

УДК 524.33

Вращение молодых звезд с аккреционными дисками

С.А. Артеменко, К.Н. Гранкин, П.П. Петров

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, Научный, АР Крым, Украина, 98409
sartem@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 12 декабря 2012 г.

Аннотация. Определены периоды и амплитуды вращательной модуляции блеска и цвета у 31 CTTS, у шести из них периоды выявлены впервые. Вычислены углы наклона оси вращения и экваториальные скорости вращения CTTS. Найдено, что угловая скорость вращения CTTS с массой 0.3–3 M_{\odot} сохраняется примерно постоянной в диапазоне возраста 1–10 млн лет. CTTS, находящиеся на радиативных эволюционных треках, вращаются быстрее, чем полностью конвективные CTTS. Удельный угловой момент CTTS зависит от абсолютной светимости в линии $H\alpha$.

ROTATION OF YOUNG STARS WITH ACCRETION DISKS, *by S.A. Artemenko, K.N. Granikin, P.P. Petrov.* We derived periods and amplitudes of the rotational modulation of brightness and color for 31 CTTS; for six of them periods are identified for the first time. The inclinations of the rotation axis and equatorial rotational velocities of CTTS are determined. We found that the angular velocity of CTTS with the mass of 0.3–3 M_{\odot} remains constant in the age range of 1–10 Myr. The CTTS on radiative evolutionary tracks rotate faster than completely convective CTTS. The specific angular momentum of CTTS depends on the absolute luminosity in the $H\alpha$ line.

Ключевые слова: звезды – переменные типа Т Тельца, эволюция, вращение, пятна

Звезды рождаются в результате гравитационного сжатия газопылевых облаков. При этом, как правило, вокруг звезды образуется аккреционный диск. Аккреция вещества диска с большим угловым моментом и гравитационное сжатие должны раскрутить звезду до критической скорости за время около 1 млн лет. Однако из наблюдений молодых звезд известно, что их скорости вращения составляют лишь 10–20 % от критических. Очевидно, должны существовать механизмы отвода избыточного углового момента. В настоящее время рассматриваются два возможных механизма: 1) потеря массы звездой в виде замагниченного звездного ветра, уносящего часть углового момента; 2) взаимодействие магнитного поля звезды с ионизованным газом в аккреционном диске (disk-locking).

Периоды вращения хорошо изучены для TTS, не связанных с аккреционными дисками. Однако особый интерес представляют т. н. классические звезды типа Т Тельца, в которых еще продолжаются процессы как аккреции, так и истечения вещества. Оба эти процесса влияют на эволюцию углового момента звезды.

В данной работе анализируются периоды осевого вращения CTTS. Проводится анализ фотометрических рядов CTTS, представленных в каталоге Гранкина и др. (2007), который охватывает интервал наблюдений более 20 лет. Из звезд в каталоге отобраны только те, для которых имеется не менее трех сезонов наблюдений. Поиск периодов осуществлялся коррелограммным методом CORRPSD. Из найденных периодов оставлены только те, которые присутствуют в двух и более

сезонах. В результате, для 25 звезд подтверждены и уточнены периоды вращения в диапазоне от 2 до 15 сут, для 6 звезд периоды вращения обнаружены впервые.

Периодические изменения блеска могут относиться как к осевому вращению звезды, так и к вращению неоднородного газопылевого диска. Различить эти периоды можно, определив угол наклона оси вращения i . Если период P выражен в сутках, проекция экваториальной скорости вращения $V_{eq} \sin i$ в км/с, а радиус звезды R_* – в радиусах Солнца, то

$$\sin i = 0.0195 P V_{eq} \sin i / R_*. \quad (1)$$

Если модуляция блеска вызвана эффектами на поверхности звезды или в магнитосфере, вращающейся с той же угловой скоростью, что и звезда, то формула (1) дает значение $\sin i \leq 1$. Однако если модуляция вызвана эффектами в диске, то формальное применение формулы (1) даст значение $\sin i > 1$. Зависимость формального значения $\sin i$ от периода изменений блеска звезды показана слева на рис. 1. Непрерывный переход от осевых к кеплеровским периодам указывает на то, что вращательная модуляция блеска CTTS возникает не только на поверхности звезды, но и в магнитосфере и в аккреционном диске, начиная с его внутренней границы и далее.

