

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**

*Кафедра астрономии и космической геодезии*

**Г.В. ЖУКОВ, Р.Я. ЖУЧКОВ**

**ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ.**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС ЗВЕЗД**

**Учебно-методическое пособие**

**Казань – 2015**

**УДК 523.38**

**ББК 22**

*Принято на заседании кафедры астрономии и космической геодезии*

*Протокол № 12 от 15 мая 2015 года*

**Рецензент:**

кандидат физико-математических наук,

доцент Казанского государственного энергетического университета

**Петрова Н.К**

**Жуков Г.В., Жучков Р.Я.**

**Двойные звезды. Определение масс звезд / Г.В. Жуков, Р.Я. Жучков. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 47 с.**

Двойные звезды поставляют точные значения параметров, которые трудно или невозможно определить для одиночных звезд (массы, радиусы) и, таким образом, позволяют решить многие задачи физики и эволюции звезд. В пособии содержатся базовые знания о принципах классификации, наблюдениях, каталогах и статистических параметрах двойных, об эволюции одиночных и двойных звезд. Студенты познакомятся с принципами наблюдения и обработки данных о визуальных, спектроскопических, затменных и других типах двойных, получат представление о роли двойных звезд в исследовании истории звездообразования и эволюции звезд.

Методическое пособие адресовано, в первую очередь, студентам специальности «астрономия» и «физика, а также широкому кругу читателей, интересующихся указанными проблемами.

**© Жуков Г.В., Жучков Р.Я. 2015**

**© Казанский университет, 2015**

## Оглавление

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                                         | 4  |
| Движение компонентов двойной звезды в поле тяготения                                                             | 4  |
| Элементы орбиты                                                                                                  | 5  |
| Классификация двойных звезд                                                                                      | 7  |
| Определение масс звезд                                                                                           | 16 |
| Определение масс звезд и параметров орбиты по спектральным наблюдениям методом Лемана-Филес (практическая часть) | 22 |
| Рекомендуемая литература                                                                                         | 28 |
| Приложение 1. Диаграмма Герцшпрунга – Рассела                                                                    | 29 |
| Приложение 2. Геометрия Роша                                                                                     | 32 |
| Приложение 3. Спектральные наблюдения некоторых двойных систем                                                   | 37 |

## Введение

Двойные и кратные звезды, с одной стороны – весьма многочисленный класс объектов. По разным исследованиям доля двойных в нашей Галактике достигает 50-70%. С другой стороны, именно двойные звезды поставляют точные значения параметров, которые трудно или невозможно определить для одиночных звезд (массы, радиусы) и, таким образом, позволяют решить многие задачи физики и эволюции звезд. В пособии содержатся базовые знания о принципах классификации, наблюдениях, каталогах и статистических параметрах двойных, об эволюции одиночных и двойных звезд. Студенты познакомятся с принципами наблюдения и обработки данных о визуальных, спектроскопических, затменных и других типах двойных, получат представление о роли двойных звезд в исследовании истории звездообразования и эволюции звезд.

### Движение компонентов двойной звезды в поле тяготения

Двойная звездная система – гравитационно связанные звезды, вращающиеся вокруг центра масс системы. В некоторых случаях расстояние между компонентами двойной звезды составляет сотни и тысячи астрономических единиц (а.е.) и они движутся по обычным эллиптическим орбитам. В других случаях звезды близки или касаются друг друга (расстояние между ними сравнимо с размерами звезд) и их орбиты оказываются намного сложнее, а приливные эффекты искажают формы звезд.

В случае  $a \gg R_*$ , движение звезд в системе подчиняется законам Кеплера, являющимся следствиями закона Всемирного тяготения

1 закон Кеплера. Размеры и форма эллипса характеризуются полуосями  $a$ ,  $b$  и эксцентриситетом  $e = (1 - a^2/b^2)^{1/2}$  (Рис. 1).

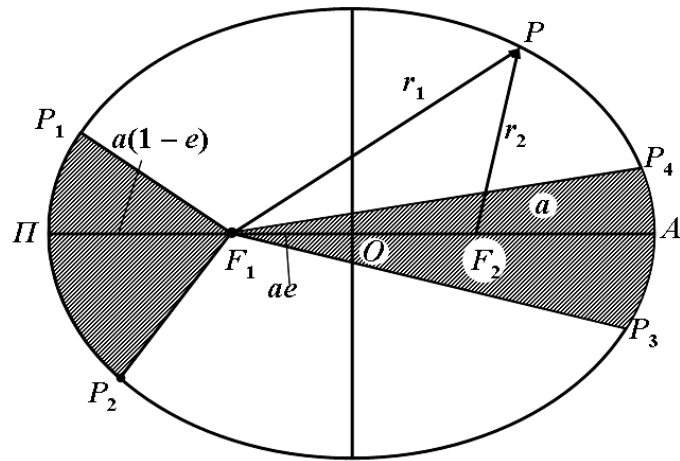


Рис. 1. Пример относительной эллиптической орбиты с эксцентриситетом 0.4.  $r$  – радиус-векторы,  $P$  – положения вторичной компоненты,  $F$  – фокусы, в одном из которых находится главная компонента, П, А – периастр и апоастр

В обобщенном виде 1 закон дает движения в гравитационном поле по разным типам орбит (конических сечений): круговой ( $e = 0$ ), эллиптической ( $0 < e < 1$ ), параболической ( $e = 1$ ) и гиперболической ( $1 < e < \infty$ , рис.2).

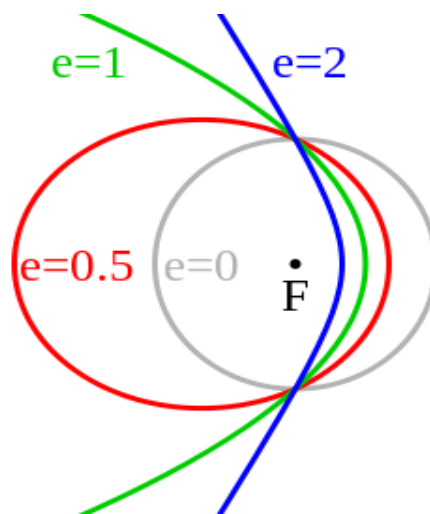


Рис. 2. Возможные типы орбит

2 закон Кеплера. П, А – периастр и апоастр.  $S = \text{const}$  (заштриховано, рис. 1)  $\Rightarrow V \neq \text{const}$  ( $r^2 \cdot d\theta/dt = \text{const}$ ).

Третий закон Кеплера дает возможность по параметрам орбиты определить сумму масс звезд:

$$P^2 (M_1 + M_2) / a^3 = 4\pi^2 / G \quad (1)$$

### Элементы орбиты

Как указывалось выше, большая полуось  $a$  и эксцентриситет  $e$  характеризуют размеры и форму орбиты.

$P$  – период обращения компонент вокруг центра масс.

$T$  – момент прохождения через периастр.

$i$  – наклонение орбиты к картинной плоскости.

$\Omega$  – долгота восходящего угла, измеряется в картинной плоскости по часовой стрелке от направления на северный полюс мира.

$\omega$  – долгота периастра – угол, измеряемый в плоскости орбиты от линии узлов и периастром в направлении вращения вторичной компоненты. Линия узлов проходит через центр масс (рис. 3).

Таблица 1

### Угловые элементы орбиты

|                             | От чего отсчитывается    | К чему отсчитывается             | Направление отсчета                     | Диапазон значений |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| Наклон орбиты, $i$          | От картинной плоскости   | К плоскости орбиты               | В направлении минимального угла наклона | $\pm 90$          |
| Позиционный угол, $\Omega$  | От северного полюса мира | К линии узлов (восходящему узлу) | В направлении ближайшего узла           | 0 - 180           |
| Долгота периастра, $\omega$ | От восходящего узла      | К периастру                      | В направлении движения компонента       | 0 - 360           |

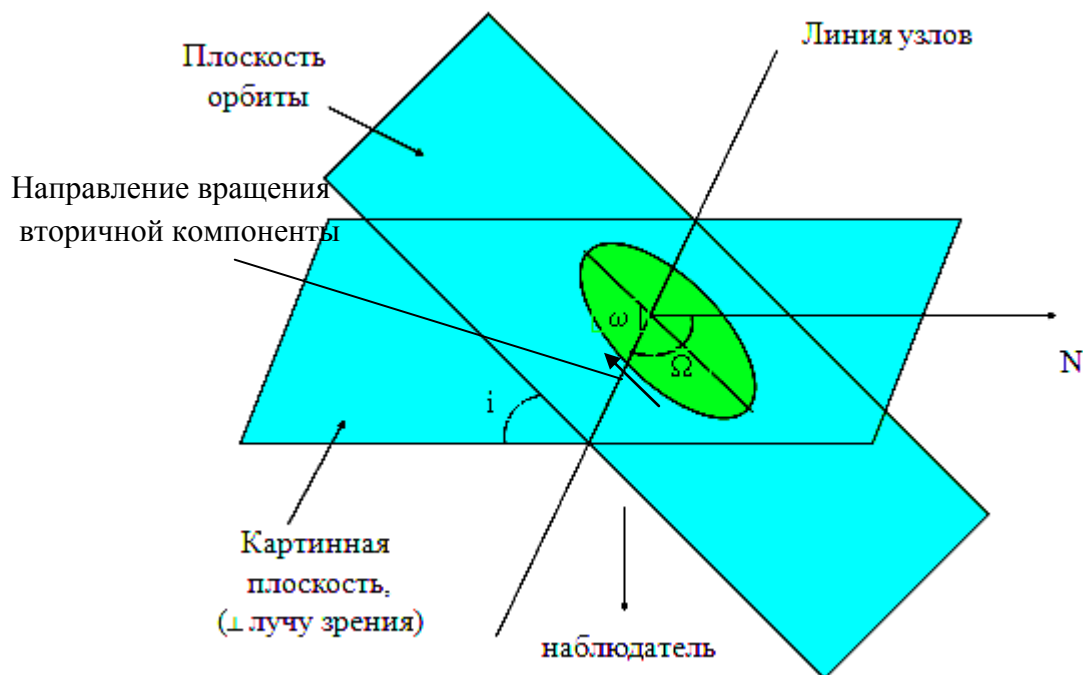


Рис.3. Элементы орбиты двойной звезды

### Классификация двойных звезд

Типы двойных звезд могут быть определены:

- 1) по методу наблюдений;
- 2) по положению компонент на диаграмме Гецшпрунга-Рессела (ГР-диаграмма);
- 3) по степени заполнения полостей Роша.

Классификации по эволюционному статусу компонентов и другие более специальные типы отчасти входят в предыдущие три типа классификации.

**По методу наблюдений** двойные подразделяются на визуальные, спектральные и затменные. Визуальные (в т.ч. астрометрические и спекл-интерферометрические) двойные системы отличаются тем, что мы

наблюдаем обе компоненты)\* и, чаще всего, измеряем их положение в относительной системе координат. В качестве примера приведены наблюдения Сириуса (рис. 4, 5).

Истинная орбита проецируется на картинную плоскость также в виде эллипса, у которого, однако, яркая звезда находится не на большой оси видимого эллипса. Необходима редукция наблюдаемой орбиты к истинной (Рис. 6.)

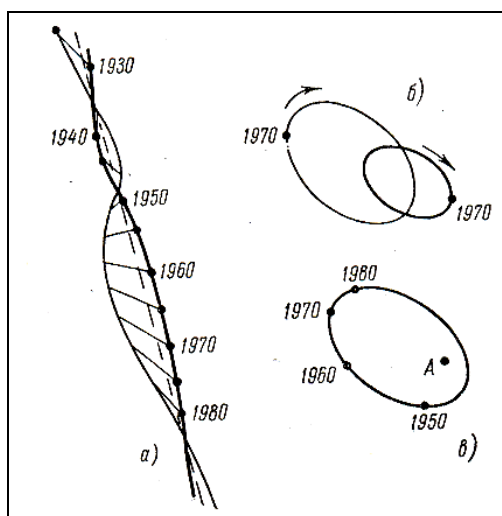


Рис. 4. Слева представлены положения двойной звезды Сириус на небесной сфере за период 1930-1980 гг (**а**). Кроме орбитального движения компонент А и В штриховой линией показано собственное движение системы. Справа показаны относительная орбита (**в**, яркая звезда А в начале координат) и абсолютные орбиты (**б**) компонент относительно центра масс.

)\* - астрометрическим методом можно обнаружить движение только яркой компоненты в двойной со звездами, значительно отличающимися по блеску. Именно так была обнаружена двойственность Сириуса.

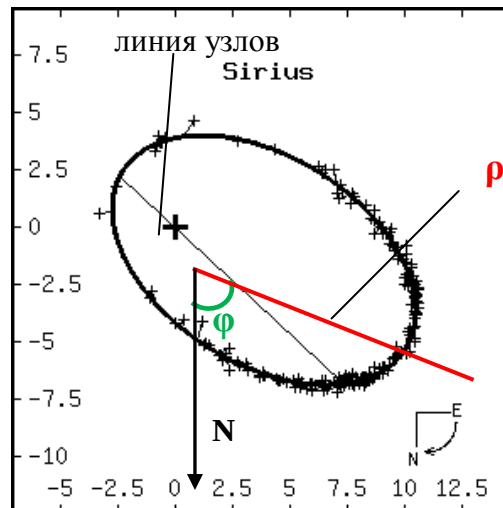


Рис. 5. Измерения положения Сириуса В (маленькие крестики) относительно Сириуса А (большой крестик, более яркая звезда находится в начале координат) в системе полярных координат:  $\rho$  – угловое расстояние в секундах дуги,  $\phi$  – позиционный угол. Масштаб дан в секундах дуги.

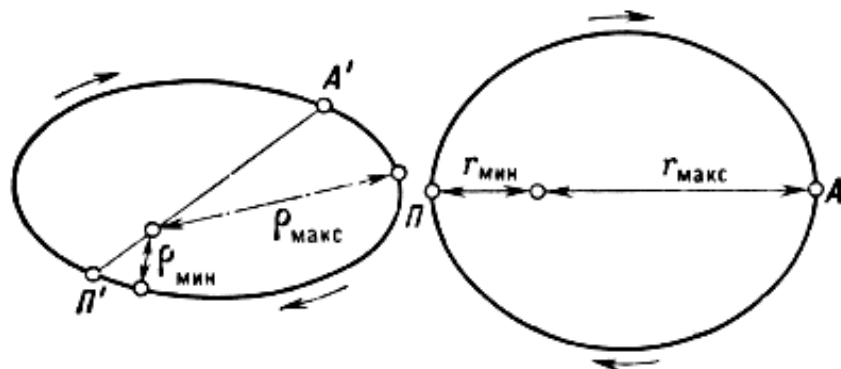


Рис. 6. Преобразование видимого эллипса (слева) в истинный.  $\Pi'$  и  $A'$  – проекции периастра и апоафра на картинную плоскость;  $\rho$  и  $r$  – видимые и истинные расстояния от фокуса орбиты.

Визуальными двойными могут быть либо широкие либо близкие пары звезд. Во всех остальных случаях обе компоненты не разделяются и могут наблюдаться только спектральным или фотометрическим методами как одна звезда.

Спектральная двойная звезда выявляется по движению линий в спектре с орбитальным периодом (Рис. 7, 8). Формально смещение линий наблюдается во всех случаях кроме  $i = 0$ , однако при малых значениях  $i$  проекция орбитальной скорости  $V_{орб}$  на луч зрения –  $V_r$  – оказывается меньше или сравнима с ошибками наблюдений (смещение линий обусловлено эффектом Доплера –  $(\lambda_n - \lambda_0)/\lambda_0 = V_r/c$ , где  $\lambda_n$ ,  $\lambda_0$  – наблюдаемая и лабораторная длины волн,  $V_r$  – лучевая скорость звезды и  $c$  – скорость света). В случае спектроскопии с умеренными дисперсиями ( $\sim 10\text{-}100\text{Å/мм}$ ) ошибка составляет единицы км/с. Таким образом, спектроскопически можно наблюдать значительное число визуальных двойных систем.

