Гравитационная гипотеза взрыва Сверхновой 2-го типа

Терехин Владимир Александрович
Независимый исследователь, г. Екатеринбург
E-mail: terekhin.vladim@yandex.ru

Аннотация

В статье описывается эволюция представлений о взрывах сверхновых звезд 2-го типа, исходя из описания различных исследований. И рассматривается процесс коллапса предсверхновой, приводящий к образованию ядра в виде нейтронной звезды и падающей ускоренно на него внешней оболочки. Радиальная скорость падения оболочки стремится к релятивистской. Перед ней образуется сжимающаяся сферическая гравитационная волна. Эта гравитационная волна, достигнув ядра, разрывает его и выбрасывает в окружающее пространство, что и является взрывом Сверхновой звезды 2-го типа.

Ключевые слова: сверхновая звезда 2-го типа, гравитационный коллапс, термоядерный синтез, центральное ядро, синтез железа, нейтронная звезда, гравитационная волна, гравитационный взрыв.

Введение

Космическое явление «сверхновая звезда» — это этап в эволюции звёздных объектов, который завершается яркой вспышкой-взрывом звезды, после чего звезда перестаёт существовать. В этом смысле говорят о взрывах сверхновых.

Взрывы сверхновых разделяют на два основных типа (1 и 2). Их различает наличие или отсутствие линий водорода в их спектрах.

Все сверхновые 1 типа визуально схожи как по мощности взрыва, так и по динамике изменения блеска.

Сверхновые же 2 типа весьма разнообразны в этом плане. Мощность их взрыва и динамика изменения блеска лежит в весьма обширном диапазоне.

В этом исследовании нас интересуют только взрывы сверхновых 2 типа.

Все сверхновые 2 типа порождаются гравитационным коллапсом в недрах массивных звезд. Сверхновыми становятся звезды, масса которых превышает 8-10 солнечных масс. Ядра таких звезд, исчерпав водород, переходят к термоядерным реакциям с участием гелия. Исчерпав гелий, ядро переходит к синтезу всё более тяжелых элементов. В конечной стадии эволюции звезды ядро ее превращается в нейтронную звезду, на которую ускоренно падает внешняя оболочка. Далее происходит взрыв.

Законченной, вполне определенной, теории взрыва сверхновой звезды 2 типа не существует. Различные предлагавшиеся модели являются относительно упрощенными и имеют свободные параметры. Очень трудно в численных моделях учесть все физические процессы, происходящие в звездах и найти те, которые имеют решающее значение для развития вспышек сверхновых.

Здесь мы рассматриваем гравитационную гипотезу взрыва сверхновой 2-го типа. Гравитационная волна, образующаяся перед падающей оболочкой, разрывает ядро и выбрасывает его в окружающее пространство.

История вопроса

Звездной эволюцией в свое время активно занимался И.С. Шкловский [1, 2, 3, 4].

Он рассматривал различные гипотезы взрыва сверхновых. Предпочтительной в то время считалась гипотеза термоядерного взрыва. Но при этом Шкловский отмечал:

" . . . остается возможность, что главным источником взрыва звезд является освобождение не ядерной энергии, а гравитационной при катастрофическом сжатии, скорее всего имеют значение оба вида энергии." [3, с. 213]. Далее ядерная гипотеза отпала. Говоря о взрывах сверхновых 2-го типа, Шкловский рассматривал модель, предложенную Хойлом и Фаулером.

Английские теоретики Хойл и Фаулер рассмотрели интересную модель звезды накануне ее взрыва («предсверхновая»).

При температуре в несколько миллиардов кельвинов весь водород и гелий уже выгорели. Ядерные реакции идут очень быстро. Равновесное состояние вещества характеризуется преобладанием ядер элементов группы железа, имеющих минимальное значение «коэффициента упаковки ». Ядро такой звезды окружено «мантией », температура которой ниже. В «мантии » преобладают легкие элементы — кислород, азот, неон, то есть потенциальное ядерное горючее. И мантия окружена самой наружной водородно-гелиевой оболочкой.

