

Общая астрофизика

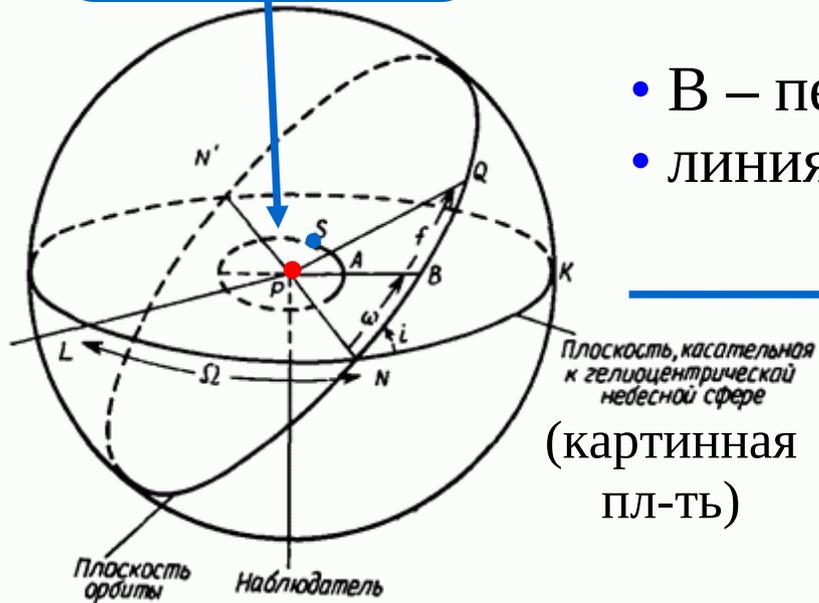
2. Звёзды

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



Плоскость, касательная
к гелиоцентрической
небесной сфере
(картинная
пл-ть)

Плоскость
орбиты

Наблюдатель

P, S

первичная и вторичная
компоненты в проекции
орбиты,

PL — направление на
северный полюс мира

Орбиты двойных звёзд

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

Элементы орбиты:

A - большая полуось,

e - эксцентриситет,

i - наклонение орбиты,

T - период,

Ω – позиционный угол восходящего узла,

ω – долгота периастра,

τ – момент прохождения периастра

Условия наблюдения двойных звёзд

a'' — большая полуось проекции орбиты

Δ'' — 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 α 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,

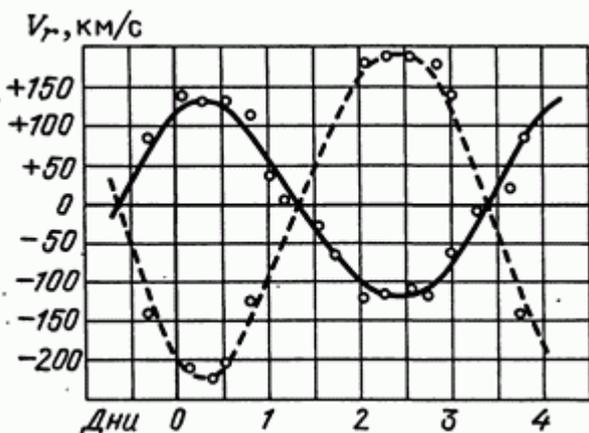
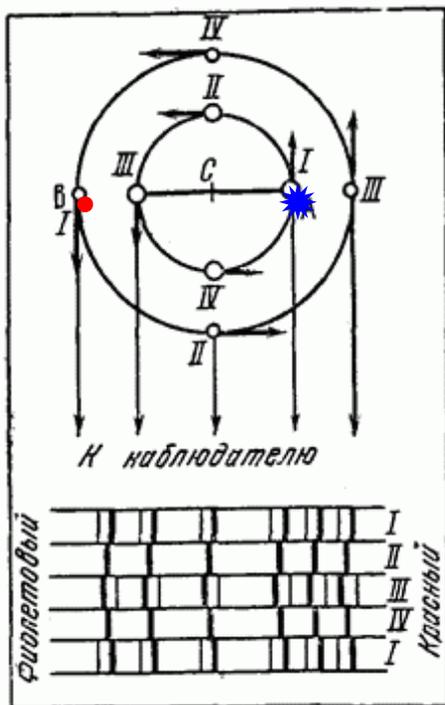
ведёт к смещению спектр. линий: $\lambda - \lambda_0 = V_r \lambda_0 / c$

V_r - проекция скорости на луч зрения,

Колебание около λ_0 - с периодом T .

