

# Общая астрофизика

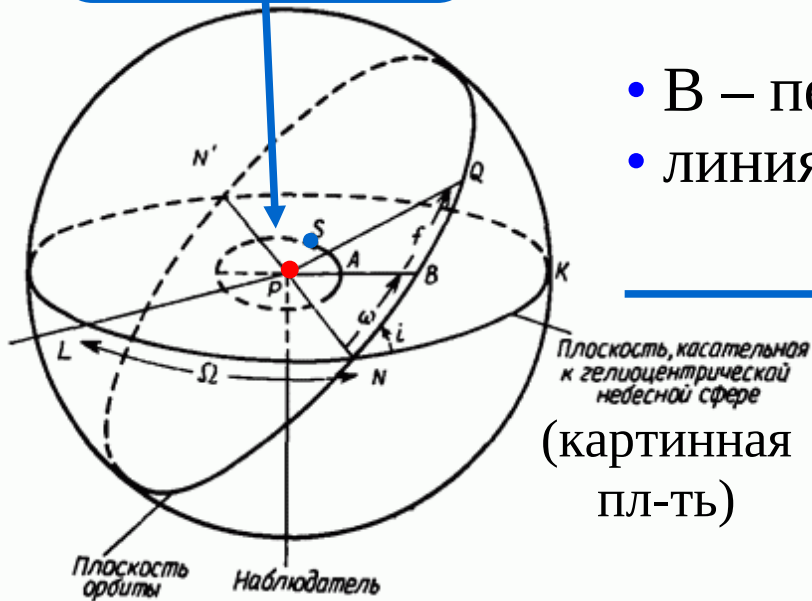
## 2. Звёзды

### 2.6. Двойные и кратные звезды.

Оценка масс и других характеристик компонент двойных систем.

~50% звезд образуют двойные или кратные системы

проекция орбиты  
на картинную  
плоскость



## Орбиты двойных звёзд

- $NN'$  — линия узлов (пересечение орбиты с картинной пл-тью)
- В – периастр,
- линия апсид (= большая ось): периастр – апоастр

Элементы орбиты:

$A$  - большая полуось,

$e$  - эксцентриситет,

$i$  - наклонение орбиты,

$T$  - период,

$\Omega$  – позиционный угол восходящего узла,

$\omega$  – долгота периастра,

$\tau$  – момент прохождения периастра

$P, S$

первичная и вторичная  
компоненты в проекции  
орбиты,

$PL$  — направление на  
северный полюс мира

## Условия наблюдения двойных звёзд

$a''$  — большая полуось проекции орбиты

$\Delta''$  — предельное угловое разрешение

- $a'' > \Delta''$  — визуально-двойная (VB)
- $a'' < \Delta''$ ,  $i \sim 90^\circ$  — затменно-двойная (EB)
- $i > 0$  — спектрально-двойная (SB)

способ наблюдений

астрометрические

фотометрические,  
кривая блеска

спектральные,  
кривая лучевых ск-тей

- ✓ Возможны разные проявления у одной пары:  
VB и SB, EB и SB

### Пример

Ближайшая звезда Проксима Центавра ( $d = 1.3$  пк) входит в тройную визуальную и спектральную систему  $\alpha$  Cen:

**A + B:**  $a'' \sim 22''$ ,  $T = 79.9$  год,  $i = 79.2^\circ$ ;

**C (Проксима):**  $a'' \sim 2.2^\circ$ ,  $T = 500$  тыс.лет

Такая система  
на большом расстоянии  
будет наблюдаться  
как двойная (SB)

