

К ВОПРОСУ О ВЗРЫВАХ НОВЫХ В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

А. В. ТУТУКОВ, Л. Р. ЮНГЕЛЬСОН

Поступила 7 февраля 1972

В предположении о том, что активность новых звезд обусловлена аккрецией белым карликом — компонентой тесной двойной системы, вещества, потерянного второй компонентой, оценены интервалы между взрывами, энергия, генерируемая при взрывах, и массы сбрасываемых оболочек.

Значительная часть взрывных переменных: новых, повторных новых, новоподобных входит в состав двойных систем. Крафт [1] высказал предположение, что активность этих звезд связана с их двойственностью, а именно, со взрывами в вырожденном слое, образующемся на поверхности компоненты двойной — белого карлика в результате аккреции им вещества, потерянного второй компонентой. Возможность взрыва в подобном слое впервые была рассмотрена Местелом [2] и в последнее время рядом авторов для конкретных моделей белых карликов [3—7].

При исследовании вспышки в слое вырожденного вещества можно сделать несколько простых оценок. Предположим, что на холодный (с температурой, меньше необходимой для горения водорода) белый карлик — компоненту тесной двойной системы падает вещество нормального химического состава. Поток — μ ($г/сек$). Тепловой режим в образующемся на поверхности белого карлика слое вещества определяется соотношением между теплоотводом и выделением гравитационной энергии, так как в начальный период температура слоя мала и ядерные источники энергии неэффективны. По мере увеличения массы слоя его температура растет и через промежуток времени t_g после начала аккреции эффективность обоих источников энергии становится

одинаковой, после чего ядерный источник начинает доминировать. Закон генерации ядерной энергии примем в виде

$$\varepsilon = 10^{-4.2} \rho T_7^{16}, \quad (1)$$

$$T_7 = T/10^7, \quad \rho — \text{плотность.}$$

Тогда условие равенства гравитационной и ядерной светимостей может быть записано в виде

$$\rho T_7^{16} t_g = k_1 \frac{M}{R}, \quad (2)$$

где M — масса белого карлика, R — радиус белого карлика,

$$k_1 = 10^{-2}.$$

Условие равенства теплоотвода и энерговыделения описывается уравнением

$$\frac{R^4 T_7^4}{\mu t_g} = k_2 \frac{M \mu}{R}. \quad (3)$$

Коэффициент k_2 зависит от непрозрачности κ и от массы слоя, в котором происходит эффективное горение водорода. Для оценок было принято, что $\kappa = 5 \text{ см}^2/\text{г}$ и что масса слоя горения составляет 1/10 массы выпавшего вещества. В этом случае $k_2 = 10^{-22.65}$. Вещество в слое горения находится в вырожденном состоянии, поэтому давление образовавшейся оболочки должно уравниваться давлением вырожденных электронов, следовательно

$$\rho^{5/3} = k_3 \frac{M \mu t_g}{R^4}, \quad k_3 = 10^{-21.15}. \quad (4)$$

Из уравнений (2)—(4) следует, что время, прошедшее от начала аккреции до момента, когда ядерный источник энергии начинает доминировать,

$$t_g = k_1^{5/28} k_2^{-5/7} k_3^{-3/28} M^{-9/14} R^{107/28} \mu^{-43/28}. \quad (5)$$

Плотность слоя в этот момент

$$\rho = k_1^{3/28} k_2^{-3/7} k_3^{15/28} M^{3/14} R^{-3/28} \mu^{-9/28}, \quad (6)$$

а температура

$$T_7 = k_1^{5/112} k_2^{1/14} k_3^{-3/112} M^{5/56} R^{-33/112} \mu^{13/112}. \quad (7)$$

Характерное время ядерных реакций при температуре T_s

$$t_{\text{яя}} = 10^{15.3} k_1^{-89/112} k_2^{-9/14} k_3^{-15/112} M^{-87/56} R^{507/112} \mu^{-159/112}. \quad (8)$$

При всех разумных значениях M , R , μ $t_{\text{яя}} \ll t_s$, следовательно, интервал между вспышками определяется временем t_s . Масса накопленной за время t_s оболочки $M_{\text{ог}} = \mu t_s$

$$M_{\text{ог}} = k_1^{5/28} k_2^{-5/7} k_3^{-3/28} M^{-9/14} R^{107/28} \mu^{-15/28}. \quad (9)$$