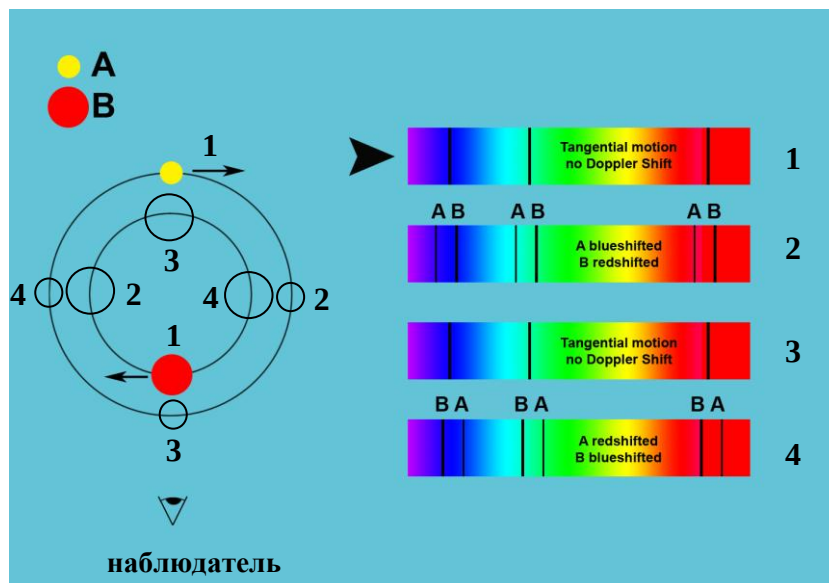


Рис. 7. Спектр 1 соответствует положению 1 звезд на левой схеме. Спектрам 2, 3 и 4 соответствуют положения 2, 3 и 4 главной и вторичной компонент (показаны незаполненными кружками)

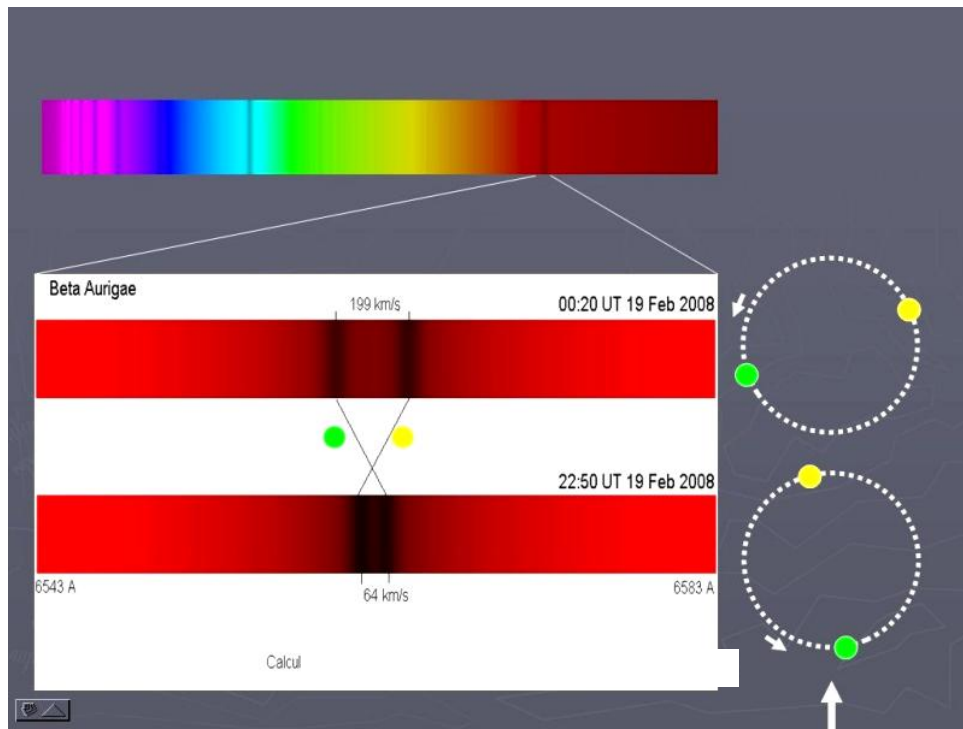


Рис.8. Реальное смещение спектральных линий  $H_{\alpha}$  двойной  $\beta$  AurAB с приблизительно равными компонентами и периодом  $3.96^d$ .

В результате измерения лучевых скоростей мы получаем зависимость лучевых скоростей звезд от времени – «кривую лучевых скоростей», RVC. Разные формы орбит и разная их ориентация относительно наблюдателя дают сильно отличающиеся RVC (рис.9)

В случае  $i \approx 0$  в двойной системе могут наблюдаться затмения, которые проявятся в изменениях блеска. Фотометрические двойные делятся на подтипы  $\beta$ Per,  $\beta$ Lyr и WUMa по форме кривой блеска, LC (зависимости звездной величины от времени, рис. 10,11 и 12).

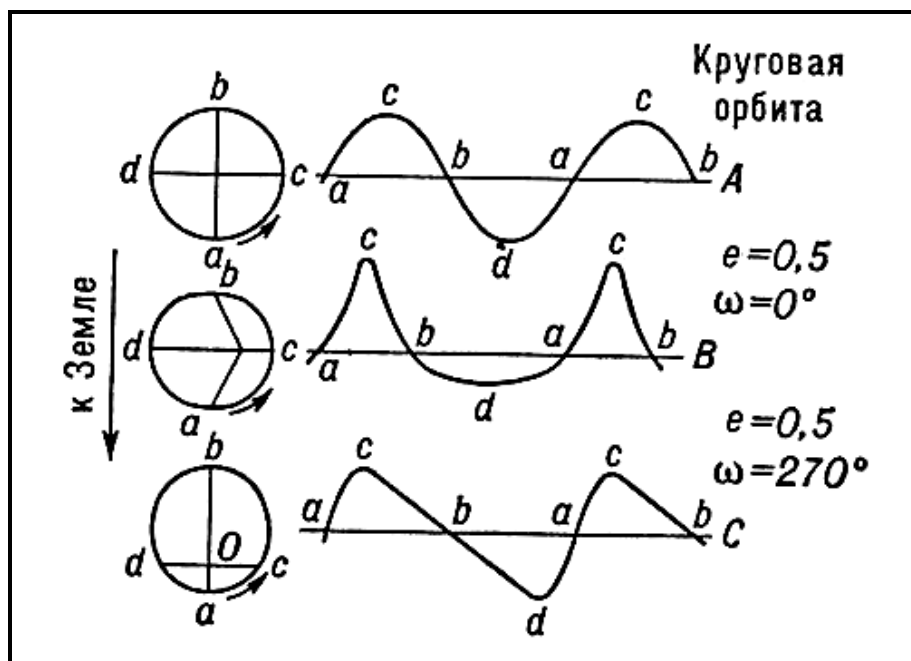


Рис. 9. Вид кривых лучевых скоростей в зависимости от параметров орбиты  $a$ ,  $e$  и  $\omega$ . Показано схематически для случая  $i = 90^\circ$  и одной компоненты.  $V_\gamma=0$ .

Все затменные двойные могут наблюдаться как спектральные двойные. Но только небольшое число двойных звезд может быть исследовано всеми тремя методами: астрометрическим, спектральным и фотометрическим.

**По положению компонент на диаграмме Г-Р** (Х. Сааде)  
двойные звезды могут содержать:

- 1) хотя бы одну звезду, не достигшую главной последовательности (ГП);
- 2) две звезды ГП, как одинаковые, так и значительно различающиеся;
- 3) красный гигант или сверхгигант наряду со звездой ГП;
- 4) две звезды – гиганты или сверхгиганты, как одинаковые, так и значительно различающиеся;

- 5) один субкарлик;
- 6) и, наконец, обе звезды в контакте.

Описание диаграммы Г-Р см. в приложении 1.

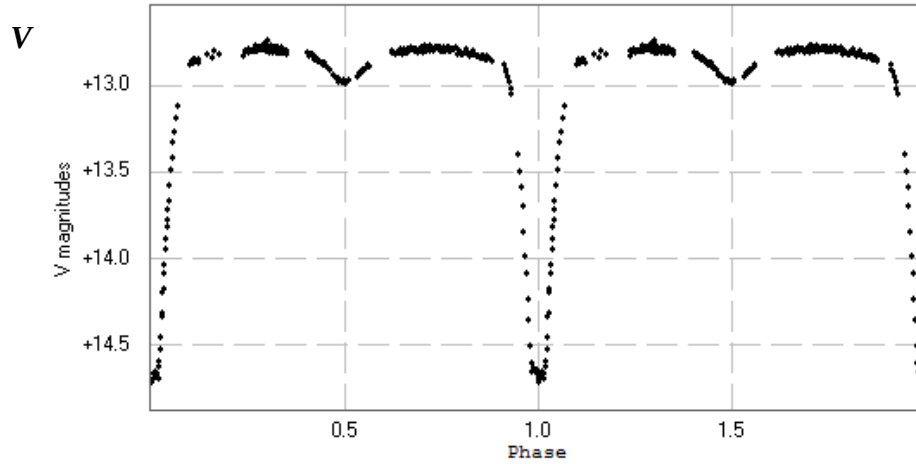


Рис. 10. Кривая блеска затменной типа Алголя ( $\beta$  Per). Обратите внимание на то, что в максимуме блеска (вне затмений) также наблюдается небольшая переменность. По вертикали – звездная величина  $V$ , по горизонтали – время в долях периода.

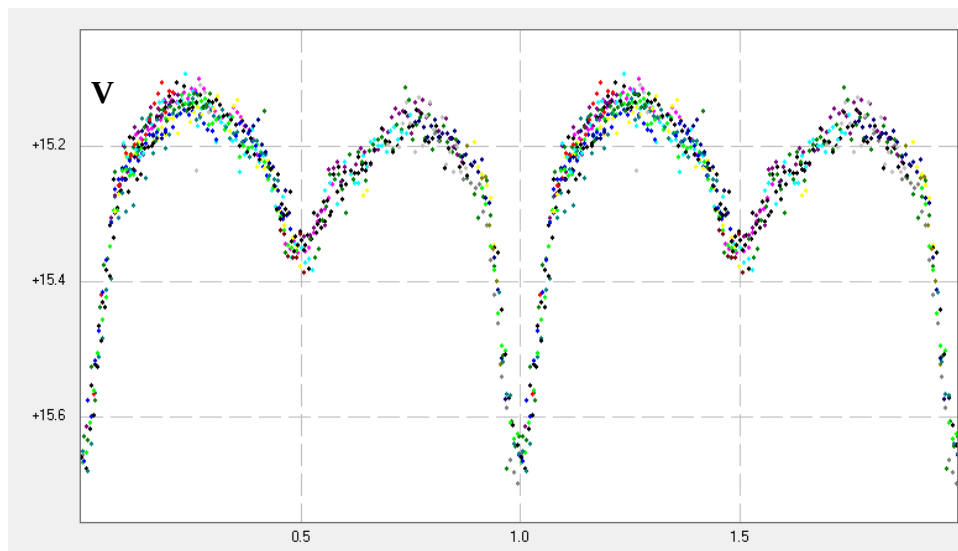


Рис. 11. Кривая блеска затменной типа  $\beta$  Lyr. Вне затмений непрерывные изменения блеска обусловлены эллипсоидальностью компонент.

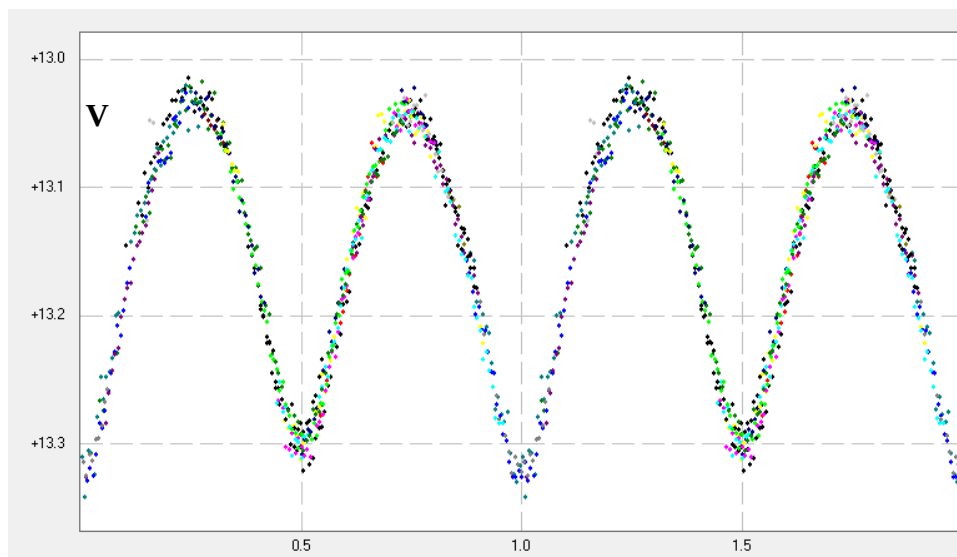


Рис. 12. Кривая блеска затменной типа *WUMa*. Обе компоненты сравнимы по размерам и температуре и находятся в контакте либо имеют общую оболочку.

#### **По положению компонент на диаграмме Г-Р** (Х. Сааде)

двойные звезды могут содержать:

- 7) хотя бы одну звезду, не достигшую главной последовательности (ГП);
- 8) две звезды ГП, как одинаковые, так и значительно различающиеся;
- 9) красный гигант или сверхгигант наряду со звездой ГП;
- 10) две звезды — гиганты или сверхгиганты, как одинаковые, так и значительно различающиеся;
- 11) один субкарлик;
- 12) и, наконец, обе звезды в контакте.

Описание диаграммы Г-Р см. в приложении 1.

**По степени заполнения полостей Роша** (З.Копал) двойные звезды разделяются на следующие типы (рис. 13):

- 1) разделенные – обе звезды не заполняют своих критических полосей;
- 2) полуразделенные – одна звезда заполняет свою критическую полость;
- 3) контактные – обе звезды заполняют или переполняют свои критические полости.

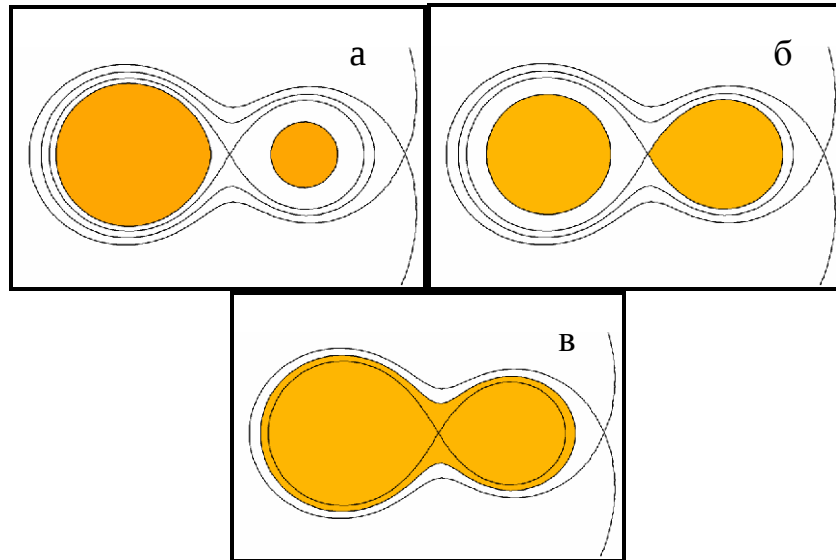


Рис. 13. Разделенные (а), полуразделенные (б) и контактные (в) двойные системы. Подробнее геометрию Роша смотри в приложении 2

Как видно из описания, ряд типов в той или иной мере присутствуют во всех классификациях: так, звезды типа *WUMa*, определяемые по виду кривой блеска, являются контактными двойными в остальных двух классификациях. Или двойная, состоящая из звезд ГП есть разделенная система по Копалу или Алголь по виду кривой блеска.

В качестве итога приведем сводку часто встречающихся типов двойных звезд.

Двойные, выявляемые астрометрическим методом:

- визуальные;
- интерферометрические;
- астрометрические.

Двойные, выявляемые спектральным методом:

- спектральные;
- хромосферные, со сложными спектрами и т.п.

Фотометрические двойные:

- затменные;
- катаклизмические;
- запятненные, эддипсоидальные, с отражением.

Другие методы:

- обнаруживаемые в других спектральных диапазонах – рентгеновские, пульсары и т.п.;
- по собственному движению;
- кратные системы.

Цветом шрифта показана численность выявленных двойных данного типа: более 5000 – красным, от 1000 до 5000 – зеленым, менее 1000 – черным.

