

Переменные типа UV Кита: звезды или протопланеты?

И. Н. Латышев

В предположении, что звезды эволюционируют от главной последовательности к последовательности белых карликов, нижний предел звездных масс равен 0.025 массы Солнца. Массы переменных типа UV Ceti больше этого предела.

The UV Ceti Variables: Stars or Protoplanets?

by I. N. Latyshev

If the stars evolve from main sequence to sequence of white dwarfs the lower stellar mass limit is 0.025 mass of the Sun. The masses of UV Ceti variables are greater than the lower stellar mass limit.

1. Введение.

Если эволюция звезды начинается со сжатия дозвездного облака, то это облако должно иметь достаточно большую исходную массу. В противном случае энергия, выделяющаяся при гравитационном сжатии облака, окажется недостаточной для начала термоядерных реакций. Другими словами, если масса облака равна или превышает некоторое значение, которое мы будем называть критической массой ($M_{кр}$), облако следует называть протозвездой. Если же масса меньше $M_{кр}$, облако, а также все последующие стадии его развития, кроме заключительной стадии черного карлика, следует считать протопланетой. Конечно, при этом протопланета некоторое время может иметь звездообразный вид, излучая энергию за счет гравитационного сжатия.

Разные авторы получали различные значения $M_{кр}$. Так, по Кумару (1963): $M_{кр} = 0.07 M_{\odot}$; Гроссман и Грабоски (1971), а также Страка (1971), получили, что $M_{кр}$ заключена между 0.08 и $0.09 M_{\odot}$ в зависимости от химического состава дозвездного облака. По Реддишу (1962, 1965) $M_{кр} \sim 0.03 M_{\odot}$. К этому можно добавить, что нижний предел масс устойчивых моделей нейтронных звезд порядка $0.02 \div 0.03 M_{\odot}$ (Бернер, Сато, 1971).

Все эти значения $M_{кр}$ интересно сравнить с известными массами некоторых слабых звезд. Компоненты системы Росс 614 имеют массы 0.14 и 0.08 солнечных (см. Курс астрофизики и звездной астрономии, 1962), а по более поздней оценке масса вторичного компонента еще мень-

ше: $0.07 M_{\odot}$ (ван де Камп, 1971). Массы компонентов системы Вольф 424 равны $0.067 \pm 0.015 M_{\odot}$ и $0.064 \pm 0.015 M_{\odot}$ (Хайнц, 1972). Масса вторичного компонента системы WZ Sge порядка $0.03 M_{\odot}$ (Свечников, 1969).

Из этого сравнения видно, что в случае ряда указанных объектов неясно, звезды это или протопланеты.

Цель настоящей работы — попытаться определить $M_{\text{кр}}$, исходя, по возможности, из наблюдательных данных, а также рассмотреть вопрос, имеются ли среди переменных типа UV Cet протопланеты.

2. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела и критическая масса.

На рис. 1 представлена диаграмма $M_v - (B-V)$ для звезд нижней части главной последовательности и белых карликов с более или менее надежно определенными тригонометрическими параллаксами. При этом были использованы каталоги близких звезд Глизе (1969) и Вулли и др., (1970). Создается впечатление, что белые карлики расположены не хаотически в левом нижнем углу диаграммы, а в некоторой полосе, которую логично называть последовательностью белых карликов. Красные карлики вплоть до слабейшего из известных (звезды BD + 4°4048 В, у которой $M_v = +18.6$, согласно Глизе) определенно располагаются вдоль главной последовательности. При этом необходимо подчеркнуть, что по крайней мере до 18.6 у звезд главной последовательности с ростом M_v возрастает и показатель цвета $B-V$. Из этого, в частности, следует, что показатель цвета $B-V$ может служить в качестве температурной шкалы для всей главной последовательности*.

Будем считать, что звезда главной последовательности в процессе эволюции становится белым карликом. При этом прекращают действие те источники энергии, вследствие существования которых звезда делает остановку на главной последовательности. Несомненно, что не все вещество звезды, пригодное для соответствующих ядерных реакций, в нем участвует. Доказательством может служить хотя бы то, что присутствие водорода наблюдается во многих белых карликах.

