

УДК: 524.88+52—6

ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ АНТИКОЛЛАПСЕ И
ВСПЫШКАХ СВЕРХНОВЫХ

А. П. ТРОФИМЕНКО, В. С. ГУРИН

Поступила 31 августа 1990

Принята к печати 10 января 1991

Рассматривается модель D -тел как антиколлапсирующих объектов (белых дыр) в расширенном пространственно-временном многообразии, учитывающая поле гравитационного излучения. Для описания пространства—времени сферической гравитационной волны используется решение типа Робинсона—Траутмана, показывающее колебательный характер глобальной структуры пространственно-временного многообразия гравитационно-излучающей белой дыры. Данная модель используется для объяснения энергетички гравитационного всплеска от сверхновой 1987А. Отмечается, что рождение D -тел также сопровождается всплеском гравитационного излучения.

1. *Введение.* Излучение гравитационных волн является одним из основных предсказаний общей теории относительности (ОТО), но до настоящего времени нет общепризнанного свидетельства об их непосредственной регистрации [1—3]. Вместе с тем универсальный характер гравитационного взаимодействия и обширная теоретическая разработка проблемы излучения и детектирования гравитационных волн говорят о перспективности гравитационно-волновой астрономии. При этом в качестве возможных источников излучения следует анализировать разнообразные нестационарные, взрывные процессы, об универсальности которых говорится в бюраканской космогонической концепции [4—8]. Взрывы D -тел могут приводить к сильным возмущениям гравитационного поля и излучению гравитационных волн, которые тогда следует рассматривать как одно из наблюдательных проявлений D -тел. Антиколлапсирующие объекты (белые дыры) в расширенном пространственно-временном многообразии (ПВМ) являются одной из моделей D -тел в рамках ОТО [9], на которой мы и основываемся в данной работе.

В последние годы проблема регистрации гравитационного излучения приобрела новое звучание в связи с регистрацией гравитационно-волнового всплеска при взрыве сверхновой 1987А [10, 11]. Интерпретации

излучения от сверхновой 1987А посвящено огромное число работ, но теория гравитационно-волнового всплеска от нее остается практически не разработанной. Вместе с тем, связывание гравитационного всплеска со стандартными моделями сверхновых наталкивается на значительные энергетические трудности, так как из оценки зафиксированной римским детектором энергии [10] следует, что масса излучавшего источника на расстоянии Большого Магеланового облака должна составлять по крайней мере несколько тысяч солнечных, что трудно связать со звездами.

Среди множества возможных источников генерации гравитационного излучения (двойные системы, пульсары, столкновение звезд и черных дыр и др.) [12, 13] наиболее адекватной для объяснения гравитационного всплеска от СН 1987А представляется модель белой дыры [14, 15], разработке которой и посвящена данная статья.

2. Модель гравитационно-излучающей белой дыры. Источником антиколлапсирующего вещества, как показывает анализ движений материальных частиц, тонких оболочек и массивных тел в расширенных ПВМ ОТО, может являться черная дыра, т. е. коллапс в другой области этого многообразия, отделенной от области с белой дырой (БД) горизонтом событий [14—16]. В такой постановке проблема энергии, выделяющейся при антиколлапсе, ставится совершенно по-иному. Основное ее отличие от традиционной—отсутствие довольно жестких ограничений на максимальную величину, излучаемую во внешнее пространство в результате какого-либо волно-генерирующего процесса: необходимо рассматривать энергетические ресурсы всего глобального ПВМ. При этом в отношении гравитационного излучения некоторой системой следует учитывать излучение не как результат возмущения стационарного гравитационного поля, а анализировать структуру ПВМ самой гравитационной волны, приводящей к формированию и эволюции сложной и нестационарной топологической структуры. Следует заметить, что в целях решения задачи о направлении гравитационном излучении такой анализ не проводился, но что даже в качественном смысле представляет значительный интерес.

В настоящей работе мы исследуем задачу о гравитационном излучении антиколлапсирующего объекта (БД), построив его модель на основе метрики для сферической гравитационной волны типа Робинсона—Траутмана, учитывая структуру расширенного ПВМ для такого объекта.

