

Переменные звезды типа Миры Кита (обзор).

Г.М. Рудницкий

Mira Ceti - type variable stars: a review, by G.M. Rudnitskij.

Приводится краткий обзор наблюдательных данных по переменным типа Миры Кита, полученных в последние годы. Обсуждаются основные результаты по спектроскопии мирид в оптическом, инфракрасном и радиодиапазоне, характеристики класса ОН/ИК-звезд, место долгопериодической периодичности в поздних стадиях звездной эволюции.

Переменные типа Миры Кита ("мириды") — красные гиганты с массами от одной до нескольких солнечных, проявляющие пульсационную неустойчивость. Периоды их переменности составляют от 100 до 1000 суток, а амплитуды в видимой области спектра лежат в пределах от 2.5 до 11 звездных величин. К миридам тесно примыкают полуправильные переменные — также красные гиганты с характерными временами изменений блеска порядка сотен суток. Однако амплитуды полуправильных переменных меньше, чем у мирид ($< 2^m.5$), а переменность носит менее регулярный характер.

Физический механизм пульсаций мирид пока до конца не выяснен. Вероятнее всего, пульсации связаны с неустойчивостью конвективной оболочки звезды, причем регулятором является ионизация водорода (Остли и Кокс, 1986). Важную роль, по нашему мнению, может сыграть также неустойчивость слоевого источника ядерного горения под конвективной зоной; неустойчивость такого типа была впервые рассмотрена Киппенханом и Томасом (1983).

Кривые блеска мирид весьма разнообразны (Кэмпбелл, 1955) — от практически синусоидальных до кривых довольно сложной формы, с асимметрией ветвей кривой, с горбом (и даже с вторичным максимумом) на одной из ветвей. Мириды занимают видное место среди изученных переменных звезд. В 4-м издании ОКПЗ их 5829 (из полного числа 28455 известных переменных). Большинство мирид — звезды спектральных классов М, богатые кислородом, с отношением содержаний $O/C > 1$. Главная особенность оптического спектра "кислородных" мирид — мощные полосы поглощения молекул TiO . Молекулы TiO — один из основных источников непрозрачности в атмосферах М-мирид в видимой области спектра. Среди мирид также имеется небольшое количество S-звезд (с отношением $O/C \sim 1$ и полосами ZrO в спектре) и C-звезд ($O/C < 1$, сильные полосы поглощения C_2 , CN и других углеродных соединений).

В спектрах мирид периодически появляются эмиссионные линии водорода (бальмеровская серия) и металлов. Эмиссионные линии обычно возникают вблизи максимума блеска и пропадают вскоре после максимума. Поведение эмиссионных линий объясняется в модели ударных волн, создаваемых пульсациями в каждом цикле переменности блеска звезды (Вилсон, 1976). Ударная волна со скоростью $v_s > 30$ км/с

эффективно нагревает и ионизует газ; температура газа за фронтом достигает десятков тысяч К. При рекомбинации газа за фронтом возникают эмиссионные линии. Прохождение ударной волны приводит также к диссоциации молекул и к "просветлению" атмосферы в видимой части спектра, благодаря чему блеск звезды возрастает; затем, в послемаксимальной стадии v_s уменьшается, газ охлаждается и рекомбинирует; молекулы восстанавливаются, непрозрачность возрастает, а блеск звезды падает. Определением v_s в атмосферах мирид по оптическим спектрам посвящено в последнее время много работ (см. статью Жийе (1988) и ссылки в ней). Есть указания на величины v_s до 90 км/при этом ударная волна, видимая в линиях бальмеровской серии водорода, может распространяться вплоть до расстояний $\sim 10^{14}$ см от центра звезды. Однако на больших расстояниях v_s быстро снижается, и ударная волна уже не проявляет себя эмиссией в оптических линиях. Средство диагностики ударных волн на больших расстояниях от звезды — ИК-спектроскопия высокого разрешения, в первую очередь — исследование колебательных полос молекулы CO (Хинкл и др., 1984).