Представляется естественным следующее предположение: чем меньше масса звезды главной последовательности, тем меньшая доля ее вещества участвует в соответствующих ядерных реакциях. Как следствие этого, чем меньше масса звезды главной последовательности, тем меньше изменится ее химический состав к тому времени, когда она станет белым карликом. Если масса звезды приближается к критической, то это изменение, а следовательно, изменение положения на диаграмме Герцшпрунга-Рессела, приближается к нулю. Другими словами, главная последовательность и последовательность белых карликов должны пересекаться. При этом у звезды, находящейся в точке пересечения, масса должна быть равной $M_{\text{кр}}$. И не имеет значения: идет ли эволюция с постоянной массой или переменной, т.к. в духе ранее высказанного предпо-

* Из этого следует, конечно, что показатель цвета $B-V$ может использоваться в качестве температурной шкалы для всех звезд.

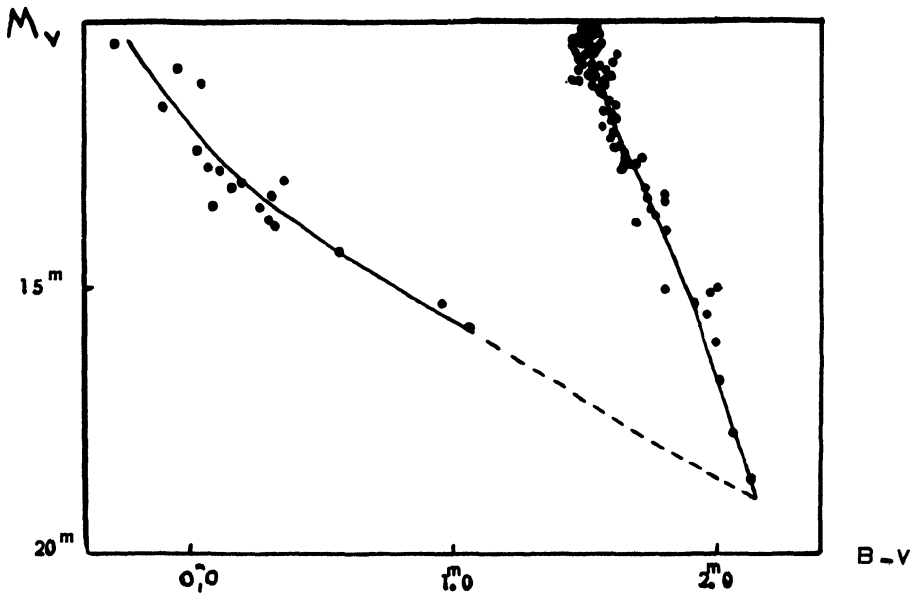


Рис. 1

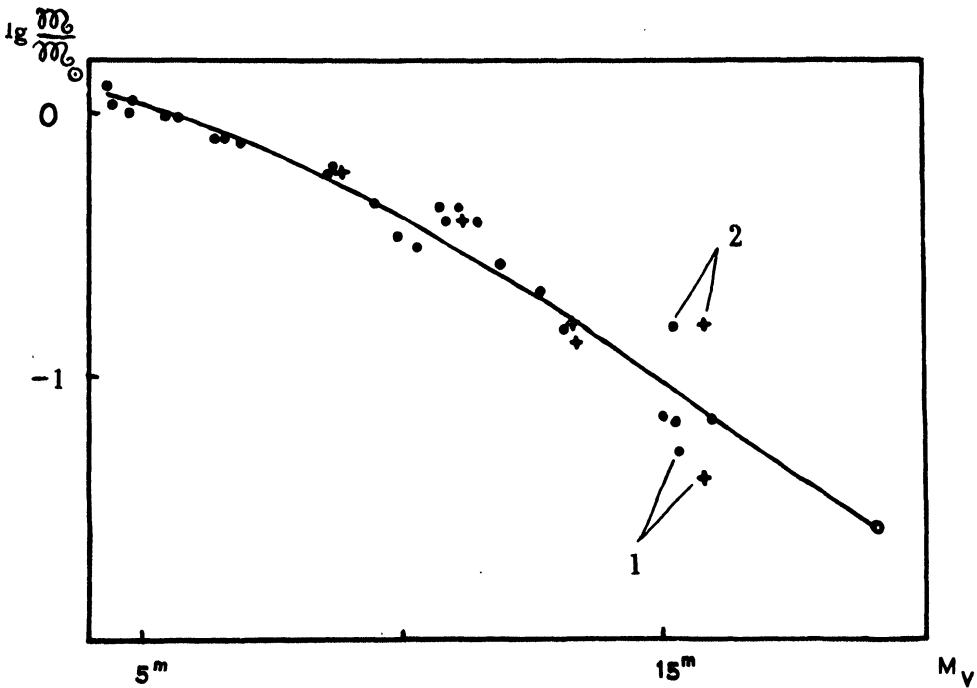


Рис. 2

ложения, если эволюция идет с переменной массой, логично считать, что чем меньше масса звезды главной последовательности, тем меньшая доля ее теряется в процессе эволюции.