## Спектрально-двойные звёзды

Движение звезды по орбите,

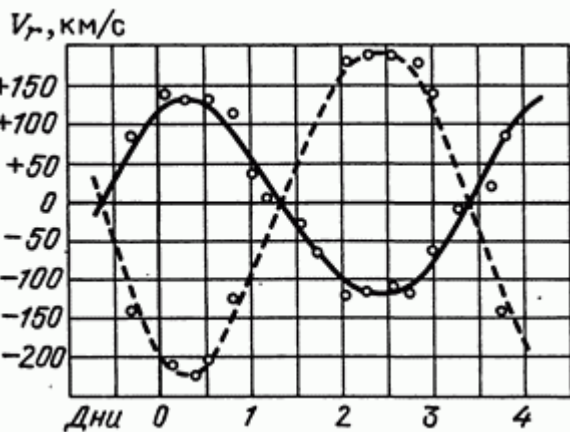
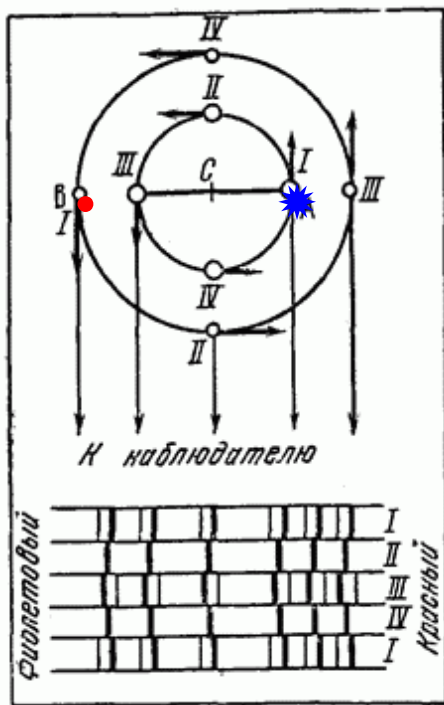
ведёт к смещению спектр. линий:  $\lambda - \lambda_0 = V_r \lambda_0 / c$

$V_r$  - проекция скорости на луч зрения,

Колебание около  $\lambda_0$  - с периодом  $T$ .

Для компонент А и В знак  $V_r$  противоположен.

Линии в спектре раздваиваются.



$\alpha$  Vir — SB2

Амплитуда  $V_r$

больше для менее  
массивной звезды

Кривая лучевых скоростей —

изменение  $V_r$  со временем

служит для определения эл-тов орбиты:

$T$ ,  $A \sin i$ ,  $e$ ,  $\omega$  и массы звёзд.

SB2 — с линиями обеих компонент;

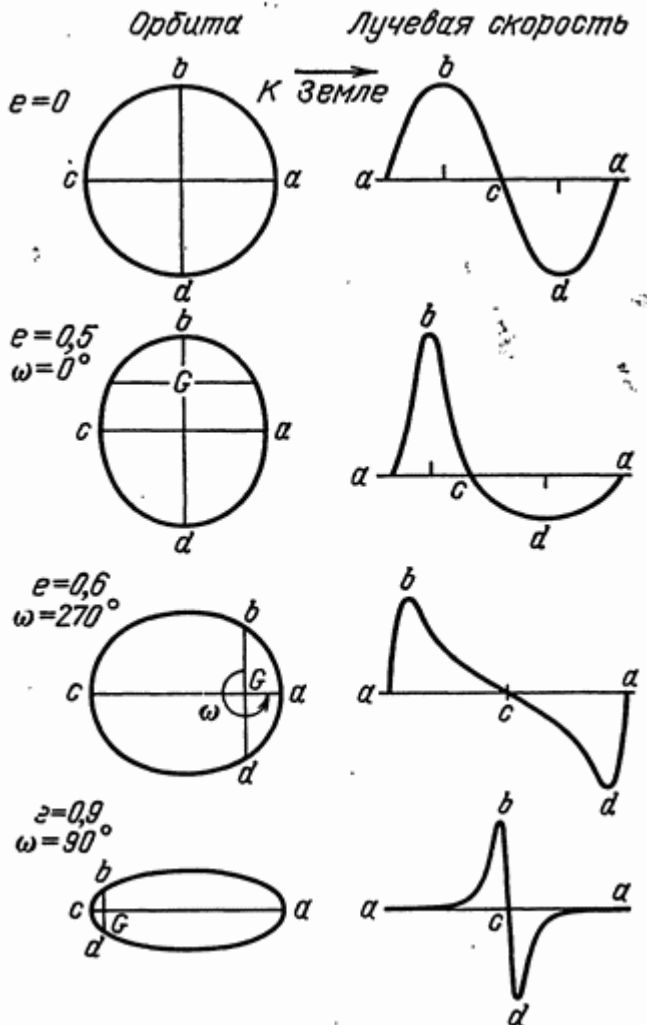
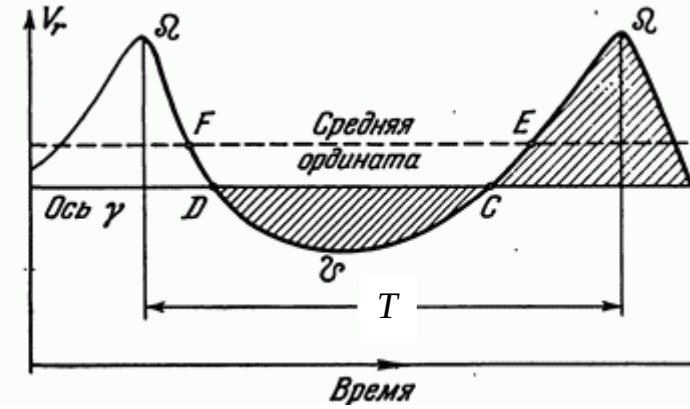
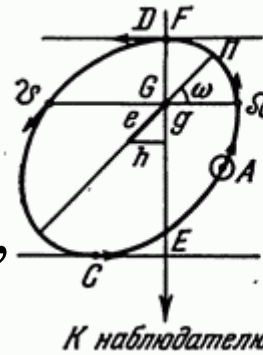
SB1 — линии одной компоненты, если  
светимости компонент очень различны.

