

Struktura a kinematika galaxií

Bruno Jungwiert



Astronomical
Institute
of the Czech Academy
of Sciences

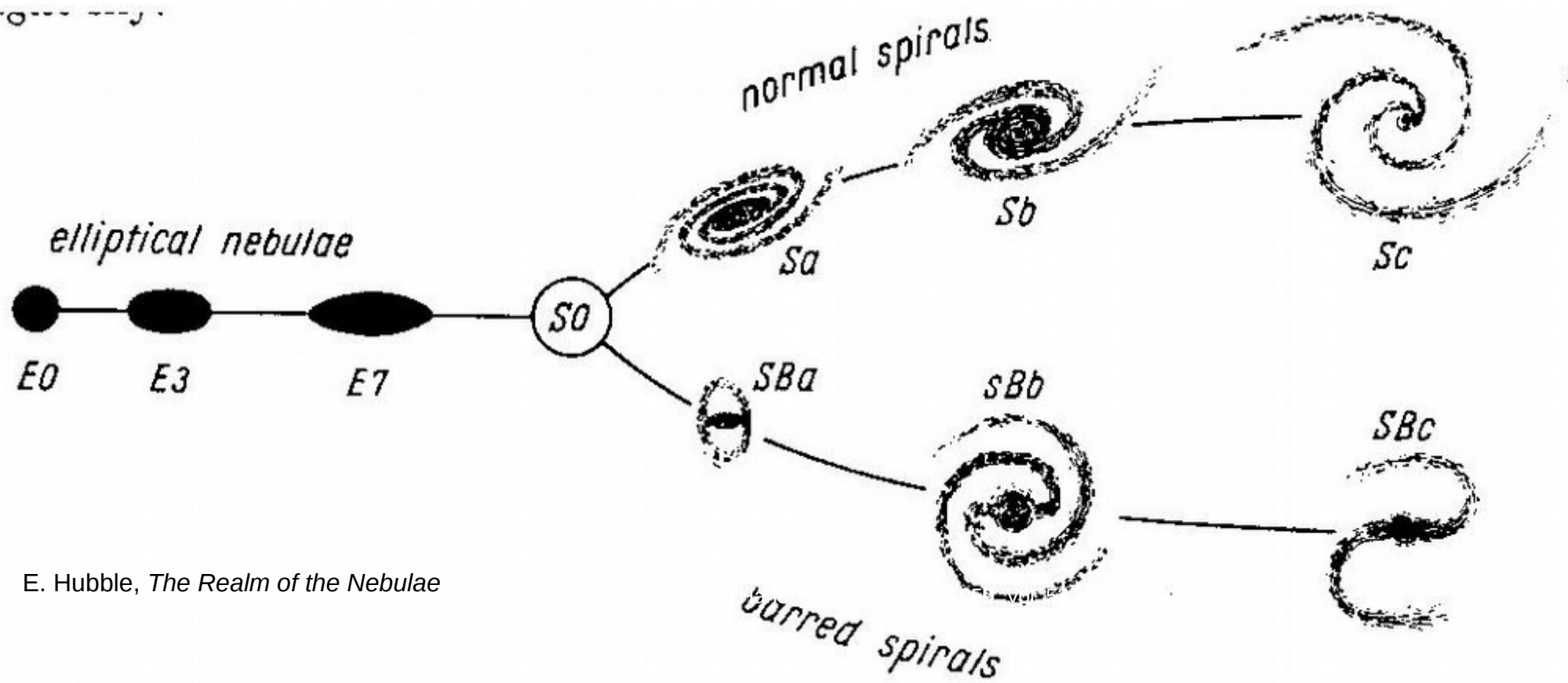
Přednášky č. 5 a 6 (26. 11. 2020)

- 1. Hubbleova a de Vaucouleursova klasifikace***
- 2. Příčky a prstence v diskových galaxiích***
- 3. Dráhy v osově nesymetrických potenciálech***
- 4. Lindbladovy resonance a korotační resonance***

1924, Galaxies and the „Great Debate”

1925, **The Hubble Sequence** (The Hubble classification of galaxies)
Edwin P. Hubble, Mt. Wilson, California

elliptical galaxies (E), lenticular galaxies (S0),
normal spirals (S), barred spirals (SB),
irregular galaxies (I)

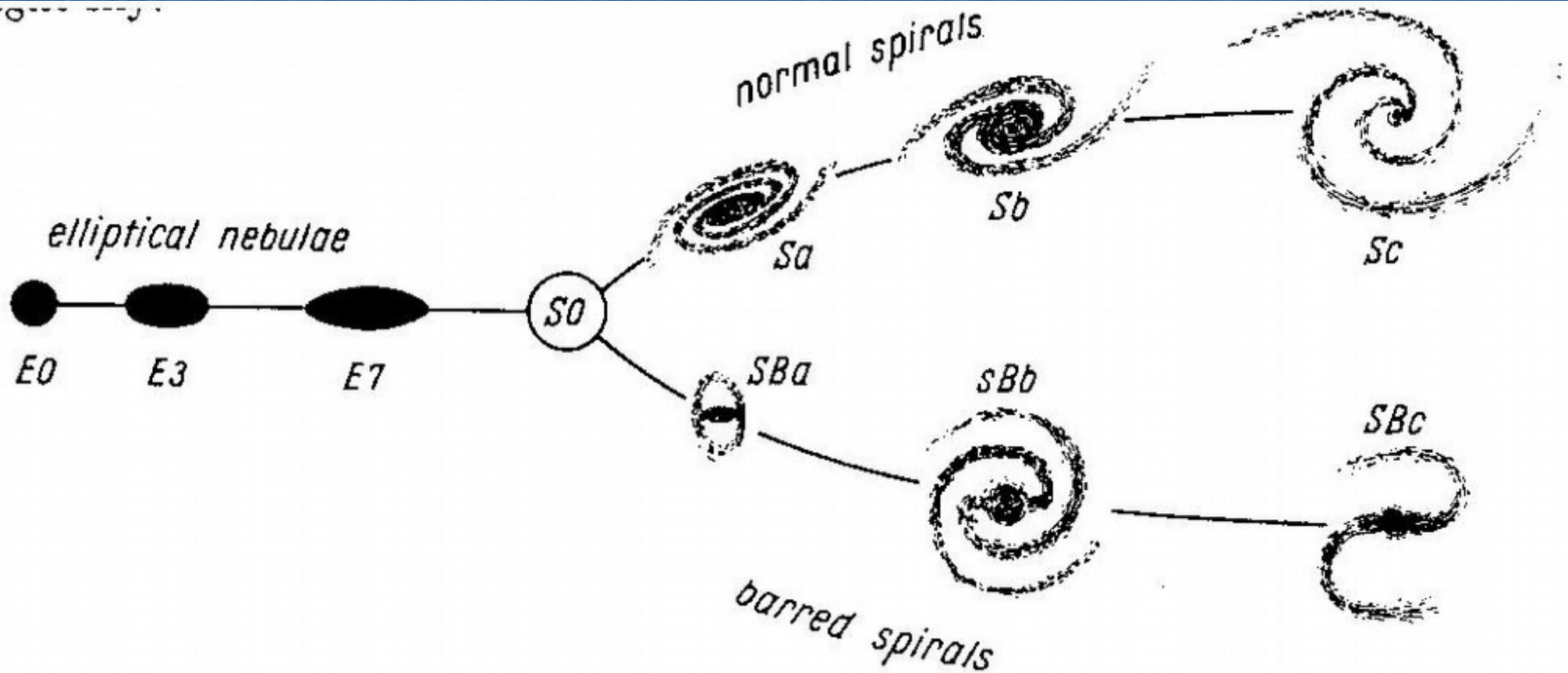


The Hubble tuning fork (1925, Mt. Wilson)

Elliptical (E), lenticular (S0), normal spiral (S), barred spiral (SB) and irregular galaxies (I)

E sub-types: E0 – E7, $n = 10(1 - b/a)$

S and SB sub-types: Sa, Sb, Sc and SBa, SBb, SBc





Spiral Galaxy Messier 83
(FORS / VLT)