Для компонент А и В знак V_r противоположен.

Линии в спектре раздваиваются.



α 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 , ω и массы звёзд.

SB2 — с линиями обеих компонент;

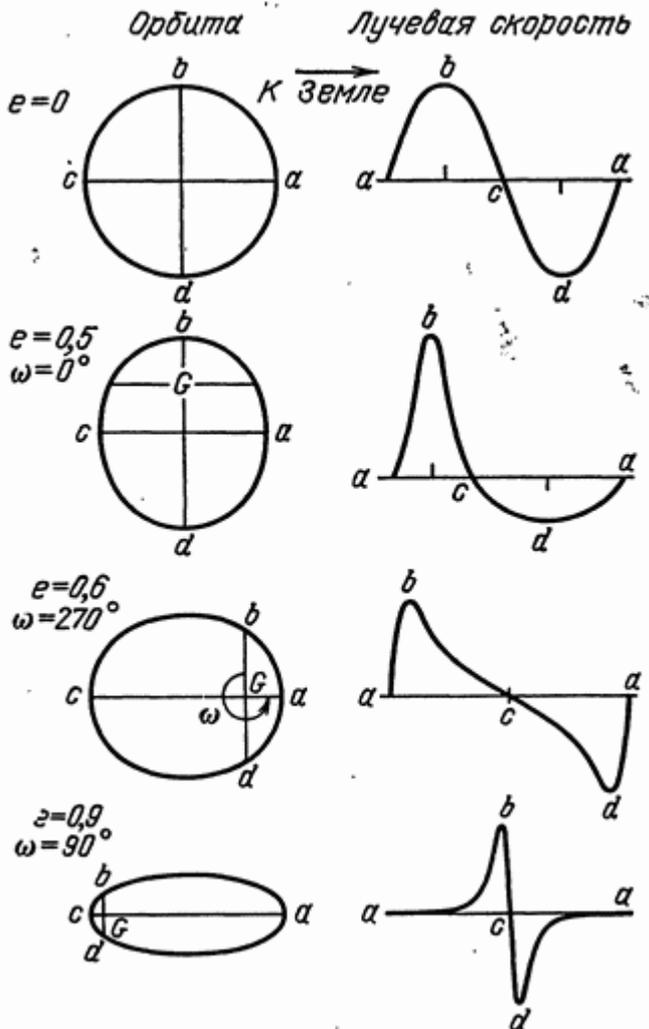
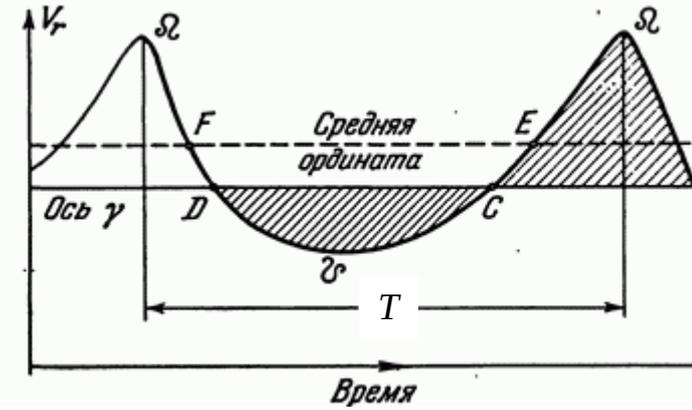
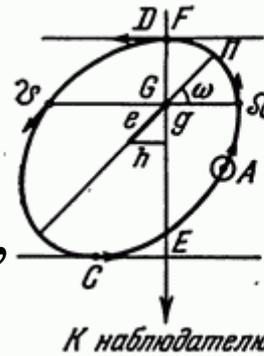
SB1 — линии одной компоненты, если
светимости компонент очень различны.