## Спектрально-двойные звёзды

Интегралы лучевых скоростей при движении  $C \rightarrow D$  и  $D \rightarrow C$  равны.

Ось  $y$  делит кривую  $V_r$  так, что площади над и под кривой равны, она определяет луч. ск-ть ц.масс.

Движение звезды  $A$  вокруг ц.масс  $G$



Измеряем:

- период  $T$ ,
- полуамплитуду лучевой скорости:

$$K = (V_{max} - V_{min}) / 2$$

Связь с элементами орбиты:

$$A(\text{км}) \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K(\text{км/с}) T(\text{сут})$$

$$\text{Если SB2, то: } A_1/A_2 = K_1/K_2$$

Зависимость формы кривой лучевых скоростей от  $e$  и  $\omega$

## Спектрально-двойные звёзды: определение масс

★ SB2 — с двойными линиями

$$\checkmark M_2/M_1 = A_1/A_2 = K_1/K_2$$

$$\begin{array}{l} A_1 \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K_1 T \\ + \\ A_2 \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K_2 T \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} A_1 \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K_1 T \\ + \\ A_2 \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K_2 T \end{array}} \right\} \begin{array}{l} A \sin i = 13751 (1 - e^2)^{0.5} K T \\ A = A_1 + A_2 \\ K = K_1 + K_2 \end{array}$$

С учетом 3-го закона Кеплера:  $(M_1 + M_2) T^2/A^3 = const$

$$\checkmark (M_1 + M_2) \sin^3 i = 10385 \cdot 10^{-11} (1 - e^2)^{1.5} K^3 T$$

$$M_1 \sin^3 i = 10385 \cdot 10^{-11} (1 - e^2)^{1.5} K^2 K_1 T$$

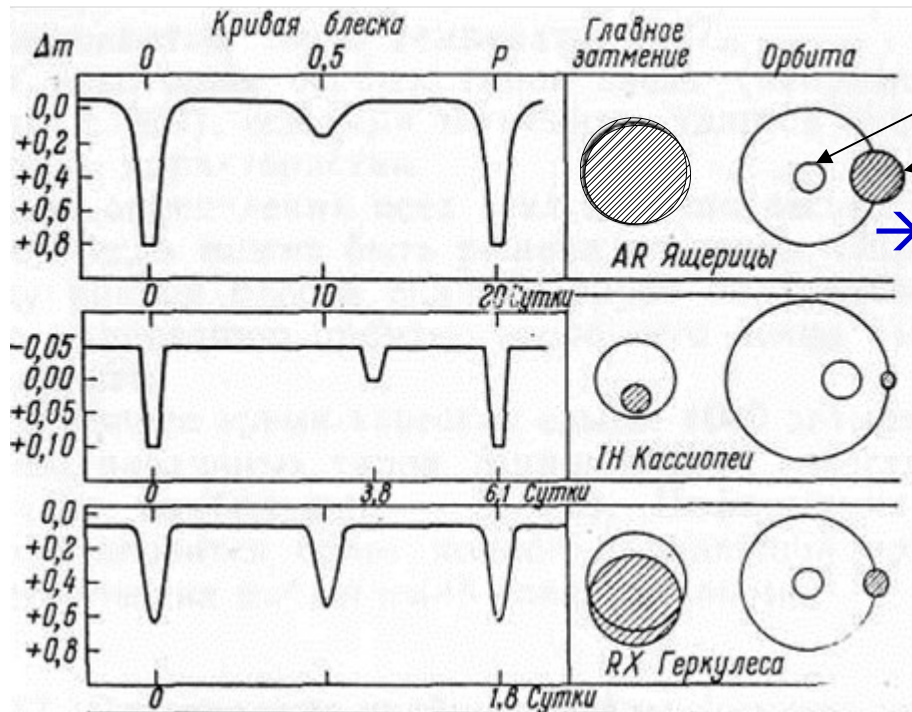
$$\left\{ \begin{array}{l} M(M_{\text{sun}}) \\ K(\text{км/с}) \\ T(\text{сут}) \end{array} \right.$$