После того, как ядерный источник энерговыделения в слое начинает доминировать над гравитационным, слой продолжает быстро разогреваться и при температуре

$$T_{\text{см}} = 10^{-1.97} k_1^{1/4} k_2^{-2/7} k_3^{1/4} M^{1/7} R^{1/4} \mu^{-3/4} \quad (10)$$

вырождение снимается. Характерное время ядерных реакций при температуре $T_{\text{см}}$

$$\tau = 10^{41.5} k_1^{-33/28} k_2^{33/7} k_3^{-165/28} M^{-33/14} R^{33/28} \mu^{99/28} \quad (11)$$

мало, и процесс имеет взрывной характер.

Генерируемая при взрыве энергия $E = \varepsilon \cdot \tau \cdot M_{\text{ог}}$

$$E = 10^{13.3} k_1^{1/4} k_2^{-1} k_3^{1/4} M^{-1/2} R^{15/4} \mu^{-3/4}. \quad (12)$$

Масса сбрасываемой при взрыве оболочки меньше или равна массе, накопленной за время t_s . Скорость выброса оболочки

$$v = 10^{6.8} k_1^{1/28} k_2^{-1/7} k_3^{5/28} M^{1/4} R^{-1/28} \mu^{-3/28}. \quad (13)$$

При наблюдаемых $\mu \sim 10^{17-1}$ г/сек $v \sim 10^3$ км/сек, что хорошо согласуется с наблюдениями.

Количество выгорающего при взрыве водорода

$$\Delta X = \frac{\varepsilon}{E_{\text{CN}}} \tau, \quad (14)$$

где E_{CN} — энергия, выделяемая при сгорании одного грамма водорода.

$$\Delta X = 10^{-6.5} M^{-1/7} R^{-1/4} \mu^{-3/14}. \quad (15)$$

Очевидно, что при взрыве выгорает очень незначительная часть водорода, содержащегося в слое.

Зависимость $M_{\text{ог}}$, E , t_s от скорости обмена массой для полностью вырожденных белых карликов с массами $1 M_{\odot}$ и $0.22 M_{\odot}$ [8] приведены на рис. 1 и 2, соответственно. Очевидно, что, варьируя в разумных пределах массу белого карлика, можно объяснить интер-

валы между взрывами, массы сброшенных оболочек и диапазон энергий, характерных для взрывов новых. Сделанные оценки позволяют наложить ограничения на величину μ : если $\lg \mu \lesssim 13$, то $t_g \gtrsim 10^{10}$, то есть за время, сравнимое с космологическим, не успеет накопиться достаточное для взрыва количество вещества. Полученные результаты подтверждают также эмпирическое правило: чем больше интервал времени между вспышками повторных новых, тем больше излученная при взрыве энергия (из (5) и (12) следует, что $E \sim t_g^{21/43}$).

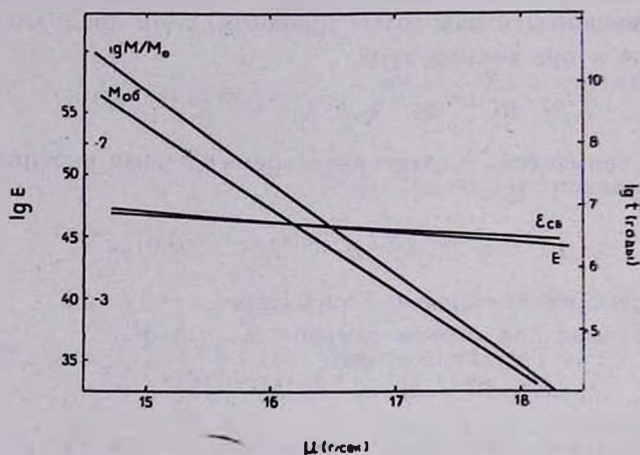


Рис. 1. Зависимость E , M_{ob} , t_g , E_{sb} от μ для белого карлика $M = 0.22 M_{\odot}$, $\lg R/R_{\odot} = -1.7$.