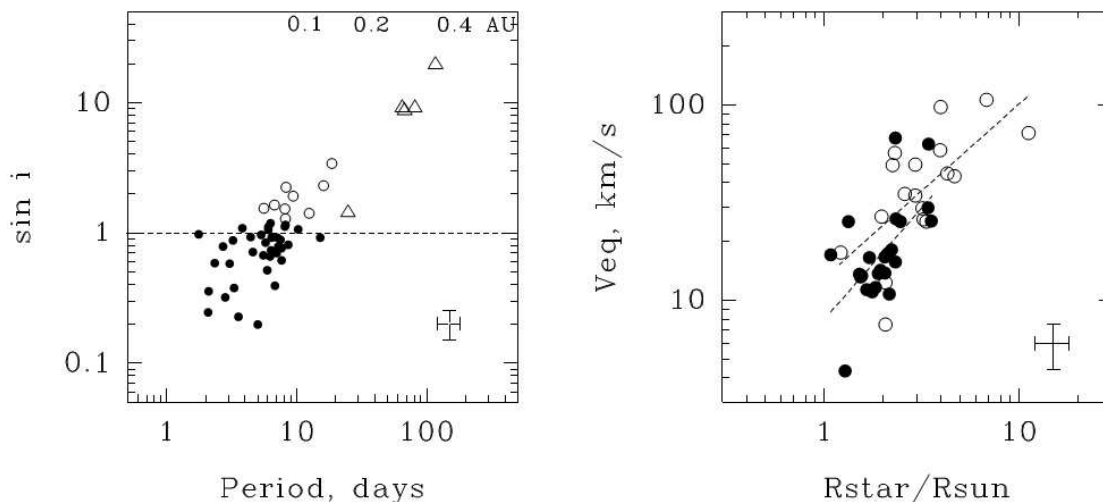


Рис. 1.

Слева: угол наклона оси вращения звезды в зависимости от периода. Точки – периоды осевого вращения, кружки и треугольники – кеплеровские периоды. Справа внизу указаны типичные ошибки по обоим осям. Вверху даны ориентировочные значения большой полуоси кеплеровской орбиты.

Справа: Экваториальная скорость вращения в зависимости от радиуса звезды. Кружки – CTTS в группировке Телец-Возничий, треугольники – CTTS в Орионе и других группировках. Пунктирные прямые – линии регрессии

Справа на рис. 1 показана зависимость экваториальной скорости вращения от радиуса звезды. Скорость вращения V_{eq} уменьшается с уменьшением радиуса звезды. Линия регрессии практически совпадает с тем, что должно быть в случае эволюции с постоянной угловой скоростью. Вероятность случайной корреляции менее 0.5 %. Этот результат находится в согласии с тем, что было получено по другим группировкам звезд.

Значительный разброс точек на рис. 1 вызван, в частности, различием в массах звезд. Звезды одного возраста, различающиеся по массе, лежат на разных участках эволюционного трека и имеют