### **Определение масс звезд**

Массы компонент визуальной двойной звезды вычисляются по 3 закону Кеплера, зная размеры орбиты  $a$  и период вращения спутника  $P$  относительно главной компоненты (относительная орбита). Как уже указывалось, наблюдаемая орбита является проекцией истинной на картинную плоскость (проекция также является эллипсом, у которого

смещены фокусы). Математическое преобразование наблюдаемой орбиты в истинную дает нам угол наклона орбиты  $i$ . В этом случае мы можем по формуле (1) вычислить сумму масс звезд; при этом необходимо знать расстояние до двойной  $r = 1/\pi''$ :

$$(M_1 + M_2) = 4\pi^2 (a^3/\pi'')/(G P^2) \quad (3)$$

Для определения индивидуальных масс необходимо получить абсолютные орбиты компонент (см. рис. 4, б) и использовать условие неподвижности центра масс:

$$M_1 a_1 = M_2 a_2, \quad (4)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – полуоси абсолютных орбит, причем  $a_1 + a_2 = a$ .

В настоящее время число известных визуальных двойных превышает  $10^5$ , однако орбиты получены только для 3000, а точные определения масс выполнены для  $\sim 100$  звезд. В значительной степени это обусловлено большими расстояниями между компонентами: чтобы увидеть пару звезд раздельной, необходимо большое значение полуосей орбит и периодов. Поэтому не удастся построить полную орбиту, а довольствоваться ее частью и экстраполировать наблюдения до эллипса по его небольшой части. Например, при периоде в 500-1000 и более лет надежные измерения выполнялись только последние 2 века. Естественно, неточные орбиты приводят к большим ошибкам в определениях масс звезд.

Более экономным вариантом в смысле времени набора данных являются интерферометрические методы, которые позволяют наблюдать более тесные пары с небольшими периодами – годы – таких пар в настоящее время изучено около 60 000.

Если расстояние между компонентами меньше разрешающей способности (как правило, для наземных наблюдений турбулентный диск  $> 0.1''$ ) двойственную природу звезды определяют по спектральным наблюдениям. Кривые лучевых скоростей могут быть

двух типов: видны линии обеих компонентов (*SB2*, рис. 14) или только одной, более яркой (*SB1*, рис. 15).

Однако только из спектральных наблюдений не удастся определить угол наклона орбиты двойной системы. На рисунке 16 показано, что из наблюдений при изучении нескольких орбит мы получаем одинаковую проекцию большой полуоси  $asini$  и орбитальной скорости на луч зрения  $V \sin i$ .

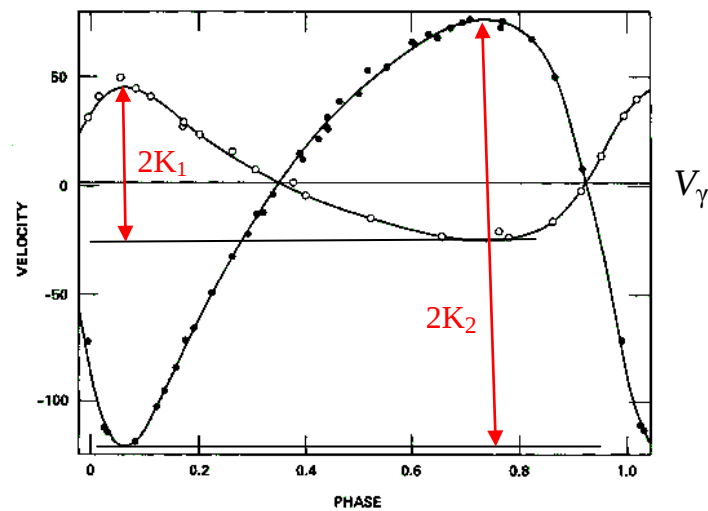


Рис. 14. Кривая лучевых скоростей для *SB2*. Скорость центра масс системы в общем случае  $V_\gamma \neq 0$ . Орбита эллиптическая

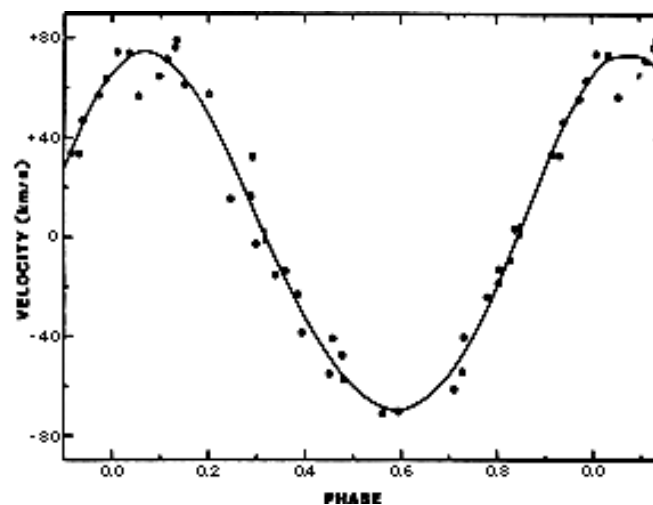


Рис. 15. Кривая лучевых скоростей для *SB1*. Орбита круговая

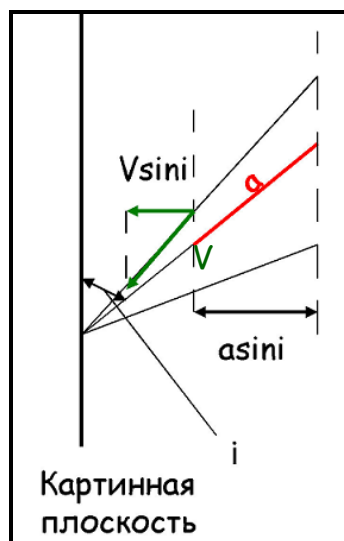


Рис. 16. Иллюстрация неоднозначности определения угла наклона орбиты. Наблюдатель справа

Применив 3 закон Кеплера, мы получим массы звезд, отягощенные  $\sin^3 i$  – нижние пределы масс звезд (в этом случае  $M_1 V_1 = M_2 V_2$ , где  $V$  – скорости звезд):

$$\begin{aligned} M_1 \sin^3 i &= 1.038 \cdot 10^{-7} K^2 K_2 P (1-e^2)^{3/2}, \\ M_2 \sin^3 i &= 1.038 \cdot 10^{-7} K^2 K_1 P (1-e^2)^{3/2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – полуамплитуды лучевых скоростей звезд,  $K = K_1 + K_2$ , измеряемые в км/с,  $P$  – период в сутках,  $M_1$ ,  $M_2$  – массы компонент в массах Солнца (см. рис.14).

Для SB1 определяется только функция масс:

$$f(M_2) = (M_2 \sin i)^3 / (M_1 + M_2)^2 = 1.038 \cdot 10^{-7} K_1^3 P (1-e^2)^{3/2}, \quad (6)$$

также являющаяся нижним пределом для массы спутника. Достаточно часто такая ситуация складывается при изучении двойных звезд с компактным (релятивистским) объектом – нейтронной звездой или черной дырой (НЗ, ЧД).

Наличие затмений в двойной системе позволяет надежно определить угол наклона орбиты: если спектральные наблюдения дополняются фотометрическими, в которых присутствуют затмения, свидетельствующие о том, что  $i \approx 90^\circ$ , мы имеем возможность получения точных значений масс звезд. (Описание методики моделирования кривых блеска выходит за рамки нашего курса.) Из всего количества спектральных двойных ( $\sim 3000$ ) около 10% звезд являются затменными.

Поскольку скорость протекания термоядерных реакций в центре звезды зависит от температуры, а температура определяется массой звезды, то естественным выводом будет зависимость светимости от массы. Из уравнений состояния звезд можно получить зависимость светимости звезды от ее массы. Так, для масс порядка солнечной,  $L \sim M^4$ , а для горячих звезд  $L \sim M^3$ . Получив ту же самую зависимость (Рис. 17) эмпирически и, полагая, что компоненты двойной имеют то же строение и происхождение, что и одиночные звезды, можем по этой зависимости определять массы одиночных звезд.

Кроме определения масс, затменные двойные звезды позволяют определять радиусы компонентов. Рассмотрим главный минимум – большая холодная звезда затмевает более горячую, но меньшую по размеру (рис. 18). Зная из спектральных наблюдений относительную скорость звезд  $\Delta V$  и измерив интервалы времени  $(t_4 - t_1)$  и  $(t_3 - t_2)$ , получаем возможность вычислить диаметры звезд:  $(D_1 + D_2) = \Delta V \cdot (t_4 - t_1)$ ,  $(D_1 - D_2) = \Delta V \cdot (t_3 - t_2)$ .

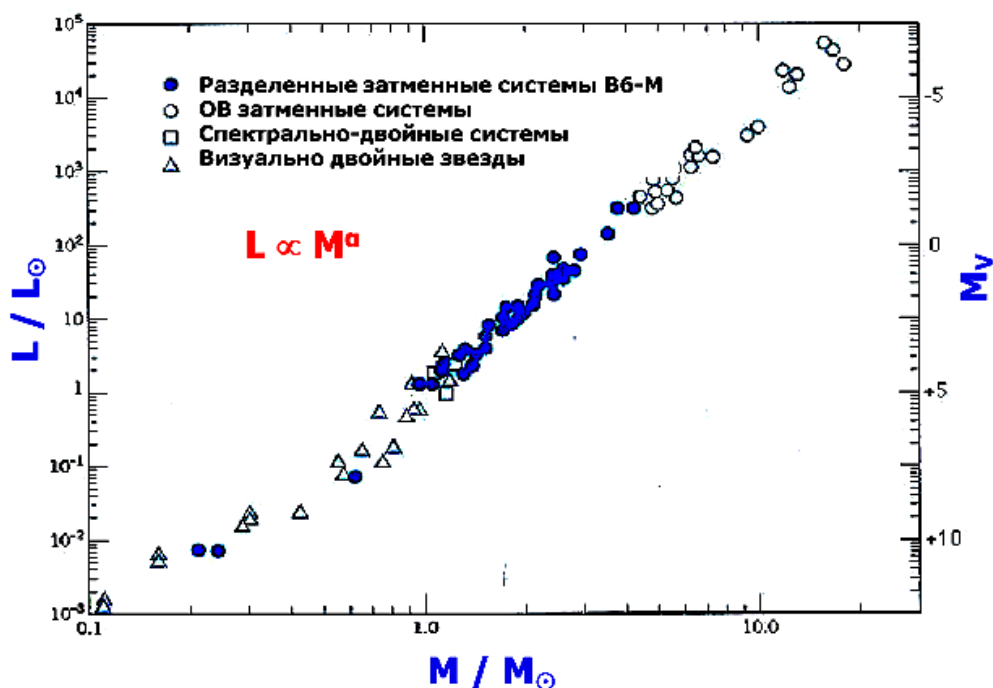


Рис. 17. Диаграмма «масса-светимость»,  $M \sim L$ . В среднем,  $\alpha = 3.5$ , однако для звезд малых и больших масс наклон зависимости меньше.

Диаграмма  $M \sim L$  получена для широких двойных пар, звезд ГП. Определять массы звезд других классов светимости по диаграмме нельзя.

Изучение визуально двойных звезд позволяет определять расстояния, существенно превышающие возможности тригонометрического параллакса. Поскольку наземные угловые измерения имеют точность  $\pm 0.01''$ , а космические —  $\pm 0.002''$ , с ошибкой 25% расстояния определяются до 25 – 125 пк. Рассмотрим двойную систему  $AB$  с большой полуосью  $a$  на расстоянии  $r$  (рис. 19). Из схемы следует, что использование двойных звезд позволяет определять параллаксы в  $a$  (в а.е.) раз больше, чем тригонометрическим методом. Единственная трудность метода заключается в том, что необходимо знать величину большой полуоси двойной системы в абсолютном выражении.

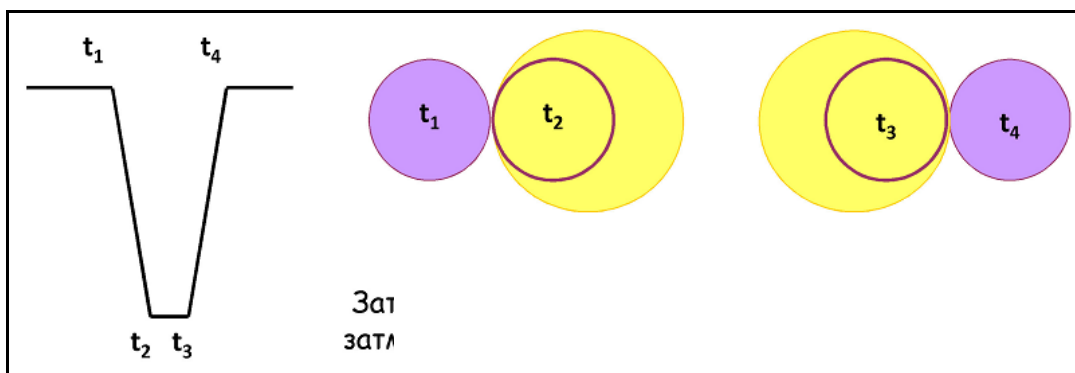


Рис. 18. Схема определения радиусов звезд в затменной системе. Центральное затмение более горячей звезды (главный минимум), орбита круговая, тонкие эффекты исключены.

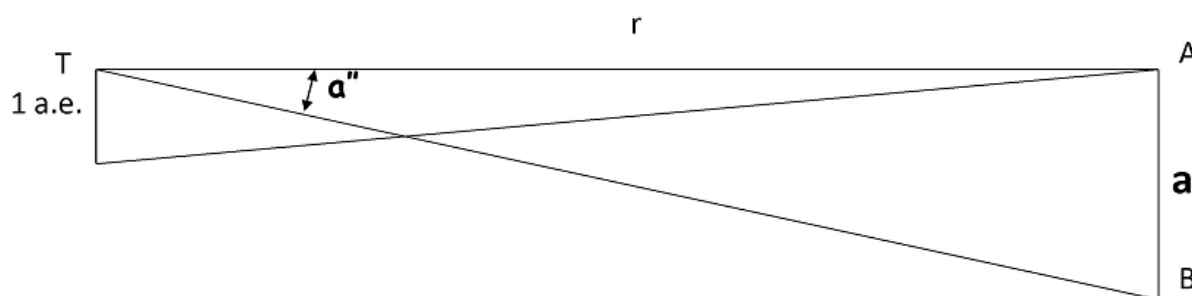


Рис. 19. Принцип определения динамического параллакса

### Определение масс звезд и параметров орбиты по спектральным наблюдениям методом Лемана-Филес (практическая часть)

Пусть  $r$ ,  $v$  – радиус-вектор и истинная аномалия точки  $B$  на орбите по отношению к центру масс и  $z$  – проекция радиуса-вектора на луч зрения. Тогда

$$z = r \sin i \sin (v + \omega) \quad (7)$$

где  $\omega$  – долгота периастра (рис. 20).

Орбитальный компонент лучевой скорости  $V_r$ :

$$dz/dt = \sin i \sin (v + \omega) dr/dt + r \sin i \cos (v + \omega) dv/dt \quad (8)$$

Согласно законам эллиптического движения имеем:

$$r \, dv/dt = \mu a (1 + e \cos \omega)/(1 - e^2)^{1/2}, \quad \mu = 2\pi/P, \quad (9)$$

$$dr/dt = \mu a \sin i/(1 - e^2)^{1/2},$$

откуда получаем основное уравнение  $V_r = dz/dt + \gamma$ , где

$$dz/dt = (\mu a \sin i/(1 - e^2)^{1/2}) \cdot (e \cos \omega + \cos(v + \omega)) \quad (10)$$

а  $\gamma$  – скорость центра масс системы относительно наблюдателя (Солнца).

