

# *Struktura a kinematika galaxií*

Bruno Jungwiert



Astronomical  
Institute  
of the Czech Academy  
of Sciences

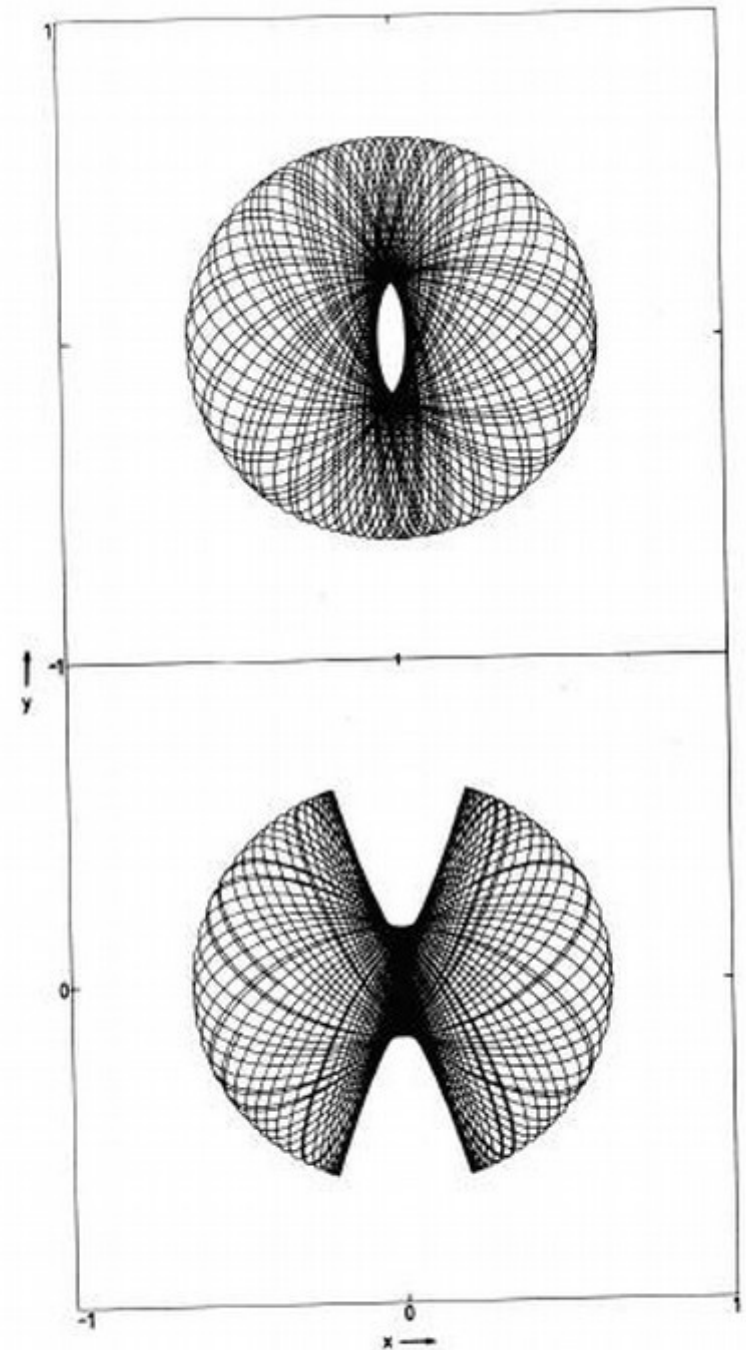
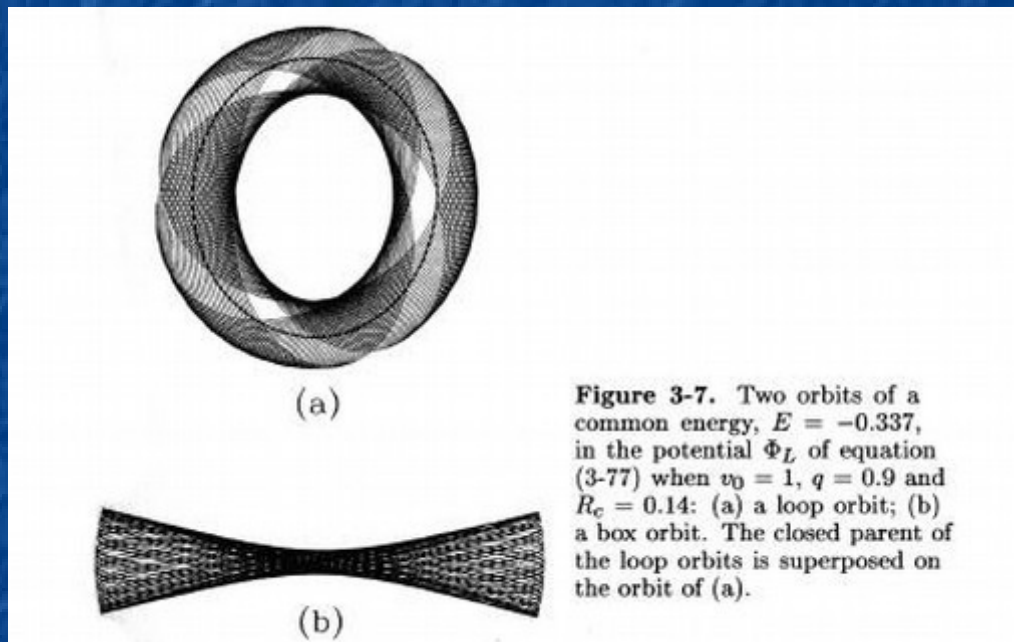
***XI. Dráhy v osově nesymetrických potenciálech***

