



CI Sam и природа V[e]-феномена

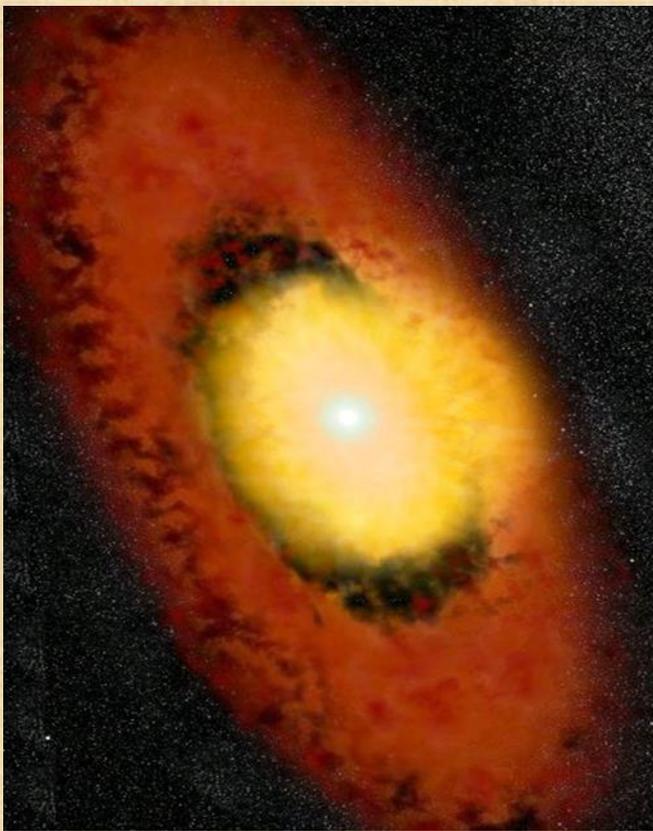
Е.А. Барсукова, В.П. Горанский, Н.В. Метлова,
А.Н. Буренков, Е.А. Семенко

Главные критерии V[e]-звезд:

- Сильные Бальмеровские эмиссионные линии
- Разрешенные линии низкого возбуждения, преимущественно низко ионизованных металлов, например, FeII
- Запрещенные эмиссионные линии [FeII] и [OI]
- Сильный инфракрасный избыток из-за горячей околозвездной пыли.

В класс V[e] попадают звезды с разным эволюционным статусом:

- 1) sgV[e] - сверхгиганты, массивные и проэволюционировавшие
- 2) HAeV[e] - Ae/Be звезды Хербига, до главной последовательности
- 3) cPNV[e] – компактные планетарные туманности, маломассивные, проэволюционировавшие
- 4) SymV[e] – симбиотические двойные
- 5) unclV[e] – неклассиф. => “FS CMa” , двойные