Ударные волны приводят к значительному увеличению протяженности атмосферы мириды. Как следствие, мириды легко теряют массу из-за давления излучения на пылевую составляющую атмосферного вещества. Скорость потери массы $\dot{M}$ достигает $10^{-6} - 10^{-5} M_\odot/\text{год}$ (Кнапп и Моррис, 1985). Потерянное вещество образует вокруг звезды толстую расширяющуюся газо-пылевую оболочку с внутренним и внешним радиусами 10^{14} и 10^{16} см соответственно. Оболочка наиболее рельефно проявляет себя избытком излучения пыли в ИК-области спектра и радиоизлучением в спектральных линиях молекул. У мирид это главным образом мазерное радиоизлучение молекул OH, H_2O и SiO. Известно около 100 мирид-мазеров (Энгельс, 1979). Молекулярные околозвездные мазеры переменны, причем их интенсивность коррелирует с переменностью блеска мирид (Кудашкина и Рудницкий, 1988). Для выяснения природы мазерного механизма очень важны поэтому синхронные фотометрические измерения и наблюдения мазерных радиолиний. У углеродных мирид наблюдается тепловое (немазерное) радиоизлучение в линиях CO, HCN и других органических молекул (Кнапп и др., 1982; Кнапп и Моррис, 1985). У некоторых C-мирид найдено также мазерное излучение молекул CO, SiS и HCN (Шукерман и Дик, 1986; Идзумиура и др., 1987).

Обзоры неба в радиолинии OH на частоте 1612 МГц привели к обнаружению нового класса объектов — OH/ИК-звезд (Херман и Хабинг, 1981). Характеристики OH-излучения OH/И'-звезд сходны с таковыми "обычных" мирид. Однако OH/ИК-звезды очень слабы в оптической области спектра ($V > 16-17^m$) и обнаруживаются главным образом в ИК-диапазоне. OH/ИК-звезды переменны. Их периоды больше, чем у оптических мирид, и достигают 1700^d . OH/ИК-звезды, по сравнению с миридами, имеют большие массы ($5-9 M_\odot$) и более толстые околозвездные оболочки с большим поглощением света. OH/ИК-звезды, таким образом,

продолжают популяцию мирид в область больших масс и, соответственно, более длинных периодов.

Потеря массы с указанной выше скоростью $\dot{M}$ в течение десятков тысяч лет (время пребывания красного гиганта в стадии пульсационной неустойчивости) ведет к сбросу заметной части массы звезды. Сброшенное вещество образует планетарную туманность вокруг вырожденного звездного остатка — белого карлика (Вуд и Зарро, 1981). Таким образом, мириды — важное звено в поздних стадиях звездной эволюции.

Литература.

- Виллсон, 1976 — Willson L.A., ApJ **205**, 172.
 Вуд и Зарро, 1981 — Wood P.R., Zarro D.M., ApJ **247**, 247.
 Жийе, 1988 — Gillet D., Astron. and Astrophys. **190**, 200.
 Идзумиура и др., 1987 — Izumiura H., Ukita N., Kawabe R., Kaifu N., Tsuji T., Unno W., Koyama K., ApJ **323**, L81.
 Киппенхан и Томас, 1983 — Kippenhahn R., Thomas H.-C., Astron. and Astrophys. **124**, 206.
 Кнапп и Моррис, 1985 — Knapp G.R., Morris M., ApJ **292**, 640.
 Кнапп и др., 1982 — Knapp G.R., Phillips T.G., Leighton R.B., Lo K.Y., Wannier P.C., Wooten H.A., Huggins P.J., ApJ **292**, 640.
 Кудашкина Л.С., Рудницкий Г.М., 1988, ПЗ **22** (данный номер).
 Кэмпбелл, 1955 — Campbell L., Studies of Long Period Variables, Cambridge, Mass., AAVSO.
 Остли и Кокс, 1986 — Ostlie D.A., Cox A.N., ApJ **311**, 864.
 Херман и Хабинг, 1981 — Herman J., Habing H.J., in "Physical Processes in Red Giants", p. 383, Dordrecht, Reidel.
 Хинкл и др., 1984 — Hinkle K.H., Scharlach W.W.G., Hall D.N.B., ApJ Suppl. **56**, 1.
 Энгельс, 1979 — Engels D., Astron. and Astrophys. Suppl. **36**, 337.

A brief review of recent observational data on Mira Ceti -type variables is presented. Main results on Miras' spectroscopy in the optical, infrared, and radio wave ranges, the parameters of the OH/IR stars' class and the place of long-period variability at late stages of stellar evolution are discussed.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга.

Переменность мазерных источников.

Г.Т. Болгова.

The variability of maser sources, by G.T. Bolgova.