***a) eliptické galaxie (nerotující potenciály)***

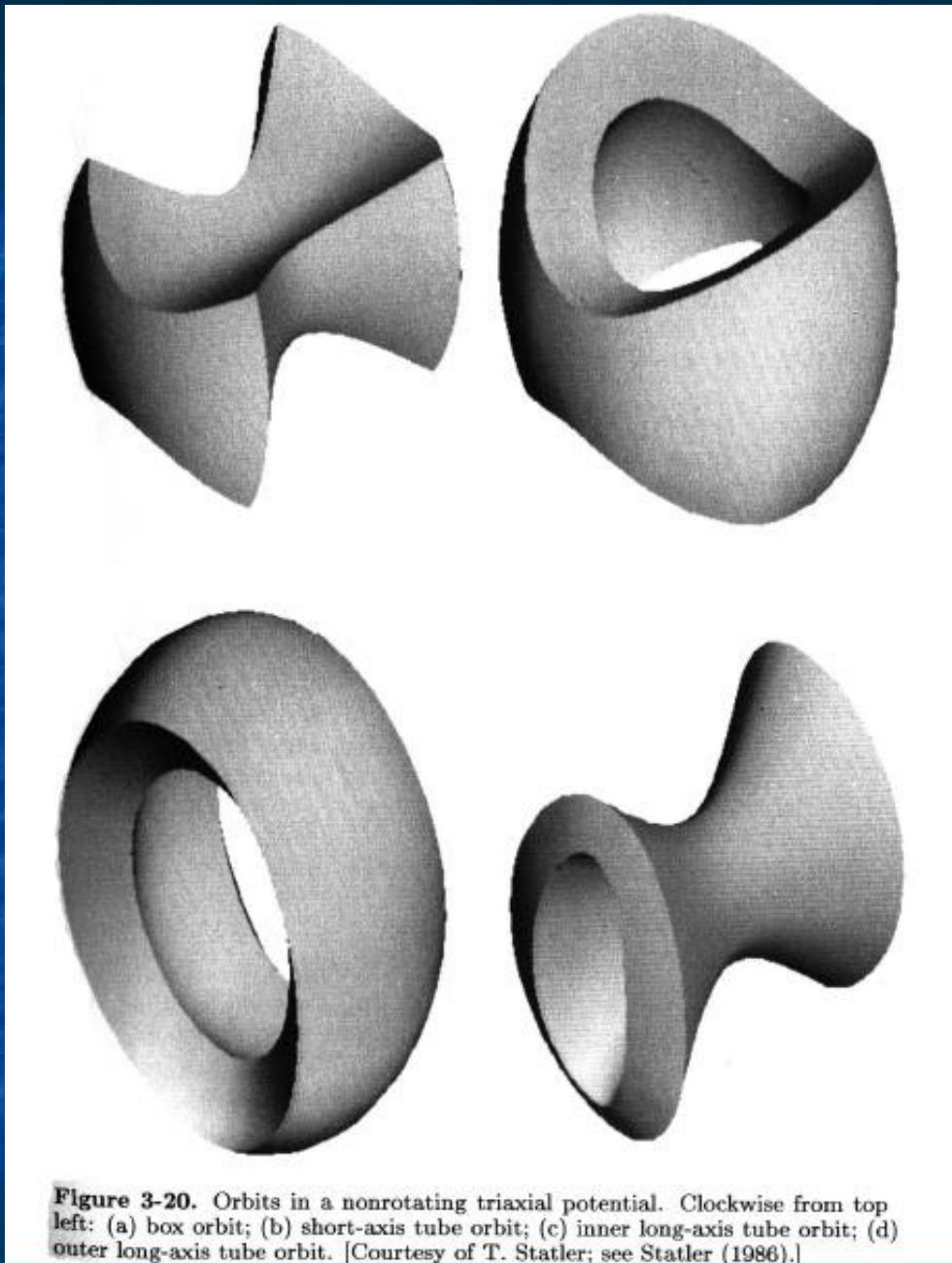
***b) diskové galaxie (rotující potenciály –  
příčky, spirální ramena***

***XII. Lindbladovy resonance a korotační resonance***

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.