По расчетам такой модели, которая предполагала массу предсверхновой порядка 30 солнечных масс, масса центрального железного ядра составляет 3 солнечных массы, масса кислородной мантии 15 солнечных масс, все остальное, то есть более 1/3 массы звезды, приходится на водородно-гелиевую оболочку.

Независимо от механизма взрыва, говорилось о мгновенном выделении огромного количества энергии в центре взрывающейся звезды. Причина самого взрыва не была ясной.

Современные представления

В настоящее время представления о взрывах сверхновых в чем-то изменились, но далеко не коренным образом.

Мощным импульсом для развития современных исследований сверхновых звезд стала астрономическая сенсация века. Это взрыв сверхновой под кодом SN 1987A, за которым удалось наблюдать. Эту сверхновую отнесли ко 2-му типу. Стали исследовать вспышку и остатки этой сверхновой.

Во многих работах, посвященных сверхновым 2-го типа, предпочтение отдается отскоку падающей оболочки от ядра. Проблема широко обсуждалась и продолжает обсуждаться в интернете.

Если масса предсверхновой достаточно велика, то процесс термоядерного синтеза доходит до логического завершения с образованием ядер из железа и никеля, а сжатие продолжается. Центральное ядро сжимается все сильнее, и в некоторый момент из-за давления в нем начинает идти реакция нейтронизации — протоны поглощают электроны, превращаясь в нейтроны. Это вызывает быструю потерю энергии, уносимой образующимися нейтрино (нейтринное охлаждение). Ядро сжимается и охлаждается. Процесс коллапса центрального ядра настолько быстр, что вокруг него образуется волна разряжения и оболочка отстает от ядра. Однако, если ядро звезды превращается в нейтронную звезду, коллапс его останавливается. А внешняя оболочка продолжает падать на ядро. Далее, по некоторым представлениям, должен происходить отскок вещества оболочки от ядра. И образуется распространяющаяся наружу ударная волна. Однако, как показало численное моделирование, такая ударная волна не приводит к взрыву сверхновой.

Чтобы найти выход из тупикового положения с моментом инициации взрыва сверхновой, международная команда астрофизиков, как сообщала Physorg.com, создала новую модель эмиссии

гравитационных волн при коллапсе сверхновых (страница Экран-Экспресс от 30 июня 2006 г.). В состав команды вошли Адам Барроуз (Adam Burrows) и Люк Дэззар (Luc Dessart) из США, Христиан Отт (Christian D. Ott) из Германии, Эли Ливн (Eli Livne) из Израиля. В частности говорится следующее: «Когда сверхновая звезда начинает сжиматься, при определенной плотности наступает равновесие с образованием нейтронной звезды. Под действием первого импульса в сверхплотном ядре возникают силы противодействия, которые вызывают колебания нейтронного вещества, обладающего колоссальной плотностью, в результате чего возникают гравитационные волны». Происходит взрыв. Однако эту модель смогли просчитать тогда только в двух измерениях. И непонятно, как может возникнуть первый импульс.

Рассматривалась также магниторотационная (MP) модель взрыва сверхновой, Бисноватым-Коганом [5, с. 189] еще в 1970 году. «Энергия взрыва в MP-механизме получается из энергии вращения предсверхновой. Преобразование энергии вращения в радиальную кинетическую энергию происходит при помощи магнитного поля». Но эта модель осталась предположительной.

Для лучшего понимания процесса проводились орбитальные исследования остатков сверхновых. Рентгеновское изображение остатка сверхновой Cassiopeia A (Cas A), полученное на орбитальной рентгеновской обсерватории «Чандра» (NASA), позволило увидеть сгустки кремния, серы и железа, выброшенные при взрыве из внутренних областей звезды. Оказалось, что «железные» детали, происходящие из самых глубоких слоев звезды, располагаются на внешних краях остатка. Это означает, что взрыв выбросил «железные» узлы дальше всех остальных.

Процесс взрыва сверхновой 2-го обсуждался и с использованием других идей.