В большинстве расчетов излучения гравитационных волн используется квазилинейное приближение, т. е. рассматривается излучение слабых волн, когда гравитационное поле самой волны является возмущением на фоне основной стационарной метрики [1—3]. При очевидной ограниченности такого подхода по интенсивности излучения, которая может соот-

нетствовать возмущению, в нем совершенно невозможно изучить влияние сложной топологической структуры пространства—времени на характер излучения и распространения воли и величину излучаемой энергии. Другими словами, такой подход мало чем отличается от рассмотрения электромагнитного излучения, распространяющегося в гравитационном поле. Однако гравитационные волны в ОТО должны сами оказывать существенное действие на объект-источник и структуру ПВМ в целом. В качестве модели гравитационно-излучающего антиколлапсирующего объекта мы рассмотрим структуру, составленную из поля материи (стационарного) и поля гравитационной волны и ограничимся сферически-симметричным случаем.

Среди точных решений ОТО для описания гравитационной волны, распространяющейся от антиколлапсирующего сферически-симметричного тела, наиболее адекватным представляется решение типа Робинсона—Траутмана [19], и, учитывая тогда, что эта метрика при сведении к нулю волновых возмущений стремится к шварцшильдовской, такая модель будет обобщением канонической модели БД, в которой гравитационное излучение никак не учитывается [20].

Сферическая гравитационная волна будет описываться метрикой Робинсона—Траутмана следующего вида в запаздывающих изотропных координатах [19, 21, 22]:

$$ds^2 = 2d\rho d\sigma + (K - 2H\rho - 4m/\rho) d\sigma^2 - \rho^2 p^{-2} \left[(d\xi + q_{,\eta} d\tau)^2 + (d\eta + q_{,\xi} d\tau)^2 \right], \quad (1)$$

где ρ —пространственноподобная координата, σ —временноподобная, ξ , η —угловые, связанные с обычными сферическими θ и φ по формулам.

$$\xi = \cos \varphi \operatorname{ctg}(\theta/2), \quad \eta = \sin \varphi \operatorname{ctg}(\theta/2), \quad \xi^2 + \eta^2 + \operatorname{ctg}^2(\theta/2). \quad (2)$$

В этой метрике ρ и q являются функциями координат σ , ξ и η и не зависят от ρ в силу сферической симметрии, m —масса источника. Общее выражение для H имеет следующий вид:

$$H = p^{-1} p_{,\sigma} + q_{,\xi\eta} + p^{-1} p_{,\xi} q_{,\eta} + p^{-1} p_{,\eta} q_{,\xi}, \quad (3)$$

а конкретный вид метрики определяется выбором модели для закона распространения волн, удовлетворяющей волновым уравнениям

$$\Delta q = 0, \quad \Delta \ln p = K. \quad (4)$$

Ввиду произвола в выборе ρ и q гауссова кривизна K (не равная нулю) может быть положена равной единице для соответствия метрики (1) и

шварцшильдовской. Мы возьмем для ρ и q «волнообразную зависимость» следующего вида:

$$q = if \cos(k\zeta) \sin(ik\eta); \quad \rho = \exp(\tau^2/2), \quad (5)$$

где f —параметр амплитуды волны, k —параметр частоты. Тогда

$$H = \sigma + fk^2 \sin(k\zeta) \cos(ik\eta). \quad (6)$$

При таком выборе q отражает отклонение геометрии от точной сферической симметрии в угловой части, а ρ —затухание этих отклонений со временем.

Для перехода к форме метрики Робинсона—Траутмана со всеми разделенными переменными, чтобы установить ее соответствие с шварцшильдовской и формой для метрики антиколлапсирующего вещества (например, Фридмана), произведем следующие преобразования координат от изотропных к обычным сферическим и времени t :

$$\sigma = t - \rho^*, \quad \rho^* : d\rho^* = F^{-1/2} d\rho. \quad (7)$$

Получим

$$ds^2 = F dt^2 - F^{-1} d\rho^2 - (\rho^2/4\rho^2) \sin^{-4}(\theta/2) (d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (8)$$

где

$$F = 1 - 2\sigma\rho - f\rho k^2 \sin(k\zeta) \cos(ik\eta) - \rho^2 f^2 k^2 \cos[k(\zeta + i\eta)] \cos[k(\zeta + i\eta)] \quad (9)$$