Dráhy v nerotujícím elipsoidálním potenciálu:

- *box orbits* (panel a)
- *tube orbits* (panels b, c, d)

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

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

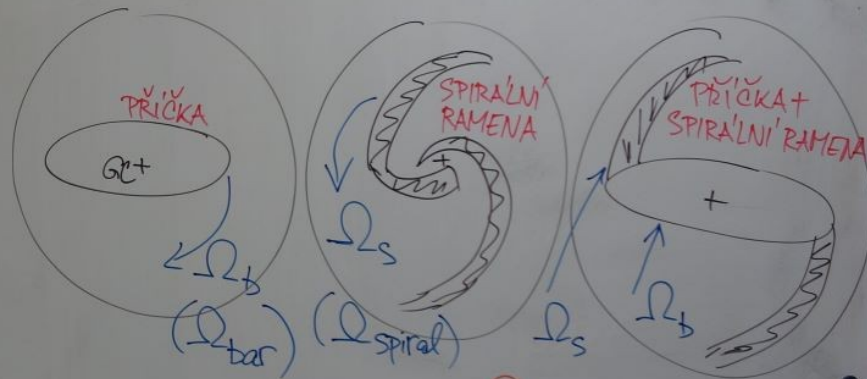
$$\Rightarrow \ddot{\vec{r}} = -\nabla\Phi(\vec{r}) - \vec{\Omega}_p \times (\vec{\Omega}_p \times \vec{r}) - 2\vec{\Omega}_p \times \dot{\vec{r}}$$

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

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

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

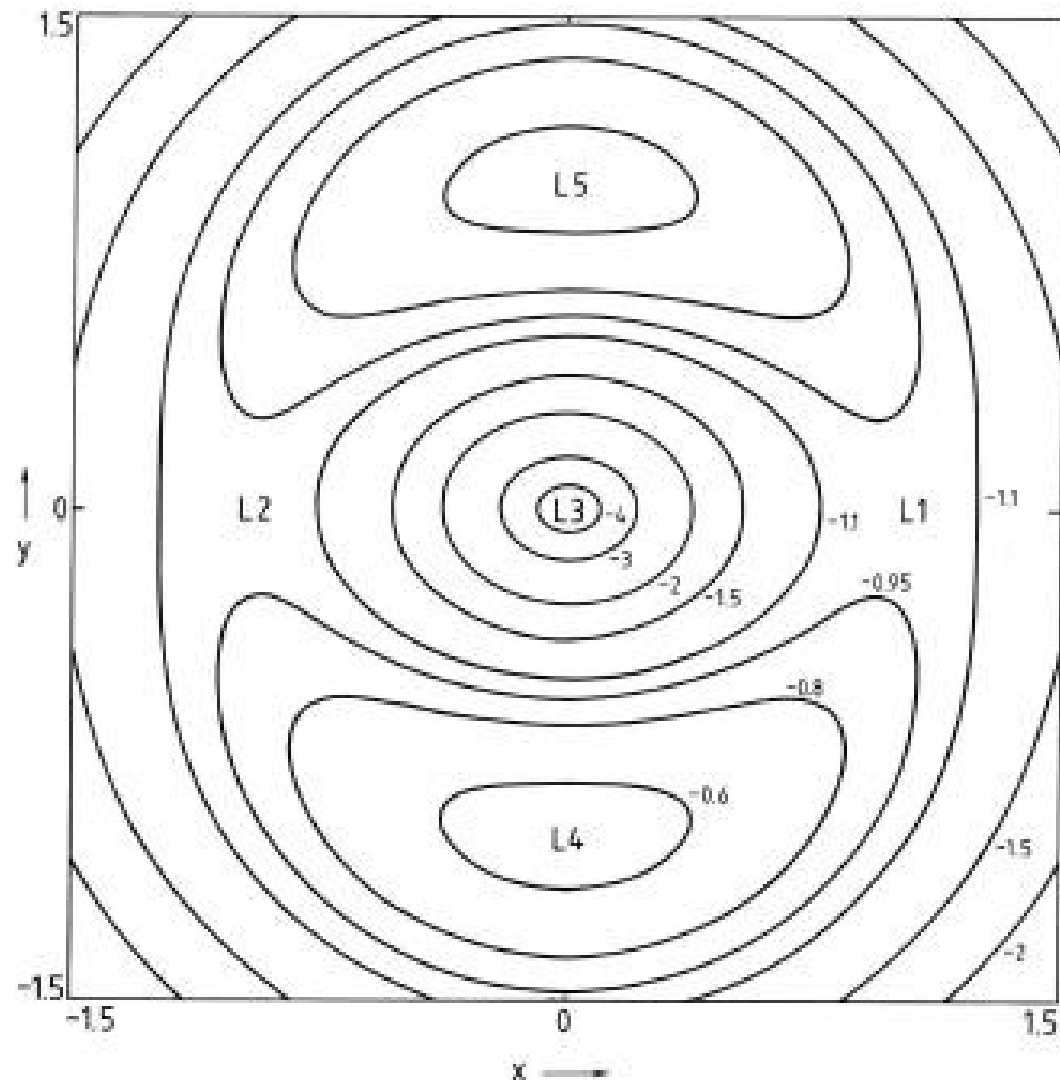
$$\Phi = \Phi(\vec{r}, t) = \Phi(R, \varphi, z, t), \quad \frac{\partial\Phi}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial\Phi}{\partial\varphi} \neq 0$$