★ SB1 — с одним спектром

Можно только функцию масс (исключаем  $K$  из формул):

$$(M_2 \sin i)^3 / (M_1 + M_2)^2 = 10385 \cdot 10^{-11} (1 - e^2)^{1.5} (K_1)^3 T$$

# Затменные переменные звёзды



горячая,  $r_1$   
 холодная,  $r_2$   
 → к наблюдателю

орбита  
 эллипс

орбита  
 круг

- круг. орбита,  $\Phi_2 = 0.5$
- $r_1 < r_2$
- глубокий глав. min

- $r_1 > r_2$
- мелкий глав. min

- $r_1 \approx r_2, L_1 \approx L_2$
- похожие мин.

- ★ Кривая блеска - изменение  $m$  или  $L$  со временем. Зависит от геометрии затмения - орбиты ( $i, e, \omega$ ), относит.размеров - и от соотношения  $L_1$  и  $L_2$
- ★ Главный минимум ( $\Phi_1 = 0$ ) — затмение первичной компоненты.
- ★  $\Phi$  — фаза, доля периода  $T$ .

Элементы фотометр. орбиты  $i, e, \omega, r_1/A, r_2/A, L_1/L, L_2/L$  из анализа = решения кривой.

Нельзя получить  $A$  и  $\Omega$ .

- Можно изучать
- несферичность компонент,
  - потемнение диска к краю.

# Затменные и спектрально-двойные звёзды

## Наиболее полное изучение системы

- ✓ Анализ кривой блеска → наклон  $i$ ,  
относит. радиусы  $r_1/A$ ,  $r_2/A$
- ✓ Если SB2, то →  $M_1, M_2, A_1, A_2, A, r_1, r_2$  (км)



## Особенности эволюции двойных систем

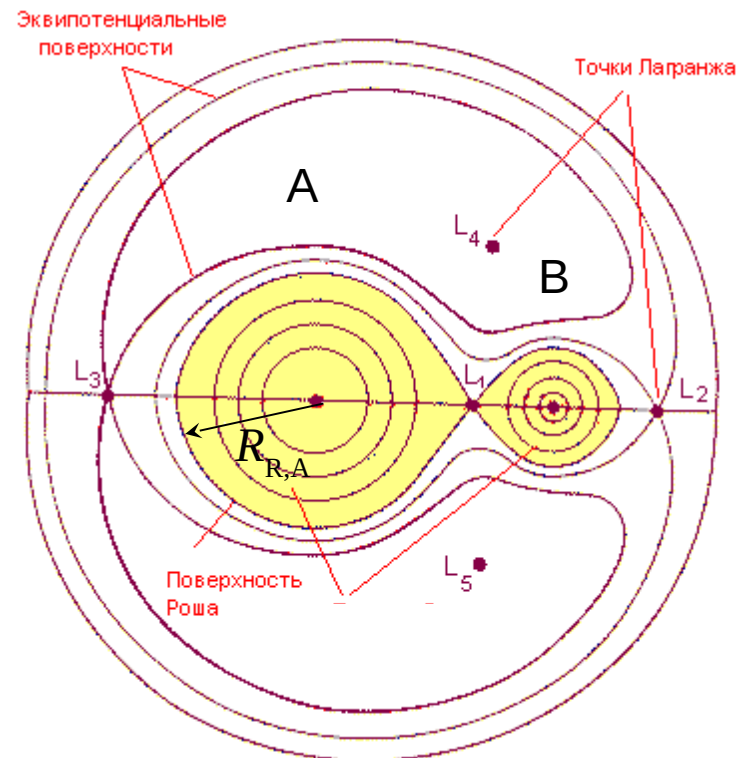
- Стадия ГП — как у одиночных звёзд
- Первичная компонента (А,  $M_A > M_B$ ) достигает стадии красного гиганта.

Если широкая пара и  $R_A < R_{R,A}$ , то  
без особенностей.

Если тесная пара,  $R_A = R_{R,A} \rightarrow$   
перетекание вещества на В.

$R_B < 1/3 R_{R,B}$ ,  
аккреционный  
диск (АД)

$R_B \approx R_{R,B}$ ,  
общая оболочка



Полость Роша —  
эквипотенциальная  
поверхность,  
содержащая точку  $L_1$ .

Эволюция ТДС даёт разнообразие нестационарных объектов  
в зависимости от массы компонент — катаклизмические, W-R

# Катаклизмические переменные: иррегулярные вспышки

Тесные двойные: белый карлик + М звезда ГП или гигант

## ★ Новые звезды (N)

- Рост блеска на  $\sim 12^m$  за несколько суток.

