frac{3}{10} M h^2 (tg^2 \alpha - 4)$, где M - масса расширяющейся материи, h - расстояние до основания конуса. Если ограничиться грубым приближением, считая скорость движения возрастающей за время τ линейно от нуля до v_{max} , то $h = v_{max} t^2 / 2\tau$ и квадрупольный момент по порядку равен $D \approx M (v_{max}^2 t^4 / \tau^2)$. Заменяя v_{max} по известной формуле $v_{max} = (3\gamma - 1) \sqrt{2E/M(\gamma^2 - 1)}$ через энергию взрыва E , найдем, что полная энергия гравитационного излучения, выделенная при взрыве, есть

$$E_g = \int \frac{G}{45c^5} \ddot{D}_{ik}^2 dt \approx \frac{256 G (3\gamma - 1)^4 E^2}{15c^5 (\gamma^2 - 1)^2 \tau} \quad (1)$$

а средняя мощность гравитационного излучения в волновой зоне

$$\langle W_g \rangle \approx \frac{256 G (3\gamma - 1)^4}{15c^5 (\gamma^2 - 1)^2} \frac{E^2}{\tau^2} \approx 38 \cdot 10^{-57} \frac{E^2}{\tau^2} \text{ эрг/сек} \quad (2)$$

при показателе адиабаты $\gamma = 5/3$. Высвечиваемая при взрыве гравитационная энергия распространяется в виде уединенной волны.

Оценим мощность взрывного гравитационного излучения от различных природных источников. Можно отметить, что нижний предел, до-

ступный для регистрации (в непрерывном режиме) современными техническими средствами, составляет 10^{-10} эрг/см²сек [4], или даже на несколько порядков ниже, в зависимости от времени наблюдения и частоты гравитационной волны [3].

1. Гравитационное излучение при взрывах квазизвездных радиоисточников. Недавно открытые квазизвездные радиоисточники (квазары) являются, вероятно, наиболее мощными источниками гравитационных волн во Вселенной на взрывной стадии эволюции. Общепринятой точки зрения на природу взрыва нет. В [6] взрывной разлет квазара связывается с процессами в магнитоиде - конфигурации, поддерживаемой в равновесии градиентом магнитотурбулентного давления. Для грубой оценки мощности гравитационного излучения по формуле (2) можно, не конкретизируя механизм взрыва, оценить нижнюю границу временного масштаба взрыва как гидродинамическое время, необходимое для перестройки структуры квазара $\tau \approx R^{3/2} / (GM)^{1/2}$. Для квазара 3C 273 $\tau \approx 10^8$ сек. Полагая $E \approx 10^{59}$ эрг [6], найдем из (2) $\langle W_g \rangle \approx 4 \cdot 10^{45}$ эрг/сек, что по порядку величины близко к современной оптической светимости этого и подобных объектов. У поверхности Земли поток гравитационного излучения $t_{or} \approx 10^{-10}$ эрг/см²сек.

2. Гравитационное излучение при взрывах галактик. Взрывы галактик и радиогалактик связаны с разнообразными физическими процессами. В частности, эти взрывы играют важную роль в термодинамике межгалактической среды [7]. Другим следствием взрыва может быть мощное гравитационное излучение, которое скорее всего носит, как и взрыв, рекуррентный характер. Характерным примером взрывающейся галактики является M82 (NGC 3034); разлет продуктов ее взрыва схематически соответствует коническому взрыву [8]. Такой асимметричный разлет может быть обусловлен магнитным полем и вращением. В случае M82 имеем $E \approx 10^{55}$ эрг [8,9], если τ имеет тот же порядок 10^8 сек, как у квазара (основанием к этому является возможное наличие в M82 компактного радиоисточника - см. литературу в [9]), то в эпоху взрыва $\langle W_g \rangle \approx 4 \cdot 10^{37}$ эрг/сек и поток у Земли $t_{or} \approx 10^{-13}$ эрг/см²сек.