На рис. 1 показана точка пересечения главной последовательности и последовательности белых карликов. В точке пересечения $M_v \cong +19^m$.

3. Зависимость масса-светимость для звезд нижней части главной последовательности.

На рис. 2 представлена зависимость масса-светимость для ряда звезд нижней части главной последовательности. Значения M_v взяты в основном из каталога Глизе (1969), а значения масс — согласно Эггену (1956) и ван де Кампу (1959), а также из упомянутых выше работ. Экстраполяция на $M_v = +19^m$ дает:

$$\lg \mathcal{M}_{кр} = -1.60, \quad (1)$$

где $\mathcal{M}_{кр}$ выражена в $\mathcal{M}_{\odot}$. Из (1) следует:

$$\mathcal{M}_{кр} = 0.025 \mathcal{M}_{\odot}. \quad (2)$$

В предположении, что звезды эволюционируют от главной последовательности к последовательности белых карликов, легко понять отсутствие белых карликов на той части последовательности, которая примыкает к главной: звезды с малыми массами эволюционируют медленно. Этим же объясняется отсутствие белых карликов с малыми массами (порядка $0.1 \mathcal{M}_{\odot}$ и меньше).

Среди звезд главной последовательности, светимость которых известна, нет ни одной, у которой $M_v > +19^m$. Исходя из вышеизложенного, звезды нижней части главной последовательности должны рассматриваться как объекты, светимость которых поддерживается за счет термоядерного выгорания водорода. Другими словами, это не протопланеты.

Что касается переменных типа UV Cet, то надо заметить, что если, как это казалось ранее, переменные типа UV Cet имеют ряд специфических отличий от постоянных звезд нижней части главной последовательности, то теперь эти отличия как бы сглаживаются. Так, все 15 известных к 1970 г. переменных типа UV Cet (членов двойных систем) были слабейшими компонентами ("Эруптивные звезды", 1970), что считалось характерным для этих переменных. В настоящее время можно привести примеры, когда переменным является более массивный компонент в системе AD Leo, когда постоянный и переменный компонент по своим физическим характеристикам практически одинаковы — система YY Gem (Моффет, Бопп, 1971), когда переменными являются оба компонента, существенно отличаясь один от другого — система EQ Peg (Оуэн и др., 1972).

Не вызывает сомнения, что среди звезд нижней части главной последовательности в окрестностях Солнца не все надежно исследованы на переменность и что переменных типа UV Cet на самом деле значительно больше. Но и теперь, как это указывает Гершберг (см. "Эруптивные звезды", 1970), большинство звезд нижней части главной последовательности составляют именно переменные типа UV Cet. Не исключено, что нижняя часть главной последовательности сплошь состоит

из переменных типа UV Cet, как это имеет место, например, в Плеядах (Холопов, Артюхина, 1971). Конечно, отсюда не следует обязательное выполнение такой же картины и в окрестностях Солнца, т.к. возраст рассматриваемых звезд, вообще говоря, различный.

К настоящему времени массы ряда переменных типа UV Cet определены динамическим методом. Гершберг ("Эруптивные звезды", 1970) приводит значения масс для DO Ser и EQ Peg (в последнем случае для слабейшего компонента — Оуэн и др., 1972). К этому можно добавить массы другого компонента ($0.38 M_{\odot}$) и одного из компонентов YY Gem ($0.6 M_{\odot}$, согласно Свечникову, 1969).

Следует отдельно остановиться на двух переменных: самой UV Cet и AD Leo.