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

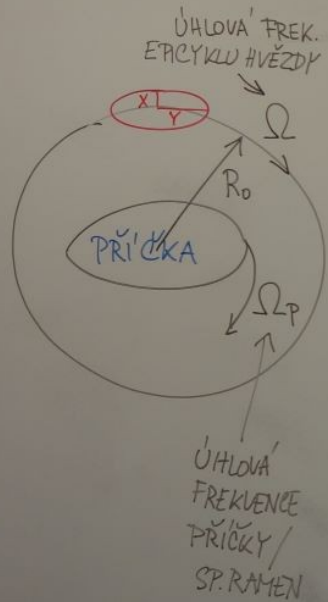
Efektivní potenciál v rotující soustavě spojené s příčkou:

- isopotenciální plochy
- Lagrangeovy body



**Figure 3-13.** Contours of constant effective potential  $\Phi_{\text{eff}}$  when the potential is given by equation (3-77) with  $v_0 = 1$ ,  $q = 0.8$ ,  $R_c = 0.1$ , and  $\Omega_b = 1$ . The point marked  $L_3$  is a minimum of  $\Phi_{\text{eff}}$ , while those marked  $L_4$  and  $L_5$  are maxima.  $\Phi_{\text{eff}}$  has saddle points at  $L_1$  and  $L_2$ .