ESO PR Photo 24b/05 (August 10, 2005)



Spiral Galaxy NGC 4565
(FORS / VLT)

ESO PR Photo 24a/05 (August 10, 2005)



elliptical galaxies,
normal spiral galaxies,
barred spiral galaxies

face-on views
edge-views

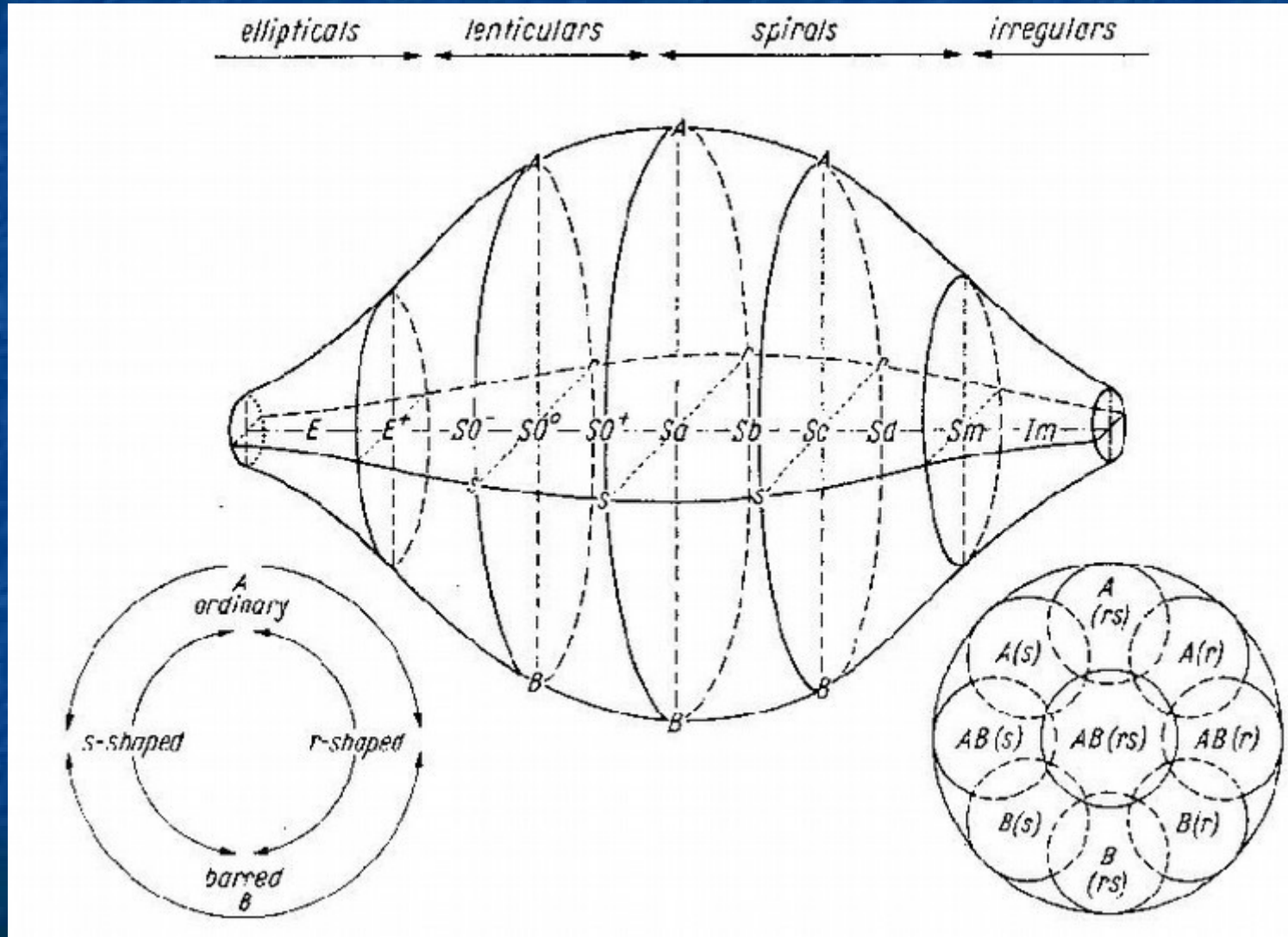


ESO PR Photo 07a/00 (22 February 2000)



The de Vaucouleurs classification (1959, 1964)

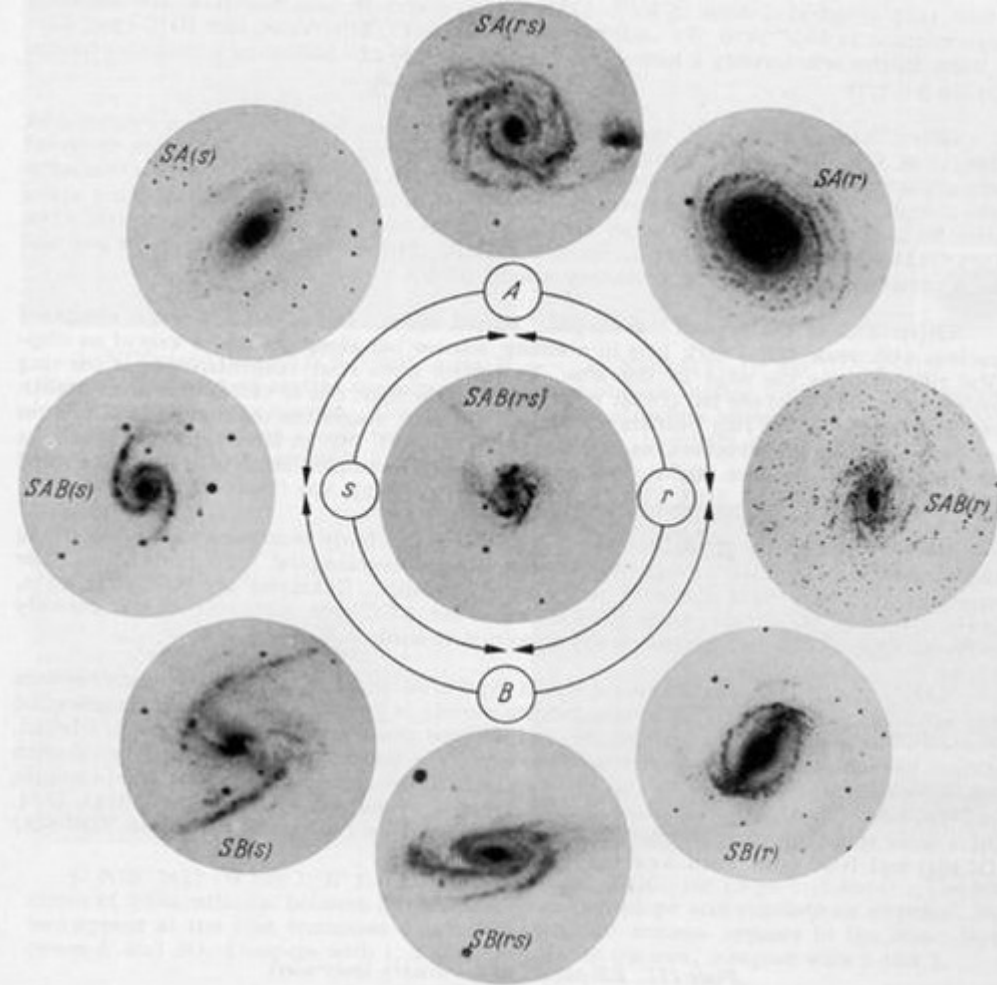
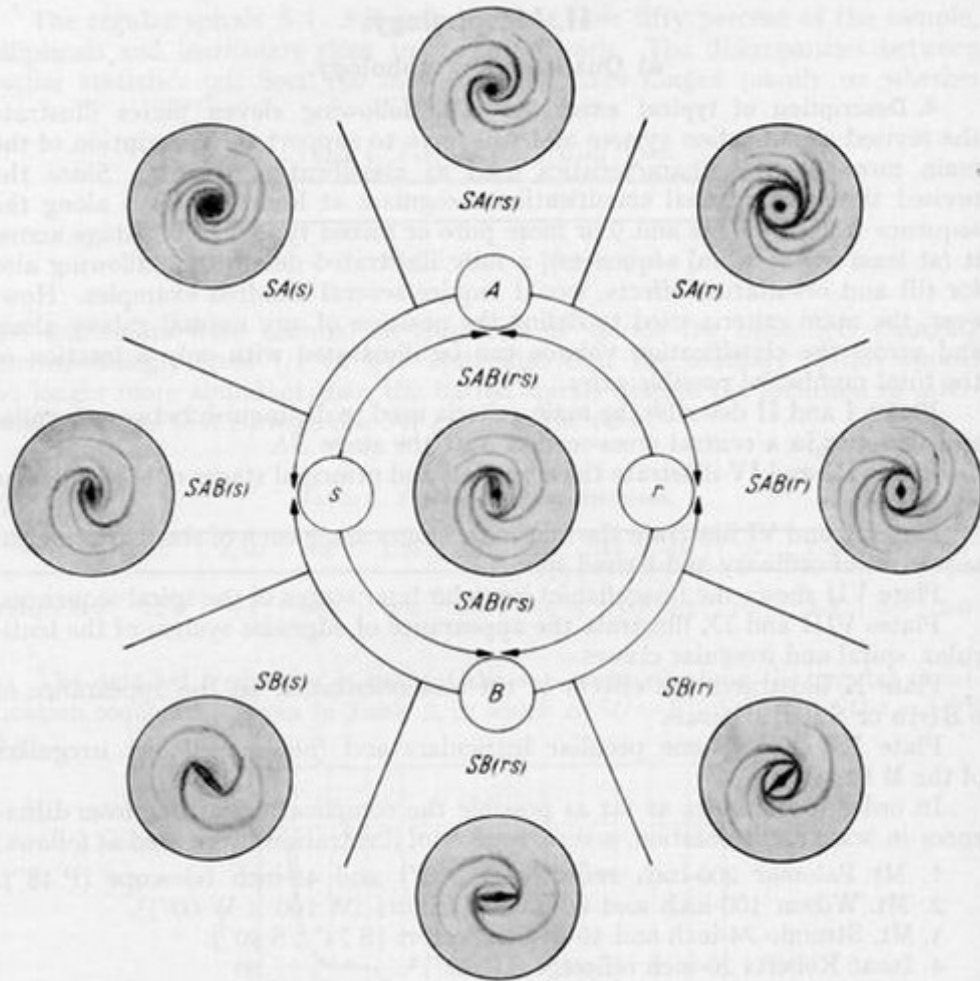
- classes E, S0, S, Im
- families A, AB, B
- varieties s, rs, r



