

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ КРАСНОГО ГИГАНТА В КРАТНОЙ СИСТЕМЕ

Выведена система дифференциальных уравнений, описывающая движение ядра красного гиганта, входящего в кратную систему, совместно с компонентами системы. Проводится анализ движения ядра.

Как было показано в работах [1-3], проблема переменной светимости гигантов поздних спектральных классов может быть рассмотрена в предположении о гравитационном изменении их внутренней структуры при входлении их в кратные звёздные системы. Основная суть предложенной идеи заключается в смещении ядра красного гиганта под действием приливных сил от входящих в состав системы спутников. Структура и условия в недрах красных гигантов умеренных масс таковы, что центральная часть звезды является вырожденной и состоит практически из одного гелия; энерговыделение происходит только в слое на границе вырождения, где имеется достаточно водорода для протекания термоядерных реакций; масса центральной части составляет от 25 до 40% всей звезды, а размер – 1/1000 радиуса звезды, т.е. центральная часть компактна и имеет высокую плотность – аналог белого карлика. Таким образом, по своему фазовому состоянию центральная часть резко отличается от всех остальных частей звезды и при

исследовании движения ее возможно представить как отдельный объект системы – ядро. Ядро имеет температуру более высокую, чем, окружающее вещество, поэтому при предполагаемом его смещении в слоевой источник, должно происходить резкое повышение темпов энерговыделения, так как зависимость энерговыделения от температуры пропорционально ее двадцатой степени. Это приводит в конечном итоге к наблюдаемому изменению блеска.

Для реализации вышеназванного подхода автором статьи был использован метод расчета величины смещения ядра, основанный на лагранжевом формализме. В его основе лежат вариационные принципы, для которых имеется чёткий алгоритм реализации при построении моделей различных систем, предлагающий строго формализованные последовательные процедуры, не зависящие от деталей конкретной системы. Это обстоятельство позволяет автоматизировать процесс получения систем уравнений, описывающих эволюционирование системы, в соответствую-

щих компьютерных программах, что существенно облегчает исследование влияния различных факторов на поведение системы.

Автором исследовался вопрос о смещении ядра красного гиганта под действием гравитационных сил в тройной звёздной системе (рис. 1).

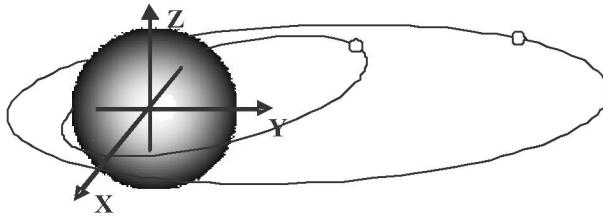


Рис. 1. Схема кратной звёздной системы с красным гигантом

Перенумеруем объекты исследуемой системы следующим образом: ядру красного гиганта присвоим номер 0, красному гиганту без ядра – 1, близкому спутнику – 2, дальнему спутнику – 3. Рассматривая плоский случай и принимая центр красного гиганта в случае несмешённого ядра за начало координат, запишем лагранжиан системы как функцию от декартовых координат и их первых производных по времени

$$L = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{m_i}{2} \dot{x}_{ij}^2 + \\ + 2\pi G m_0 \rho_0 \left(a \sum_{j=1}^2 x_{0j}^2 - \sqrt{\sum_{j=1}^2 x_{0j}^2} + b \right) + \\ + \sum_{i=0}^2 \sum_{k=2+i}^{2(i+1)} \frac{G m_i m_k}{\sqrt{\sum_{j=1}^2 (x_{ij} - x_{kj})^2}}, \quad (1)$$

где x_{ij} – совокупность декартовых координат, m_i – массы компонентов системы, G – гравитационная постоянная, ρ_0 – плотность ядра, a, b – некоторые эмпирические константы, полученные расчёты путём при расчёте потенциала взаимодействия ядра со своей звездой; индексы i, k нумеруют компоненты системы, а j – координаты.