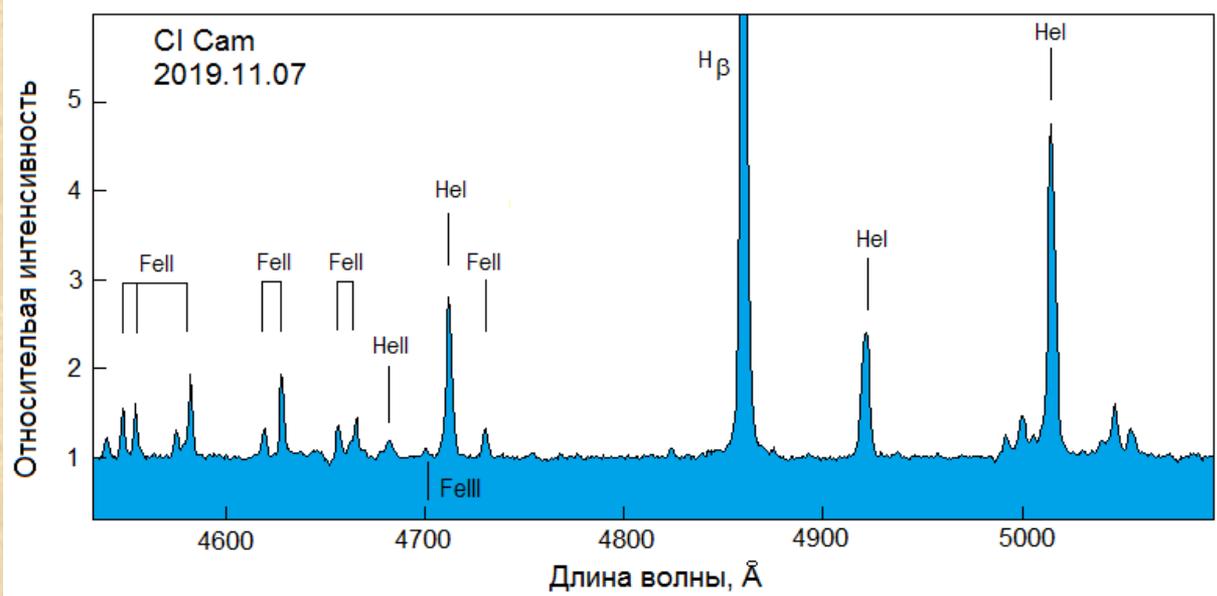


Термин «феномен В[e]» используют в основном, чтобы подчеркнуть, что разные типы звезд могут давать один и тот же вид спектра.

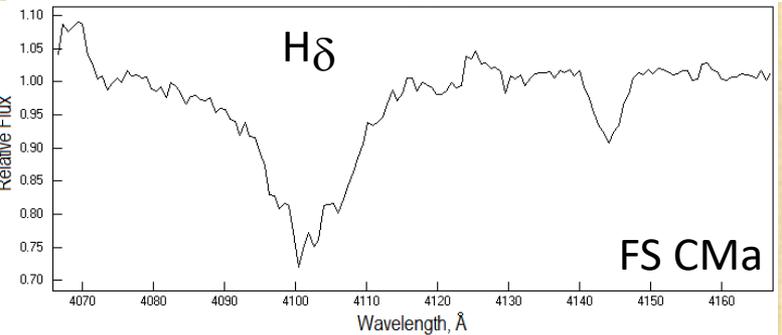
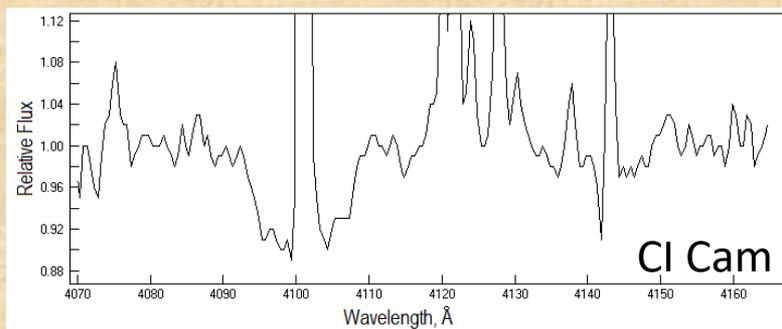
Сильные эмиссионные линии должны исходить от околозвёздного газа, выброшенного из звезды сильным звездным ветром, или в результате пульсаций или двойственности. Газовая среда должна быть достаточно протяжённой для возникновения запрещённых линий во внешней области низкой плотности, а также для существования пыли, создающей избыток инфракрасного излучения. Данные особенности присущи всем типам В[e]-звёзд.

Возможные причины феномена В[e]:

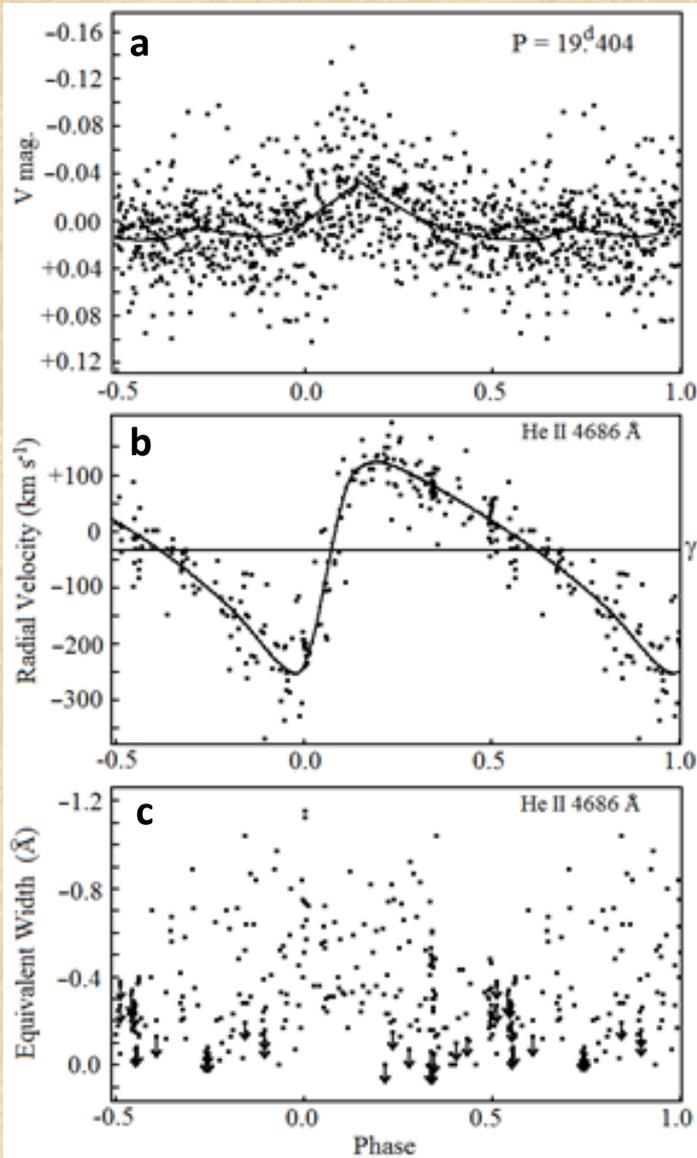
- 1) Двойственность (Harmanec, Bisikalo, Boyarchuk, Kuznetsov, 2002) или даже слияние компонентов (Podsiadlowski)
- 2) Быстрое вращение + пульсации (Revinius, Baade, Stefl et al., 2001)
- 3) Потеря массы механизмом бистабильности – переход в ионизационной структуре Fe IV-Fe III и Fe III-Fe II – с формированием двухкомпонентного звездного ветра – полярного и дискового экваториального (Lamers & Pouldrach, 1991)
- 4) Магнитогидродинамика + световое давление как механизм потери массы (Cassinelli, Brown, Maheswaran et al. 2002)



По спектру БТА с большим отношением сигнал/шум нам удалось по крыльям абсорбционных водородных линий высоких порядков классифицировать главный компонент CI Cam как звезду B4 III-V



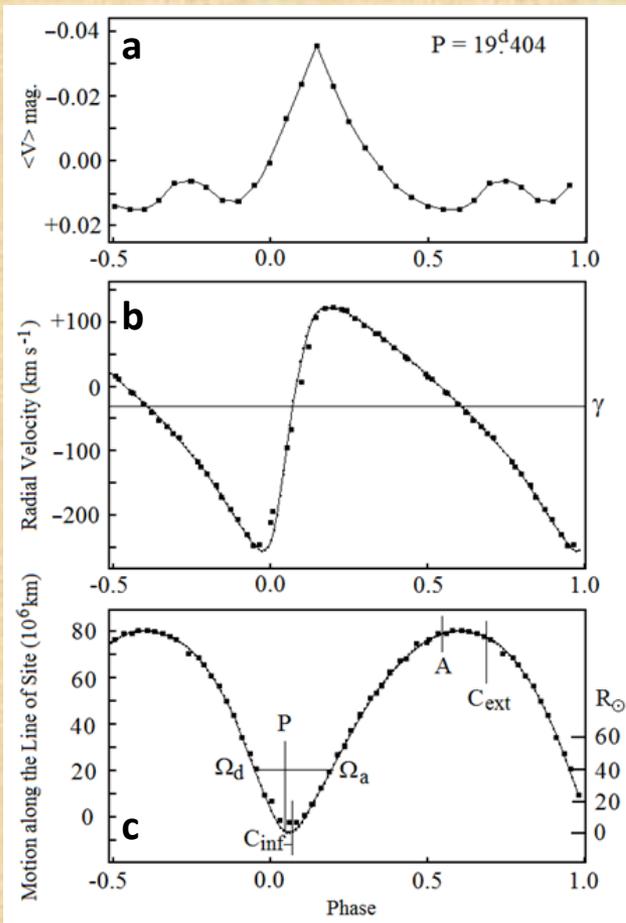
Орбитальный период в фотометрии и в лучевых скоростях в эмиссии He II 4686 Å



а) Кривая блеска в фильтре V с орбитальным периодом. Здесь каждая точка – среднее значение в одну ночь. Всего ночей 928. Сплошная линия – средняя кривая блеска. Полная амплитуда периодической составляющей $0^m.05$. Медленные тренды удалены.