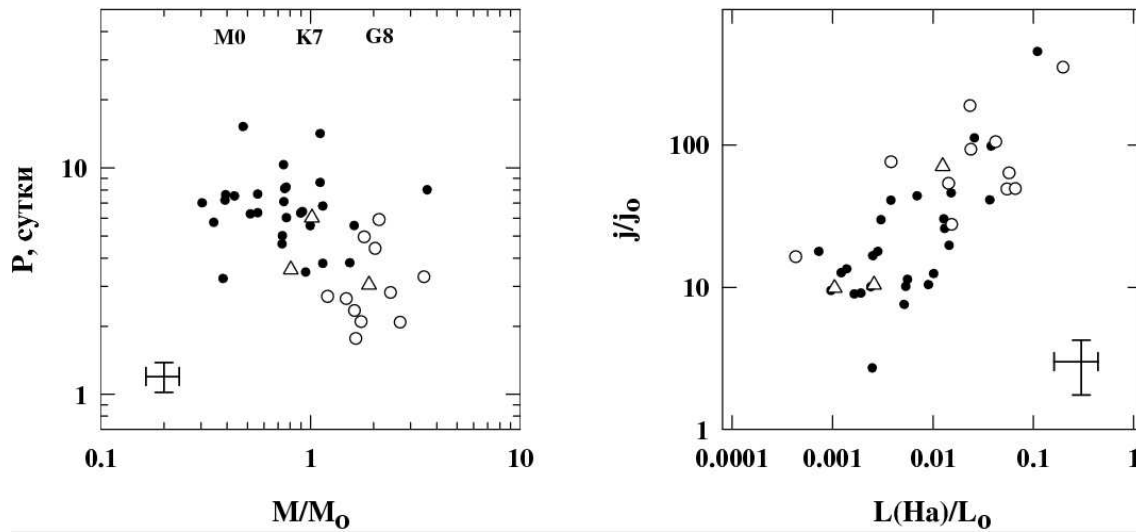


Рис. 2.

Слева: Зависимость периода вращения от массы звезды. Точки – звезды на конвективных треках, кружки – звезды на радиативных треках, треугольники – звезды в точке поворота от конвективного к радиативному треку. Вверху указаны ориентировочно спектральные классы.

Справа: Зависимость удельного углового момента от абсолютной светимости в линии $H\alpha$. Обозначения те же

разное внутреннее строение. Менее массивные звезды расположены на конвективном треке Хаяши, в то время как более массивные – преимущественно на радиативном треке. В левой части рис. 2 показана зависимость периода вращения от массы звезды. Можно заметить, что более массивные звезды вращаются быстрее, по-видимому, в первую очередь из-за различий во внутреннем строении звезд. У звезд с радиативным ядром и конвективной оболочкой конфигурация магнитного поля отличается от дипольной – дипольная составляющая ослаблена и аккреционный диск может подходить ближе к звезде, что приводит к ускорению вращения. Полностью конвективные звезды имеют в основном дипольную конфигурацию поля.

Согласно модели “disk locking”, равновесная скорость вращения зависит от напряженности полюидального магнитного поля, связывающего звезду с диском, и от темпа аккреции. Одним из индикаторов аккреции является эмиссия в линии $H\alpha$. Нами найдена зависимость удельного углового момента от абсолютной светимости в $H\alpha$. Этот результат указывает на ключевую роль аккреции в эволюции углового момента. Аккреция пытается раскрутить звезду, а звездный ветер и магнитное поле, связывающее звезду с диском, пытаются звезду затормозить. По мере угасания аккреции прекращается и связь звезды с диском, остается только звездный ветер, поэтому звезда вновь начинает ускорять вращение, поскольку гравитационное сжатие продолжается до прихода звезды на ГП.

Выводы:

- Вращательная модуляция блеска CTTS вызвана эффектами не только на поверхности звезды (холодные и горячие пятна), но и в аккреционном диске (затмения пылевыми облаками).
- В области звездообразования в Тельце-Возничем CTTS в диапазоне масс $0.3\text{--}3.0 M_{\odot}$ в первые 10 млн лет сохраняют примерно постоянную угловую скорость, что свидетельствует о существовании эффективного механизма торможения вращения при сжатии звезды.
- Удельный угловой момент CTTS зависит от абсолютной светимости в линии $H\alpha$, что указывает на роль аккреции в регулировании углового момента.

- СТТС, находящиеся на радиативных треках, вращаются, в среднем, быстрее, чем полностью конвективные СТТС.

Полную версию работы можно прочитать в статье Артеменко и др. (2012).

Литература

- Артеменко С.А., Гранкин К.Н., Петров П.П. // Письма в Астрон. журн. 2012. Т. 38. № 12. С. 872.
Гранкин и др. (Grankin K.N., Melnikov S.Yu., Bouvier J., et al.) // Astron. Astrophys. J. 2007. V. 461.
P. 183.