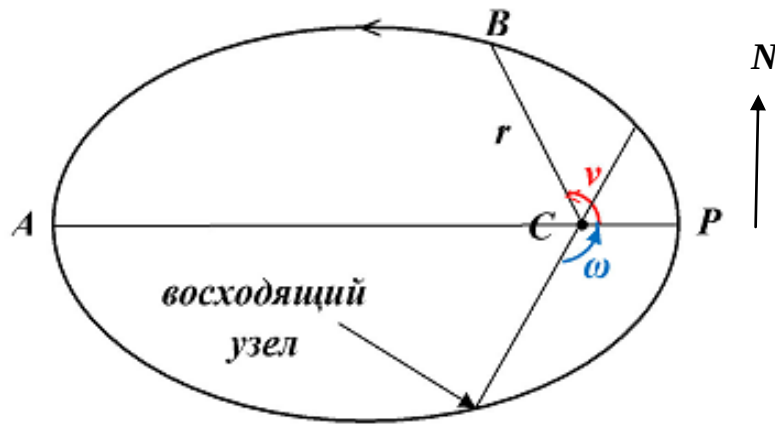


Рис. 20. К определению лучевой скорости. Плоскость рисунка – картинная плоскость.

Из уравнения (10) следует, что при  $v + \omega$  равном  $0^\circ$  или  $180^\circ$  скорость по абсолютной величине достигает максимума. Так как оба угла отсчитываются в направлении движения звезды от периастра и восходящего угла соответственно, то  $|V_r| = |dz/dt|$  достигает максимума в узлах орбиты. Примем  $A$  и  $B$  – значения скорости в узлах, отсчитываемые от  $\gamma$ -оси,  $K$  – полуамплитуда ( $K = K_1 + K_2$ ) и получим:

$$K = \mu a \sin i/(1 - e^2)^{1/2}, \quad (11)$$

$$A = K (1 + e \cos \omega), \quad (12)$$

$$B = K (1 - e \cos \omega), \quad (13)$$

$$(A + B)/2 = K \quad (14)$$

$$(A - B)/2 = K e \cos \omega, \quad (A - B)/(A + B) = e \cos \omega \quad (15)$$

Теперь уравнение  $V_r = dz/dt + \gamma$  принимает вид:

$$V_r = \gamma + K(e \cos \omega + \cos(v+\omega)) = \gamma + (A - B)/2 + ((A + B)/2) \cos(v+\omega). \quad (16)$$

В формуле (11) заменим  $\mu$  на  $2\pi/P$  и переведем время в  $P$  из суток в секунды, получим уравнение для большой полуоси

$$a \sin i = 8.64 \cdot 10^4 KP(1 - e^2)^{1/2}/2\pi, \quad (17)$$

которое можно записать отдельно для каждой из орбит компонентов.

По 3 закону Кеплера

$$M_1 + M_2 = (a_1 + a_2)^3/P^2, \quad (18)$$

если массы звезд выражать в массах Солнца, большие полуоси – в а.е., а период – в земных годах. Так как

$$M_1 a_1 = M_2 a_2, \text{ то } a_1 + a_2 = a_1 (M_1 + M_2)/M_2. \quad (19)$$

Подставим последнее выражение в (18) и, умножая обе части на  $\sin^3 i$ , получим

$$(M_1 + M_2) \sin^3 i = (M_1 + M_2)^3 a_1^3 \sin^3 i / P^2 M_2^3. \quad (20)$$

Заменив  $a \sin i$  на (17) и перейдя к суткам и километрам, найдем функцию масс

$$f1 = M_2^3 \sin^3 i / (M_1 + M_2)^2 = 1.038 \cdot 10^{-7} K13 P (1 - e^2)^{3/2}. \quad (21)$$

Итак, для двойной типа SB1 можно определить только  $P, e, \omega, f1$  и  $a^3 \sin i$ .

В случае, когда наблюдаются линии обоих компонентов можно найти раздельно  $a_1 \sin i, a_2 \sin i, M_1 \sin^3 i$  и  $M_2 \sin^3 i$ :

$$\left. \begin{aligned} a_1 \sin i &= 1.376 \cdot 10^4 K_1 P (1 - e^2)^{1/2}, \\ a_2 \sin i &= 1.376 \cdot 10^4 K_2 P (1 - e^2)^{1/2}, \\ M_1 \sin^3 i &= 1.038 \cdot 10^{-7} K^2 K_2 P (1 - e^2)^{3/2}, \\ M_2 \sin^3 i &= 1.038 \cdot 10^{-7} K^2 K_1 P (1 - e^2)^{3/2}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Рассмотрим методику определения элементов орбиты методом Лемана-Филеса. В качестве примера возьмем наблюдения **RY Per**, приведенные в статье Поппера (1989) (Приложение 3, звезда 0). Период

двойной составляет  $6.8636^d$ . Построим кривую лучевых скоростей, для которой возьмем определения скорости по линиям водорода у главной компоненты.

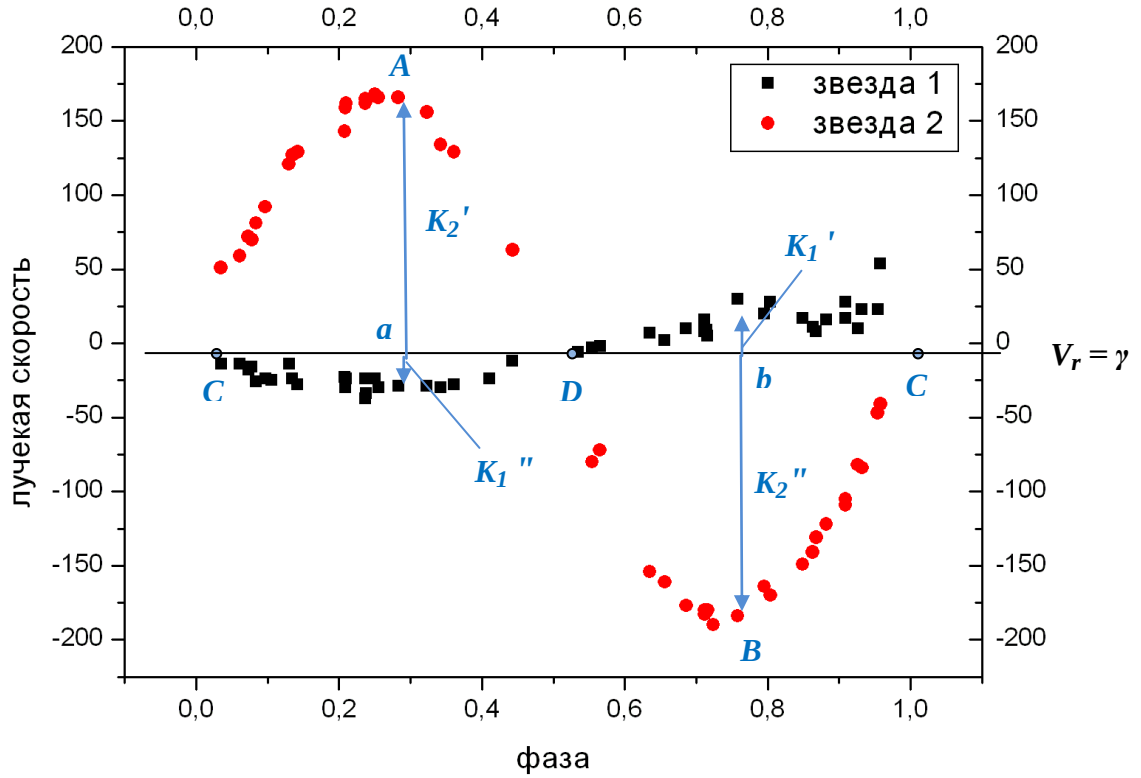


Рис. 21. Кривая лучевых скоростей *RY Per*

Скорость центра масс системы  $V_\gamma$ , определяется из условия  $\int V_r dt = 0$  на интервале времени от 0 до  $P$ . Используем для определения параметров орбиты лучевые скорости спутника (звезда 2). Фиксируем на кривой точки с ординатами  $A$  и  $B$ , соответствующие абсолютным значениям максимальных скоростей. Выбор этих точек проверяется таким образом, чтобы площадь  $aAC$  была равна площади  $bBC$  и  $aDA$  – равна  $bBD$  (последнее значимо для орбит в большом эксцентриситетом; в нашем случае – орбиты близки к круговым, кривые достаточно симметричные; некоторое отклонение точек на фазах  $\sim 0.95$  может быть обусловлено искаже-

ниями в затмении, связанными с несинхронностью вращения компонент). Поскольку точки **C** и **D** лежат на  $\gamma$ -оси, из (10) и (15) следует:

$$(\cos(v + \omega))_{C,D} = - (A - B)/(A + B) = - e \cos \omega. \quad (23)$$

В точке **C** (истинная аномалия  $v_1$ ) звезда проходит от восходящему узлу к нисходящему, а в точке **D** – наоборот ( $v_2$ ). Тогда  $\sin(v_1 + \omega)$  будет положительным, а  $\sin(v_2 + \omega)$  – отрицательным. Учитывая уравнение (24) получим:

$$\sin(v_1 + \omega) = 2(AB)^{1/2}/(A + B), \quad \sin(v_2 + \omega) = - 2(AB)^{1/2}/(A + B). \quad (24)$$

Обозначим площади **aAC** и **bBD** через  $z_1$  и  $z_2$ , радиусы-векторы точек **C** и **D** –  $r_1, r_2$ . Тогда

$$z_1 = r_1 \sin i \sin (v_1 + \omega) = - z_2 (r_1 / r_2).$$

Поскольку

$$r = a (1 - e^2)/(1 + e \cos v),$$

то

$$- z_1/z_2 = r_1/r_2 = (1 + e \cos v_2)/(1 + e \cos v_1). \quad (25)$$

Заменим  $v$  на  $(v + \omega) - \omega$  и после некоторых преобразований получим последнее выражение в виде:

$$- z_1/z_2 = (\sin(v_1 + \omega) - e \sin \omega) / (\sin(v_1 + \omega) + e \sin \omega), \quad (26)$$

откуда

$$\begin{aligned} e \sin \omega &= ((z_2 + z_1) / (z_2 - z_1)) \sin(v_1 + \omega) = \\ &= (2(AB)^{1/2}/(A + B)) ((z_2 + z_1) / (z_2 - z_1)). \end{aligned} \quad (27)$$

Уравнения (27) и (15) позволяют найти  $e$  и  $\omega$  ( $z_2$  берется с отрицательным знаком,  $A$  и  $B$  – по абсолютному значению).

Используя рисунок 21 измерим амплитуды  $K_1$  и  $K_2$ , равные соответственно 20.6 и 161.5 км/с, величины  $A$  и  $B$ , равные 163 и 160 км/с и площади **aAC** и **bBD** ( $z_1$  и  $z_2$ ) – 16 и 14 относительных единиц (определяется масштабом рисунка). Отсюда вычислим по (15)  $(A - B)/2 = K e \cos \omega = 1.5$ ,

$(A - B)/(A + B) = e \cos \omega = 0.0093$ . По соотношению площадей находим по (27)  $e \sin \omega = -0.066$ , откуда  $e^2 = 0.0045$ ,  $e = 0.067$ .

Теперь у нас имеются все параметры для вычисления больших полуосей и масс звезд по (22) –  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $e$  и  $P$ :

$$a_1 \sin i = 1.9 \cdot 10^6 \text{ км},$$

$$a_2 \sin i = 15.1 \cdot 10^4 \text{ км},$$

$$M_1 \sin^3 i = 3.8 M_{\odot},$$

$$M_2 \sin^3 i = 0.5 M_{\odot}.$$

Надо помнить, что найденные нами параметры являются нижними границами истинных:  $0^\circ < i \leq 90^\circ$ , но ближе к правой границе интервала.

Каждому студенту предлагаются спектральные наблюдения одной из звезд в приложении 3, которые необходимо обработать и получить параметры спектральной орбиты и массы звезд.

Вопросы для контроля.

1. Элементы орбиты двойной звезды.
2. Типы двойных звезд.
3. Определение масс и других параметров звезд, входящих в двойные системы.

## **Рекомендуемая литература**

1. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика : учебное пособие для студентов вузов /Фрязино : Век 2, 2006 . 496 с. : ил. ; 22 см.
2. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии : учебник для студентов университетов : Изд. 4-е . Москва : URSS, 2011. 542 с. : ил. ; 25 .
3. Сурдин В.Г. Звезды. 2-е изд., исп. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 480 с.

Диаграмма Герцшпрунга – Рассела

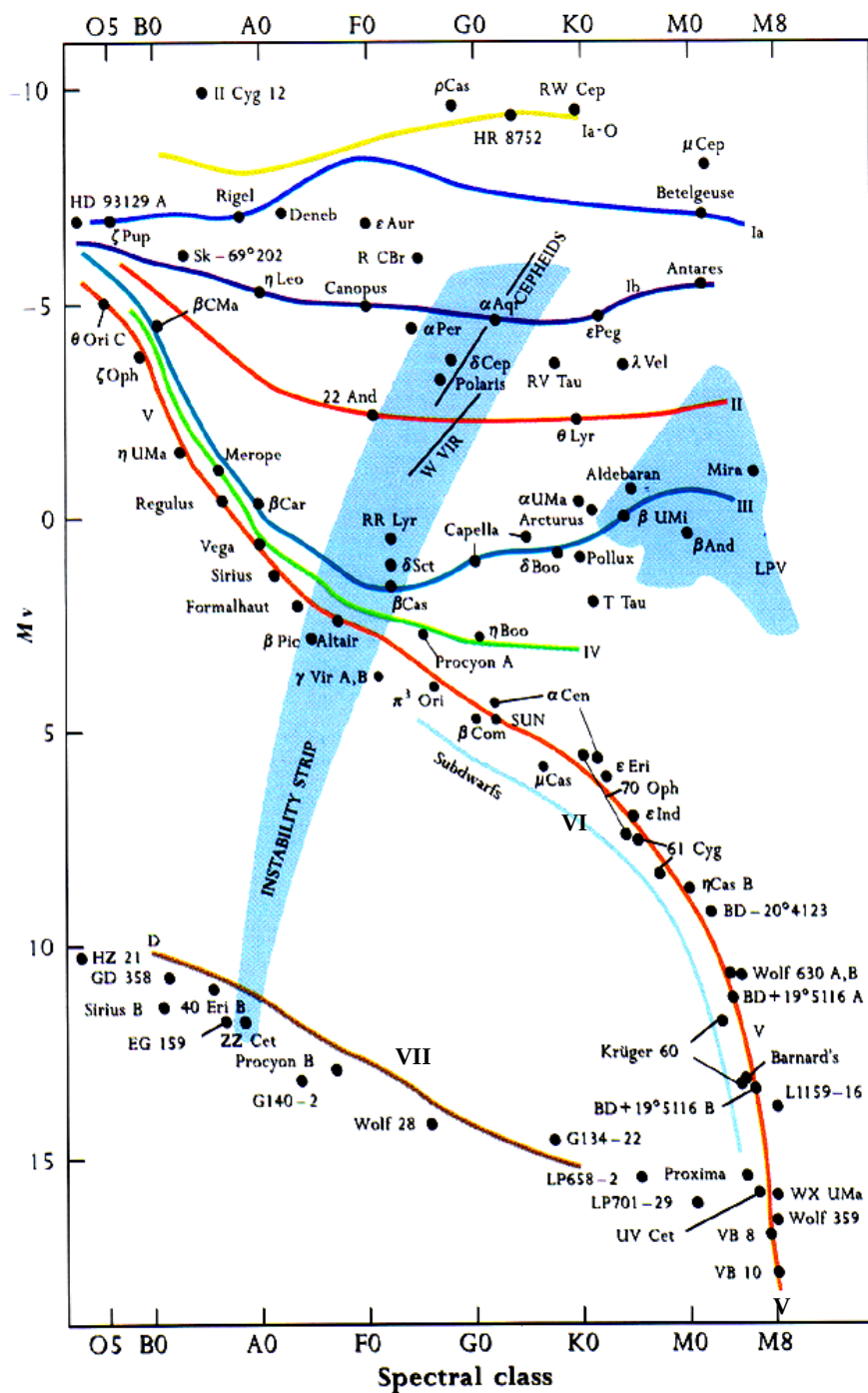


Рис. 1. По горизонтали – спектральный класс (температура), по вертикали – абсолютная звездная величина (светимость). Римскими цифрами (от I до VII) обозначены классы светимости. Точками показаны отдельные звезды. Голубым цветом показаны области нестационарных звезд (полоса нестационарности и красные гиганты).