б) Кривая лучевых скоростей по линии He II 4686 Å (γ – системная скорость, равная -33.5 км/с). Сплошная линия – модельная кривая с подобранными орбитальными элементами. Всего спектров 246, из них линия He II наблюдалась в 217 спектрах, в которых лучевая скорость измерена.

в) Эквивалентная ширина He II в зависимости от фазы орбиты. Точки со стрелками вниз – верхние пределы параметра, если линия не видна. Заметен недостаток наблюдений высокой интенсивности линии около фазы 0.5. Он относится к фазе апоастра (наибольшее удаление компактного компонента от В[e]-звезды), а не к верхнему соединению. Потому это не затмение.



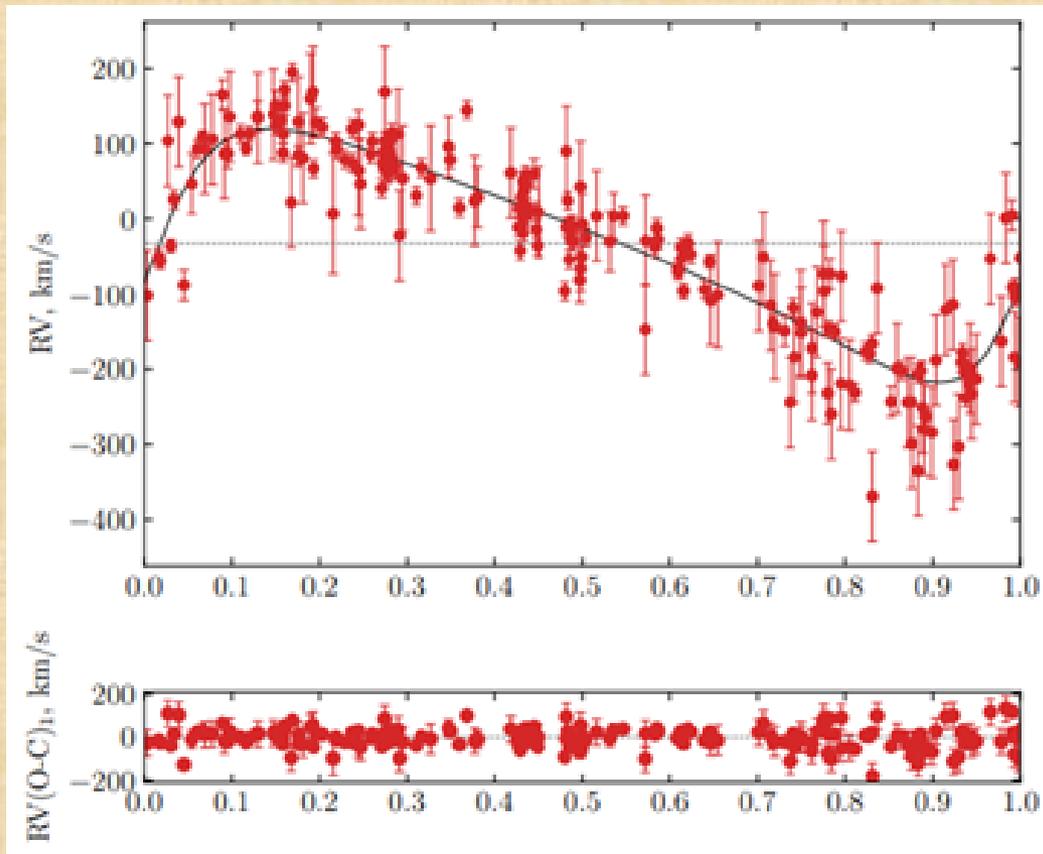
a) Средняя кривая блеска с орбитальным периодом по фотометрическим данным.

b) Усредненная кривая лучевой скорости (точки) в линии H α 4686 Å и модель с выбранными параметрами (сплошная линия).

Заметно, что восходящая ветвь модельной кривой более крутая, в то время как в остальных фазах модель хорошо представляет наблюдения. Это результат осреднения методом «скользящего среднего».

c) Интегральная кривая, которая отражает движение источника вдоль луча зрения в километрах (метод Лемана-Филеса, который основан на измерении характерных площадей, ограничиваемых кривой лучевых скоростей).