from: G. de Vaucouleurs, Classification and Morphology of External Galaxies, Handbuch der Physik, 1959, Vol. 53, pp. 275-310

<http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Dev/frames.html>

De Vaucouleurs (1959)



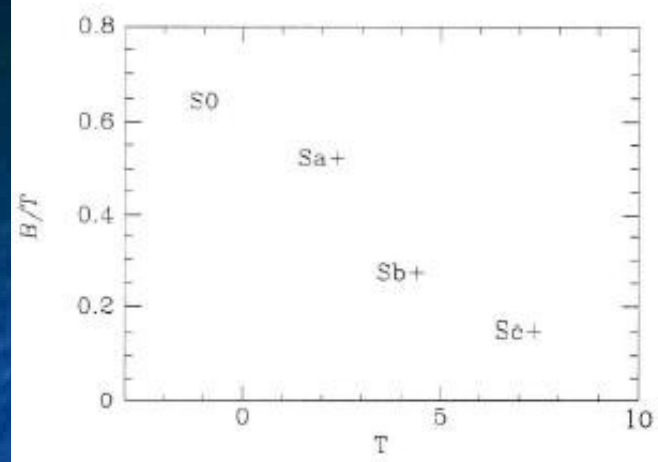
from: G. de Vaucouleurs, Classification and Morphology of External Galaxies, Handbuch der Physik, 1959, Vol. 53, pp. 275-310

<http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Dev/frames.html>

Bulges

M 104 SA(s)a
 NGC 4565 SA(s)b?

B/D – bulge-to-disk ratio
 $B/T = B/(B+D)$ – bulge-to-total
 luminosity ratio



(zdroj: Binney & Merrifield, Galactic Astronomy, kapitola IV)

Figure 4.51 The later the Hubble stage T of a disk galaxy, the smaller is its bulge fraction B/T . The plotted values are means. In individual values scatter significant about these means. [From data published in Kent (1985)]

SA(s)a



The Sombrero Galaxy (VLT ANTU + FORS1)



ESO PR Photo 07a/00 (22 February 2000)

© European Southern Observatory

SA(s)b



Spiral Galaxy NGC 4565 (FORS / VLT)



ESO PR Photo 24a/05 (August 10, 2005)

© ESO

Bars (příčky)

> 2/3 diskových galaxií mají příčku viditelnou v optickém oboru

typ SA: galaxie bez příčky ~1/3
typ SAB: galaxie se „slabou“ příčkou ~1/3
typ SB: galaxie se „silnou“ příčkou ~1/3

v blízké infračervené oblasti je frekvence příček > 80%

SAB(s)c



Spiral Galaxy Messier 83
(FORS / VLT)

SAB(rs)cd



Spiral Galaxy NGC 7424
(VLT MELIPAL + VIMOS)

SB(r'l)b



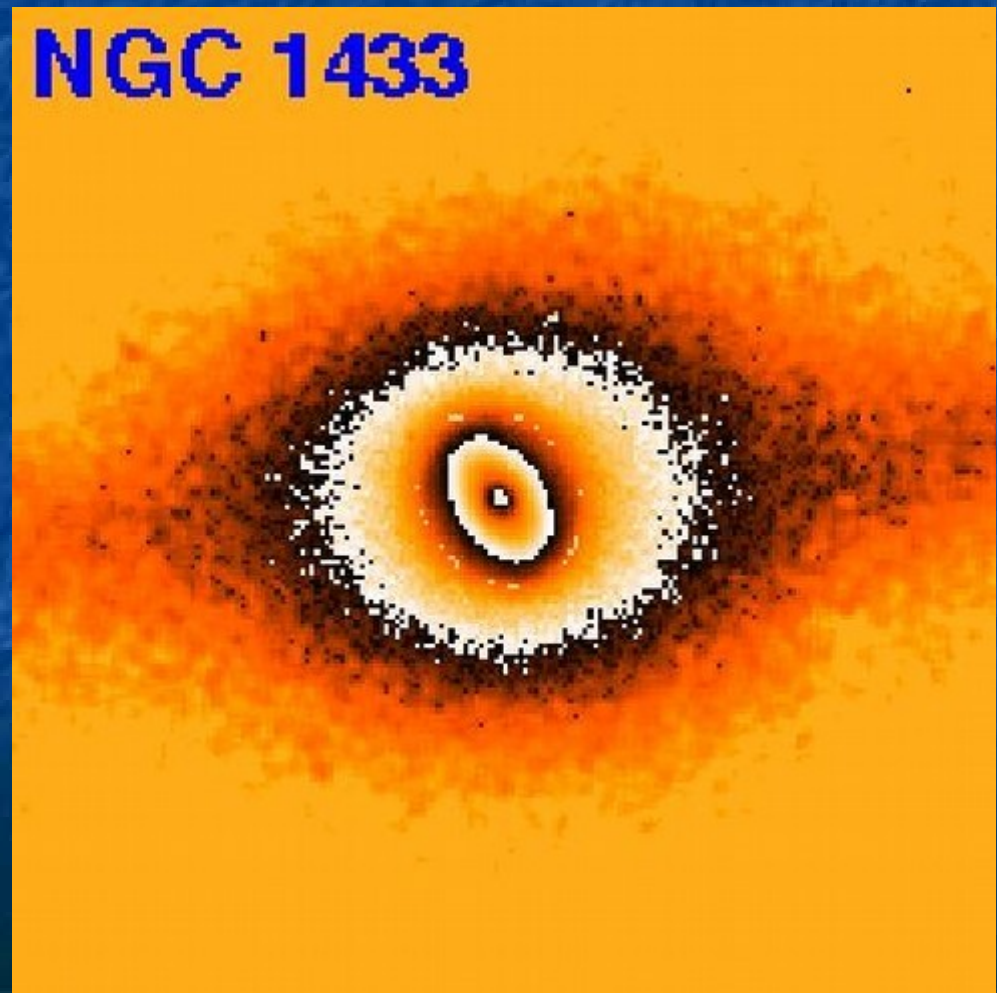
Spiral Galaxy NGC 1097
(VLT MELIPAL + VIMOS)

