

АСТРОНОМИЯ

Л. З. ГУРЕВИЧ и А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ

**ВЗРЫВЫ В ЗВЕЗДАХ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЯДЕРНЫМИ РЕАКЦИЯМИ,
КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ВСПЫШЕК НОВЫХ И СВЕРХНОВЫХ
ЗВЕЗД**

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 31 X 1946)

В работе развивается гипотеза о том, что причиной вспышек сверхновых и новых звезд, а возможно также новоподобных переменных и звезд типа U Geminoium являются тепловые взрывы, обусловленные ядерными реакциями. Эта гипотеза сравнивается с гипотезой гравитационного коллапса.

Теория тепловых ядерных взрывов может быть построена вполне аналогично теории химических тепловых взрывов. Так же как и при химических взрывах, в случае ядерных взрывов скорость тепловыделения экспоненциально возрастает с температурой и при достаточно высоких температурах превышает скорость теплоотдачи. В таких условиях вещество, участвующее в ядерной реакции, быстро разогревается, и это может в конечном итоге привести к образованию детонационной волны, т. е. к взрыву.

Существенным отличием теории звездных взрывов от теории взрывов вещества в сосуде является лишь то, что теплоотдача звезды не может считаться линейной функцией температуры, а зависит от температуры центральных областей звезды по сложному закону, который может быть аппроксимирован степенной зависимостью.

Полная энергия, выделяющаяся при вспышке сверхновой, на 2—3 порядка меньше, чем энергия превращения водородной звезды в гелиевую. Если учесть, что значительная доля энергии при взрыве должна уноситься нейтринами, а также и то, что сгорание неизбежно окажется неполным примерно по той же причине, как и в атомной бомбе, то вспышки сверхновых звезд с точки зрения высказанной гипотезы надлежит рассматривать как результаты взрыва основных ресурсов горючего в центральных частях звезд.

Такой взрыв может произойти, когда температура в центральных частях звезды повысится в процессе ее эволюции настолько, что протекающая там реакция, например цикл Бете, перейдет во взрыв, и в течение короткого времени значительная часть вещества звезды подвергнется ядерным превращениям. Звезда может вспыхивать как сверхновая один или — самое большее — несколько раз за все время своего существования, и поэтому вспышки сверхновых должны наблюдаться редко.

Вспышки сверхновых, обусловленные ядерными взрывами, должны преимущественно происходить на начальных стадиях эволюции звезд, пока основная масса водорода еще не успела превратиться в гелий. Вспышки сверхновых, обусловленные гравитационным коллапсом, т. е. изменением конфигурации вследствие исчерпания ресурсов ядер-

ной энергии, наоборот, могут случаться лишь в период, предшествующий угасанию звезды. Поскольку совокупность данных звездной статистики приводит к короткой шкале времени для возраста звезд в нашей Галактике, то естественно предполагать, что наблюдаемые вспышки сверхновых являются результатами взрывов, а не коллапсов.

При взрыве звезды, так же как и при взрыве атомной бомбы, значительная часть горючего может оставаться неиспользованной, и поэтому бывшие сверхновые могут содержать много водорода. Гравитационный коллапс происходит после того, как почти весь водород в центральных частях звезды превратился в гелий, и в этом случае во внешних слоях водород может сохраниться лишь при полном отсутствии конвекции.

С точки зрения обеих гипотез вероятным продуктом вспышек сверхновых являются белые карлики, но наличие значительного количества водорода во внешних слоях этих звезд естественно лишь с точки зрения гипотезы взрыва.

Гравитационный коллапс должен охватывать всю звезду, и энергия, выделяемая при этом, в сотни тысяч раз превышает полное излучение типичной новой звезды за время вспышки. Поэтому гравитационный коллапс может проявиться как вспышка новой лишь при условии, что почти вся энергия превращается в нейтрино и покидает звезду в форме, недоступной наблюдению (1).