На этой кривой отмечены фазы: P – периастр; A – апоастр; Ω_d - нисходящий узел орбиты; Ω_a – восходящий узел орбиты. Узлы орбиты определяются как пересечение орбиты с картинной плоскостью, проходящей через центр главного компонента системы. Обозначения C_{inf} и C_{ext} – фазы нижнего соединения и верхнего соединения спутника с главным компонентом.



Решение кривой Vr с помощью кода rvfit (IDL)

Спектроскопические элементы орбиты CI Cam

Sp	B4 III-V[e]
P orb (d)	19.404
K _x	188.5 km/s
K _{B[e]}	< 5 km/s
e	0.49
ω	250°
T _p	JD hel. 2459028.266
a·sin(i)	43.5·10 ⁶ км
f (M)	8.9 M _{sun} (7.01 sun)

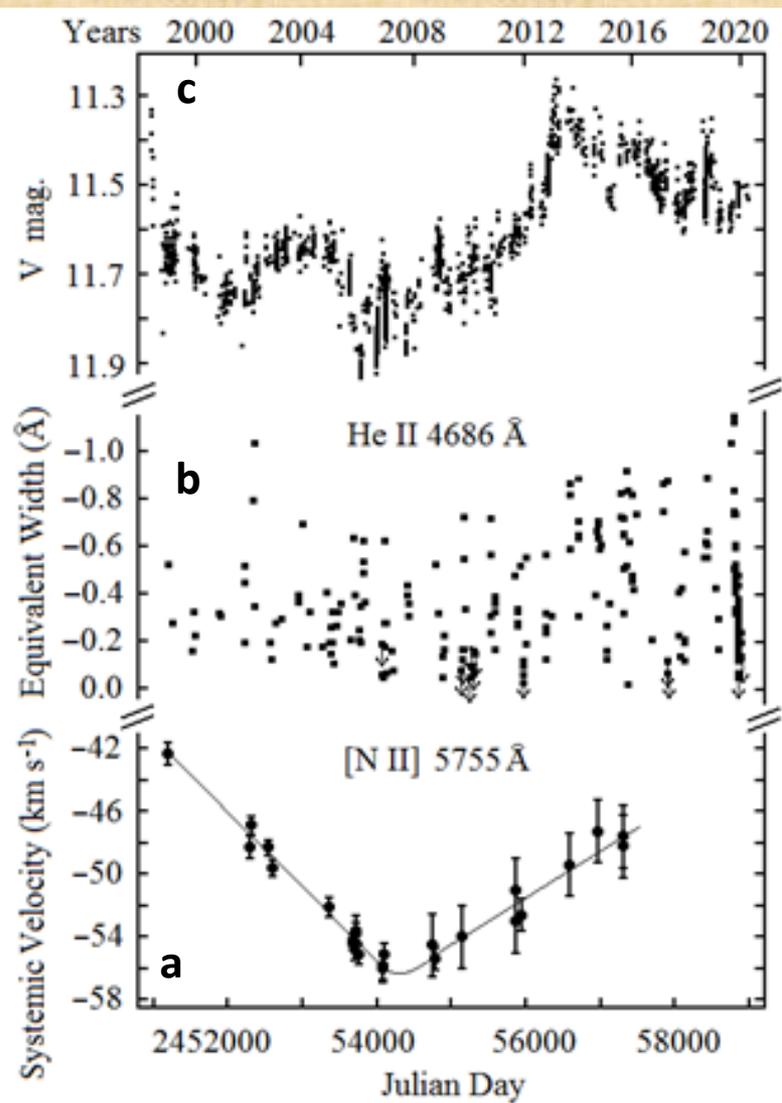
Абсолютная величина такой звезды может быть в пределах $-1^m.2$ и $-2^m.3$, а расстояние, вычисленное с принятой величиной межзвездного покраснения $E(B-V) = 0.^m85$, составляет 1.1 - 1.9 кпк, что совпадает с результатом спутника GAIA DR1.

34 R_{sun} - расстояние от периастра до линии узлов в проекции на луч зрения (то есть, высота периастра над центром B[e]-звезды) дает верхний предел радиуса главного компонента.