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



$$R(t) = R_0 + x(t)$$

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

hebo:  $f(R)$  AMPLITUDA SÍLY PŘÍČKY (RAMEN) (ZÁVISÍ NA  $R$ )  
 $2(\Omega - \Omega_p)$  FREKVENCE NUCENÝCH KMITŮ

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

PRO PŘÍČKU NEBO 2 SPIRÁLNÍ RAMENA

PRO  $m$  SPIRÁLNÍCH RAMEN

## REZONANCE:

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

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

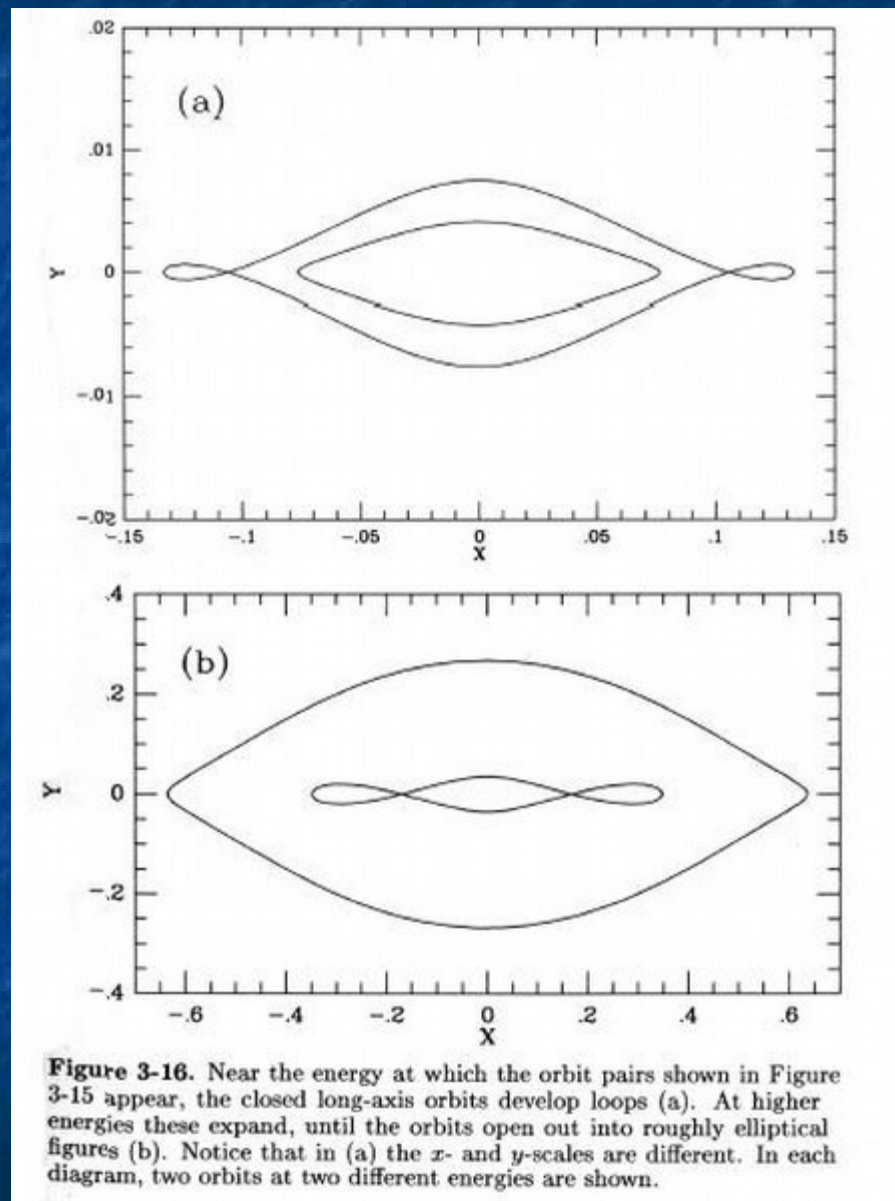
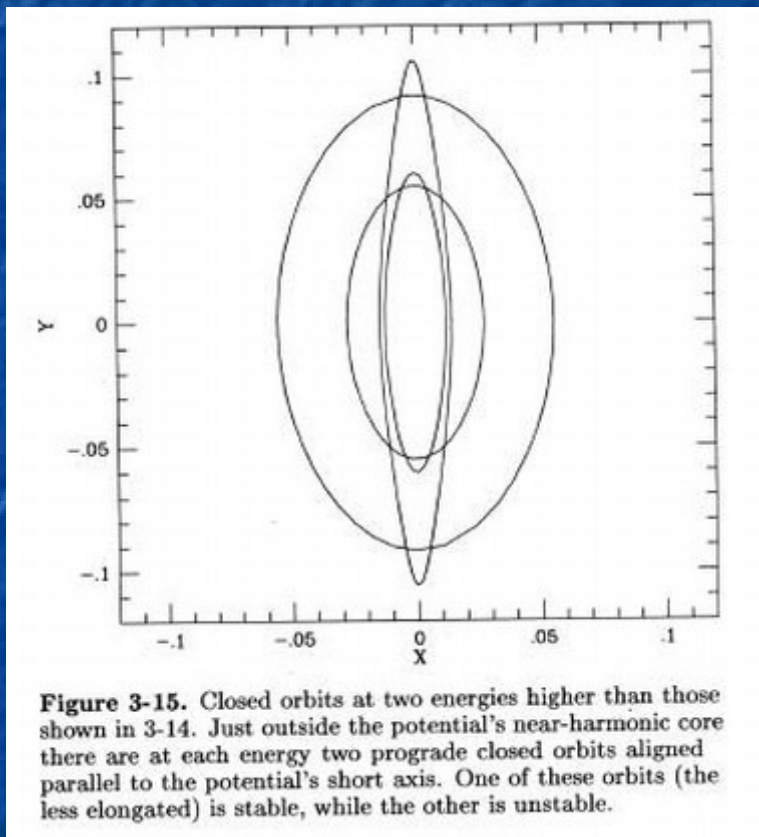


$\mathcal{L} = 2(\Omega - \Omega_p) \Rightarrow \Omega_p = \Omega - \frac{\mathcal{L}}{2}$   
 VNITŘNÍ LINDBLADOVA REZONANCE, ILR  
 $\mathcal{L} = 2(\Omega_p - \Omega) \Rightarrow \Omega_p = \Omega + \frac{\mathcal{L}}{2}$   
 VNĚJŠÍ LINDBLADOVA REZONANCE, OLR