и только на самом малом расстоянии от источника (в единицах массы) вид F приближается к шварцшильдовскому. В основном же он определяется волнообразной зависимостью слагаемых с f и k ; ими же будет определяться и структура ПВМ. Положение горизонта событий (или нескольких горизонтов, как, например, в метриках типа Шварцшильда—Де Ситтера) будет иметь колебательный характер, а значительность этих колебаний для глобальной структуры пространства—времени обусловлена соотношением f , k и m . В отличие от шварцшильдовского предела ($\rho \rightarrow 0$) горизонты будут проявляться и при больших ρ , т. е. такая гравитационная волна при своем распространении будет изменять причинную структуру ПВМ, причем периодическим образом, и положение горизонтов (двух или менее) будет задаваться корнями уравнения $F=0$. Таким образом, структуру пространства—времени можно представить как флуктуирующую между метриками Рейсснера—Нордстрема, ее экстремальным случаем и суперэкстремальным (голой сингулярностью). Вопрос о реализуемости такого рода изменений в причинной структуре требует специального рассмотрения, однако уже сам колебательный характер горизонтов даже в простых ПВМ представляет значительный интерес. Даже при небольшой амплитуде таких колебаний поло-

жение тел—приемников гравитационного излучения относительно горизонта будет существенно сказываться на восприимчивости детектора и будет определять возможность наблюдения излучения. Поэтому в зависимости от фазы гравитационной волны, возмущающей пространство—время, в разные моменты времени могут оказаться наблюдаемыми объекты, расположенные в весьма удаленных частях Метагалактики, а также трансметагалактические объекты [14]. При большой частоте гравитационных волн следует ожидать весьма кратковременные проявления (всплески) излучения, длительностью порядка f^{-1} . Причем такая кратковременность обуславливается не природой самого излучающего объекта, а особенностями сильной гравитационной волны. Очевидно, что изменение структуры ПВМ даст и иные оценки для энергетики при регистрации гравитационного излучения, и задачу о его детектировании следует рассматривать как поведение детектора (например, механического осциллятора) в искривленном пространстве-времени с метрикой (1).

3. *Сверхновые и вспышки Д-тел (белых дыр)*. Хотя теория сверхновых представляет собой довольно разработанную часть астрофизики [23] и стройно вписывается в общую теорию эволюции звезд, имеется ряд нерешенных проблем. Значительная их часть обязана своим происхождением наблюдениям событий, связанных с СН 1987А [24], когда впервые были зарегистрированы из одной области пространства излучения значительной мощности в различных диапазонах электромагнитного спектра, нейтринное и гравитационное. Модель БД, не отрицая результатов классической теории последующей эволюции расширяющегося вещества, может дать ключ к объяснению необычной энергетики и переменности СН 1987А.

Полагая нейтронные звезды как продукты взрывов сверхновых, мы встречаемся с трудностями при моделировании гравитационного коллапса ядра звезды [23]. Эти трудности еще более усилились после наблюдения нейтринных всплесков, энергия которых возможно, на порядок больше, чем энергия связи самой нейтронной звезды [18], и гравитационного всплеска, которому соответствует общая энергия $2400 M_{\odot}$ [10, 11], что поставило под сомнение стандартную схему образования нейтронных звезд.

Гравитационный всплеск столь большой энергии может быть объяснен взрывом БД [14, 15], и поэтому логично связать феномен сверхновых, в особенности СН 1987 А, со взрывами БД, образующихся из материи и излучения черных дыр в другой области глобального ПВМ. При этом снимаются энергетические ограничения и имеется возможность до-

пускать различные механизмы генерации гравитационного излучения в нестационарном поле антиколлапсирующей БД.