Элементы орбиты системы L726—8, один из компонентов которой — UV Cet, определялись по меньшей мере дважды: ван де Кампом (1959) и Люйтенем (1961). Получены существенно различные элементы орбиты, но сумма масс в обоих случаях оказалась примерно одинаковой: $\sim 0.09 M_{\odot}$. Совсем другое значение массы UV Cet приводит ван де Камп (1971): $0.15 M_{\odot}$. Он ссылается на частное сообщение Люйтена, который определил суммарную массу системы: $0.3 M_{\odot}$. На наш взгляд учитывать значение массы UV Cet, приведенной ван де Кампом, преждевременно по двум причинам: 1) в упомянутой работе нет сведений о том, как определена эта суммарная масса (во всяком случае, элементы орбиты не приводятся); 2) представляется сомнительным предположение ван де Кампа о равенстве масс компонентов системы, т.к. светимость их существенно различна. Тем более нельзя на основе нового значения массы UV Cet делать какие-либо далеко идущие выводы. На наш взгляд, массу UV Cet следует считать надежно не известной.

Переменная типа UV Cet, AD Leo, является астрометрической двойной (Реул, 1943), причем AD Leo ярче и определенно массивнее своего компонента (в противном случае массы обоих компонентов меньше массы Юпитера). В предположении, что AD Leo удовлетворяет зависимости, представленной на рис. 2, масса невидимого спутника оказывается $\sim 0.03 M_{\odot}$, т.е. близка к критической. При этом спутник находится на расстоянии ~ 1.2 от главного компонента и, если это звезда, у нее $V \approx 16^m + 17^m$.

4. Обсуждение результатов.

На рис. 2 переменные типа UV Cet обозначены крестиками. Не вызывает сомнения существование у них зависимости масса-светимость, причем не видно разницы между зависимостями масса-светимость у переменных типа UV Cet и постоянных звезд. Сама UV Cet и ее компонент нанесены на рис. 2 дважды: внизу — в предположении, что их массы равны 0.04 и $0.05 M_{\odot}$, соответственно;верху — в предположении, что их массы равны $0.15 M_{\odot}$ у каждой. Если принять второе предположение, то следует считать, что и сама UV Cet и ее главный компонент имеют массы значительно большие, чем это следовало бы из зависимости. Это третья причина, по которой оценка массы UV Cet, сделанная

ван де Кампом, представляется нам неправдоподобной. На наш взгляд, масса UV Cet порядка $0.06 \div 0.07 M_{\odot}$.

Массы компонентов системы Вольф 424 меньше, чем $M_{\text{кр}}$ по Кумару. Можно предположить, что наиболее слабые из известных звезд имеют массы еще меньше: нет никаких оснований полагать, что у звезд с $M_v > 16^m$ не существует зависимости масса-светимость. Итак, как будто, не вызывает сомнений, что есть звезды, в том числе и переменные типа UV Cet, массы которых меньше $M_{\text{кр}}$ по Кумару (1963). И не имеет значения, чему именно равна масса самой UV Cet.

Ряд авторов считает, что часть переменных типа UV Cet (в том числе и она сама, если считать ее массу равной $0.04 M_{\odot}$) излучают энергию лишь за счет гравитационного сжатия, т.к. их массы меньше $M_{\text{кр}}$ по Кумару. В то же время такие звезды, как DO Сер и EQ Peg с массами $0.16 M_{\odot}$ и $0.13 M_{\odot}$, соответственно ("Эруптивные звезды", 1970), излучают за счет ядерной энергии. При этом, согласно Кумару (1967), и протозвезда с малой массой, и протопланета с большой — обе в процессе эволюции проходят состояние переменности типа UV Cet, причем без принципиальных различий. Так как имеется определенное сходство между вспышками переменных типа UV Cet и вспышками на Солнце (на что указывает, например, Гершберг — см. "Эруптивные звезды", 1970) и т.к. ход эволюции Солнца никак нельзя объяснить только сжатием, то, принимая значение $M_{\text{кр}}$ по Кумару, приходится считать, что не ядерные реакции определяют ход эволюции звезд, а какое-то другое явление. Конечно, если заимствовать значение массы UV Cet у ван де Кампа (1971) и предположить, что зависимость масса-светимость для самых слабых звезд главной последовательности не существует, то предыдущие рассуждения теряют смысл. Представляется, что пока не будет подтверждено наблюдательными данными значение $M_{\text{кр}}$, полученное Кумаром, его нельзя считать соответствующим действительности.