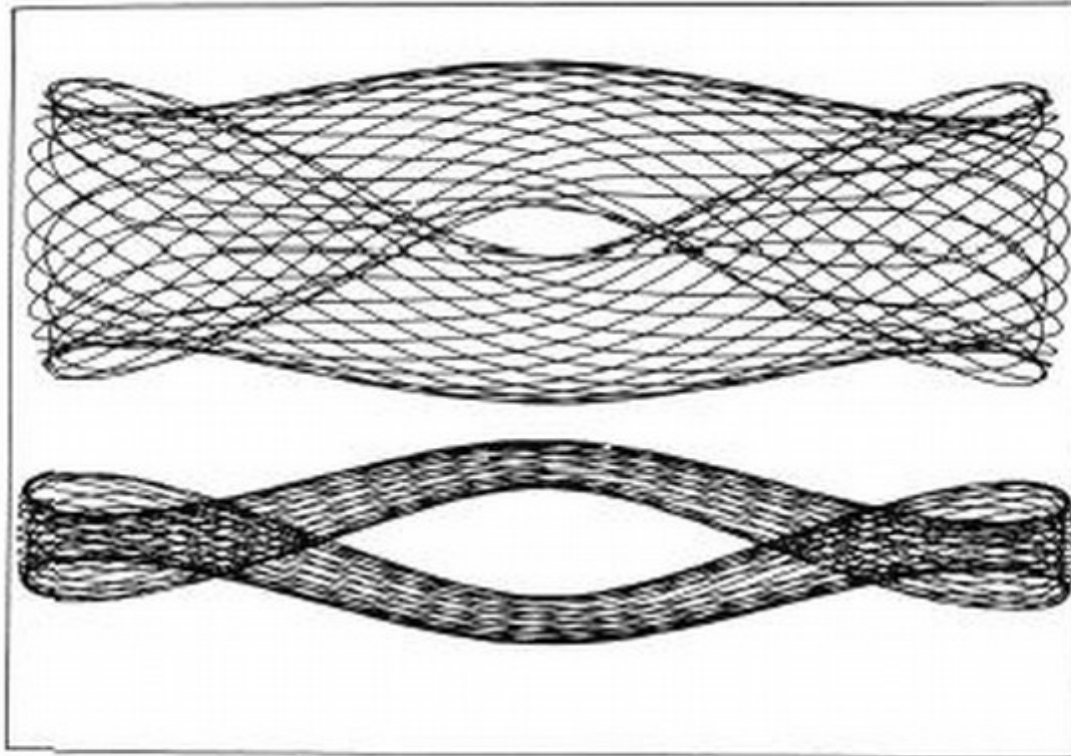
Integrál pohybu:  $E_T = E - \vec{\Omega} \cdot \vec{L}$

$\Omega_{\text{pattern}} = \Omega_p = \begin{cases} \Omega_s \\ \Omega_s \end{cases}$

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  $\Phi_L$ .



# Dráhy v potenciálu diskové galaxie s příčkou:

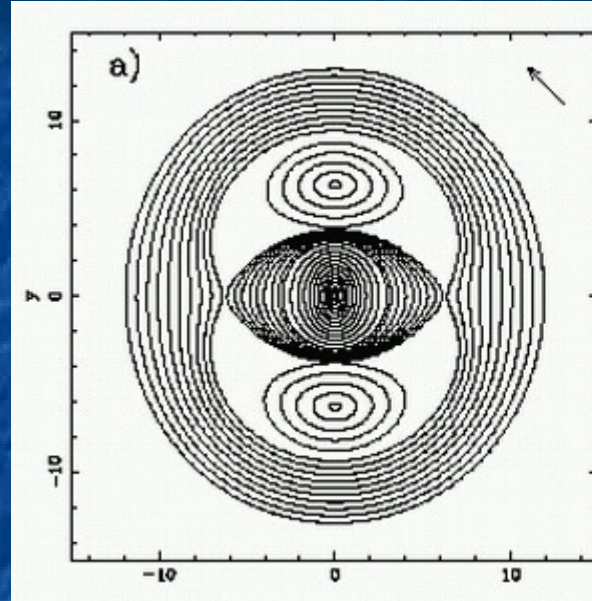
a) Periodické (uzavřené) dráhy hvězd, orientované rovnoběžně s hlavní osou příčky nebo kolmo na ni