Существует 7 классов светимости (последовательностей):

Ia, Ib сверхгиганты (SG, СГ)

II яркие гиганты (BG)

III гиганты (G, RG, КГ)

IV субгиганты (SG)

V карлики, главная последовательность (MS, ГП)

VI субкарлики (SD)

VII белые карлики (WD, БК)

Вид последовательностей диаграммы ГР и их относительная населенность определяются:

- стадиями эволюции (источником энергии) и скоростью эволюции
- начальной функцией масс (IMF)
- историей звездообразования (SFE / SFR)

Диаграмма Г-Р является мощным средством исследования звезд и звездной эволюции. Так, кроме светимости и температуры, положение звезды на диаграмме определяется ее массой и радиусом, химсоставом и возрастом. Для изучения скоплений – групп звезд, связанных единством химсостава, а также местом и временем формирования – также с успехом применяется метод Г-Р диаграмм.

В качестве примера приведем две диаграммы – рассеянного (молодого) и шарового (старого) скоплений (Рис 2, 3).

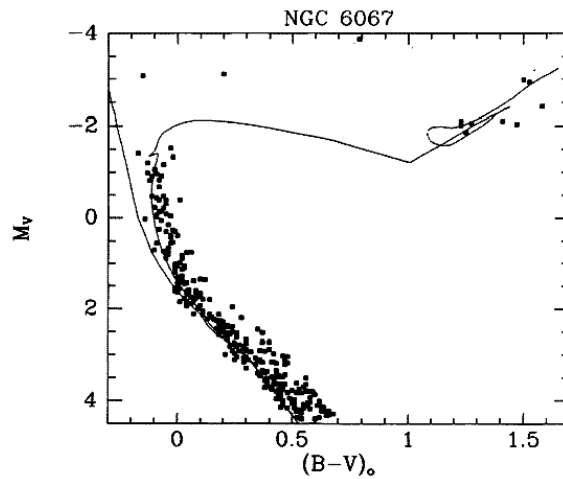


Рис. 2. Диаграмма Г-Р рассеянного скопления NGC 6067. Линиями показана Г-П (слева) и теоретическая изохрона, соответствующая возрасту 170 млн. лет. Видно, что звезды, начиная с  $M_V = 2^m$ , начинают уходить с ГП. По горизонтали – непокрашенный показатель цвета, являющийся хорошим аналогом температуры звезды

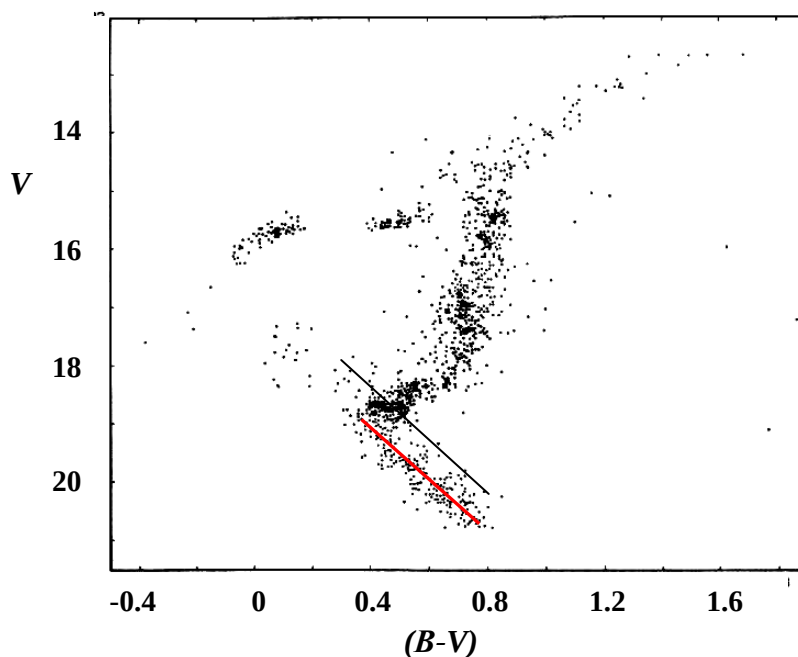


Рис. 3. Диаграмма шарового скопления М3. Тонкой черной линией схематически показана ГП. Главная последовательность скопления (красная линия) – последовательность субкарликов – отличается более низким ( $\sim$  в 10 – 100 раз) содержанием тяжелых элементов. По осям даны наблюдаемая звездная величина и показатель цвета

## Геометрия Роша

Геометрия Роша возникает при решении ограниченной задачи трёх тел — когда орбиты всех тел являются круговыми и масса одного из них намного меньше массы любого из двух других. В этом случае можно считать, что два массивных тела обращаются вокруг их общего центра масс с постоянной угловой скоростью. В пространстве вокруг них существуют пять точек (точки Лагранжа), в которых третье тело с пренебрежимо малой массой может оставаться неподвижным во вращающейся системе отсчёта, связанной с массивными телами. В этих точках гравитационные силы, действующие на малое тело, уравниваются центробежной силой (Рис. 1).

Потенциал на поверхности одиночной вращающейся звезды определяется суммой гравитационного  $\Phi_g$  и центробежного  $\Phi_c$  потенциалов. Вращение нарушает сферически-симметричное распределение массы в звезде однако для большинства обычных звёзд из-за сильной концентрации вещества к центру обусловленные вращением отличия гравитационного потенциала от сферически-симметричного малы. Форма стационарной вращающейся звезды определяется одной из эквипотенциальных поверхностей.

Понятие эквипотенциальных поверхностей и полостей Роша можно ввести также и для системы двух звёзд, обращающихся вокруг общего центра тяжести по круговым орбитам с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . В неинерциальной системе координат, вращающейся с той же угловой скоростью, потенциал стационарен и определяется суммой гравитационных потенциалов обеих компонент и центробежного потенциала:

$$\Phi(R, \Theta, \varphi) = -GM_1/R_1 - GM_2/R_2 - \omega^2 R^2 \sin^2 \Theta$$

где  $M_1, M_2$  и  $R_1, R_2$  — массы звезд и расстояния от их центров,  $R, \Theta, \varphi$  -

сферические координаты (центр системы - в центре масс, ось  $\Theta = 0$  параллельна  $\omega$ ). Предполагается синхронность вращения – угловая скорость вращения равна  $\omega$ .

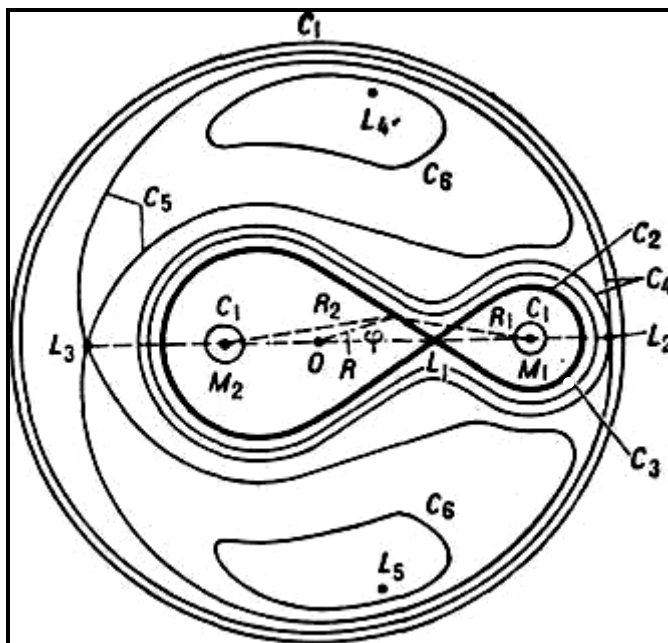


Рис. 1. Вид сечений эквипотенциальных поверхностей в двойной звёздной системе плоскостью, проходящей через центры масс компонент и ортогональной оси вращения системы. Критическая эквипотенциаль выделена полужирной линией

Эквипотенциальные поверхности,  $\Phi = C$ , при больших значениях модуля  $C = C_1$  состоят из окружающих каждую массу почти концентрических сфер и одной внешней поверхности, по форме близкой к круговому цилиндру. С уменьшением  $|C|$  размеры эквипотенциальных поверхностей возрастают, деформируются, превращаясь в вытянутые навстречу друг другу фигуры, и при некотором значении  $C_2$  имеет место пересечение этих фигур. Точка пересечения  $L_1$  называется внутренней либрационной точкой Лагранжа. Эквипотенциальная поверхность, проходящая через  $L_1$  называ-

ется критической и определяет полость Роша каждой из компонент двойной системы. Поверхности звёзд должны совпадать с одной из внутренних эквипотенциалей. При заполнении одной из компонент своей полости Роша начинается интенсивное перетекание вещества на соседнюю компоненту (рис.2).

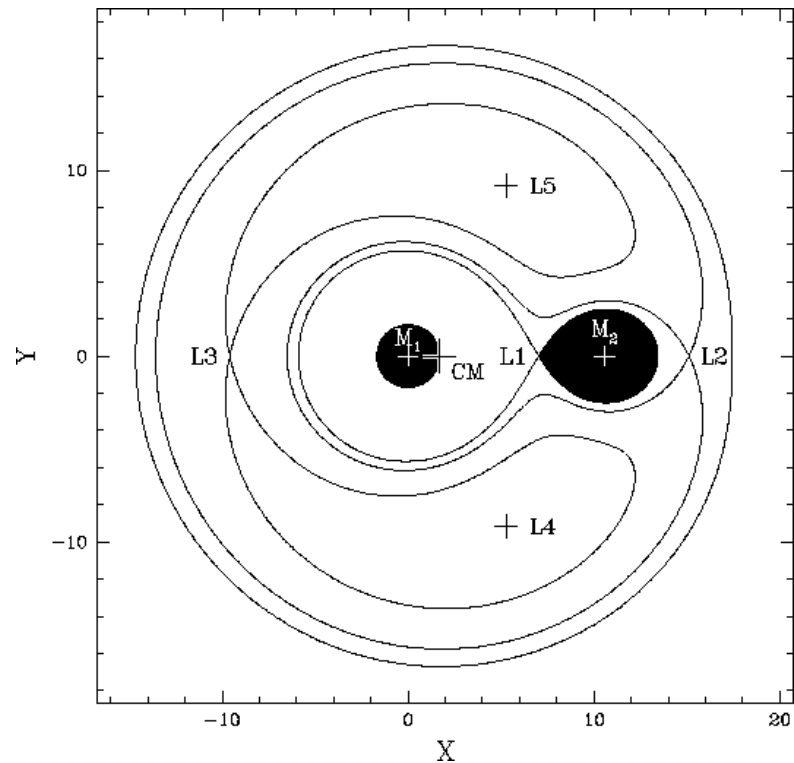


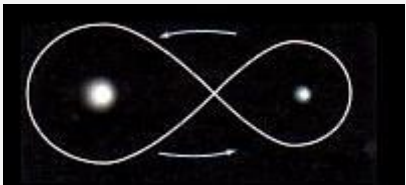
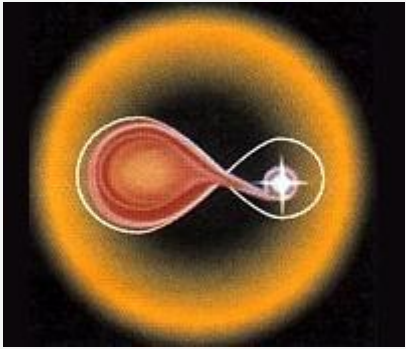
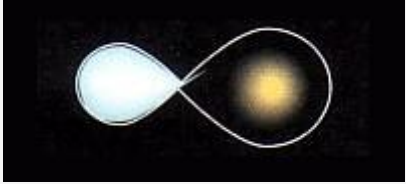
Рис. 2. Ситуация с заполнением второй звездой своей полости Роша, возникающая после стадии «перемены ролей»

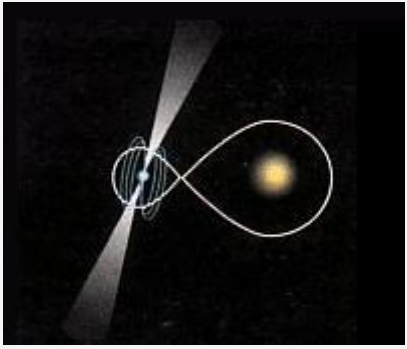
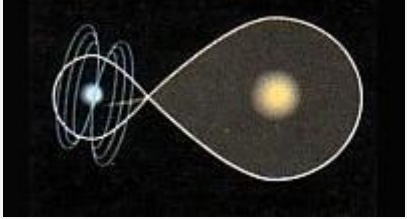
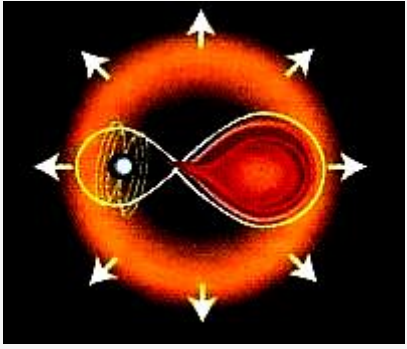
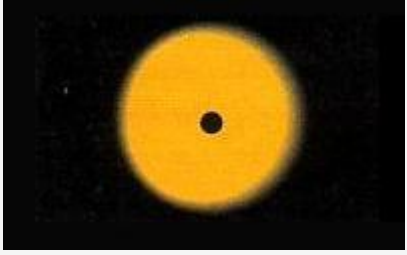
В полуразделённых и контактных системах наблюдаются газовые потоки, движение которых определяется структурой эквипотенциальных поверхностей вне полости Роша. С дальнейшим уменьшением  $|C|$  ( $C_3$ ) две внутренние эквипотенциальные поверхности за полостью Роша сливаются в одну гантелеподобную фигуру и при некотором значении  $C_4$  наступает пересечение этой фигуры с внешней. эквипотенциальной поверхностью в либрационной точке  $L_2$ , которая находится за менее массивной компонентой на линии, соединяющей центры масс звёзд. Если вещество газовых по-

токов обладает достаточной кинетической энергией, то прежде всего она начнёт уходить из системы через окрестности  $L_2$ .

При ещё меньших значениях  $|C|$  ( $C_5$ ) наступает пересечение эквипотенциальных поверхностей с внешней стороны более массивной компоненты в точке  $L_3$ , после чего эквипотенциальные поверхности разделяются на две фигуры ( $C_6$ ), расположенные "выше" и "ниже" линии, соединяющей центры масс. Наконец, при некотором значении  $C$  эти фигуры вырождаются в две точки  $L_4$ ,  $L_5$ , носящие название треугольных либрационных точек Лагранжа. Все либрационные точки являются точками относительного равновесия.  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$  — точки неустойчивого равновесия. В линейном приближении равновесие в точках  $L_4$ ,  $L_5$  устойчиво при условии  $(M_1 + M_2)^2 > 27 M_1 \cdot M_2$ .