34-46 R_{sun} - радиусы сверхгигантов этого спектрального класса составляют.

3,6-5,9 R_{sun} - радиус звезды класса B4 III-V.

Вероятное присутствие третьего компонента в системе CI Cam

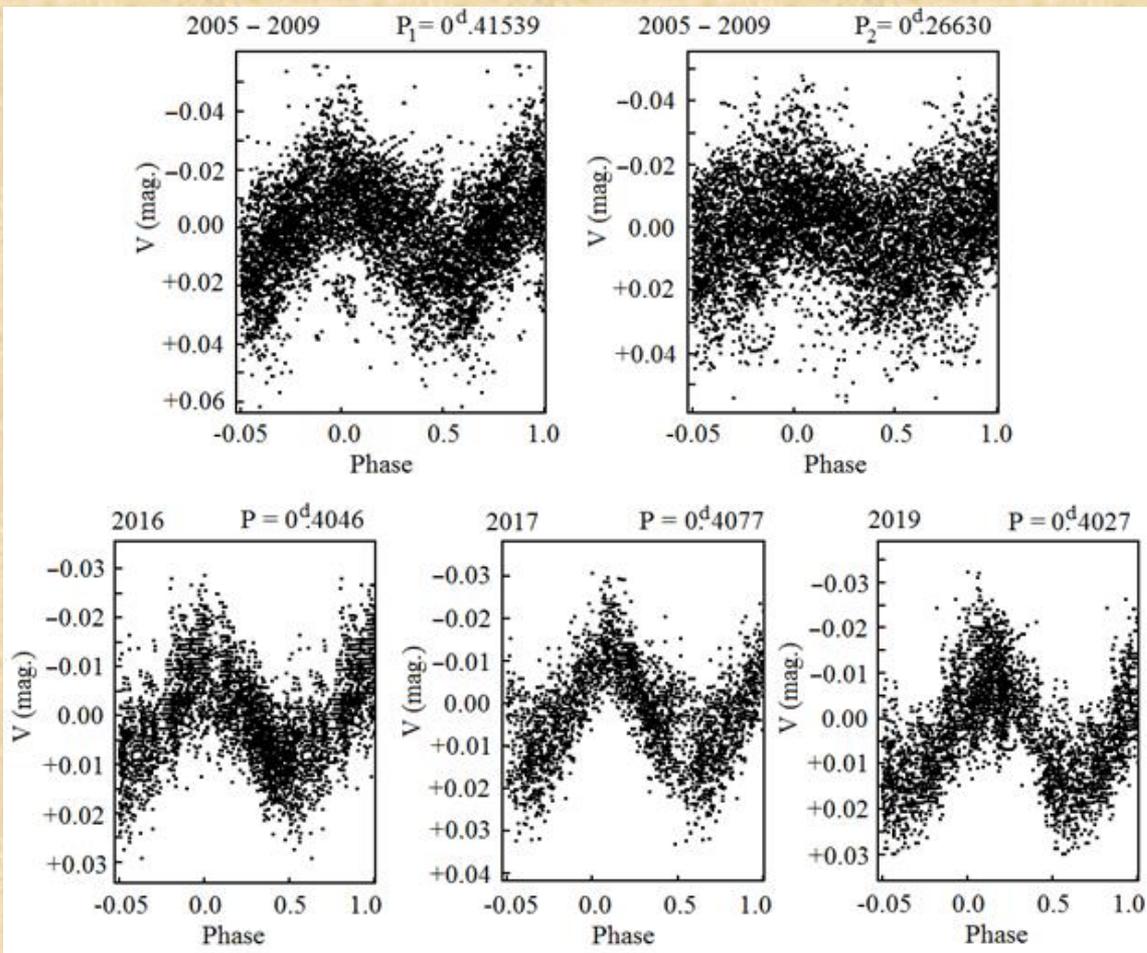


а) Лучевая скорость туманности, окружающей главный компонент, в запрещенной линии [N II] в зависимости от времени. Так же меняются лучевые скорости в разрешенных линиях Fe II. Существует орбитальное решение для тройной системы B[e]+WD+CS и 3й компонент: $P_{orb} > 160$ лет и $e_{orb} \sim 0.6$

б) Эквивалентные ширины эмиссионной линии He II 4686 Å в зависимости от времени. Есть тенденция увеличения. Виден скачок EW в пике вспышки 2013 г.