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

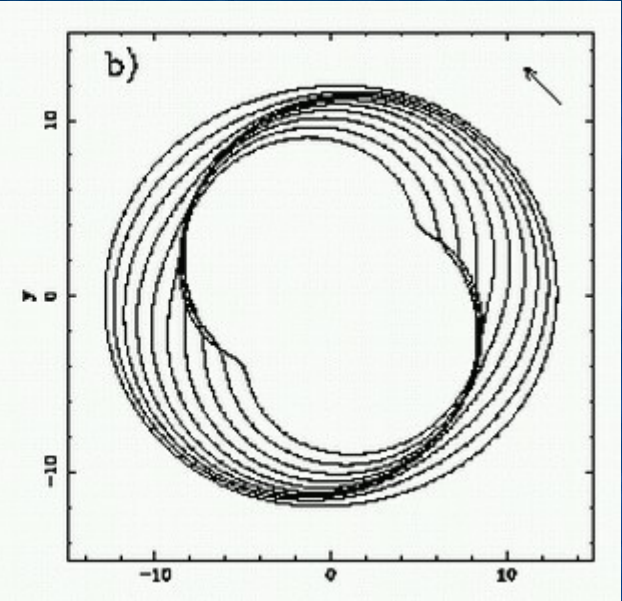
(dráhy jsou vykresleny v neinerciální soustavě pevně spojené s příčkou; hlavní osa příčky leží ve všech obrázcích vodorovně)

(from Combes 2003)

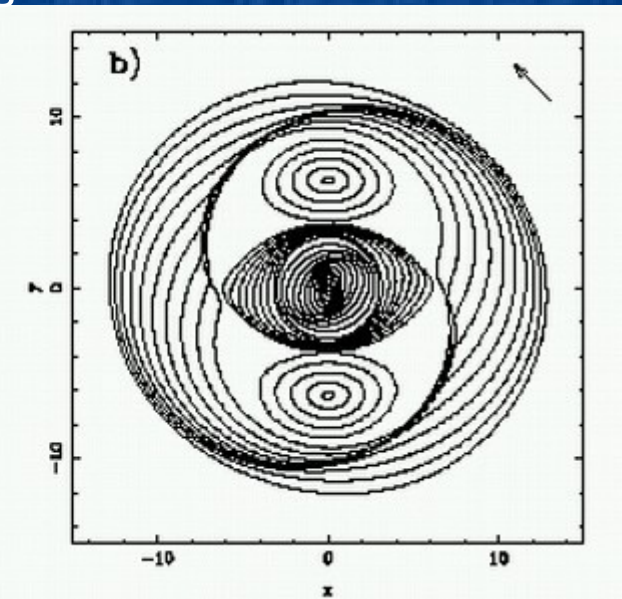
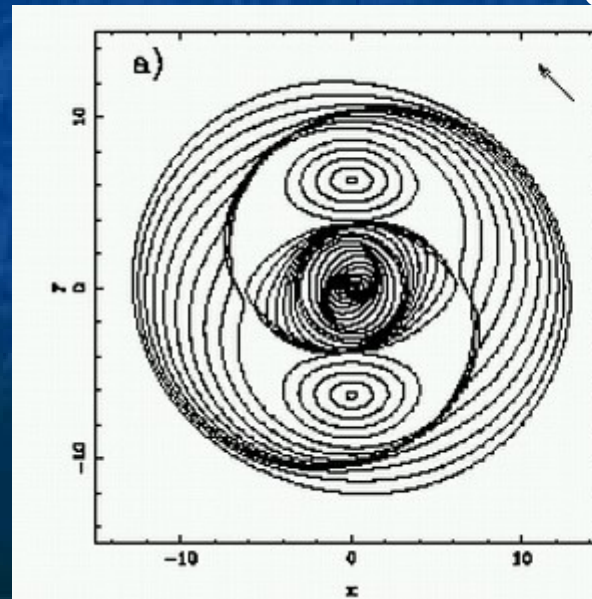
Stars