В качестве примера, иллюстрирующего применение геометрии Роша, дана таблица эволюции массивной двойной системы.

| ПРИМЕРЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО ТРЕКА ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ |                                                                                     |                                          |                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,0<br>млн. лет                            |  | $M_1 = 12,0$<br>$M_2 = 9,0$<br>$R = 600$ | Пара молодых звезд массой 12 и 9 масс Солнца обращается вокруг друг друга на расстоянии около 600 радиусов Солнца (- 400 миллионов километров)                                                                                  |
| 18,6<br>млн. лет                           |  | $M_1 = 11,3$<br>$M_2 = 8,8$<br>$R = 626$ | Прошло 18 миллионов лет, более массивная звезда стала красным гигантом и заполнила свою полость Роша. Вещество стекает с ее поверхности. Часть падает на вторую звезду, а большая часть образует общую газовую оболочку системы |
| 18,51<br>млн. лет                          |  | $M_1 = 2,9$<br>$M_2 = 9,4$<br>$R = 33$   | Всего за 10 тысяч лет красный гигант теряет 75% массы, превращаясь в горячую звезду типа Вольфа-Райе, а орбита двойной сжимается в 20 раз                                                                                       |

|                   |                                                                                     |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18,51<br>млн. лет |    |                                      | Спустя полмиллиона лет звезда Вольфа-Райе, бывшее ядро красного гиганта, взрывается как сверхновая, выбрасывая в космос половину своей массы. Орбита при этом расширяется вдвое                                                                                 |
| 18,51<br>млн. лет |    | $M1 = 1,4$<br>$M2 = 9,4$<br>$R = 75$ | На месте сверхновой остается быстро-вращающаяся горячая нейтронная звезда. Если в створе конусов, в которых выбрасываются энергичные частицы, окажется Земля, мы будем наблюдать короткопериодический радиопульсар                                              |
| 27,13<br>млн. лет |   | $M1 = 1,4$<br>$M2 = 9,3$<br>$R = 76$ | Прошло 9 миллионов лет, нейтронная звезда остыла, ее вращение затормозилось, пульсар замолк, но тут вторая звезда раздувается, превращаясь в красный гигант                                                                                                     |
| 27,16<br>млн. лет |  | $M1 = 1,4$<br>$M2 = 8,7$<br>$R = 38$ | Вновь начинается перетекание вещества, но лишь небольшая его часть падает на нейтронную звезду, в основном оно рассеивается в окружающем пространстве. За 30 тысяч лет звезды сближаются вдвое и...                                                             |
| 27,17<br>млн. лет |  | $M = 4,0$                            | ...нейтронная звезда оказывается в атмосфере продолжающего расширяться красного гиганта. Больше половины его вещества разбрасывается по окружающему пространству, а нейтронная звезда тормозится и проваливается в его центр — образуется объект Торна — Житков |
| 27,27<br>млн. лет |  | $M = 4,0$                            | Примерно за 100 тысяч лет большая часть вещества постепенно оседает на нейтронную звезду, и в итоге она становится черной дырой                                                                                                                                 |

## Спектральные наблюдения некоторых двойных систем

0. Звезда *RY Per*,  $P = 6.8636^d$ , *B5 + F6*,D.M. Popper, 1989, *ApJSS*, v. 71, p. 595

## VELOCITIES IN RY PERSEI, BLUE-VIOLET

| JD-<br>2440000 | Phase  | Primary               |                     |       | Secondary | O-C   |
|----------------|--------|-----------------------|---------------------|-------|-----------|-------|
|                |        | Hydrogen <sup>a</sup> | Helium <sup>b</sup> | O-C   |           |       |
| 2374.804       | 0.7580 | 30                    | 52 <sup>c</sup>     | + 14  | - 184     | 0     |
| 2375.839       | 0.9088 | 28                    | 7                   | - 9   | - 105     | - 1   |
| 2411.674       | 0.1299 | - 14                  | - 40                | + 8   | 121       | + 2   |
| 2437.731       | 0.9263 | 10                    | 10                  | - 1   | - 82      | + 5   |
| 2438.613       | 0.0548 | - 14                  | - 37                | - 8   | 51        | 0     |
| 2438.658       | 0.0614 | - 14                  | - 45                | - 15  | 59        | + 2   |
| 2470.657       | 0.7235 | -----                 | 52 <sup>c</sup>     | + 14  | - 190     | - 9   |
| 2471.652       | 0.8685 | 8                     | 20                  | - 5   | - 131     | + 6   |
| 2673.029       | 0.2085 | - 30                  | - 75                | - 15  | 159       | - 2   |
| 2702.928       | 0.5646 | - 2                   | - 2                 | - 10  | - 72      | + 6   |
| 2737.875       | 0.6563 | 2                     | 29                  | - 1   | - 161     | - 7   |
| 2738.829       | 0.7953 | 20                    | 62 <sup>c</sup>     | + 26  | - 164     | + 13  |
| 2765.713       | 0.7122 | 8                     | 55 <sup>c</sup>     | + 18  | - 183     | - 4   |
| 2766.749       | 0.8632 | 11                    | 40                  | + 14  | - 141     | 0     |
| 2794.676       | 0.9320 | 23                    | 16                  | + 7   | - 84      | - 3   |
| 2795.643       | 0.0729 | - 18                  | - 42                | - 8   | 72        | + 3   |
| 2820.620       | 0.7120 | 16                    | 72 <sup>c</sup>     | + 35  | - 180     | - 1   |
| 2858.632       | 0.2502 | - 24                  | - 72                | - 10  | 168       | + 1   |
| 3001.972       | 0.1344 | - 24                  | - 38                | + 11  | 127       | + 4   |
| 3002.989       | 0.2826 | - 29                  | - 40                | + 21  | 166       | + 3   |
| 3062.009       | 0.8816 | 16                    | 26                  | + 4   | - 122     | + 5   |
| 3090.812       | 0.0781 | - 16                  | - 34                | + 1   | 70        | - 4   |
| 3120.769       | 0.4427 | - 12                  | - 26                | + 3   | 63        | + 10  |
| 3150.705       | 0.8043 | 28                    | 72 <sup>c</sup>     | + 36  | - 170     | + 4   |
| 3151.729       | 0.9535 | 23 <sup>d</sup>       | 46 <sup>d</sup>     | + 43  | - 47      | + 12  |
| 3356.005       | 0.7159 | 5                     | 54 <sup>c</sup>     | + 17  | - 180     | 0     |
| 3440.891       | 0.0835 | - 26                  | - 37                | 0     | 81        | + 2   |
| 3558.625       | 0.2370 | - 24                  | - 66                | - 4   | 162       | - 4   |
| 3742.977       | 0.0965 | - 24                  | - 36                | + 4   | 92        | + 1   |
| 3796.935       | 0.9580 | 54 <sup>d</sup>       | 77 <sup>d</sup>     | + 76  | - 41      | + 13  |
| 4121.236       | 0.2076 | - 23                  | - 56                | + 4   | 143       | - 18  |
| 4122.027       | 0.3228 | - 29                  | - 60                | - 3   | 156       | + 7   |
| 4150.932       | 0.5342 | - 6                   | 2                   | + 3   | -----     | ----- |
| 4183.933       | 0.3423 | - 30                  | - 62                | - 8   | 134       | - 4   |
| 4210.801       | 0.2569 | - 37                  | - 56                | + 6   | 165       | - 2   |
| 4242.732       | 0.9092 | 17                    | 5                   | - 10  | - 109     | - 6   |
| 4268.655       | 0.6860 | 10                    | 30                  | - 4   | - 177     | - 7   |
| 4509.998       | 0.8490 | 17                    | 40                  | + 11  | - 149     | + 2   |
| 4569.746       | 0.5540 | - 9                   | -----               | ----- | - 80      | - 13  |
| 4570.852       | 0.7152 | 9                     | 48 <sup>c</sup>     | + 11  | - 181     | - 1   |
| 4597.756       | 0.6350 | 7                     | 27                  | + 1   | - 154     | - 14  |
| 4855.965       | 0.2552 | - 30                  | - 65                | - 3   | 166       | - 1   |
| 4857.027       | 0.4100 | - 24                  | - 41                | - 3   | -----     | ----- |
| 4858.015       | 0.5539 | - 3                   | 12                  | + 7   | -----     | ----- |
| 4978.729       | 0.1416 | - 28                  | - 50                | + 1   | 129       | + 1   |
| 5006.655       | 0.2103 | - 24                  | - 40                | + 20  | 162       | + 1   |
| 5007.692       | 0.3614 | - 28                  | - 50                | 0     | 129       | + 3   |
| 6364.924       | 0.1057 | - 25                  | - 36                | + 6   | -----     | ----- |
| 6365.832       | 0.2380 | - 34                  | - 72                | - 10  | 163       | - 3   |

<sup>a</sup>Mean of H8 through H11.<sup>b</sup>Mean of  $\lambda\lambda 3819, 4026$ .<sup>c</sup>Omitted in circular orbital solution.<sup>d</sup>During eclipse. Not included in solutions.

1. Звезда HD 214686,  $P = 21.701456^d$ ,

G. Vallerstein, C.L. Morbey, D.M. Popper, 1978, *PASP*, v. 90, p. 679

TABLE I  
RADIAL VELOCITIES OF HD 214686

| Plate No. | Observer          | JD <sub>0</sub><br>2400000+ | $V_1$<br>(km sec <sup>-1</sup> ) | $V_2$<br>(km sec <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| D 3263g   | H. A. Abt         | 41492.946                   | +2.9                             | -75.5                            |
| Ce 22076  | G. W.             | 42401.600                   | +34.0                            | -94.2                            |
| Ce 22082  | "                 | 42402.590                   | +48.1                            | -106.0                           |
| Ce 22099  | "                 | 42405.600                   | (single lines)                   |                                  |
| Pc 14148  | "                 | 42587.970                   | -67.8                            | -7.0                             |
| Pc 14151  | "                 | 42588.960                   | -63.7                            | -7.8                             |
| Pc 14257a | H. E. B.          | 42676.754                   | -59.6                            | -11.9                            |
| DAO 10166 | G. W.             | 42678.770                   | -48.5                            | -25.1                            |
| D 5797    | "                 | 42738.610                   | -68.3                            | -5.8                             |
| Pc 14478a | H. E. B.          | 42999.806                   | -68.5                            | -7.0                             |
| Pc 14480a | "                 | 43000.899                   | -65.4                            | -7.7                             |
| Pc 14482b | "                 | 43001.976                   | -61.1                            | -11.0                            |
| DAO 11641 | C. L. M.          | 43359.838                   | -13.3                            | -61.3                            |
| Pc 14614b | H. E. B.          | 43382.818                   | (single lines)                   |                                  |
| Pc 14619b | "                 | 43384.899                   | -61.0                            | -11.2                            |
| Pc 14621a | "                 | 43385.915                   | -65.6                            | -5.9                             |
| DAO 11718 | C. L. M.          | 43398.897                   | +12.5                            | -74.0                            |
| DAO 11727 | "                 | 43400.867                   | +39.9                            | -105.0                           |
| D 7447    | C. A. Pilachowski | 43487.604                   | +36.9                            | -116.2                           |

Note: Telescopes and dispersions are as follows: Pc, Hale 5-meter, 9 Å mm<sup>-1</sup>; Ce, Mt. Wilson 2.5-meter, 10 Å mm<sup>-1</sup>; D, Kitt Peak 2.1-meter, 13 Å mm<sup>-1</sup>; and DAO, Dominion Astrophysical Observatory 1.22-meter, 6.5 Å mm<sup>-1</sup>.

1. Звезда *HD* 214686, продолжение

TABLE II  
Lick Observatory Spectrograms of HD 214686

| Plate No. | JD @<br>2400000.+ | $\bar{v}_1$<br>(km sec <sup>-1</sup> ) | O-C  | $\bar{v}_2$<br>(km sec <sup>-1</sup> ) | O-C  |
|-----------|-------------------|----------------------------------------|------|----------------------------------------|------|
| EC 9097   | 40903.592         | +12.9                                  | -0.8 | -85.8                                  | +1.2 |
| 9170      | 40932.578         | -61.2                                  | -0.1 | -10.9                                  | +0.1 |
| 9183      | 40933.565         | -66.0                                  | 0.0  | - 6.5                                  | -0.4 |
| 9562      | 41118.946         | -18.5                                  | -0.9 | -55.4                                  | -0.2 |
| 9910      | 41227.785         | -11.2                                  | +1.1 | -61.2                                  | -0.6 |
| 10111     | 41316.584         | +28.7                                  | +0.9 | -103.2                                 | -2.0 |
| 10115     | 41317.585         | +40.6                                  | +0.4 | -114.4                                 | -0.6 |
| 10678     | 41499.970         | -69.4                                  | +0.6 | - 2.9                                  | -0.8 |
| *11069    | 41642.578         | +37.2                                  | +1.2 | -106.1                                 | +3.4 |
| 11078     | 41643.583         | +36.7                                  | -0.5 | -109.9                                 | +1.0 |
| *11535    | 41881.938         | +41.2                                  | +1.1 | -113.9                                 | -0.2 |
| 11886     | 41966.718         | + 8.1                                  | -0.4 | -80.9                                  | +0.8 |
| 11900     | 41967.747         | +29.6                                  | -0.5 | -104.0                                 | -0.4 |
| 13426     | 42619.925         | +39.5                                  | 0.0  | -113.1                                 | 0.0  |
| 13541     | 42671.879         | -70.5                                  | -0.5 | - 3.2                                  | -1.2 |
| 13626     | 42704.845         | +13.6                                  | -0.8 | -88.7                                  | -1.0 |
| 13695     | 42737.584         | -67.7                                  | +2.3 | + 1.4                                  | +3.5 |
| 13739     | 42740.667         | -64.2                                  | 0.0  | - 8.8                                  | -0.9 |
| 14289     | 42971.975         | -56.7                                  | +0.6 | -14.6                                  | +0.3 |
| 14409     | 43001.879         | -63.2                                  | -2.0 | -12.1                                  | -1.1 |
| 14558     | 43060.753         | -68.9                                  | -1.5 | - 5.8                                  | -1.2 |
| 14670     | 43061.748         | -68.6                                  | +0.8 | - 0.9                                  | +1.7 |

\* 1/2 weight because of slightly soft focus.

2. Звезда HD 155989,  $P = 122.56^d$ , G5III

R.F. Griffin, 1978, *Observatory*, v.98, p.158

*Radial-velocity observations of HD 155989*

|      | Date        | MJD      | Velocity<br>km/s | Phase  | (O - C)<br>km/s |
|------|-------------|----------|------------------|--------|-----------------|
| 1973 | Nov. 7.74   | 41993.74 | +20.0            | 0.109  | +1.0            |
| 1974 | June 2.44*  | 42200.44 | -21.4            | 1.795  | -0.3            |
|      | July 21.96  | 249.96   | +16.5            | 2.199  | +1.3            |
|      | Aug. 31.85  | 290.85   | -9.9             | .533   | -0.7            |
|      | Sept. 9.84  | 299.84   | -11.9            | .606   | +1.8            |
|      |             | 20.87    | -18.7            | .696   | -0.4            |
|      |             | 21.84    | -18.4            | .704   | +0.2            |
|      |             | 22.82    | -17.6            | .712   | +1.4            |
|      |             | 24.82    | -20.8            | .728   | -1.2            |
|      |             | 28.86    | -19.4            | .761   | +1.2            |
|      | Oct. 13.82  | 333.82   | -18.2            | .884   | -0.3            |
|      | Nov. 3.75   | 354.75   | +14.5            | 3.054  | -1.0            |
|      |             | 11.74    | +19.1            | .119   | +0.1            |
| 1975 | Mar. 4.19   | 42475.19 | +12.6            | 4.037  | -0.3            |
|      | Apr. 10.14  | 512.14   | +3.7             | .338   | -0.7            |
|      |             | 20.15    | -3.1             | .420   | -1.5            |
|      |             | 30.13    | -6.9             | .502   | +0.3            |
|      | May 3.10    | 535.10   | -9.8             | .526   | -1.0            |
|      |             | 23.50*   | -18.3            | .692   | -0.2            |
|      |             | 31.06    | -22.0            | .754   | -1.6            |
|      | June 6.02   | 569.02   | -20.3            | .803   | +0.8            |
|      |             | 7.02     | -23.1            | .811   | -2.0            |
|      |             | 8.01     | -20.4            | .819   | +0.6            |
|      |             | 9.00     | -21.2            | .827   | -0.3            |
|      |             | 10.01    | -18.3            | .835   | +2.4            |
|      |             | 12.07    | -20.0            | .852   | +0.1            |
|      |             | 18.04    | -15.4            | .901   | +0.6            |
|      |             | 21.00    | -13.3            | .925   | -1.0            |
|      |             | 22.00    | -10.5            | .933   | +0.3            |
|      |             | 25.04    | -4.4             | .958   | +1.1            |
|      | July 2.97   | 595.97   | +10.5            | 5.022  | +0.4            |
|      | Aug. 3.97   | 627.97   | +7.7             | .284   | -1.0            |
|      |             | 6.89     | +5.4             | .307   | -1.4            |
|      |             | 25.92    | -4.3             | .463   | +0.3            |
|      |             | 26.88    | -3.5             | .470   | +1.6            |
|      |             | 27.90    | -5.3             | .479   | +0.4            |
|      |             | 28.87    | -5.4             | .487   | +0.8            |
|      | Oct. 27.76  | 712.76   | -3.2             | .975   | -2.0            |
| 1976 | Mar. 1.18   | 42838.18 | +4.8             | 6.999  | +0.2            |
|      | Apr. 23.11  | 891.11   | -1.0             | 7.431  | +1.4            |
|      | July 28.96  | 987.96   | +14.0            | 8.221  | +0.4            |
|      | Aug. 1.02   | 991.02   | +11.2            | .246   | -0.5            |
|      |             | 15.91    | +2.3             | .367   | +0.1            |
|      |             | 19.90    | -0.2             | .400   | 0.0             |
|      | Sept. 27.80 | 048.80   | -18.4            | .717   | +0.8            |
| 1977 | Mar. 30.12  | 43232.12 | +14.6            | 10.213 | +0.4            |
|      | Apr. 2.15   | 235.15   | +13.7            | .238   | +1.4            |
|      |             | 18.08    | +1.0             | .368   | -1.2            |
|      | May 1.04    | 264.04   | -6.3             | .473   | -1.0            |
|      |             | 29.01    | -18.8            | .702   | -0.3            |
|      | June 2.04   | 296.04   | -20.2            | .735   | -0.4            |
|      |             | 9.04     | -22.4            | .792   | -1.3            |
|      |             | 11.04    | -21.8            | .808   | -0.7            |
|      | July 2.97   | 326.97   | +2.8             | .987   | +1.1            |
|      |             | 15.95    | +18.0            | 11.093 | -0.6            |
|      |             | 19.94    | +18.0            | .125   | -0.9            |
|      | Sept. 14.85 | 400.85   | -12.1            | .590   | +0.6            |