Рассматривалась достаточно массивная звезда с массой заметно больше десяти солнечных масс. Температура в центре такой звезды — несколько миллиардов градусов, гелия и водорода там уже нет. Такая звезда очень быстро эволюционирует, образуя в центре железное ядро. Ядро окружено углеродно-кислородной «мантией», содержащей потенциальное ядерное горючее, легкие элементы. Самые внешние слои звезды представляют собой смесь водорода и гелия. В железном ядре ядерное горючее исчерпано, тем не менее звезда огромными темпами теряет энергию за счет УРКА-процесса (нейтринное охлаждение). В то же время происходит увеличение температуры ядра за счет его сжатия.

Ядра атомов железа при некоторой критической температуре начнут разваливаться на нейтроны и ядра гелия-4. Это очень важный момент, так как начиная именно с него рост температуры прекращается, поскольку большая часть энергии идет на диссоциацию ядер железа. Дополнительно к этому огромная энергия уносится нейтрино.

Все это приводит к тому, что ядро теряет упругость, начинает катастрофически сжиматься, причем время этого сжатия очень мало — меньше секунды. Естественно, оболочка отстает и начинает падать на ядро. Далее предполагается, что плотность и температура ее при этом резко возрастают, и в результате она взрывается, как чудовищная термоядерная бомба.

Здесь рассматривалось сочетание двух процессов — гравитационного коллапса ядра и термоядерного взрыва оболочки. Но создать на этом окончательную теорию не получилось.

Насколько близки к реальности рассмотренные выше картины взрыва сверхновой звезды 2-го типа, трудно сказать. Как было отмечено, законченной теории, полностью объясняющей путь эволюции звезд, вспыхивающих как сверхновые, нет.

В свое время Нильс Бор высказал мысль, что новые теории, претендующие на верность, должны быть довольно безумными. Видимо рассмотренные выше гипотезы не были достаточно безумны.

Далее осмелимся предложить читателям нашу гипотезу взрыва сверхновой 2-го типа, основанную на имеющихся фактах.

Гравитационный взрыв ядра звезды

Давайте разберемся с имеющимися фактами.

Из вышеизложенного, мы имеем по сверхновым второго типа следующее. 1. Предшественники — массивные молодые гиганты с массой более 8-10 масс солнца с присутствием водорода в оболочке.

2. В процессе термоядерного синтеза образуется центральное ядро, состоящее из тяжелых элементов, которое начинает коллапсировать так быстро, что вокруг него образуется волна разряжения. Оболочка отделяется от ядра. 3. Если ядро превращается в нейтронную звезду, его коллапс останавливается. Оболочка продолжает падать на ядро. 4. Масса оболочки при коллапсе составляет заметную часть массы звезды.

5. Сам момент инициации взрыва мало понятен. Численное моделирование отскока не приводит к взрыву. Другие представления также не являются достаточно убедительны.

6. В остатках сверхновой 2-го типа обнаруживаются тяжелые элементы ядра. Более глубокие элементы ядра оказываются выброшенными дальше. 7. Имеющиеся гипотезы не позволяют создать законченную теорию взрыва сверхновой звезды 2-го типа.

Наше обсуждение должно выявить, что же конкретно приводит к взрыву Сверхновой 2-го типа.

Опираясь на вышеизложенные п.п. 2; 3 и 4, модель коллапсирующей предсверхновой 2-го типа можно представить как двойной объект, элементы которого гравитационно взаимодействуют друг с другом:

1) это ядро — нейтронная звезда,

2) внешняя оболочка, в виде некоторого сферического слоя, падающая ускоренно на ядро. Оболочка имеет, условно, внутреннюю и внешнюю поверхности.

Движение поверхности любого сферического тела, как показали Зельдович Я.Б. и Новиков И.Д., можно рассматривать как движение пробной частицы (вообще говоря не свободной, а под действием сил) в сферическом поле тяготения [6, с. 134]. Да и всю оболочку можно представить, состоящей из пробных частиц. При ускоренном движе нии частица начинает гравитационно излучать, это относится и ко всем частицам оболочки. Получается, что ускоренно падающая оболочка излучает радиально гравитационную волну в направлении ядра. Скорость падения оболочки стремится к релятивистской. Перед оболочкой образуется сферическая сжимающаяся гравитационная волна.