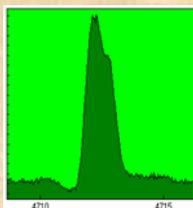
с) Кривая блеска CI Cam в полосе V за 22 года после вспышки 1998 г. После 2008 года, в результате сближения с 3м компонентом система вошла в активную фазу (поярчание на 0.^m4 в полосе V, усиление линии HeII, исчезновение второго обертона в пульсациях).

Пульсации главного компонента CI Cam

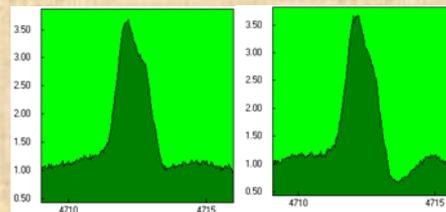


2005 – 2009 гг.
Двухмодные пульсации CI Cam.

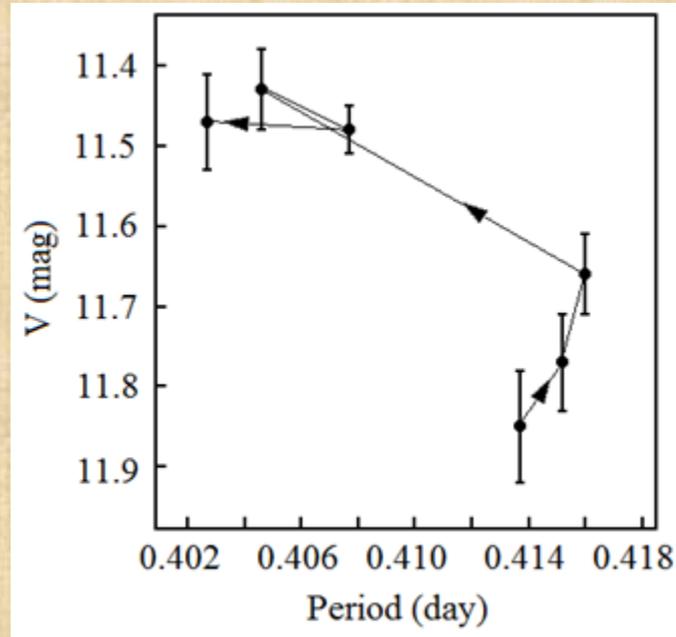
2016 – 2019 гг.
Графики кривых блеска в единственной низкочастотной моде (1-й обертона) после исчезновения высокочастотной моды – 2-го обертона.



← Изменения в профилях линии HeI 4713 Å
CFHT (2004) BTA (2006) →



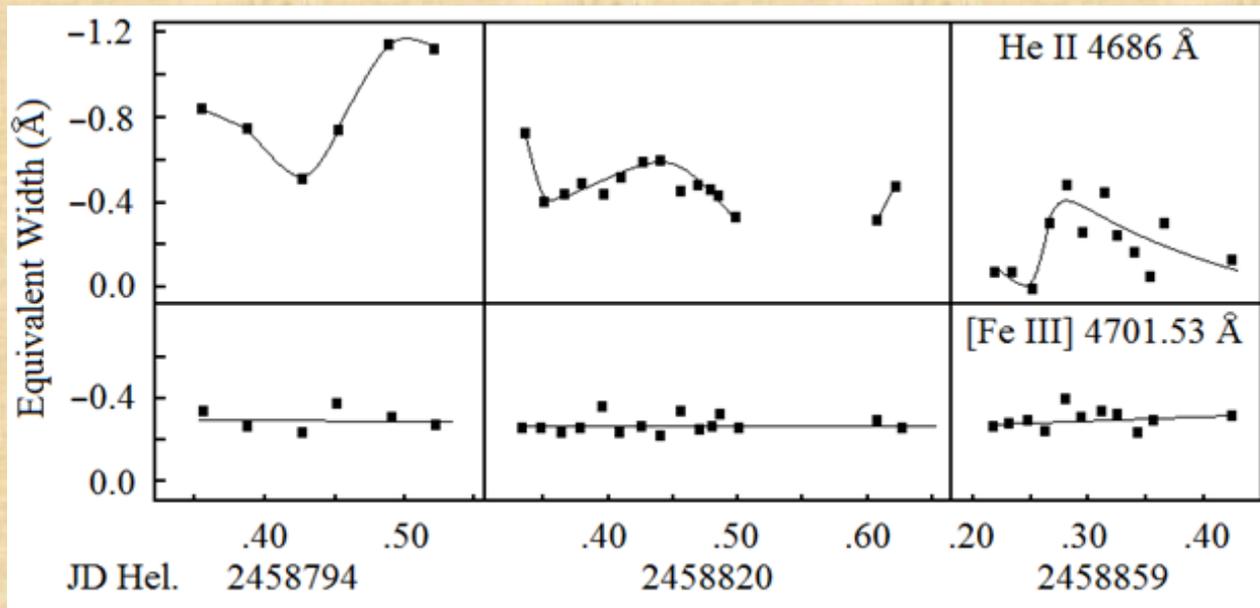
Зависимость Период – Блеск в V для CI Cam