\*Observed with 200-inch telescope

3. Звезда *HD 159176*,  $P = 3.3666^d$ , *O7 + O7(V?, III?)*

*W. Seggewiss, M. de Groot, 1976, AAp, v 51, p. 195*

**Table 1.** Radial velocity data of HD 159176

| Plate   | JD (Hel)<br>2400000+ | Phase  | Comp. A                         |                                    | Comp. B                         |                                    |
|---------|----------------------|--------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|         |                      |        | <i>RV</i><br>km s <sup>-1</sup> | <i>O - C</i><br>km s <sup>-1</sup> | <i>RV</i><br>km s <sup>-1</sup> | <i>O - C</i><br>km s <sup>-1</sup> |
| G 1448  | 40783.7418           | 0.3742 | +163.5                          | + 0.2                              | -127.6                          | + 6.3                              |
| G 1458  | 40784.6647           | 0.6483 | -160.6                          | - 1.6                              | +180.2                          | + 2.6                              |
| G 1464  | 40786.6631           | 0.2419 | +214.9                          | - 7.3                              | -186.9                          | +10.7                              |
| G 1468  | 40787.7055           | 0.5515 | - 20.0                          | + 3.3                              | + 75.2                          | - 4.5                              |
| G 1541  | 40866.4870           | 0.9524 | - 61.4                          | - 1.7                              | + 59.0                          | - 4.9                              |
| G 1827a | 41061.9234           | 0.0038 | - 14.8                          | -22.9                              | —                               | —                                  |
| G 1991  | 41132.7230           | 0.0337 | + 56.5                          | + 8.4                              | - 35.3                          | + 5.2                              |
| G 1992a | 41132.7388           | 0.0384 | + 68.1                          | +13.8                              | - 52.1                          | - 5.9                              |
| G 2009  | 41133.6485           | 0.3086 | +205.4                          | - 5.2                              | -162.8                          | +18.9                              |
| G 2044  | 41140.4914           | 0.3412 | +168.4                          | -23.5                              | -163.4                          | - 1.9                              |
| G 2430  | 41224.4570           | 0.2819 | +217.9                          | - 1.8                              | -183.3                          | + 9.0                              |
| G 4983  | 41906.7210           | 0.9380 | - 77.5                          | + 0.2                              | + 92.7                          | +11.0                              |
| F 1087  | 41909.7874           | 0.8488 | -187.2                          | -18.9                              | +174.5                          | + 1.5                              |
| F 1095  | 41910.5918           | 0.0877 | +116.2                          | + 0.3                              | -110.2                          | - 5.9                              |
| F 1108  | 41911.6614           | 0.4054 | +143.5                          | + 9.8                              | -113.6                          | -11.6                              |
| F 1112  | 41912.4641           | 0.6439 | -166.2                          | -11.0                              | +173.1                          | - 1.2                              |
| F 1120  | 41912.7715           | 0.7352 | -206.9                          | - 3.7                              | +207.7                          | - 6.8                              |
| F 1128  | 41913.4690           | 0.9424 | - 83.1                          | -10.8                              | + 58.0                          | -18.3                              |
| F 1134  | 41913.6797           | 0.0049 | + 41.2                          | +31.5                              | - 49.6                          | -46.1                              |
| F 1135  | 41913.6909           | 0.0083 | + 46.6                          | +32.4                              | - 26.2                          | -18.3                              |
| F 1148  | 41914.5147           | 0.2530 | +227.4                          | + 4.5                              | -201.2                          | - 3.8                              |
| F 1155  | 41914.6848           | 0.3035 | +205.9                          | - 6.9                              | -186.4                          | - 2.3                              |
| F 1166  | 41915.4827           | 0.5405 | - 47.0                          | - 8.0                              | + 57.6                          | - 8.5                              |
| F 1177  | 41916.4711           | 0.8341 | -186.7                          | - 8.1                              | +182.3                          | - 1.5                              |
| F 1186  | 41916.7524           | 0.9177 | -119.7                          | -17.8                              | +114.5                          | - 8.9                              |
| G 4989  | 41917.4919           | 0.1373 | +164.6                          | - 2.9                              | -165.4                          | -13.6                              |
| G 4993  | 41917.6379           | 0.1807 | +204.3                          | + 4.0                              | -184.4                          | - 3.6                              |
| G 4996  | 41917.6936           | 0.1972 | +208.3                          | - 0.9                              | -186.6                          | + 1.6                              |
| G 5008  | 41918.5104           | 0.4398 | + 86.0                          | - 7.5                              | - 49.3                          | +12.8                              |
| F 1198  | 41927.5034           | 0.1111 | +148.3                          | + 6.5                              | -133.3                          | - 5.0                              |
| F 1210  | 41929.4751           | 0.6967 | -186.9                          | + 4.0                              | +189.5                          | -15.8                              |
| F 1211  | 41929.4841           | 0.6994 | -198.4                          | - 6.3                              | +202.9                          | - 3.5                              |
| G 5032  | 41930.5249           | 0.0086 | + 18.6                          | + 4.0                              | - 14.8                          | - 6.6                              |
| G 5039  | 41930.6348           | 0.0412 | + 62.0                          | + 4.0                              | - 68.8                          | -19.1                              |
| G 5040  | 41930.6487           | 0.0453 | + 78.1                          | +14.7                              | —                               | —                                  |
| F 1235  | 41931.6802           | 0.3517 | +182.3                          | - 1.9                              | -156.3                          | - 2.9                              |
| F 1239  | 41933.4768           | 0.8854 | -135.7                          | + 0.7                              | +153.7                          | +13.4                              |
| F 1240  | 41933.4844           | 0.8876 | -134.3                          | - 0.1                              | +171.9                          | +33.8                              |
| F 1250  | 41933.6790           | 0.9454 | - 92.9                          | -24.4                              | +109.0                          | -36.5                              |
| F 1251  | 41933.6868           | 0.9477 | - 74.5                          | - 8.9                              | +111.9                          | +42.2                              |
| G 6871  | 42553.8014           | 0.1433 | +163.2                          | - 9.6                              | -142.5                          | +14.0                              |
| G 6872a | 42553.8142           | 0.1471 | +172.9                          | - 3.2                              | -169.9                          | -10.5                              |
| G 6879  | 42554.7733           | 0.4320 | +116.8                          | +13.7                              | - 62.0                          | + 9.6                              |
| G 6880a | 42554.7935           | 0.4380 | —                               | —                                  | - 61.3                          | + 3.0                              |
| G 6888  | 42555.6970           | 0.7064 | -183.8                          | +11.3                              | +199.6                          | - 9.1                              |
| G 6889a | 42555.7060           | 0.7090 | -199.8                          | - 3.7                              | +202.2                          | - 7.4                              |
| G 6912  | 42572.7501           | 0.7717 | -186.3                          | +17.2                              | +209.1                          | - 3.1                              |
| G 6913a | 42572.7633           | 0.7757 | -196.7                          | + 6.2                              | +212.0                          | + 0.7                              |

Remarks *B* very high background due to baking tests  
*C* comparison spectrum weak

*F* poor focus  
*S* stellar spectrum underexposed, but partly useful

4. Звезда HR 6940,  $P = 503.4^d$ , G5

G.A. Radford, R.F. Griffin, 1977, v. 97, p. 173

*Radial-velocity Observations of HR 6940*

| <i>Date</i>     | <i>MJD</i> | <i>Velocity<br/>km/s</i> | <i>Phase</i> | <i>(O - C)<br/>km/s</i> |
|-----------------|------------|--------------------------|--------------|-------------------------|
| 1967 May 31.09  | 39641.09   | +15.8                    | 0.216        | +1.0                    |
| 1969 May 7.12   | 40348.12   | 26.9                     | 1.621        | -0.2                    |
| Sept. 3.83      | 467.83     | 41.5                     | .859         | +0.4                    |
| 7.82            | 471.82     | 41.1                     | .866         | -0.3                    |
| 29.77           | 493.77     | 41.7                     | .910         | 0.0                     |
| 1970 Mar. 22.22 | 40667.22   | 12.4                     | 2.255        | -1.8                    |
| 28.19           | 673.19     | 14.3                     | .267         | +0.1                    |
| July 9.97       | 776.97     | 19.4                     | .473         | -0.1                    |
| 11.97           | 778.97     | 19.5                     | .477         | -0.1                    |
| 12.95           | 779.95     | 18.1                     | .479         | -1.6                    |
| 21.96           | 788.96     | 20.0                     | .496         | -0.5                    |
| 28.98           | 795.98     | 20.9                     | .510         | -0.3                    |
| 31.88           | 798.88     | 21.6                     | .516         | +0.1                    |
| Aug. 2.97       | 800.97     | 21.2                     | .520         | -0.5                    |
| 9.92            | 807.92     | 22.6                     | .534         | +0.2                    |
| 29.85           | 827.85     | 24.2                     | .574         | -0.2                    |
| Sept. 4.86      | 833.86     | 25.8                     | .586         | +0.7                    |
| 1971 July 7.99  | 41139.99   | 14.8                     | 3.194        | -0.7                    |
| 17.93           | 149.93     | 14.4                     | .214         | -0.5                    |
| 24.98           | 156.98     | 13.0                     | .228         | -1.6                    |
| Aug. 4.96       | 167.96     | 13.6                     | .249         | -0.7                    |
| 1972 Apr. 9.17  | 41416.17   | 34.6                     | 3.742        | -0.2                    |
| 25.12           | 432.12     | 36.3                     | .774         | -0.5                    |
| July 14.98      | 512.98     | 41.3                     | .935         | +0.3                    |
| 29.94           | 527.94     | 38.5                     | .964         | -0.5                    |
| 1973 Mar. 30.19 | 41771.19   | 18.4                     | 4.448        | 0.0                     |
| Apr. 26.12      | 798.12     | 20.1                     | .501         | -0.6                    |
| May 23.08       | 825.08     | 22.1                     | .555         | -1.3                    |
| July 30.94*     | 893.94     | 31.8:                    | .691         | +0.3                    |
| Aug. 14.89      | 908.89     | 33.2                     | .721         | -0.2                    |
| 22.92           | 916.92     | 34.9                     | .737         | +0.5                    |
| Sept. 11.85     | 936.85     | 37.6                     | .777         | +0.6                    |
| 22.83           | 947.83     | 39.5                     | .798         | +1.2                    |
| Oct. 18.78      | 973.78     | 41.6                     | .850         | +0.8                    |
| 1974 Mar. 17.22 | 42123.22   | 18.2                     | 5.147        | +0.2                    |
| May 22.08       | 189.08     | 14.5                     | .278         | +0.3                    |
| July 6.99       | 234.99     | 18.1                     | .369         | +2.4                    |
| 19.01           | 247.01     | 18.5                     | .393         | +2.1                    |
| 27.97           | 255.97     | 18.2                     | .411         | +1.2                    |
| Aug. 5.96       | 264.96     | 16.5                     | .428         | -1.2                    |
| 17.94           | 276.94     | 18.5                     | .452         | -0.1                    |
| 27.87           | 286.87     | 19.4                     | .472         | 0.0                     |
| Sept. 9.86      | 299.86     | 23.4                     | .498         | +2.8                    |
| 20.83           | 310.83     | 20.3                     | .520         | -1.3                    |
| 28.82           | 318.82     | 23.9                     | .535         | +1.5                    |
| 1975 May 3.12   | 42535.12   | 40.4                     | 5.965        | +1.4                    |
| 22.50†          | 554.50     | 33.6                     | 6.004        | -1.3                    |
| June 8.03       | 571.03     | 29.6                     | .036         | -0.9                    |
| 18.04           | 581.04     | 28.3                     | .056         | +0.6                    |

\*Given half-weight in solution.

†Observed with 200-inch telescope.

# 4. Звезда *HR 6940*, продолжение

TABLE I (*contd.*)

| <i>Date</i>     | <i>MJD</i> | <i>Velocity</i><br><i>km/s</i> | <i>Phase</i> | <i>(O - C)</i><br><i>km/s</i> |
|-----------------|------------|--------------------------------|--------------|-------------------------------|
| 1975 June 22.01 | 42585.01   | 28.2                           | 6.064        | +1.5                          |
| 25.05           | 588.05     | 26.7                           | .070         | +0.8                          |
| July 2.99       | 595.99     | 24.0                           | .086         | +0.1                          |
| Aug. 2.95       | 626.95     | 18.2                           | .147         | +0.2                          |
| 24.92           | 648.92     | 14.6                           | .191         | -1.0                          |
| 26.90           | 650.90     | 16.5                           | .195         | +1.1                          |
| Oct. 30.73      | 715.73     | 14.6                           | .324         | -0.1                          |
| Nov. 3.72       | 719.72     | 15.1                           | .332         | +0.2                          |
| 1976 Apr. 23.15 | 42891.15   | 29.5                           | 6.672        | -0.8                          |
| May 4.10        | 902.10     | 30.7                           | .694         | -1.0                          |
| June 7.04       | 936.04     | 35.7                           | .761         | -0.3                          |
| July 21.95      | 980.95     | 40.7                           | .851         | -0.2                          |
| 28.98           | 987.98     | 41.9                           | .865         | +0.6                          |
| Aug. 15.92      | 43005.92   | 42.0                           | .900         | +0.2                          |
| 20.87           | 010.87     | 39.4                           | .910         | -2.3                          |
| Sept. 18.84     | 039.84     | 39.4                           | .968         | +0.6                          |
| 26.82           | 047.82     | 38.2                           | .984         | +1.0                          |
| Oct. 4.80       | 055.80     | +34.6                          | .999         | -0.8                          |