Dvojpríčky (double bars, bars-in-bars)
Nukleární příčky (nuclear bars, baby bars)

Double bar in NGC 1433 (R'_1 SB(rs)ab)

(B band, Buta & Combes 1996)

(H band, JCA, 1997)



Prstence (rings) a pseudo-prstence (pseudo-rings) v diskových galaxiích

označení:

- | | prstence | pseudo-prstence |
|--------------------|---------------|-------------------|
| - vnější (outer): | R, R_1, R_2 | R', R'_1, R'_2 |
| - vnitřní (inner): | r | rs (nebo r') |
| - nukleární: | nr | nr' |

Příklady vnějších a vnitřních prstenců

NGC 7020 (Buta & Combes 1996)
(R)SA(r)0⁺



The Colossal Cosmic Eye NGC 1350
(FORS/VLT)

ESO PR Photo 31a/05 (September 27, 2005)



(R'₁)SB(r)ab (Sy)

(R'₂)SAB(r)b



Spiral Galaxy ESO 269-57
(VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 26a/99 (30 April 1999)



© European Southern Observatory

Nukleární prstenec v NGC 1097

SB(r'l, nr)b



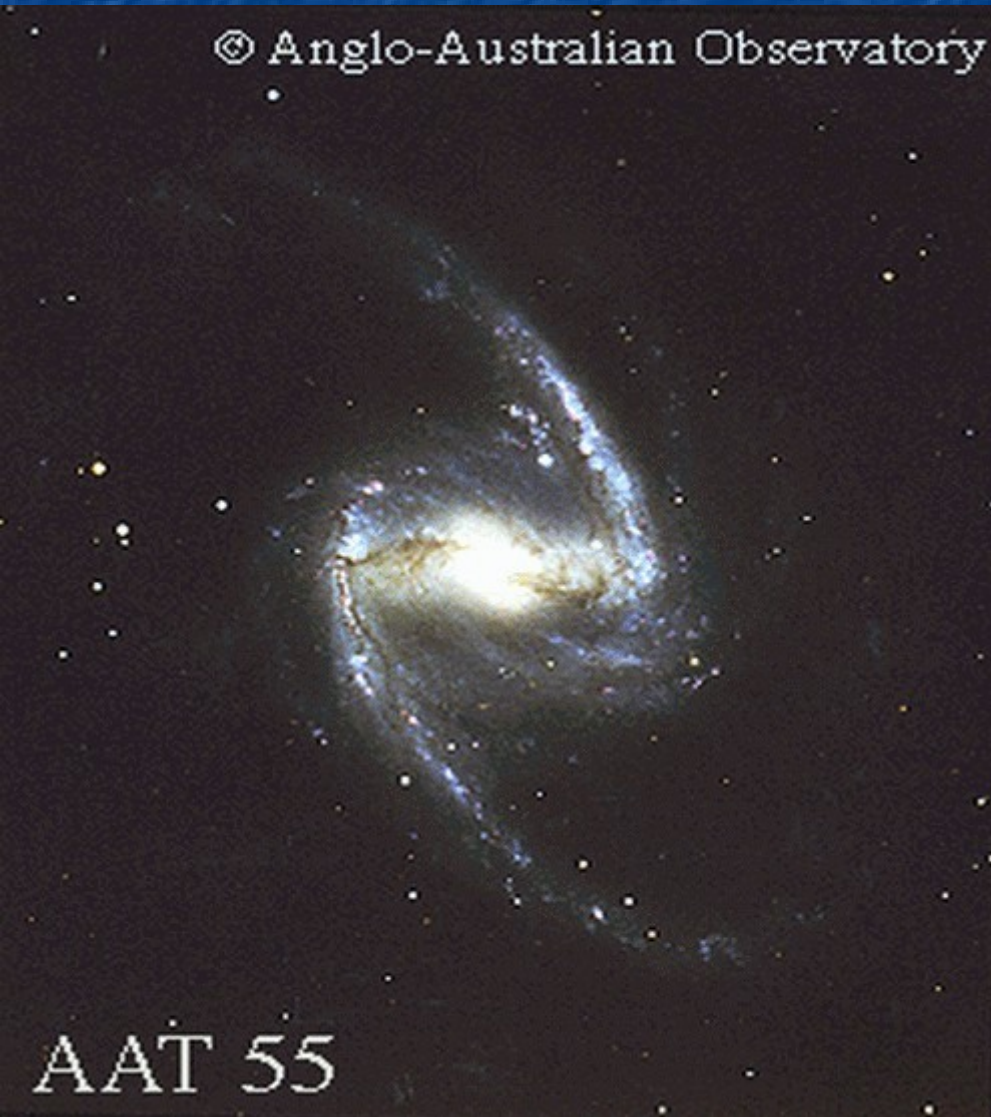
Spiral Galaxy NGC 1097
(VLT MELIPAL + VIMOS)



The Centre of the Active Galaxy NGC 1097
(NACO/VLT)