Таким образом, нижний предел звездных масс получается порядка $0.025 M_{\odot}$, и нет достаточных оснований считать его различным для переменных типа UV Cet и для постоянных звезд. При этом, судя по положению переменных типа UV Cet на диаграмме Гершпрунга-Рессела, они находятся в стадии остановки на главной последовательности (иначе звезды нижней части диаграммы просто не образовали бы так хорошо выраженную последовательность) и, надо полагать, излучают энергию не только за счет гравитационного сжатия.

Спутник звезды Барнарда (или спутники) определенно является планетой. Также является планетой спутник одного из компонентов 61 Cyg, масса которого $0.008 M_{\odot}$ (Дейч, 1951; 1957; 1960).

5. Заключение.

Основные выводы данной работы следующие:

1. Эволюция звезды от главной последовательности к последовательности белых карликов (или наоборот) возможна в том случае, если масса звезды порядка $0.025 M_{\odot}$ или больше.

2. Если звезда эволюционирует от главной последовательности к последовательности белых карликов (но не наоборот), то понятно отсутствие белых карликов в правой части последовательности.

3. Не вызывает сомнения существование зависимости масса-светимость для переменных типа UV Cet, аналогичной зависимости для постоянных звезд.

4. На главной последовательности определенно имеются звезды, массы которых меньше $M_{кр}$ по Кумару.

5. В настоящее время нет наблюдательных данных, указывающих, что переменные типа UV Cet или какую-либо их часть можно было бы отнести к протопланетам.

Конечно, полученную оценку $M_{кр}$ нельзя считать окончательной по двум причинам:

1. Некоторые зависимости нами экстраполировались (см. рис. 1 и 2), а это всегда приносит элемент произвола.

2. Возможно, было бы лучше воспользоваться не показателем цвета В-V, а каким-то другим, например, R-J. Однако, на данном этапе нет достаточного числа наблюдений звезд нижней части главной последовательности, и особенно белых карликов, в цвете R-J.

Лучшей проверкой значения нижнего предела звездных масс была бы попытка разглядеть невидимый компонент AD Leo, о котором говорилось выше.

Литература:

- Бёрнер, Сато, 1971 — Börner G., Sato K., *Astrophys. and Space Sci.*, **12**, 46.
 Ванде Камп, 1959 — Vande Kamp P., *AJ* **64**, 236.
 Ванде Камп, 1971 — Vande Kamp P., *Ann. Rev. Astr. Aph* **9**, 103.
 Вулли и др., 1970 — Woollley R., Epps E. A., Penston M. J., and Roscoe S. B., *Royal Obs. Annals* **5**.
 Глизе, 1969 — Gliese W., *Catalogue of nearby stars*, Karlsruhe.
 Гроссман, Грабоски, 1971 — Grossman A. S., Graboski H. C., *ApJ* **164**, 475.
 Дейч А. Н., 1951, *Известия ГАО*, № 146.
 Дейч А. Н., 1957, *Известия ГАО*, № 160.
 Дейч А. Н., 1960, *Известия ГАО*, № 166.
 Кумар, 1963 — Kumar S. S., *ApJ* **137**, 1121.
 Кумар, 1967 — Kumar S. S., *Obs. Royal Belgique Comm.*, **17**, ser. B
 Курс астрофизики и звездной астрономии. Физматгиз, под ред. А. А. Михайлова, 1962.
 Лютен, 1961 — Luyten W. J., *Publ. Astr. Obs. Univ. Minnesota* **2**, № 15.
 Моффест, Бопп, 1971 — Moffest T. J., Bopp B. W., *ApJ* **168**, L117.
 Оуэн и др., 1972 — Owen F. N., Bopp B. W., Moffest T. J., Lazor F. J., *Astroph. Lett.*, **10**, 37.
 Реддиш, 1965 — Reddish V. C., *Vistas in Astronomy* **7**, 173.
 Реддиш, 1962 — Reddish V. C., *Sci Progr.*, **50**, 235.

Реул, 1943 — Reul D., ApJ 97, 186.

Свечников М. А., 1969, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд. Свердловск.

Страка, 1971 — Straca W. C., ApJ 165, 109.

Хайнц, 1972 — Heintz W. D., AJ 77, 160.

Холопов П. Н., Артюхина Н. М., 1971, АЖ 48, 962.

Эгген, 1956 — Eggen O., AJ 61, 361.

Эруптивные звезды, 1970, Наука, под ред. А. А. Боярчука и Р. Е. Гершберга.

Астрономическая обсерватория
Ленинградского госуниверситета

*Поступила в редакцию
27 июня 1972 г.*