

Г. С. Бисноватый-Коган. Гравитационный коллапс, излучение нейтрино и кривые блеска сверхновых. Взрывы сверхновых в результате коллапса происходят на последнем рубеже жизни массивных ($\geq 8 M_{\odot}$) звезд. Полное выделение энергии при коллапсе примерно в 20 раз больше, чем за все время спокойной эволюции звезды. Менее массивные звезды с $M < 8 M_{\odot}$ становятся белыми карликами, теряя большую часть своей массы в ходе эволюции. Основными эволюционными стадиями массивной звезды являются: горение водорода в ядре (главная последовательность); горение гелия в ядре и водорода в слоевом источнике (стадия сверхгигантов) и последующая быстрая эволюция до образования железного ядра и начала гидродинамического коллапса (для $M > 10 M_{\odot}$) либо до начала нейтронизации в ядре из $O^{16} + Ne^{20} + Mg^{24}$, также переходящей в коллапс (см. обзор ¹).

Расчеты коллапса в приближении сферической симметрии без вращения и магнитного поля ведутся более 20 лет. Основным вопросом является воз-

возможность достаточного выделения при коллапсе кинетической энергии и энергии излучения ($\sim 10^{51}$ эрг) для объяснения наблюдаемого взрыва сверхновых. Наиболее полный учет всех факторов, сделанный в работах Надежина в 1978 г. и в последующих работах зарубежных авторов, дал отрицательный ответ, т. е. отсутствие взрыва при коллапсе. Коллапс сильно неоднороден. Вначале за время $\sim 10^{-3}$ с образуется нейтронное ядро, а затем следует стадия аккреции на него оставшегося вещества с излучением нейтрино в течение ~ 20 с (см. обзор²). Мощный поток нейтрино тормозит падение вещества и препятствует его отскоку. Сложность задачи и возможность дальнейших уточнений не позволяет считать окончательным вывод об отсутствии взрыва, работа в этом направлении продолжается.

Открытие пульсаров показало, что нейтронные звезды вращаются и обладают большим ($\sim 10^{12}$ Гс) магнитным полем. Трансформация энергии вращения в энергию взрыва с помощью магнитного поля для объяснения вспышек сверхновых рассмотрена в³. При магниторотационном взрыве (МРВ) в результате коллапса образуется нейтронное ядро, окруженное дифференциально вращающейся оболочкой. Из-за дифференциального вращения происходит закручивание силовых линий магнитного поля, связывающего ядро и оболочку. Происходит передача момента во внешние области и рост магнитного давления. Это приводит к формированию волны сжатия, превращающейся в ударную. Одномерные расчеты показали⁴, что $\sim 5\%$ начальной энергии вращения E_{rot} превращается в энергию разлета оболочки. При $E_{\text{rot}} = 10^{53}$ эрг это дает достаточную энергию для взрыва. Ведется работа над двумерными расчетами.

Излучение нейтрино при коллапсе не зависит от наличия или отсутствия последующего взрыва. В течение ~ 20 с в виде нейтрино излучается энергия, равная энергии связи нейтронной звезды $E_{\text{v.tot}} = (3 + 6) \cdot 10^{53}$ эрг. Нейтринная кривая блеска исследована Д. К. Надежиным и др. (см. обзор²). Расчеты с учетом всех типов нейтрино сделаны в⁵. В каждом из 6 типов нейтрино (с учетом античастиц) уходит примерно одинаковое количество энергии. Средние энергии различных типов нейтрино равны $\langle \epsilon_{\nu_e} \rangle = 15$ МэВ, $\langle \epsilon_{\nu_e^-} \rangle = 16$ МэВ, $\langle \epsilon_{\nu_\mu} \rangle = \langle \epsilon_{\nu_\mu^-} \rangle = \langle \epsilon_{\nu_\tau} \rangle = \langle \epsilon_{\nu_\tau^-} \rangle = 33$ МэВ. Сигналы, наблюдавшиеся на четырех нейтринных обсерваториях в день вспышки сверхновой 1987А 23 февраля 1987 г. для трех обсерваторий могут быть связаны с нейтрино от гравитационного коллапса⁶.

Расчет кривых блеска сверхновых проводится с помощью решения гидродинамических уравнений с лучистой теплопроводностью или совместно с уравнением лучистого переноса. При этом задаются в виде исходных данных, начальное распределение массы, скорости, мгновенное выделение энергии, дополнительный источник энергии в виде молодого пульсара или радиоактивного распада в цепочке $\text{Ni}^{56} \rightarrow \text{Co}^{56} \rightarrow \text{Fe}^{56}$. Выбором этих исходных данных пытаются согласовать теоретические кривые блеска, спектры в различные моменты и светимости в рентгеновской и гамма-области с имеющимися наблюдательными данными по СН 1987А. Работа по такому согласованию продолжается. Расчеты по определению кривых блеска не являются продолжением расчетов коллапса, ввиду огромных трудностей такого сквозного счета. Отметим, что наблюдаемый экспоненциальный спад кривой блеска характерен не только для радиоактивного распада, но и для пульсара⁷.

Радиоизлучение от СН 1987А имеет необычные свойства. Оно наблюдалось только в течение ~ 10 дней после взрыва, появилось вскоре или одновременно с оптической вспышкой и было аномально слабым с полной излученной энергией $E_{\text{r.tot}} \approx 10^{39}$ эрг. Возможно, что оно связано с генерацией быстрых позитронов антинейтринным $\bar{\nu}_e$ импульсом, которые возбуждают плазменные колебания. Последние могут трансформироваться в радиоизлучение на наблюдаемых частотах вокруг 1 ГГц при $n_e = 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ⁸.

В этом случае радиоизлучение подобного типа может быть индикатором невидимого в оптике гравитационного коллапса, например в области центра Галактики, и должна наблюдаться корреляция с нейтринными сигналами. Материалы доклада опубликованы в ^{3, 4, 6, 8}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sugimoto D., Nomoto K.//Space Sci. Rev. 1980. V. 25. P. 155.
2. Имшенник В. С., Надежин Д. К.//Итоги науки. Сер. «Астрономия». — М.: ВИНТИ АН СССР, 1982.— Т. 21. С. 63.
3. Бисноватый-Коган Г. С.//Астрон. ж. 1970. Т. 47. С. 813.
4. Арцелян Н. В., Бисноватый-Коган Г. С., Попов Ю. П.//Ibidem. 1979. Т. 56. С. 1244.
5. Mayly R., Wilson J., Schramm D.//Astrophys. J. 1987. V. 318. P. 288.
6. Supernova 1987A: Proc. of-ESO Workshop/Ed. I. J. Danziger.— Garching-bei-München, 1987.
7. Bodenheimer P., Ostriker I. P.//Astrophys. J. 1974. V. 191. P. 465.
8. Бисноватый-Коган Г. С., Илларионов А. Ф., Слыш В. И. Радиоизлучение коллапсирующей звезды: Препринт ИКИ АН СССР.— Москва, 1988.
9. Bismovatyi-Kogan G. S.//Proc. of Symposium of Underground Physics. — Baksan (Nal'chik), 1987.