Следует отметить, что в связи с экспериментами по регистрации гравитационных волн возникла своеобразная проблема «скрытой энергии»: энергия выделяется в формах, труднонаблюдаемых или вообще ненаблюдаемых в электромагнитном диапазоне. Это известные эксперименты Вебера [25], Садеха [26] и гравитационный всплеск, связанный с SN 1987A [10]. Считалось, что подобным грандиозным энерговыделениям в форме гравитационных волн должны соответствовать столь же грандиозные космические процессы, связанные с энерговыделениями в области электромагнитных волн, что не наблюдалось в вышеуказанных экспериментах. Для объяснения подобных феноменов необходимы такие объекты, у которых подавляющая часть энергии может быть излучена в форме гравитационных волн, либо факт регистрации гравитационной волны создает какие-либо особые условия для отсутствия корреляции с другими видами излучения. Подобными объектами могут явиться белые и серые дыры [14, 15]. Поэтому со всплесками гравитационных волн естественно связать столь же кратковременные события в электромагнитном диапазоне, например, гамма-всплески [9], тогда установление корреляции между этими двумя видами всплесков послужило бы подтверждением модели БД [15, 16].

В заключение авторы выражают благодарность профессорам Дж. Веберу, Р. Пенроузу, Дж. Нарликару за высылку оттисков своих работ и замечания.

Астрономическая секция
Мясного отделения ВАГО

GRAVITATIONAL RADIATION CONNECTED WITH ANTICOLLAPSE AND SUPERNOVAE EXPLOSIONS

A. P. TROFIMENKO, V. S. GURIN

A model of D-bodies as anticollapsing objects (white holes) is considered in extended space-time manifold taking into account the field of gravitational radiation. The solution by the Robinson-Trautman type is used for the description of spherical gravitational wave space-time. It shows an oscillating character of space-time manifold global structure for the gravitationally radiating white hole. Such a model is applied for the explanation of energetics of the Supernova 1987A's gravitational burst. It has been pointed out that a creation of D-bodies is also accompanied by a burst of gravitational radiation.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Гришук, Успехи физ. наук, 158, 79, 1988.
2. И. Бичек, В. Н. Руденко, Гравитационные волны в ОТО и проблема их обнаружения, МГУ, М., 1987.
3. В. Н. Руденко, в кн.: «Эйнштейновский сборник. 1986—1990», Наука, М., стр. 351, 1990.
4. В. А. Амбарцумян. Научные труды, Изд. АН Арм. ССР, Ереван. 1988.
5. V. A. Ambartsumian. Rev. Mex. Astron. y Astrofis., 10, 111, 1985.
6. Вопросы физики и эволюции космоса, Изд. АН Армении, Ереван, 1978.
7. Л. В. Мирзоян, в кн. «Проблемы современной космогонии», Наука, М., 1972.
8. Г. С. Саакян, Пространство—время и гравитация, Изд. Ереванского ун-та, Ереван, 1985.
9. А. П. Трофименко, Астрофизика, 31, 397, 1989.
10. M. Aglletta et al, Nuova Cim., C12, 75, 1989.
11. E. Amaldi et al, Europhys. Lett., 3, 1325, 1987.
12. B. F. Schutz, Class. Quantum Grav., 6, 1761, 1989.
13. Э. Амальди, Г. Пицелла, в кн.: «Астрофизика, кванты и теория относительности», Мир, М., 1982.
14. A. P. Trofimenko, Rev. Roum. Phys., 34, 533, 1989.
15. A. P. Trofimenko, Astrophys. Space Sci., 159, 301, 1989.
16. A. P. Trofimenko, V. S. Gurin, Astrophys. and Space Sci., 152, 105, 1989.
17. В. С. Ишеник, Д. К. Надежин, Успехи физ. наук, 158, 561, 1988.
18. В. Л. Дадыхин, Г. Т. Зацепин, О. Г. Рязская, Успехи физ. наук, 158, 139, 1989.
19. I. Robinson, A. Trautman, Proc. Roy. Soc., A265, 463, 1962.
20. J. V. Narlikar, K. M. V. Apparao, N. Dadhich, Nature, 251, 590, 1974.
21. K. P. Tod, Class. Quantum Grav., 6, 1159, 1989.
22. Дж. Вебер, Общая теория относительности и гравитационные волны, ИЛ, М., 1962.
23. С. Шапиро, Р. Тьюколски, Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. Мир, М., 1987.
24. T. Nakamura, KEK Progr. Repts., 44, 246, 1989.
25. J. Weber, Phys. Rev. Lett., 22, 1320, 1969.
26. D. Sadeh, A. Ben Menahem, M. Meidav, Preprint TAUP-270-72, 1972.