Разберемся с движением этой волны.

Теория слабых гравитационных волн детально рассмотрена в работе Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «Теория поля» [7, с. 450]. Причем в этом труде прослеживается явная аналогия с электромагнитным излучением. В отношении сильной гравитационной волны рассматривается решение уравнений Эйнштейна, представляющее собой обобщение слабой плоской гравитационной волны в плоском пространстве-времени. Далее, там же, говоря об излучении движущимися телами гравитационных волн, подчеркивается, что «Все вычисления принципиально вполне аналогичны тем, которые мы производили для электромагнитных волн ».

Обращаясь теперь к электромагнитному излучению ультрарелятивистской частицы, находим из той же работы Ландау Л.Д., Лифшица Е.М. [8, с. 256], что она излучает в основном в направлении

своего движения в интервале углов вокруг направления скорости

$$\theta \sim \sqrt{1 - v^2/c^2}\,, \qquad \text{формула (73,12),}$$

где v – скорость частицы,

c – скорость света.

Если принять, что гравитационное излучение релятивистской частицы аналогично, в данном случае, электромагнитному, то эту формулу можно применить к каждой частице падающей оболочки. Понятно, что гравитационное излучение частиц оболочки происходит в радиальном направлении их движения в указанном интервале углов. Следовательно, суммарное излучение оболочки образует уплотняющуюся, падающую на ядро, сферическую гравитационную волну, которая является сильной гравитационной волной. В других направлениях частицы оболочки не излучают. Подтверждение выше изложенному находим в [9, с. 18]. Там же говорится, что «При сближении тел под действием взаимного тяготения на расстояния порядка их гравитационных радиусов общее количество излученной энергии должно быть только функцией их масс, G и c».

И далее «Если m одного порядка с M, то можно сразу сделать вывод, что общее излучение гравитационной энергии велико, хотя и мало по сравнению с mc^2 (m — масса меньшего тела)» А масса оболочки, как рассматривалось выше, составляет не малую величину от массы звезды.

Далее по нашей модели происходит следующее:

Имеется система двух тел, из которых одно находится внутри другого. Довольно массивная оболочка падает на ядро, которое можно считать неподвижным. Движение оболочки стремится к релятивистскому, и внутри перед ней образуется сильная, если не сказать мощная, схлопывающаяся сферическая гравитационная волна. Эта волна все уплотняется. Далее это гравитационное цунами, достигнув ядра, разрывает его и выбрасывает во внешнее пространство. Это и фиксируется как взрыв сверхновой звезды 2-го типа. При этом на более глубокие слои ядра воздействует более плотная сжавшаяся гравитационная волна и с большей силой выбрасывает эти части дальше других в пространстве. Это и подтверждается рентгеновскими снимками остатков сверхновой Cas A. При этом компактного центрального объекта может не остаться.

Выводы

К взрыву звезды приводит сильная сферическая схлопывающаяся гравитационная волна, возникающая перед падающей ускоренно внешней оболочкой предсверхновой. Эта волна, достигнув ядра, разрывает его и выбрасывает в окружающее пространство.

Это и воспринимается как взрыв сверхновой звезды 2-го типа.

Замечание по поводу обнаружения гравитационных волн, например, от взрывов сверхновых.

Длина этих волн очень велика. А земная база слишком мала. Нужна, хотя бы, межпланетная база Солнечной системы, чтобы зафиксировать гравитационные волны.

Список литературы

1. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум (М.: АН СССР, 1962).
2. Шкловский И.С. Сверхновые звезды (М.: Наука, 1966).
3. Шкловский И.С. Звезды: их рождение и смерть (М.: Наука, 1975), с. 213.
4. Шкловский И.С. Проблемы современной астрофизики (М.: Наука, 1982).
5. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология (М.: Красанд,

2011), с. 189.
6. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюция звезд (М.: Наука, 1971), с. 134.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля (М.: Наука, 1988), с. 450.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля (М.: Наука, 1988), с. 256.
9. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Общая теория относительности и астрофизика. Эйнштейновский сборник 1966 (М.: Наука, 1966), с. 18.