По формуле Эддингтона, выведенной для свободных адиабатических колебаний газовых шаров, величина $P \langle \rho \rangle^{1/2} = Q = \text{const}$. Здесь ρ – средняя плотность шара $M \cdot (4/3\pi \cdot R^3)^{-1}$.

Отсюда следует, что $P \sim R^{3/2} M^{-1/2}$. Так что уменьшение периода пульсаций в низкочастотной моде означает уменьшение радиуса главной звезды при увеличении ее светимости.

Быстрая переменность интенсивности линии He II 4686 Å.



Наибольшая интенсивность в линии He II и переменность вдвое в шкале 2 часов наблюдалась в JD 2458794 (в ночь 6/7 ноября 2019 г.). Момент наблюдения соответствует фазе 0.002, то есть при скорости приближения к наблюдателю, близкой к максимуму и после прохождения нисходящего узла орбиты.

Именно эта переменность может давать большой разброс кривой лучевых скоростей аккреционного диска вокруг белого карлика и ошибки в определении орбиты.

Аргументы в пользу белого карлика в системе CI Cam

и вспышки 1998 г. как термоядерного взрыва на его поверхности:

РЕНТГЕН. Во вспышке.

1. Двухтемпературный тепловой спектр во вспышке и продолжительность вспышки около недели, что в согласии с расчетами термоядерного взрыва на поверхности белого карлика с массой $1 M_{\text{sun}}$ Ибена (1982) - Орландини и др. (2000), A&A v.356, 163.
2. Рентгеновский спектр до 10 КэВ оптически тонкий и тепловой, а также содержит много эмиссий высокой ионизации (K-shell): O, Ne, Si, S, Fe (Фронтера и др. 1998; Opp и др. 1998; Уеда и др. 1998). Транзиенты с черной дырой или нейтронной звездой такие спектры не имеют (Ишида и др. 2004).
3. Мягкий компонент спектра напоминает источники класса SSS (CAL 87/LMC) с термоядерным горением на поверхности белого карлика (Ишида и др. 2004).
4. Нет быстрой переменности и жесткого хвоста в рентгеновском спектре, как у черных дыр, и пульсаций, как у нейтронных звезд (Орландини и др. 2000).

В спокойном состоянии.

5. Наблюдается эмиссия оптически тонкой плазмы с $kT=5.5$ КэВ, которая напоминает эмиссию от аккрецирующих белых карликов катаклизмических переменных. (Ишида и др. 2004)

РАДИО.

6. Наблюдалась расширяющаяся оболочка, которая объясняется выбросом слоев, богатых гелием и водородом (в результате термоядерного взрыва, подобно новым) (Орландини и др. 2000), Медушевски и Рупен (2005)

ОПТИКА.

7. Эта оболочка видна во вспышке в профилях линий как «пьедестал» ($V_r=1200$ км/с) (Барсукова и Фабрика, 1998)
8. Большая амплитуда лучевых скоростей 200 км/с – маломассивный компактный компонент.
9. В спокойном состоянии нет искажения профилей ветровых линий даже при прохождении периастра - это значит, что спутник маломассивный.
10. Светимость в пике вспышки (за вычетом света звезды $V[e]$) в оптике $(1-2) \cdot 10^{38}$ эрг/с, что в хорошем соответствии с классическими новыми. Самые яркие новые в M31 во вспышке имеют светимость $4 \cdot 10^{38}$ эрг/с (Ишида и др. 2004).

Пункты 7, 8, 9, 10 – наши аргументы

Спасибо за внимание