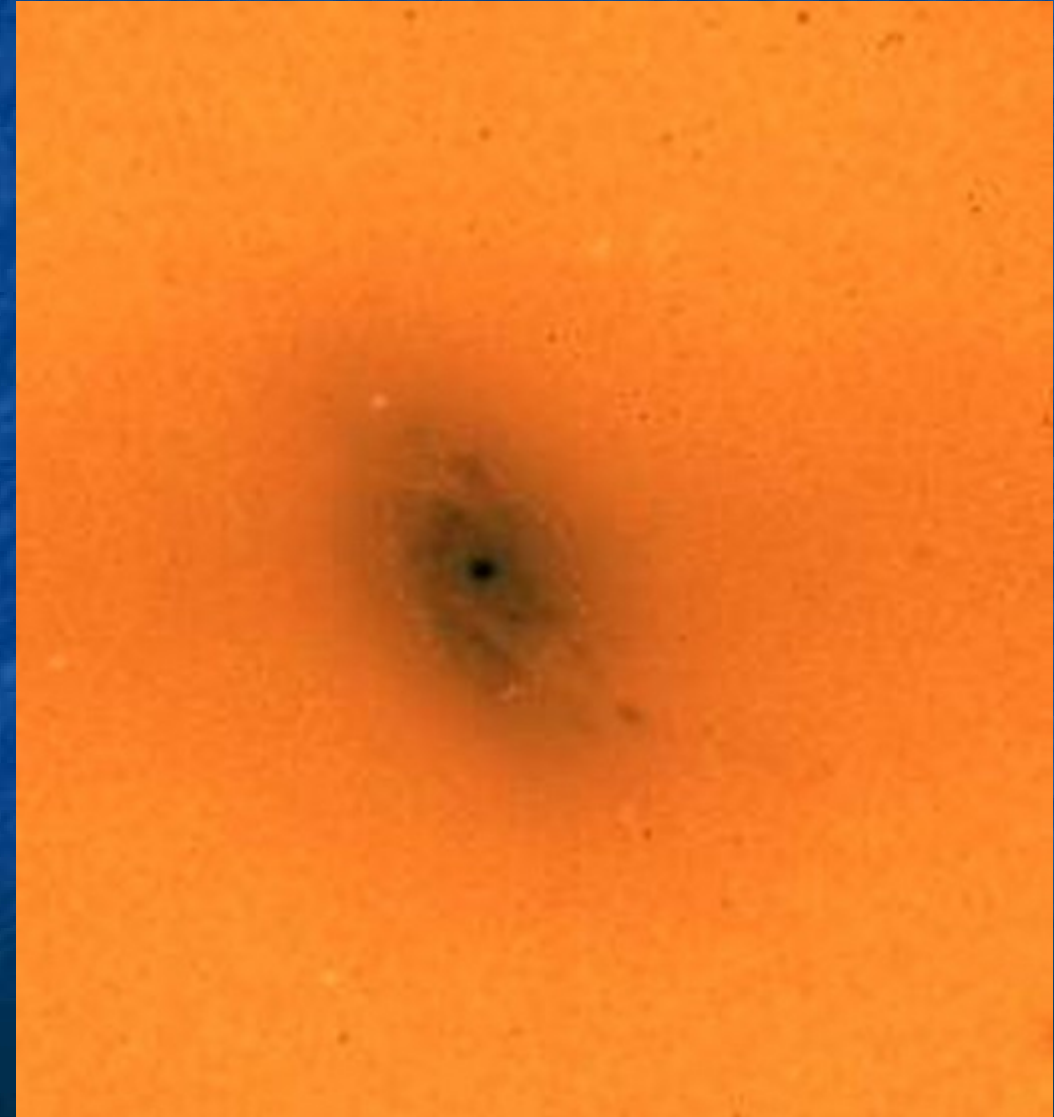
Nukleární spirály

NGC 1365, SB(s)b
optical image

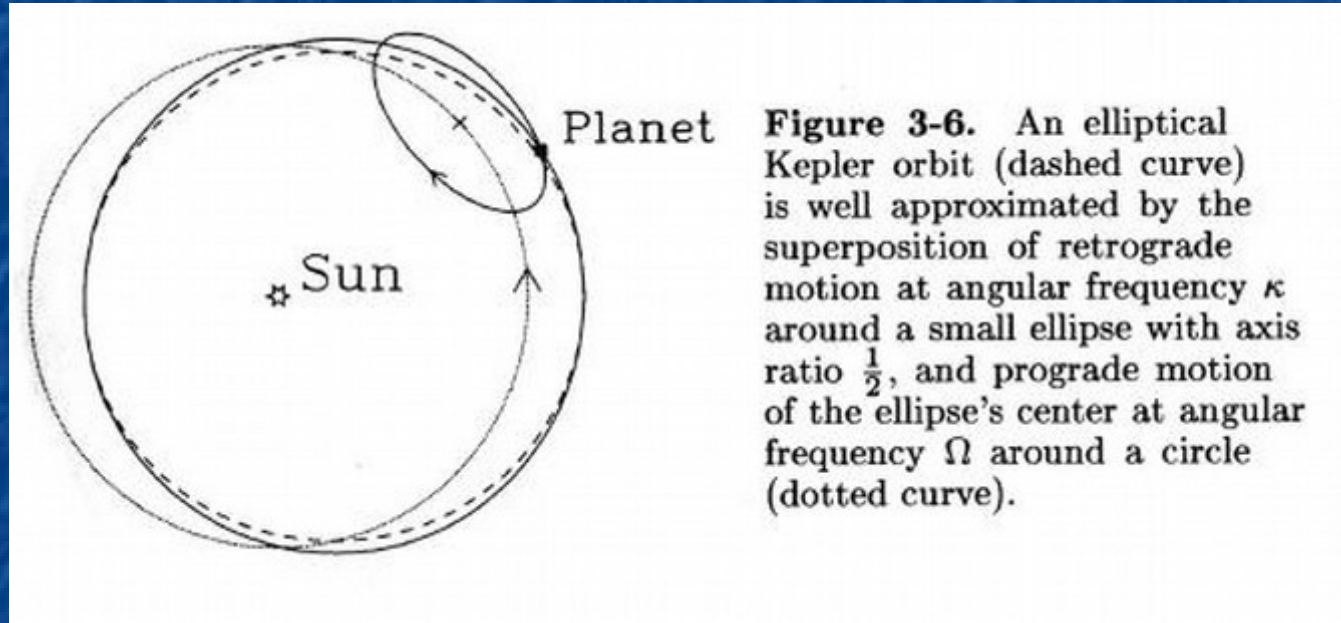


near-IR image (H-band)

(different scale; from JCA, 1997)



Epicyclic approximation for Keplerian orbits



from Binney and Tremaine 1987

3D rozety ve zploštělém osově symetrickém potenciálu – pohled v rotující meridionální rovině (R, z)

Rovinná (2D) rozeta ve sféricky symetrickém potenciálu

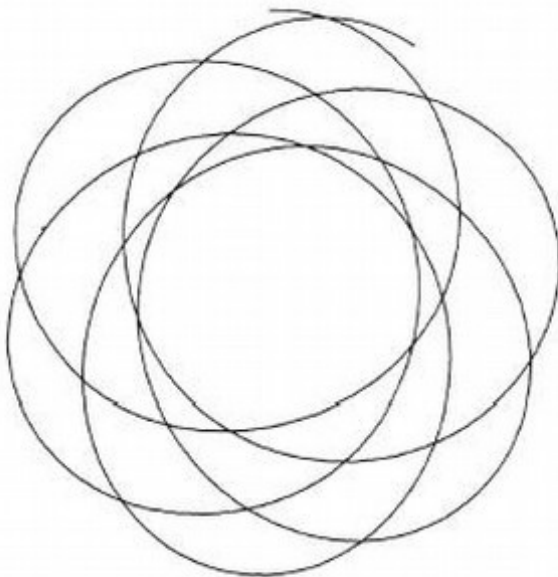


Figure 3-1. A typical orbit in a spherical potential forms a rosette.

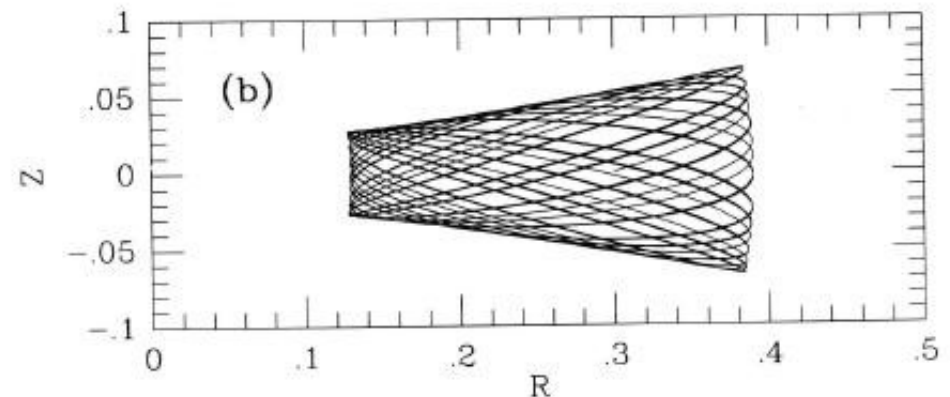
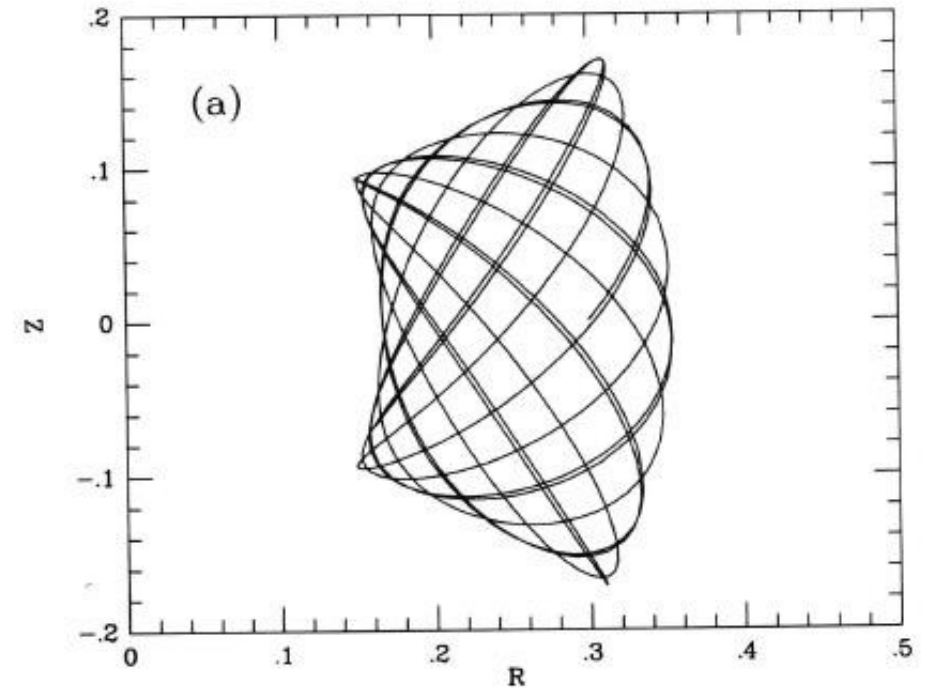


Figure 3-3. Two orbits in the potential of equation (3-50) with $q = 0.9$. Both orbits are at energy $E = -0.8$ and angular momentum $L_z = 0.2$, and we assume $v_0 = 1$.