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 ω

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: $(M_1 + M_2) T^2/A^3 = const$

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

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

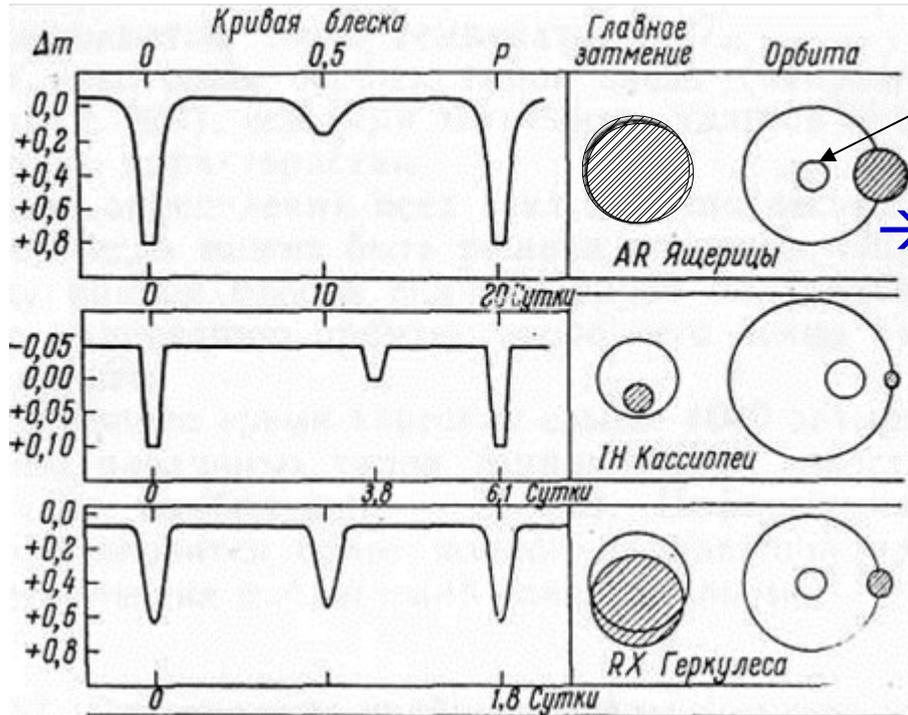
$$\left\{ \begin{array}{l} M(M_{\text{sun}}) \\ K(\text{км/с}) \\ T(\text{сут}) \end{array} \right.$$

★ 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, ω), относит. размеров - и от соотношения L_1 и L_2
- ★ Главный минимум ($\Phi_1 = 0$) — затмение первичной компоненты.
- ★ Φ — 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 Ω .

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

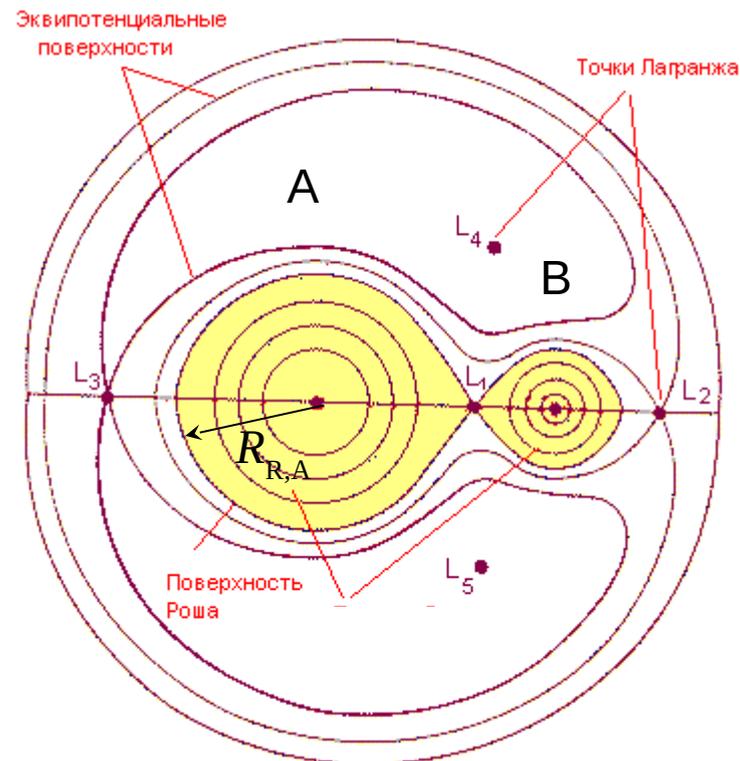
- Стадия ГП — как у одиночных звёзд
- Первичная компонента (А, $M_A > M_B$) достигает стадии красного гиганта.