По оценке В. Г. Горбачко [9], в системе RS Oph, в которую входит повторная новая ($P \approx 25$ лет), скорость потери вещества в период между взрывами $\mu \sim 10^{18}$ г/сек, а масса оболочки, выброшенной во время взрыва, $10^{26} + 10^{27}$ г, что находится в хорошем согласии с оценками для взрыва в вырожденном слое.

Однако существует ограничение для масс сброшенных оболочек, связанное с тем, что для сброса оболочки необходимо, чтобы энергия взрыва превосходила энергию связи:

$$E > E_{cb} = \frac{GMM_{ob}}{R}. \quad (16)$$

Зависимость E_{cb} от μ также нанесена на рис. 1 и 2. Для значений μ , имеющих реальное значение, E_{cb} примерно на порядок выше E . По-видимому, это означает, что при взрыве сбрасывается не вся накопленная оболочка, а ее часть. С другой стороны, оценка E по фор-

муле (12) дает нижнюю границу для энергии взрыва, так как не учитывает энерговыделение после снятия вырождения. Чтобы оценить это энерговыделение необходимо рассмотреть кинетику ядерных реакций. Если и в этом случае окажется, что $E < E_{\text{св}}$, то можно ожидать, что горение водорода в слое будет иметь спокойный

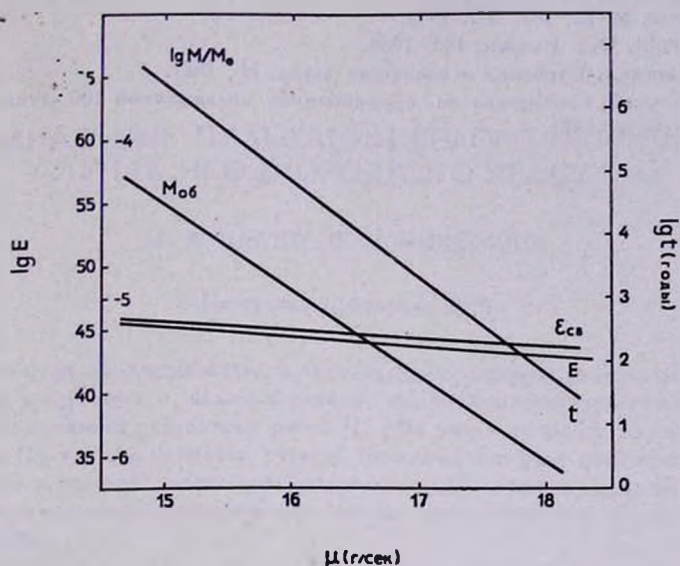


Рис. 2. Зависимость E , $M_{\text{об}}$, t_g , $E_{\text{св}}$ от μ для белого карлика, $M = 1 M_\odot$, $\lg R/R_\odot = -2.15$.

характер. Как следует из (15), время, необходимое для того, чтобы полностью выгорел весь водород в слое, $\tau \sim 10^7$ сек, то есть и в этом случае характерное время процесса того же порядка, что и длительность вспышки новой.

Астрономический совет
АН СССР

ON NOVAE EXPLOSIONS IN CLOSE BINARY SYSTEMS

A. V. TUTUKOV, L. R. YUNGELSON

Assuming that explosive phenomena such as those observed for novae occur in binary systems, in which a white dwarf accretes mass from an expanded companion, evaluations have been made of time intervals between successive explosions, masses of effected envelopes, and the energy of explosions.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. R. P. Kraft, Adv. Astr. Astrophys., 2, 43, 1963.
2. L. Mestel, M. N., 112, 583, 598, 1952.
3. P. Giannone, A. Weigert, Z. Astrophys., 67, 41, 1967.
4. W. K. Rose, Ap. J., 152, 245, 1968.
5. W. Saslaw, M. N., 138, 337, 1968.
6. S. Starrfield, M. N., 152, 307, 1971.
7. L. Secco, Publ. Oss. Padova, 145, 1968.
8. М. Шварцшильд, Строение и эволюция звезд, М., 1961.
9. В. Г. Горбачук, Сообщение на конференции, посвященной 100-летию Одесской обсерватории, 1971.