Neperiodické smyčkové dráhy (*loop orbits*, deformované rozety) a krabicové dráhy (*box orbits*) v osově nesymetrickém nerotujícím potenciálu

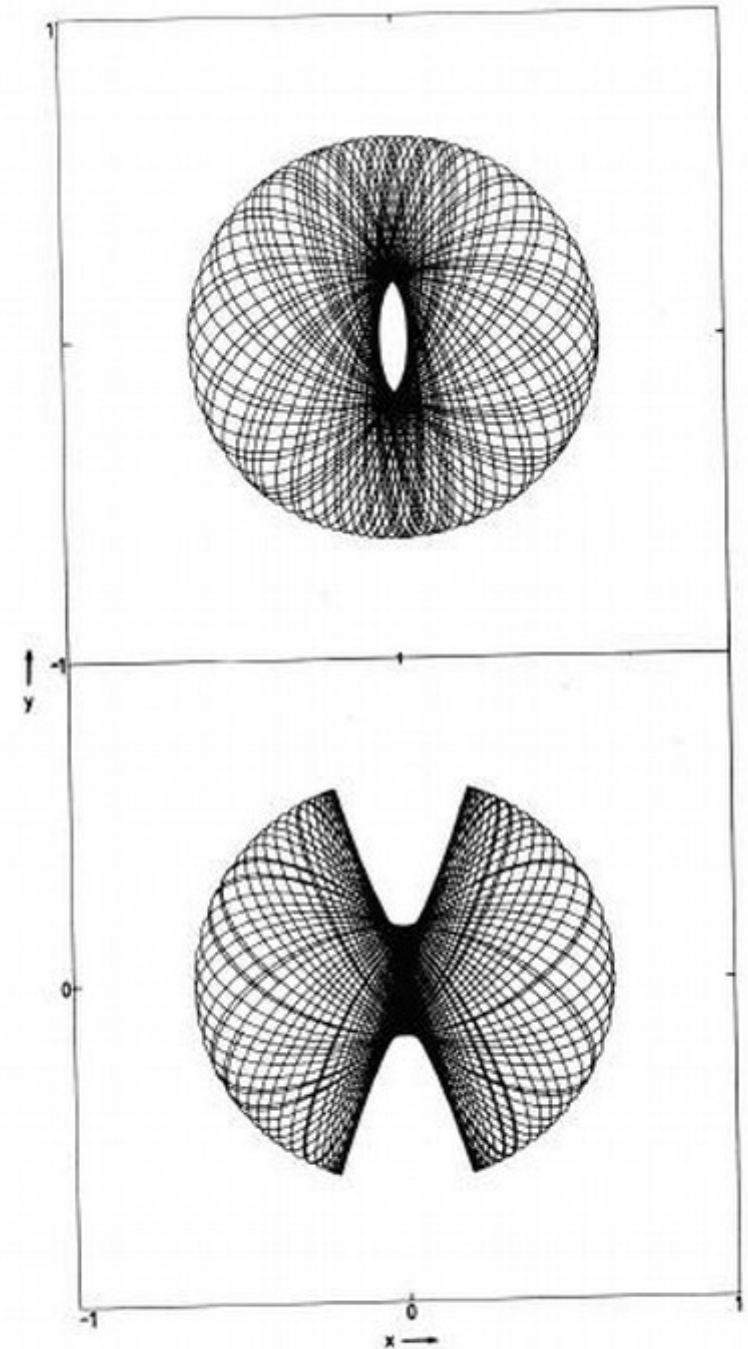
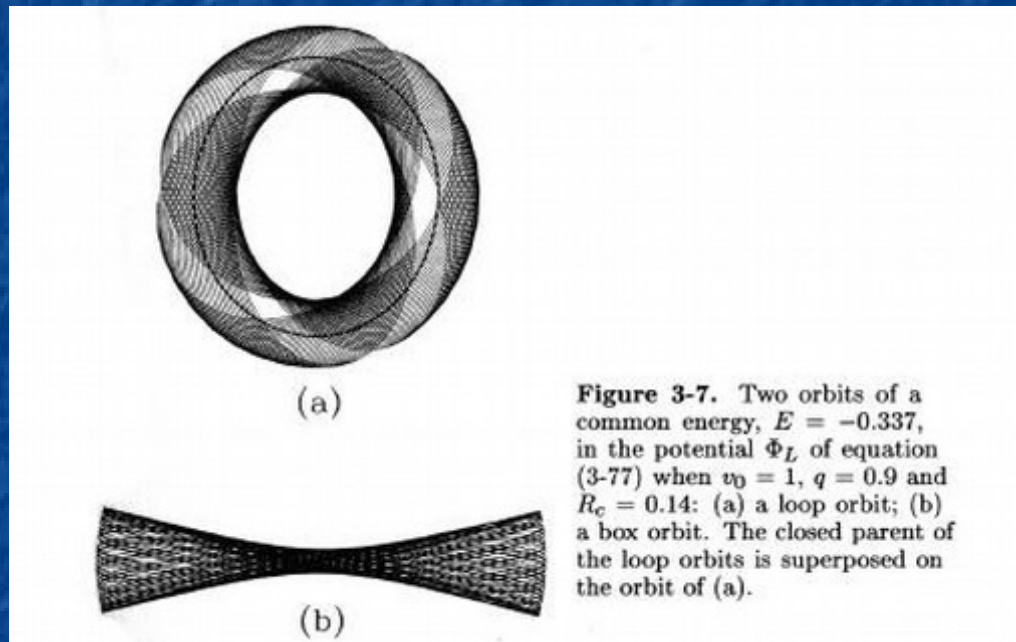


Figure 3-9. One of the most eccentric loop orbits and one of the least elongated box orbits in the potential $\Phi_L(q = 0.9, R_c = 0.14)$ at the energy of Figures 3-7 and 3-8.

POHYB ČÁSTICE (HVĚZDY / PLYNNÉHO MRAČNA) V NEOSOVĚ SYMETRICKÉM ROTUJÍCÍM POLI

$$\ddot{\vec{r}} = -\nabla\Phi(\vec{r}, t) \Rightarrow \text{PŘECHOD DO ROTUJÍCÍ SOUSTAVY}$$