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 —
экипотенциальная
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)

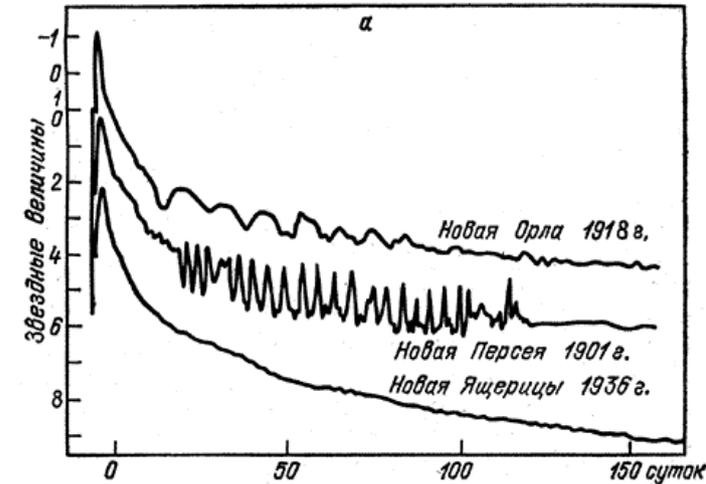
расширяющаяся оболочка, $V \sim 1700$ км/с,

эмиссионные линии H, He II.

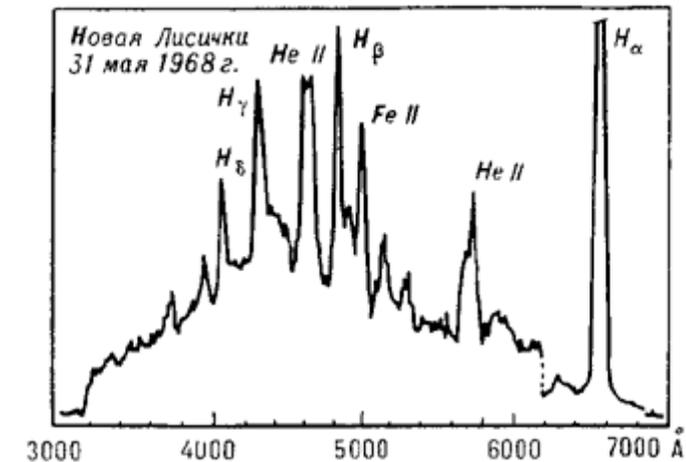
$M_{\text{обол}} \sim 10^{29}$ г, кинет.энергия $\sim 10^{46}$ эрг.

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

Возможно повторение процессов,
 ~ 1000 лет.



Кривые блеска Новых



Спектр на небулярной стадии

✦ Повторные новые

Меньше энергия вспышки.

✦ Карликовые новые (типа U Gem)

Изменение блеска на 4-5^m, повторение через 50-100 сут.

Нестабильность АД, падение газа на БК.

✦ Поляры (АМ Нег, 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_{Ch} , быстрое (взрыв) горение C и O → полное разрушение БК → синтез эл-тов группы Fe.
- ★ Слияние двух БК → взрыв → полное разрушение → синтез Fe.