Подставляя (1) в уравнения Лагранжа $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$, получим систему из шести дифференциальных уравнений второго порядка, полностью описывающих движение всех компонент системы без учёта вязкости и потерь массы

$$x_1'' + 2\pi\rho_0 G x_1 \left(2a - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \right) - \\ - \frac{G m_2 (x_1 - x_2)}{(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2 + y_1^2 - 2y_1 y_2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_3 (x_1 - x_3)}{(x_1^2 - 2x_1 x_3 + x_3^2 + y_1^2 - 2y_1 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0, \\ y_1'' + 4\pi\rho_0 G y_1 \left(2a - \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \right) - \\ - \frac{G m_2 (y_1 - y_2)}{(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2 + y_1^2 - 2y_1 y_2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_3 (y_1 - y_3)}{(x_1^2 - 2x_1 x_3 + x_3^2 + y_1^2 - 2y_1 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0, \\ x_2'' - \frac{G m_0 x_2}{(x_2^2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_1 (x_2 - x_1)}{(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2 + y_1^2 - 2y_1 y_2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_3 (x_2 - x_3)}{(x_2^2 - 2x_2 x_3 + x_3^2 + y_2^2 - 2y_2 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0, \\ y_2'' - \frac{G m_0 y_2}{(x_2^2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_1 (y_2 - y_1)}{(x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2 + y_1^2 - 2y_1 y_2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} - \\ - \frac{G m_3 (y_2 - y_3)}{(x_2^2 - 2x_2 x_3 + x_3^2 + y_2^2 - 2y_2 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0,$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{x_3'' - \frac{Gm_1 x_3}{(x_1^2 + y_1^2)^{\frac{3}{2}}} -}{(x_1^2 - 2x_1 x_3 + x_3^2 + y_1^2 - 2y_1 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} + \\
 & \frac{Gm_1(x_3 - x_1)}{(x_1^2 - 2x_1 x_3 + x_3^2 + y_1^2 - 2y_1 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0, \\
 & \frac{y_3'' - \frac{Gm_2 y_3}{(x_2^2 + y_2^2)^{\frac{3}{2}}} -}{(x_2^2 - 2x_2 x_3 + x_3^2 + y_2^2 - 2y_2 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0, \\
 & \frac{Gm_2(y_3 - y_2)}{(x_2^2 - 2x_2 x_3 + x_3^2 + y_2^2 - 2y_2 y_3 + y_3^2)^{\frac{3}{2}}} = 0.
 \end{aligned}$$

Общее решение полученной системы содержит 12 произвольных постоянных. Для их нахождения и тем самым полного определения движения компонентов системы необходимо знание начальных условий, характеризующих систему в некоторый заданный момент времени, а конкретно знание начальных координат и скоростей. Выбирая в качестве начальных условий состояние кратной системы, удовлетворяющее условию устойчивости системы, будем иметь вместе с системой уравнений математическую модель мириды.

С помощью полученной модели была выполнена серия расчётов с варьированием различных параметров системы. В том числе изучалось влияние начальных условий на эволюционирование системы. Данные, необходимые для расчёта были заимствованы из предыдущих работ выполненных в этом направлении, из литературных источников в научной периодике, а также из классических монографий.

При варьировании начальных условий для ядра было найдено, что их изменения мало влияют на величину смещения и абсолютно не влияют на саму возможность этого смещения. А именно, даже при нулевых начальных условиях ядро приходит в установившееся колебательное движение, ограниченное в некоторых пределах порядка 10^4 м (рис. 3). Кроме того, в этих же пределах устанавливается колебательное движение ядра при любых других, не выходящих за рамки определения системы, начальных условиях.

Эти результаты подтверждают исходную гипотезу о смещении ядра, так как других причин выведения ядра из устойчивого состояния, кроме сил взаимодействия с внешними телами, нет. То, что колебания ядра устанавливаются в определённых пределах вне зависимости от начальных условий, указывает на то, что они жёстко определяются внешними параметрами системы, такими как характеристики орбиты спутников и массы компонентов системы.