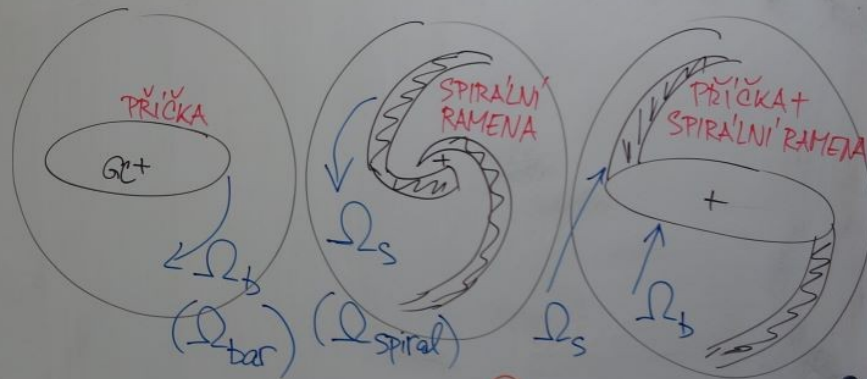
$$\Rightarrow \ddot{\vec{r}} = -\nabla\Phi(\vec{r}) - \vec{\Omega}_p \times (\vec{\Omega}_p \times \vec{r}) - 2\vec{\Omega}_p \times \dot{\vec{r}}$$

$$\ddot{\vec{r}} = -\nabla\phi_{\text{eff}}(\vec{r}) - 2\vec{\Omega}_p \times \dot{\vec{r}}$$

$$\phi_{\text{eff}} = \Phi + \frac{1}{2} |\vec{\Omega}_p \times \vec{r}|^2$$

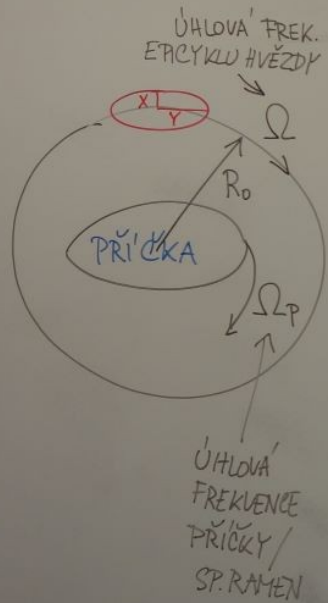
Integrál pohybu: $E_J = E - \vec{\Omega} \cdot \vec{L}$
(Jacobiho integrál)

$$\Phi = \Phi(\vec{r}, t) = \Phi(R, \varphi, z, t), \quad \frac{\partial\Phi}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial\Phi}{\partial\varphi} \neq 0$$



$$\Omega_{\text{pattern (vzor)}} \equiv \Omega_p = \begin{cases} \Omega_s \\ \Omega_b \end{cases}$$

EPICYKLICKÁ APROXIMACE V NEO SOUVĚ SYMETRICKÉM POTENCIÁLU (PŘÍČKA / SPIRÁLNÍ RAMENA)



$$R(t) = R_0 + \kappa(t)$$

$$\ddot{\kappa} + \mathcal{Z}^2 \kappa = f(R) \cos[2(\Omega - \Omega_p) \cdot t]$$

AMPLITUDA SÍLY PŘÍČKY (RAMEN) (ZÁVISÍ NA R)

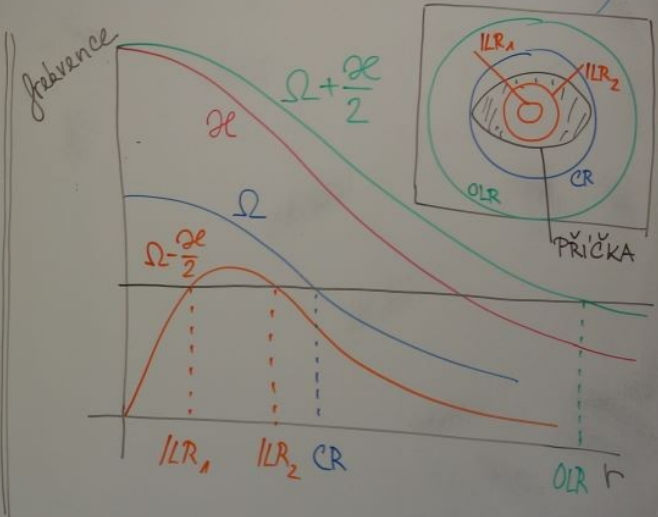
FREKVENCE NUCENÝCH KMITŮ

nebo:

$$\ddot{\kappa} + \mathcal{Z}^2 \kappa = f(R) \cos[m(\Omega - \Omega_p) \cdot t]$$

PRO PŘÍČKU NEBO 2 SPIRÁLNÍ RAMENA

PRO m SPIRÁLNÍCH RAMEN



REZONANCE:

1) $\Omega = \Omega_p$ (KOROTAČNÍ REZONANCE (KOROTACE))

2) $\mathcal{Z} = \pm 2(\Omega - \Omega_p)$ (LINDBLADOVY REZONANCE)

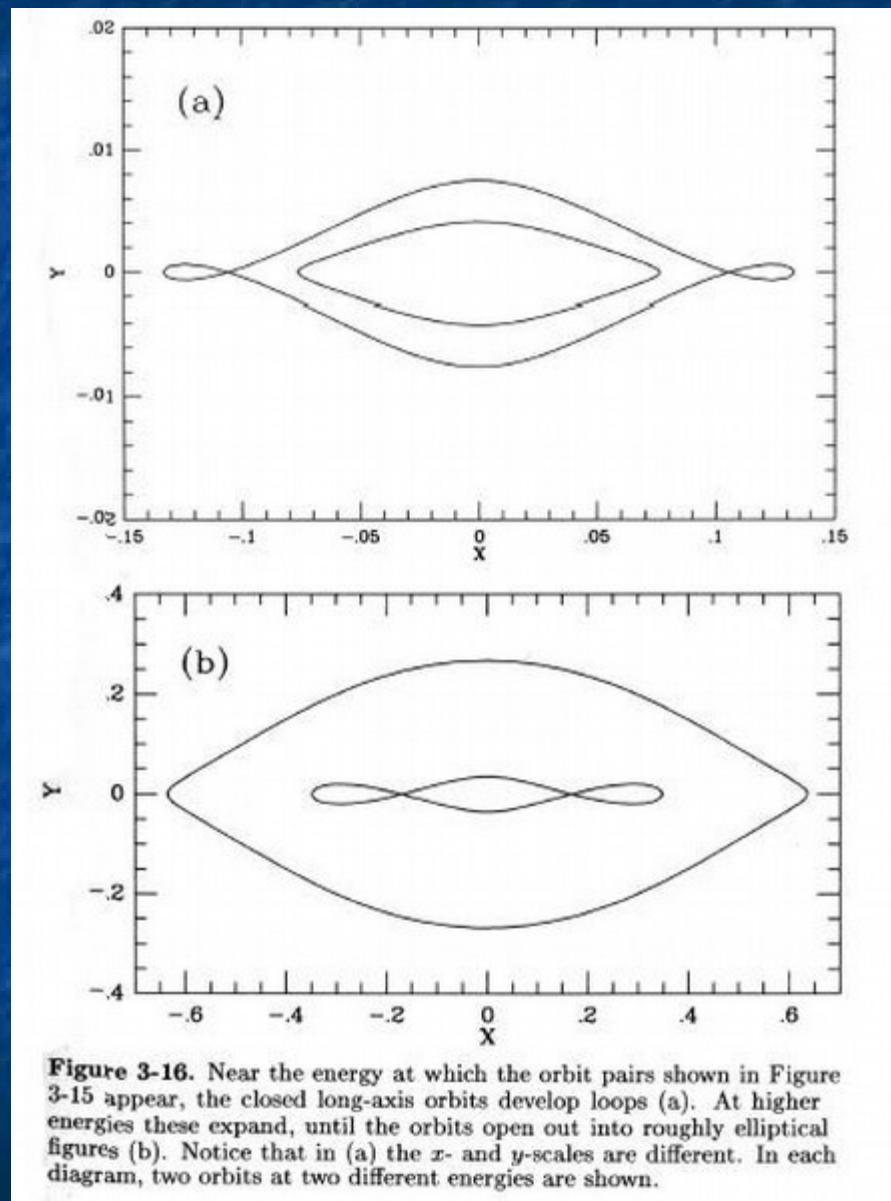
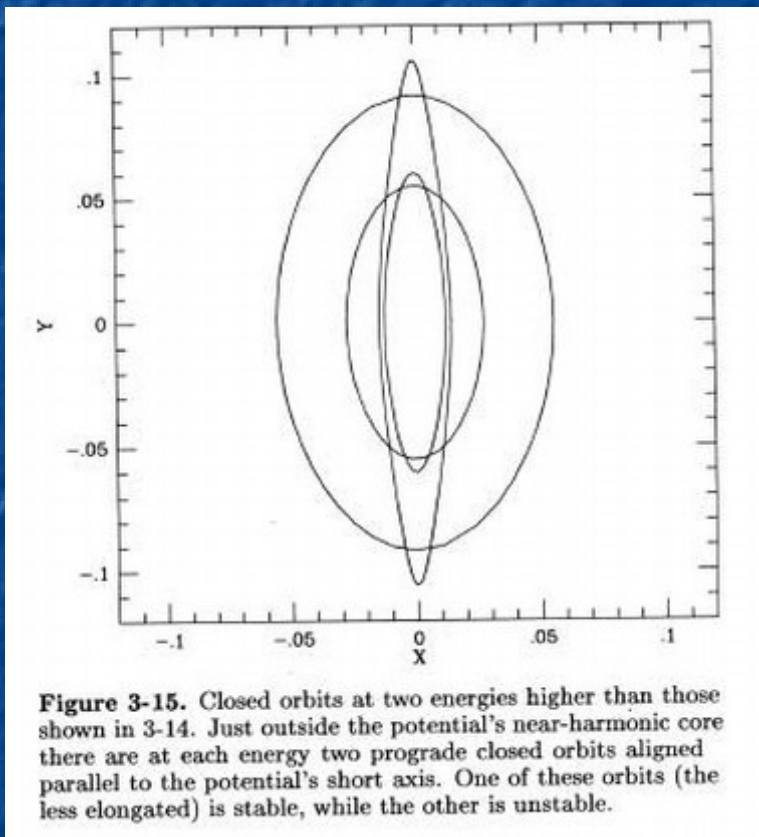
$\mathcal{Z} = 2(\Omega - \Omega_p) \Rightarrow \Omega_p = \Omega - \frac{\mathcal{Z}}{2}$
 VNITŘNÍ LINDBLADOVA REZONANCE, ILR