5. Звезда *HD 224355*,  $P = 12.1562^d$ ,  
*M. Imbert*, 1977, *AApSS*, v. 29, p. 407

|    | $T_1$ (JJ+2400000) | $\phi_1$ | Composante A |       | Composante B |       |
|----|--------------------|----------|--------------|-------|--------------|-------|
|    |                    |          | $V_1$        | $R_1$ | $V_1$        | $R_1$ |
| 1  | 22162,978          | 0,358    | -45,6        | 0,26  | 71,3         | 4,21  |
| 2  | 22178,966          | 4,190    | 62,6         | -1,26 | -42,6        | 1,32  |
| 3  | 22247,778          | 0,065    | -57,6        | 4,52  | 82,7         | -0,83 |
| 4  | 23078,599          | 4,268    | 70,8         | 7,10  | -43,2        | 0,56  |
| 5  | 23085,622          | 11,291   | -76,0        | 1,90  | 101,3        | 1,80  |
| 6  | 23086,691          | 0,203    | -53,3        | 1,60  | 76,2         | -0,03 |
| 7  | 23259,640          | 2,966    | 59,6         | 0,39  | -38,3        | 0,91  |
| 8  | 23264,949          | 8,275    | 11,7         | 0,75  |              |       |
| 9  | 23267,965          | 11,291   | -74,8        | 3,11  | 106,4        | 6,89  |
| 10 | 23274,992          | 6,162    | 52,5         | 3,72  | -25,0        | 3,66  |
| 11 | 23279,976          | 11,146   | -76,8        | -1,24 | 100,2        | 3,08  |
| 12 | 23295,878          | 2,736    | 59,2         | 2,92  | -35,4        | 0,85  |
| 13 | 23299,854          | 6,712    | 40,3         | -0,82 | -25,4        | -4,48 |
| 14 | 23300,016          | 6,874    | 34,0         | -4,58 | -26,2        | -7,84 |
| 15 | 23305,876          | 0,578    | -32,0        | -0,03 | 53,8         | 0,77  |
| 16 | 23307,827          | 2,529    | 56,9         | 4,02  | -33,1        | -0,28 |
| 17 | 23308,897          | 3,599    | 73,0         | 9,47  | -41,3        | 2,28  |
| 18 | 23311,895          | 6,597    | 52,0         | 9,15  | -16,2        | 6,46  |
| 19 | 23314,879          | 9,581    | -27,1        | -1,22 | 51,1         | 4,24  |
| 20 | 23316,849          | 11,551   | -78,1        | 1,28  | 102,8        | 1,80  |
| 21 | 23328,855          | 11,400   | -73,4        | 5,60  | 105,0        | 4,38  |
| 22 | 23333,817          | 4,206    | 67,8         | 3,96  | -48,8        | -4,90 |
| 23 | 23337,808          | 8,197    | 9,8          | -2,97 |              |       |
| 24 | 23364,744          | 10,821   | -66,4        | 1,08  | 90,7         | 1,74  |
| 25 | 23370,662          | 4,583    | 62,5         | -0,10 | -37,8        | 4,85  |
| 26 | 23379,649          | 1,414    | 9,0          | -8,24 |              |       |
| 27 | W876 37513,458     | 9,773    | -36,1        | -3,85 | 53,0         | -0,30 |
| 28 | W882 37514,569     | 10,884   | -67,8        | 1,47  | 90,0         | -0,76 |
| 29 | W887 37516,608     | 0,767    | -17,3        | 2,45  | 45,1         | 4,43  |
| 30 | W892 37517,567     | 1,726    | 31,9         | 1,19  | -10,7        | -0,31 |
| 31 | W899 37518,560     | 2,719    | 54,3         | -1,72 | -33,6        | 2,39  |
| 32 | W901 37519,574     | 3,733    | 61,9         | -1,96 | -44,0        | -0,06 |
| 33 | W910 37520,551     | 4,710    | 59,2         | -2,79 | -39,8        | 2,23  |
| 34 | W913 37521,477     | 5,636    | 49,4         | -5,37 | -33,2        | 1,53  |
| 35 | W924 37525,522     | 9,681    | -31,4        | -2,23 | 47,3         | -2,88 |
| 36 | W930 37527,564     | 11,723   | -78,4        | -0,38 | 98,7         | -0,90 |
| 37 | W942 37529,532     | 1,535    | 23,9         | 1,07  | -3,8         | -1,39 |
| 38 | W946 37530,574     | 2,577    | 50,8         | -2,93 | -36,9        | -3,22 |
| 39 | W948 37531,572     | 3,575    | 64,3         | 0,85  | -44,9        | -1,39 |
| 40 | W950 37532,595     | 4,598    | 65,7         | 3,15  | -42,7        | -0,10 |
| 41 | W954 37534,517     | 6,520    | 43,2         | -0,75 | -23,4        | 0,39  |
| 42 | W961 37535,528     | 7,531    | 30,8         | 3,81  | -8,2         | -1,58 |
| 43 | W968 37537,535     | 9,538    | -23,5        | 0,97  | 45,2         | -0,24 |
| 44 | W3130 39337,601    | 10,493   | -61,7        | -4,65 | 74,3         | -4,08 |

6. Звезда *HD153720*,  $P = 11.0115^d$ , *F0*,

*J.F. Heard, R.J. Hurkens, 1975, JRASC, v. 69, p. 25*

RADIAL VELOCITY OBSERVATIONS OF HD 153720

| J.D.        | Phase | $V_1$ | $O_1-C_1$ | $V_2$  | $O_2-C_2$ |
|-------------|-------|-------|-----------|--------|-----------|
| 2441012.918 | 0.475 | -36.0 | -0.7      | +6.5   | -1.7      |
| 1028.844    | 0.921 |       |           |        |           |
| 1033.878    | 0.378 |       |           |        |           |
| 1035.920    | 0.564 | -50.7 | -0.5      | +22.1  | -1.2      |
| 1036.793    | 0.643 | -59.6 | +1.3      | +33.3  | -0.8      |
| 1041.817    | 0.099 | +69.8 | -1.0      | -99.0  | -0.2      |
| 1045.863    | 0.467 | -34.7 | -0.9      | +6.7   | 0.0       |
| 1046.771    | 0.549 | -48.9 | -0.9      | +19.1  | -2.0      |
| 1049.702    | 0.815 | -66.1 | +1.0      | +40.0  | -0.4      |
| 1056.651    | 0.446 | -25.4 | +4.5      | +2.5   | -0.3      |
| 1057.645    | 0.537 | -46.2 | -0.2      | +18.0  | -1.1      |
| .856        | 0.556 | -49.7 | -0.7      | +22.9  | +0.8      |
| 1068.730    | 0.543 | -48.3 | -1.2      | +19.3  | -0.8      |
| 1076.697    | 0.267 | +14.0 | 0.0       | -41.5  | 0.0       |
| .849        | 0.281 | +9.5  | -0.4      | -37.2  | +0.2      |
| 1080.692    | 0.630 | -57.7 | +1.6      | +32.9  | +0.5      |
| 1088.722    | 0.359 |       |           |        |           |
| 1100.593    | 0.437 |       |           |        |           |
| 1109.588    | 0.254 | +15.6 | -2.4      | -45.8  | -0.3      |
| 1111.663    | 0.442 |       |           |        |           |
| 1112.650    | 0.532 | -45.9 | -0.7      | +18.6  | +0.3      |
| 1113.620    | 0.620 | -57.3 | +0.8      | +32.8  | +1.6      |
| .774        | 0.634 | -58.4 | +1.4      | +33.7  | +0.7      |
| 1195.545    | 0.060 | +74.3 | -1.1      | -104.9 | -1.4      |
| 1196.560    | 0.152 | +53.3 | -0.1      | -80.9  | +0.4      |
| 1723.961    | 0.048 | +73.8 | +0.2      | -100.6 | +1.1      |
| 1764.893    | 0.765 | -67.8 | +1.7      | +44.5  | +1.8      |
| 1785.903    | 0.673 | -66.6 | -2.5      | +37.2  | -0.1      |
| 1798.828    | 0.846 | -60.5 | +1.7      | +35.8  | +0.4      |
| 1880.619    | 0.275 | +11.1 | -0.6      | -39.7  | -0.5      |
| 1944.523    | 0.078 | +77.4 | +2.5      | -101.7 | +1.2      |
| 2034.978    | 0.293 | +5.2  | -1.3      | -33.6  | +0.3      |
| 2105.947    | 0.738 | -69.9 | -1.1      | +43.5  | +1.5      |
| 2145.815    | 0.358 |       |           |        |           |
| 2153.768    | 0.080 | +75.4 | +0.9      | -103.5 | -0.9      |
| 2168.776    | 0.443 |       |           |        |           |
| 2175.674    | 0.070 | +76.3 | +0.8      | -102.7 | +0.9      |
| 2188.705    | 0.253 | +19.0 | +0.8      | -47.6  | -1.8      |
| 2189.733    | 0.346 |       |           |        |           |
| 2195.755    | 0.893 | -46.7 | -0.8      | +16.7  | -2.2      |
| 2203.690    | 0.614 | -56.7 | +0.6      | +31.4  | +1.0      |
| 2205.736    | 0.800 | -68.1 | +0.4      | +41.8  | +0.1      |
| 2222.609    | 0.332 |       |           |        |           |
| 2229.632    | 0.970 | +16.4 | +0.7      | -42.4  | +0.9      |
| 2240.611    | 0.967 | +11.6 | -1.2      | -37.8  | +2.5      |
| .815        | 0.985 | +31.4 | 0.0       | -60.2  | -1.1      |

7. Звезда *TW And*,  $P = 4.12276^d$ ,

*D.M. Popper*, 1989, *ApJSS*, v. 71, p. 595

VELOCITIES IN TW ANDROMEDAE, D LINES

| JD-<br>2,440,000 | Phase  | Primary | $O - C$ | Secondary | $O - C$ |
|------------------|--------|---------|---------|-----------|---------|
| 2375.797 .....   | 0.8678 | ...     | ...     | -145      | +6      |
| 2375.810 .....   | 0.8709 | ...     | ...     | -155      | -6      |
| 2672.827 .....   | 0.9142 | -38.6   | -8.4    | -114      | +5      |
| 2704.767 .....   | 0.6614 | -20.3   | -0.2    | -168      | -2      |
| 2737.755 .....   | 0.6628 | -20.3   | -0.3    | -170      | -3      |
| 2738.647 .....   | 0.8792 | -20.6   | +4.4    | -151      | -7      |
| 2739.651 .....   | 0.1227 | -67.1   | -0.4    | ...       | ...     |
| 2740.764 .....   | 0.3927 | -65.6   | -1.1    | ...       | ...     |
| 2766.596 .....   | 0.6584 | -21.2   | -0.8    | -165      | 0       |
| 2795.584 .....   | 0.6896 | ...     | ...     | -181      | -4      |
| 2795.608 .....   | 0.6954 | -19.9   | -2.6    | -182      | -3      |
| 3002.024 .....   | 0.7628 | -16.6   | -0.9    | -184      | +3      |
| 3120.629 .....   | 0.5312 | -42.3   | -2.5    | ...       | ...     |
| 3409.800 .....   | 0.6713 | -20.1   | -0.9    | -171      | -1      |
| 3411.922 .....   | 0.1860 | -73.2   | +0.2    | 84        | +3      |
| 3440.825 .....   | 0.1966 | -71.2   | +2.9    | 87        | +2      |
| 3768.911 .....   | 0.7758 | -10.5   | +5.5    | -177      | +8      |
| 3795.788 .....   | 0.2950 | -75.5   | -0.9    | 84        | -3      |
| 4121.993 .....   | 0.4180 | -59.6   | +0.9    | ...       | ...     |
| 4151.868 .....   | 0.6643 | -17.9   | +2.0    | -168      | -1      |
| 4182.808 .....   | 0.1690 | -71.5   | +0.5    | 71        | -4      |
| 4242.666 .....   | 0.6879 | ...     | ...     | -179      | -2      |
| 4475.917 .....   | 0.2643 | -80.0   | -4.3    | 98        | +6      |
| 4508.887 .....   | 0.2614 | -75.6   | +0.1    | 93        | +1      |
| 4510.830 .....   | 0.7327 | -20.2   | -4.4    | -181      | +5      |
| 4537.815 .....   | 0.2781 | -72.8   | +2.5    | 86        | -4      |
| 4570.768 .....   | 0.2710 | -74.0   | +1.5    | 90        | -1      |
| 4597.623 .....   | 0.7848 | -12.8   | +3.5    | -183      | +1      |
| 4894.881 .....   | 0.8865 | -23.6   | +2.4    | -138      | +1      |
| 6341.854 .....   | 0.8584 | -21.5   | +0.8    | -157      | -1      |

8. Звезда  $\zeta$  Phe,  $P = 1.66977^d$ , B6V + B8V

*D.M. Popper, 1989, ApJSS, v. 71, p. 595*

Table 3. Radial velocity observations of  $\zeta$  Phe

| Plate No | HJD<br>-2 400 000 | Phase  | Comp.<br>Vel | A<br>n | Comp.<br>Vel | B<br>n | (O-C)<br>Pr Sec |      | 3rd<br>Vel | Cmp<br>n |
|----------|-------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|-----------------|------|------------|----------|
| Q 9729   | 43788.7201        | 0.6248 | 107.9        | 7      | -141.1       | 2      | -2.2            | -9.6 |            |          |
| Q 9730   | 43788.8475        | 0.7011 | 136.0        | 8      | -187.7       | 3      | -6.6            | -6.2 | -10.2      | 2        |
| Q 9731   | 43788.8597        | 0.7084 | 139.8        | 8      | -184.4       | 3      | -4.5            | -0.3 | 5.1        | 2        |
| Q 9732   | 43789.6141        | 0.1602 | -98.2        | 8      | 188.5        | 3      | -4.3            | 5.6  |            |          |
| Q 9734   | 43789.6517        | 0.1828 | -103.8       | 8      | 198.4        | 3      | -1.1            | 2.0  | 19.6       | 2        |
| Q 9736   | 43789.7259        | 0.2272 | -113.2       | 8      | 216.8        | 3      | -0.3            | 4.6  | 40.9       | 3        |
| Q 9738   | 43789.8040        | 0.2740 | -111.8       | 8      | 209.0        | 3      | 1.0             | -3.0 | 28.8       | 1        |
| Q 9740   | 43789.8333        | 0.2915 | -109.0       | 8      | 208.1        | 3      | 0.8             | 0.7  | 22.6       | 3        |
| Q 9742   | 43790.5789        | 0.7380 | 150.0        | 8      | -192.4       | 3      | 1.6             | -2.0 | -6.1       | 2        |
| Q 9744   | 43790.6082        | 0.7556 | 150.0        | 8      | -190.0       | 3      | 1.4             | 0.9  | -18.8      | 2        |
| Q 9745   | 43790.6448        | 0.7775 | 146.9        | 8      | -191.4       | 3      | 0.1             | -3.4 | -16.5      | 2        |
| Q 9746   | 43790.7010        | 0.8112 | 140.8        | 8      | -179.6       | 3      | 1.7             | -3.4 | -19.5      | 2        |
| Q 9747   | 43790.7610        | 0.8471 | 125.5        | 8      | -156.5       | 3      | 0.5             | -2.0 | -9.0       | 1        |
| Q 9750   | 43790.7943        | 0.8670 | 119.0        | 8      | -140.1       | 2      | 4.3             | -1.5 |            |          |
| Q 9751   | 43791.5271        | 0.3059 | -106.2       | 8      | 203.6        | 3      | 0.1             | 1.7  | 31.8       | 2        |
| Q 9752   | 43791.5613        | 0.3264 | -98.8        | 8      | 197.1        | 3      | 0.6             | 5.7  | 47.2       | 2        |
| Q 9753   | 43791.5984        | 0.3486 | -88.7        | 8      | 171.0        | 3      | 1.1             | -5.6 | 55.4       | 2        |
| Q 9754   | 43791.6433        | 0.3755 | -73.5        | 8      | 158.2        | 3      | 2.0             | 3.8  | 40.4       | 2        |
| Q 9755   | 43791.6790        | 0.3969 | -65.4        | 8      | 128.1        | 2      | -3.2            | -5.8 |            |          |
| Q 9758   | 43793.7385        | 0.6303 | 121.8        | 7      | -142.1       | 2      | 8.6             | -5.8 | -23.2      | 1        |
| Q 9759   | 43793.7609        | 0.6437 | 115.8        | 8      | -138.4       | 2      | -4.7            | 9.1  | -8.4       | 1        |
| Q 9760   | 43793.7946        | 0.6639 | 128.9        | 8      | -157.3       | 2      | -1.0            | 4.8  | -19.4      | 2        |
| Q 9762   | 43793.8181        | 0.6779 | 131.9        | 8      | -161.8       | 3      | -3.6            | 8.8  | 2.1        | 2        |
| Q 9763   | 43793.8728        | 0.7107 | 148.3        | 8      | -179.8       | 3      | 3.6             | 5.1  | -18.4      | 2        |
| Q 9765   | 43793.8942        | 0.7235 | 149.1        | 8      | -183.1       | 2      | 2.2             | 5.1  | -13.1      | 2        |
| Q 9767   | 43794.5685        | 0.1274 | -79.6        | 8      | 154.3        | 3      | -2.5            | -2.7 |            |          |
| Q 9768   | 43794.6081        | 0.1511 | -87.9        | 8      | 177.1        | 3      | 1.8             | 0.6  | 38.8       | 1        |
| Q 9770   | 43794.6672        | 0.1865 | -106.0       | 8      | 191.3        | 3      | -2.0            | -7.0 | 34.2       | 2        |
| Q 9771   | 43794.7165        | 0.2160 | -111.7       | 8      | 211.7        | 3      | -0.4            | 2.1  | 33.9       | 2        |
| Q 9772   | 43794.7687        | 0.2472 | -112.7       | 8      | 214.7        | 3      | 1.6             | 0.5  | 30.9       | 1        |
| Q 9774   | 43794.7907        | 0.2604 | -110.7       | 8      | 210.6        | 3      | 3.3             | -3.2 | 38.5       | 2        |