На рис. 2 сравниваются периоды обращения спутников с периодами колебания ядра, где ясно видна чёткая и однозначная связь смещения ядра с движением спутников. Здесь же видно, что низкочастотные гармоники генерируются дальним

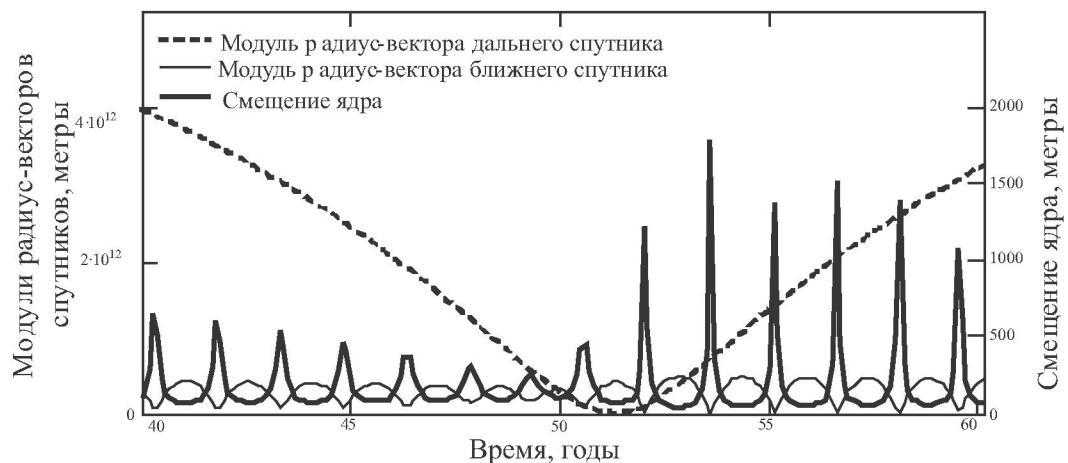


Рис. 2. Корреляция движения ядра со спутниками

спутником. На рисунке видно, что большую часть времени ($\sim 95\%$) ядро находится в положении равновесия и только на короткое время «вонзается» в энерговыделяющий слой, стимулируя его активность, что очень неплохо согласуется с наблюдательными данными.

Варьирование остальных параметров системы приводит главным образом к изменению величины смещения ядра и формы кривой зависимости смещения ядра от времени.

Разнообразие зависимостей смещения ядра от времени при разных параметрах системы, объясняет разнообразие кривых блеска мирид. Для однозначного установления связи между колебаниями смещения ядра и пульсациями блеска мирид необходимы исследования промежуточных процессов, происходящих в недрах и атмосфере красных гигантов. Тем не менее, уже проведённых исследований достаточно для того, чтобы сделать вывод о смещении ядра как возможной причины нестационарности гигантов поздних спектральных классов в кратных системах, так как нормальным для звёзд с подобной структурой является состояние с внутренней механической нестабильностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодовник А.А., Ренёв А.В. Гравитационные эффекты в кратных звёздных системах как причина звёздной нестационарности. Алматы: НЦ НТИ, 2010. С. 87.
2. Солодовник А.А., Ренёв А.В. Расчет смещения ядра красного гиганта в тройной звёздной системе // Мат-лы респ. научно-практ. конф. «Козыбаевские чтения - 2009». Петропавловск, 2009. С. 42-46.
3. Солодовник А.А., Агафонов О.А. Причины нестационарности некоторых долгопериодических переменных звёзд // Мат-лы Междун. научно-практ. конф. Алматы: КазНУ, 2001. Т. IV. С. 16-20.
4. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.

Резюме

Жүйе компоненттерімен бірге еселік жүйеге енетін алым қызыл ядроның қозгалысы сипатталытын дифференциалды тендеу жүйесі шығарылды. Ядро қозгалысының талдауы жүргізілді.

Summary

We have introduced the differential equation system describing the motion of the core of the red giant entering the multiple system together with the system's components. The analysis of the core motion is performed.

Северо-Казахстанский государственный
университет им. М. Козыбая,
г. Петропавловск

Поступила 12.07.10 г.