Взрыв ядерных реакций не обязательно должен охватывать всю звезду, а может быть локализован в ее периферических слоях, благодаря чему выделится лишь сравнительно небольшое количество энергии. Это имеет место в тех случаях, когда в звезде протекают одновременно две различные ядерные реакции, например: в центре цикл Бете, а в некотором шаровом слое (мы будем называть его для краткости „слоем А“) какая-либо низкотемпературная реакция, например превращение дейтерия или легких металлов (лития, бериллия, бора). Выше слоя А температура настолько низка, что ядерные реакции не происходят, ниже слоя А отсутствуют дейтерий и легкие металлы, так как там они выгорели на более ранних стадиях эволюции звезды.

Увеличение светимости звезды в процессе эволюции может привести к столь значительному повышению температуры слоя А, что реакция, протекающая в нем, перейдет во взрыв. В этом случае выделится энергия превращения одного или нескольких вышечисленных элементов, которая на много порядков меньше энергии превращения всего вещества звезды и соответствует энергии вспышки новой.

Для того чтобы мог произойти периферический взрыв, необходимо, чтобы эволюционное изменение светимости звезды было достаточно быстрым. При медленном увеличении светимости дейтерий и легкие металлы выгорают постепенно. Количественное рассмотрение показывает, что возрастание светимости на величину своего порядка за 10^8 лет уже приводит к взрыву.

Взрыв в центральных частях звезды также может обуславливать выделение сравнительно небольших количеств энергии, если он имеет „вырожденный“ характер. Вырожденные взрывы химических реакций хорошо известны и происходят в тех случаях, когда запасы горючего столь малы, что они выгорают в процессе взрывного разогрева до образования интенсивной детонационной волны. В звездных условиях возможен совсем иной механизм „вырождения“ взрыва вследствие большой длительности периода индукции, т. е. времени, протекающего от момента достижения критической взрывной температуры до момента образования детонационной волны. Начавшийся в отсутствии конвекции взрыв приостанавливается затем из-за возникновения конвекции,

охлаждающей область взрыва прежде, чем успевают возникнуть детонационная волна.

В центральных частях звезды адиабатический температурный градиент очень мал, так как мало ускорение силы тяжести. Поэтому температурный градиент, возникающий в процессе разогрева, предшествующего образованию детонационной волны, может вызвать сильную конвекцию: в результате этого увеличится теплоотдача, уменьшится тепловыделение и восстановится нормальный режим горения: произойдет вырождение взрыва.

Взрывы имеют вырожденный характер в тех случаях, когда время, в течение которого устанавливается конвекция, меньше времени индукции взрыва.

Время индукции ядерного взрыва в звездных условиях можно оценить. Оно оказывается порядка нескольких лет. Время установления конвекции может быть и меньше и больше времени индукции взрыва — в зависимости от конкретных условий в центральных частях данной звезды, ввиду чего одни звезды вспыхивают как новые, а другие как сверхновые.

Итак, мы приходим к выводу, что вспышки сверхновых звезд должны быть результатом взрывов в центральных областях звезд, а вспышки новых могут быть проявлением как периферических взрывов, так и центральных вырожденных взрывов.

Вспышки новых, обусловленные вырожденными взрывами, должны быть многократно повторяющимся, ибо энергия вспышки новой на много порядков меньше полного запаса ядерной энергии звезды. После такого слабого, вырожденного взрыва условия восстанавливаются практически те же, какие были до него, и поэтому повторение взрыва неизбежно. Лишь значительно изменив в результате ряда вспышек свою энергию или массу, звезда прекратит вспыхивать как новая.

На основании наблюдений установлена корреляция между частотой и амплитудой вспышек сверхновых, новых, новоподобных переменных и звезд типа U. Geminorum⁽²⁾. Принятие гипотезы вырожденных взрывов делает эту корреляцию понятной и вполне естественной.

Поступило
3 X 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Gamow, Phys. Rev., 59, 539 (1941). ² Кукаркин и Паренго, Бюлл. пер. звезд.