3. Гравитационное излучение при столкновениях звезд в ядрах радиогалактик. Концентрация звезд в радиогалактиках может достигать чрезвычайно больших значений - более 10^5 звезд/пс³. Согласно оценкам [10], лобовые столкновения между звездами в центральной области NGC 4486 происходят каждые несколько десятков или сотен лет. При столкновении звезд через них пройдет ударная волна, которая вызовет бурный разогрев звездной материи и ядерный взрыв с энерговыделением $\sim 10^{51}$ эрг. Характерное время порядка или меньше гидродинамического времени, составляющего несколько минут. Полагая $E \sim 10^{51}$ эрг, $\tau \sim 3 \cdot 10^{-2}$ сек, найдем $\langle W_g \rangle \sim 4 \cdot 10^{40}$ эрг/сек, что при $r \sim 10$ Мпс отвечает у Земли потоку $t_{or} \sim 10^{-11}$ эрг/см²сек. Еще больший поток гравитационных волн может наблюдаться - хотя и существенно реже - при столкновениях звезд в ядрах шаровых скоплениях.

4. Гравитационное излучение при взрывах Сверхновых и Новых звезд. Взрыв Сверхновой в настоящее время принято считать сферически-симметричным. Однако не исключено, что взрыв происходит преимущественно в определенных зонах звезды. Наличие асимметрии должно привести к гравитационному излучению. Энергия, освобождаемая в центре Сверхновой II типа и идущая на образование ударной волны, $E \approx 10^{52}$ эрг. Характерный масштаб времени механической неустойчивости, вызываемой экзотермическими ядерными реакциями, $\leq 10^3$ сек [11]. Отсюда $\langle W_g \rangle \geq 4 \cdot 10^{41}$ эрг/сек. Детектирование излучения у Земли на уровне 10^{-10} эрг/см²сек доступно, в принципе, вплоть до расстояний $r \sim 10$ Мпс, т.е. при вспышке Сверхновой в ближайших галактиках. Взрыв Новой звезды также сопровождается гравитационным всплеском, однако заметить его трудно и более реальным представляется возможность регистрации непрерывного "фона" гравитационного излучения от Новых, обязанного их тесной двойственности.

Резюмируя, можно отметить, что взрывное гравитационное излучение в процессах (1-4) является весьма значительным. Представляет интерес более подробный анализ космических взрывных явлений, так как регистрация сопутствующего гравитационного излучения может ока-

заться принципиально новым способом исследования процессов в центральных областях взрывающихся космических объектов.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
31 мая 1965 г.

Литература

- [1] J. Weber. Revs. Mod. Phys., 31, 681, 1959; Phys. Rev., 117, 306, 1960.
- [2] R. H. Dicke. Revs. Mod. Phys., 29, 355, 1957.
- [3] В. Б. Брагинский, В. Н. Руденко. Сб. "Гравитация и теория относительности". Изд-во Казанск. ун-та, 1963, стр. 96.
- [4] В. Б. Брагинский. Докл. на II Всесовзн. гравитационной конф., Тбилиси, 1965.
- [5] И. Д. Новиков, Л. М. Озерной. Препринт ФИАН А-17, 1964.
- [6] Л. М. Озерной. Тр. симпозиума "Переменные звезды и звездная эволюция". Изд. "Знание", 1965; Докл. на II Всесовзн. гравитационной конф., Тбилиси, 1965 (в печати); Докл. АН СССР, 163, 50, 1965.
- [7] В. Л. Гинзбург, Л. М. Озерной. Астрон. ж., 42, № 5, 1965.
- [8] C. R. Lynds, A. R. Sandage. Ap. J., 137, 1005, 1963.
- [9] В. Л. Гинзбург, Л. М. Озерной, С. И. Сыроватский. Изв. АН СССР, сер. физ., 22, № 9, 1965.
- [10] И. С. Шкловский. Тр. VI Совец. по вопросам космогонии. Изд. АН СССР, 1959, стр. 187.
- [11] F. Hoyle, W. Fowler. Preprint, 1964.

1) При выводе в работе [3] формулы (18), аналогичной настоящей формуле (1), в нее вкралась ошибка. В частности, поток гравитационного излучения от искусственного взрыва оказался ошибочно заниженным при условиях [3] на 16 порядков.