36. End- und Spätstadien der Doppelsternentwicklung

36.1. Klassifizierung

a) Endstadien der Einzelsternentwicklung: siehe auch Abschnitt 25

▶ Endstadium = Zustand nach Beendigung der nuklearen Entwicklung

→ Weisse Zwerge, $M_{WZ} < M_{CH} \approx 1.4 M_\odot$, $M_i \lesssim (6 \pm 2) M_\odot$

Neutronensterne, $M_{CH} \lesssim M_{NS} \lesssim 2.5 M_\odot$, $(6 \pm 2) M_\odot \lesssim M_i \lesssim 25 M_\odot$

Schwarze Löcher, $M_{BH} \gtrsim 2.5 M_\odot$, $M_i \gtrsim 25 M_\odot$

b) Endstadien der Doppelsternentwicklung:

∃ 3 Klassen von Doppelsternen, die man als Endstadien ansehen kann:

▶ 1. Möglichkeit: Beide Komponenten haben ihre nukleare Entwicklung beendet

→ damit gibt es folgende Kombinationen

getrennte Systeme:

M_1 \ M_2	WZ	NS	BH
WZ	≳19 Systeme beobachtet		
NS	Millisekunden-Pulsare (~35)	Millisekunden-Pulsare (~3)	
BH	nicht beobachtet	nicht beobachtet	nicht beobachtet

halbgetrennte Systeme

M_1 \ M_2	WZ	NS	BH
WZ	Kataklysmische Doppelsterne (~8)		
NS	Subtyp der LMXBs (~5)	nicht zu erwarten *	
BH	nicht beobachtet	nicht zu erwarten *	nicht zu erwarten *

* zu kurze Lebensdauer

▶ 2. Möglichkeit : Eine Komponente hat ihre nukleare Entwicklung beendet, die nukleare Zeitskala der anderen Komponente ist viel länger als die Zeitskala der orbitalen Entwicklung

→ für die zweite Komponente kommt praktisch nur ein Stern mit sehr langer nuklearer Zeitskala infrage : → massearmer HR-Stern, $M \lesssim 1 M_\odot$

→ damit gibt es folgende Kombinationen :

getrennte Systeme :

M_2 \ M_1	WZ	NS	BH
HR-Stern $M \lesssim 1 M_\odot$	"Präkataklysm." Doppelsterne (~50)	Millisekunden-pulsare (~5)	nicht beobachtet

halbgetrennte Systeme :

M_2 \ M_1	WZ	NS	BH
HR-Stern $M \lesssim 1 M_\odot$	Kataklysmische Doppelsterne ($\gtrsim$ 370)	LMXBs $1^h \lesssim P_{orb} \lesssim 16^h$ (~28)	LMXBs (~5)

▶ 3. Möglichkeit : Eine Komponente hat ihre nukleare Entwicklung beendet, die andere hat sie fast beendet

→ 2. Komponente
- Riese mit geringer Hüllenmasse
- AGB-Stern mit geringer Hüllenm.
- He-Stern, $M \lesssim 1 M_\odot$

nur halbgetrennte Systeme :

M_2 \ M_1	WZ	NS	BH
Riese, kleines M_c	Kataklysmische Doppelsterne (~8)	LMXBs (helle galaktische Bulge-Quellen) (~15)	LMXBs (~4)
AGB-Stern	nicht beobachtet	nicht beobachtet	nicht beobachtet
He-Stern $M \lesssim 1 M_\odot$	nicht beobachtet	LMXB (1)	nicht beobachtet

c) Spätstadien der Doppelsternentwicklung:

- charakteristisch: Eine Komponente hat ihre nukleare Entwicklung beendet, die andere noch nicht
  → ∃ viele verschiedene Typen von Systemen

- wichtigste Klasse: massereiche Röntgendoppelsterne
  = getrennte / beinahe halbgetrennte Systeme
  NS/BH + massereicher HR-Stern ($M \gtrsim 10 M_\odot$)
  (Röntgenstrahlung durch Akkretion auf die kompakte Komponente aus dem stellaren Wind des Begleiters)

36.2. Die wichtigsten End- und Spätstadien

(→ Ritter, H., Kolb, U. 1998, A&AS, 129, 83; http://www.mpa-garching.mpg.de/Binary/ukolb/ed6.html für CVs, LMXBs und getrennte Syst.)

a) Kataklysmische Doppelsterne:

- zahlenmässig die wichtigste Klasse: $\gtrsim 390$ Doppelsterne bekannt, ca. 10^3 als Doppelsterne vermutete Kataklysmische Variable bekannt, totale Anzahl in der Milchstrasse $\gtrsim 10^7$

- Entstehung durch massearmen Fall B oder Fall C (mit Massentransfer des Primärsterns an der HL) → Common-Envelope-Entwicklung → Abwurf der Common Envelope → getrenntes System (HR-Stern + WZ) mit sehr kurzer Umlaufszeit = Präkataklysmisches System → Drehimpulsverlust / nukleare Entwicklung → halbgetrenntes System = Kataklysmischer Doppelstern

b) Präkataklysmische Doppelsterne:

(getrennte Systeme aus HR-Stern + WZ, kurze Umlaufszeit, $0^d.1 \lesssim P \lesssim 10^d$)

- $\gtrsim 50$ Objekte bekannt, intrinsisch wahrscheinlich sehr häufig

- Entstehung: unmittelbare Vorläufer der Kataklysmischen Doppelsterne, → Entstehung wie diese

c) Massearme Röntgendoppelsterne (low-mass X-ray binaries) = LMXBs

- zahlenmässig kleine Klasse: ~ 60 Objekte als Doppelsterne nachgewiesen, ~ 80 weitere Objekte bekannt, totale Anzahl in der Milchstrasse $\gtrsim 130$, (viele transiente Quellen !)
- Entstehung: ist nicht im Detail geklärt, vermutlich mindestens z.T. aus Kataklysmischen Doppelsternen durch Akkretion auf den (massereichen, $M \approx M_{CH}$) Weissen Zwerg → "stiller" Kollaps des WZ → Neutronenstern, (weitere Akkretion: NS → BH).

d) Millisekunden-Pulsar-Doppelsterne

- bisher ~ 60 Systeme mit $P \lesssim 60$ ms bekannt
- Entstehung: rel. häufig in Kugelsternhaufen (~ 24 von ~ 60), mehrheitlich durch Einfang eines NS oder eines WZ mit anschliessender Akkretion und Typ I SN, wobei WZ → NS. Systeme in der Milchstrasse aus LMXBs oder aus CVs, wo durch Akkretion WZ → NS, d.h. CV → LMXB.
  Drehimpulsakkretion auf NS (mit kleinem magn. Moment) → Spin-up, → NS wird zum Pulsar, wenn ω_{spin} gross genug ($\hat{=}\ P_{spin} \sim 10^{-3}$ s).

e) Der Pulsar-Doppelstern PSR 1913+16 und ähnliche Objekte

- NS + NS, davon einer ein Pulsar, kurze Umlaufszeit, hohe Exzentrizität
- relativistisches Laboratorium (→ "Nachweis" von Gravitationswellen !)
- Entstehung: spezielles "Scenario" erforderlich

f) Massereiche Röntgendoppelsterne

- ≈ 100 Objekte bekannt, davon viele transiente Quellen
- Entstehung: durch (quasi-konservativen) massereichen Fall B → He-Stern ($M_{He} \gtrsim 2.5 M_\odot$) + massereicher HR-Stern → He-Stern mit $M \gtrsim 2.5 M_\odot$ → Supernova → NS/BH