Gas

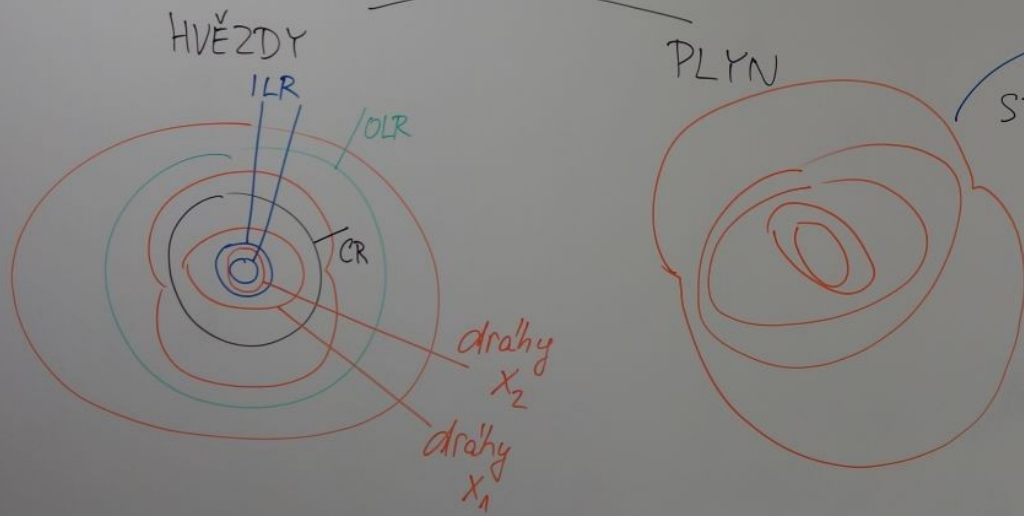


Gas



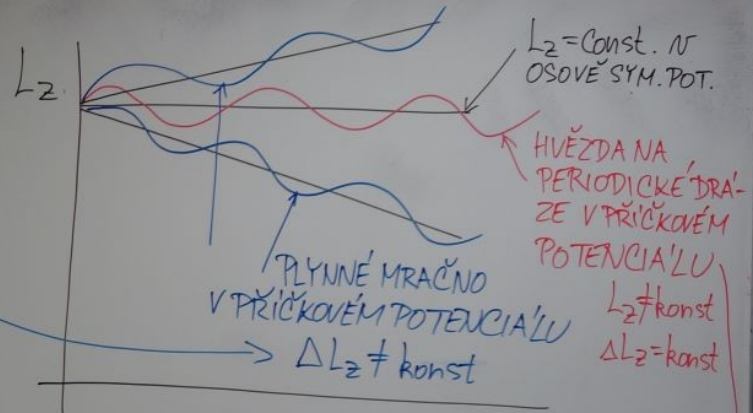
# Vznik prstenců v diskových galaxiích

Periodické dráhy v potenciálu příčky



STÁČENÍ DRAH  
VŮČI OSÁM  
PŘÍČKY V DŮSLEDKU  
SRAŽEK PLYNNÝCH  
MRAČEN

(ROZMĚRY  $\sim 1\text{pc} - 100\text{pc}$ )



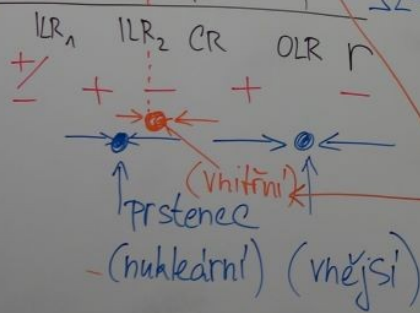
$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F} \Rightarrow \frac{dL_z}{dt} = r F_\varphi = r \left( -\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \right)$$

$$\Delta L_z = \int_{2\pi} \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \right) d\varphi \begin{cases} = 0 \\ > 0 \\ < 0 \end{cases}$$





$\Delta L_z$ :  
(plyh)



ULTRA-HARMONICKÁ  
REZONANCE (4/1)

$$4(\Omega - \Omega_p) = \pm 2f$$

$$\Omega_p = \Omega \pm \frac{2f}{4}$$

POTENCIÁL PŘÍČKY / SPIRÁLNÍCH RAMEN (Fourierův rozvoj)

$$\Phi(R, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} \Phi_m(R) \cos[m(\varphi - \varphi_m(R))]$$

↑  
amplituda

↑  
počet ramen

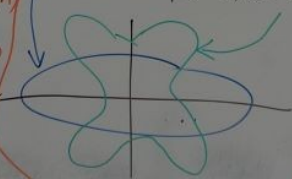
↑  
fáze (určuje otočení)

Příčka:  $\varphi_m = \text{const}$

Spirální ramena:  $\varphi_m = \varphi_m(R)$

$$\Phi_{\text{PŘÍČKA}}(R, \varphi) = \Phi_0(R) + \Phi_2(R) \cos[2(\varphi - \varphi_2)] +$$

$$+ \Phi_4(R) \cos[4(\varphi - \varphi_4)] + \Phi_6(R) \cos[6(\varphi - \varphi_6)]$$



$$|\Phi_2| > |\Phi_4| > |\Phi_6|$$