Абсорбционные линии, смещение в УФ.

- Небулярная стадия (через неск.лет)

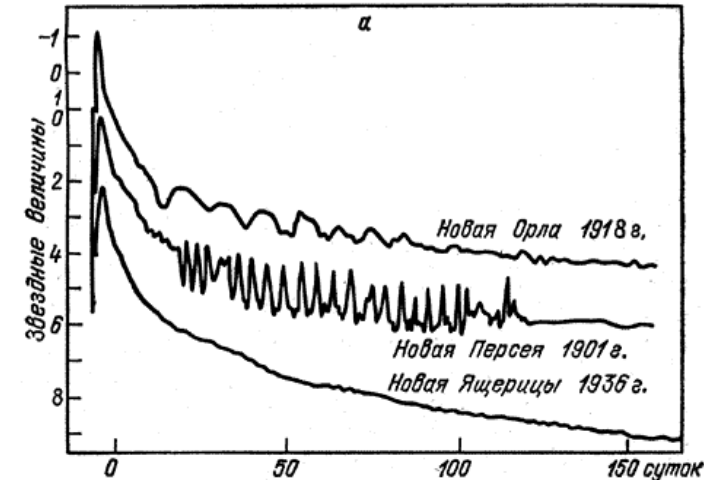
расширяющаяся оболочка,  $V \sim 1700$  км/с,

эмиссионные линии H, He II.

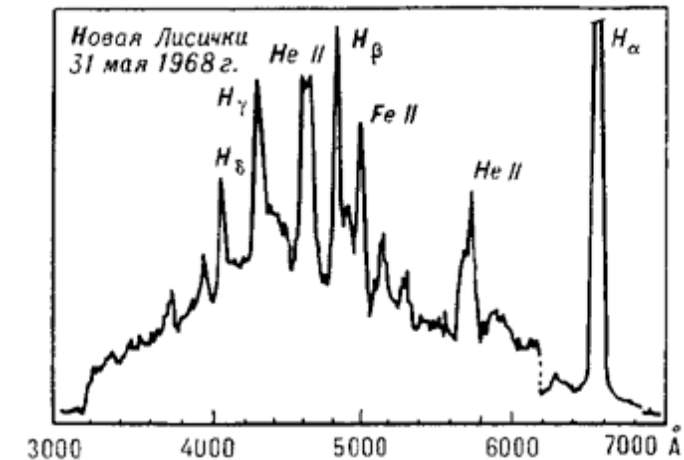
$M_{\text{обол}} \sim 10^{29}$  г, кинет.энергия  $\sim 10^{46}$  эрг.

**Физика:** аккреция на БК  $\rightarrow$  крит. масса  
аккрец. газа  $\rightarrow$  взрыв. горение H  $\rightarrow$   
сброс оболочки из продуктов горения.

Возможно повторение процессов,  
 $\sim 1000$  лет.



Кривые блеска Новых



Спектр на небулярной стадии

## ✦ Повторные новые

Меньше энергия вспышки.

## ✦ Карликовые новые (типа U Gem)

Изменение блеска на 4-5<sup>m</sup>, повторение через 50-100 сут.

Нестабильность АД, падение газа на БК.

## ✦ Поляры (AM Her, 1976)

- Поляризация излучения (до 35%).

- ***V*** до  $\sim 10^9$  Гс

- Орбитальные = периоды вращения

~ 1.5 - 4 час.

- АД не формируется,

излучение из аккреционной колонны



Области излучения полюса (схема)

## ★ Сверхновые типа Ia (термоядерные SN)

- *Кривые блеска* похожи: резкий подъем на дес. величин, в максимуме  $M_B = -19.5 \text{ mag}$ , спад на 3 mag за 25-40 сут., медленное падение блеска. SN Ia наблюдаются в разного типа галактиках и используются для определения расстояний до них.
- *Спектры*: нет линий водорода, линии поглощения металлов, широкие и смещенные ( $V \sim 5 - 15 \text{ тыс. км/с}$ ) в УФ.

## Финальная стадия эволюции двойных с $M = 4-8 M_{\text{sun}}$

Два сценария, нет окончательного решения.

- ★ **A** - эволюция быстрее, на стадии КГ заполняет пол. Роша, теряет оболочку → БК, когда **B** на стадии КГ заполняет пол. Роша → аккреция на БК. Масса БК превышает  $M_{\text{Ch}}$ , быстрое (взрыв) горение C и O → полное разрушение БК → синтез эл-тов группы Fe.
- ★ Слияние двух БК → взрыв → полное разрушение → синтез Fe.