$\mathcal{Z} = 2(\Omega_p - \Omega) \Rightarrow \Omega_p = \Omega + \frac{\mathcal{Z}}{2}$
 VNĚJŠÍ LINDBLADOVA REZONANCE, OLR

Integrál pohybu: $E_T = E - \vec{\Omega} \cdot \vec{L}$

$\Omega_{\text{pattern}} = \Omega_p = \Omega_s$

Příklady periodických (uzavřených) drah hvězd v rotujících příčkových potenciálech (dráhy jsou vykresleny v neinerciální soustavě pevně spojené s příčkou; hlavní osa příčky leží ve všech obrázcích vodorovně)



Příklady neperiodických drah hvězd v rotujícím příčkovém potenciálu (dráhy jsou vykresleny v neinerciální soustavě pevně spojené s příčkou; hlavní osa příčky leží ve všech obrázcích vodorovně)

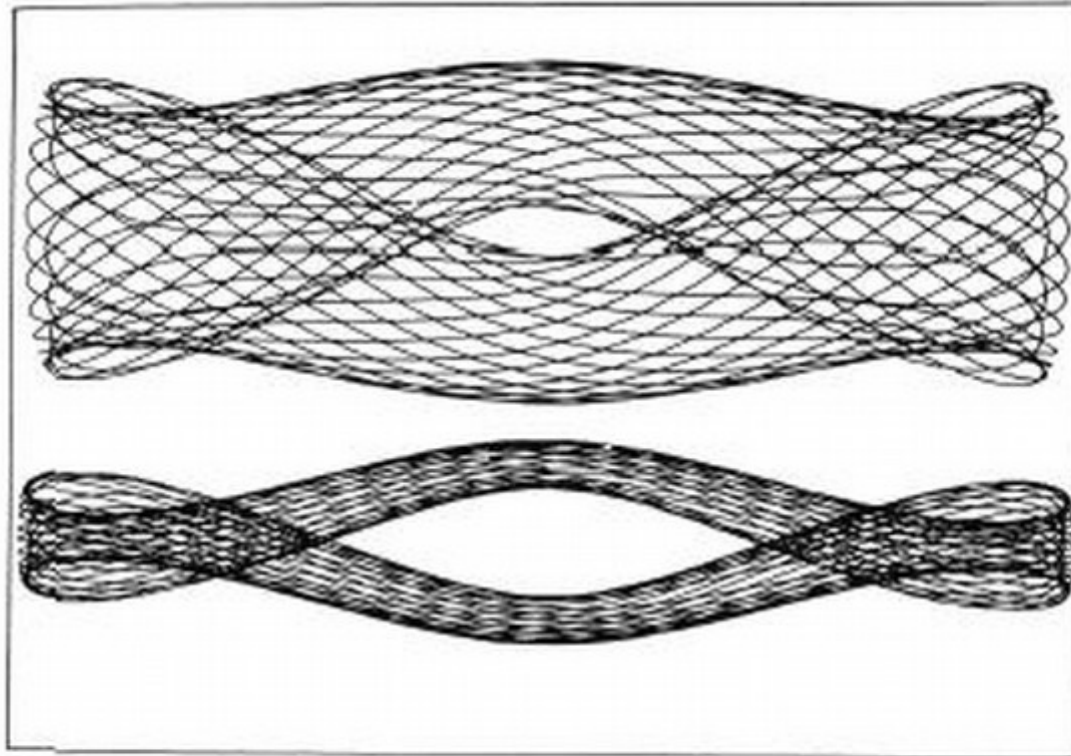


Figure 3-18. Two nonclosed orbits of a common energy in the rotating potential Φ_L .

Dráhy v potenciálu diskové galaxie s příčkou:

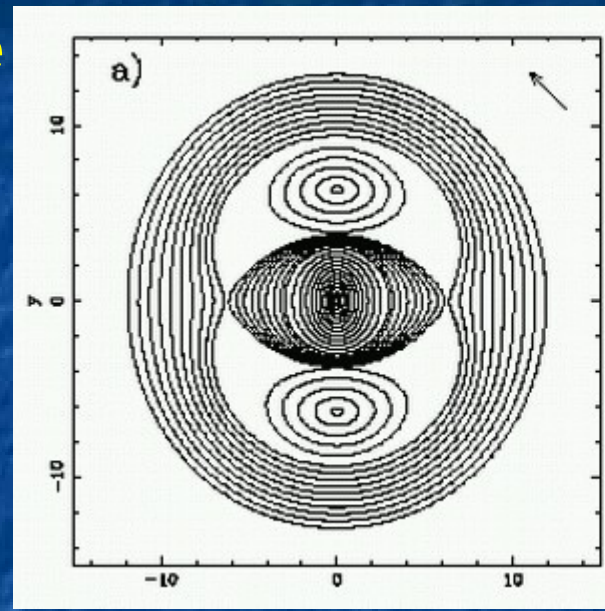
a) Periodické (uzavřené) dráhy hvězd, orientované rovnoběžně s hlavní osou příčky nebo kolmo na ni

b) Stáčeující se dráhy plynných mračen (s osami symetrie nakloněnými vůči osám příčky)

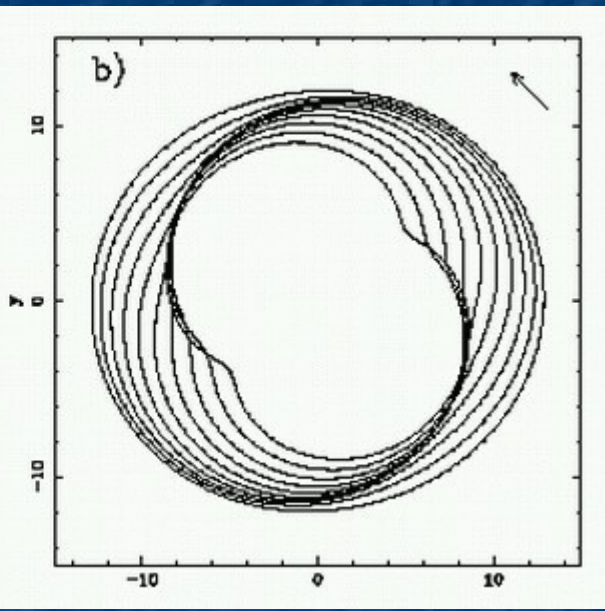
(dráhy jsou vykresleny v neinerciální soustavě pevně spojené s příčkou; hlavní osa příčky leží ve všech obrázcích vodorovně)

(from Combes 2003)

Stars



Gas



Gas

