

# Počítačová simulace vlivu Poynting-Robertsonova efektu na pohyb částic v tenkých akrečních discích neutronových hvězd

Debora Lančová

Slezská Univerzita v Opavě  
Filosoficko-přírodovědecká fakulta



# Motivace

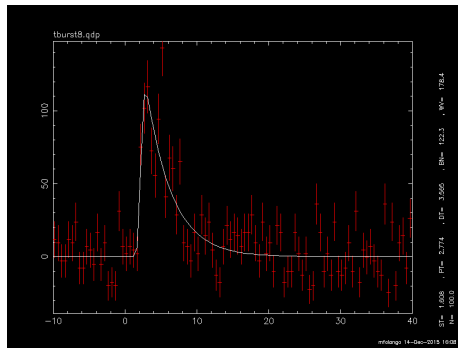
- Proces akrece je velmi silným zdrojem energie
- Vhodné pro výzkum prostředí silné gravitace
- Neexistuje všeobecně přijímaný model binárního systému vysvětlující QPOs
- Možnosti testování obecné relativity a přímého měření spinu černých děr a kompaktních hvězd

# Obsah

- Teoretický úvod
- Počítačová simulace
- Výsledky

# Termonukleární X-ray burst

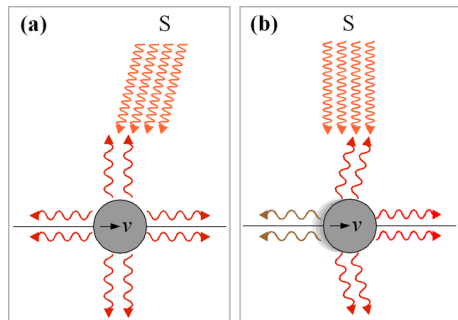
- Typ I.
- Termonukleární reakce na povrchu neutronové hvězdy
- Prudké zvýšení luminosity na úroveň Eddingtonovy limity



[M. Falanga, osobní komunikace]

# Poynting-Robertsonův efekt

- Působení tlaku záření na pohyb tělesa v gravitačním poli
- Odporová síla způsobující ztrátu momentu hybnosti částice
- Obecně-relativistické pohybové rovnice



[Michael Schmid, CC BY-SA2.5,  
<https://commons.wikimedia.org>]

# Kerrova metrika

Element prostoročasového intervalu v Boyer-Lindquistových souřadnicích parametrizovaný specifickým momentem hybnosti (spinem)  $a$ :

$$ds^2 = - \left( 1 - \frac{2r}{\Sigma} \right) dt^2 - \frac{4ra}{\Sigma} \sin^2 \theta dt d\varphi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + \left( r^2 + a^2 + \frac{2ra^2 \sin^2 \theta}{\Sigma} \right) \sin^2 \theta d\varphi^2,$$

$$\Sigma \equiv r^2 + a^2 \cos^2 \theta$$

$$\Delta \equiv r^2 - 2r + a^2$$

# Pohybové rovnice

$$\frac{d\nu}{d\tau} = -\frac{\sin \alpha}{\gamma} \left[ a(n) \hat{r} + 2\nu \cos \alpha \theta(n) \hat{\phi} \right] + \frac{A(1 + bN^\phi)}{N^2 \sqrt{g_{\theta\theta} g_{\phi\phi}} |\sin \beta|} [\cos(\alpha - \beta) - \nu] [1 - \nu \cos(\alpha - \beta)], ,$$

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = -\frac{\gamma \cos \alpha}{\nu} \left[ a(n) \hat{r} + 2\nu \cos \alpha \theta(n) \hat{\phi} + \nu^2 k_{(lie)}(n) \hat{r} \right] + \frac{A(1 + bN^\phi) [1 - \nu \cos(\alpha - \beta)]}{N^2 \sqrt{g_{\theta\theta} g_{\phi\phi}} |\sin \beta|} \sin(\alpha - \beta),$$

$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{\gamma \nu \sin \alpha}{\sqrt{g_{rr}}},$$

$$\frac{d\phi}{d\tau} = \frac{\gamma}{\sqrt{g_{\phi\phi}}} (\nu \cos \alpha - \nu_{(s)}).$$

[D. Bini, A. Geralico, Robert T. Jantzen, O. Semerák, L. Stella, *The general relativistic Poynting-Robertson effect: II. A photon flux with nonzero angular momentum*]

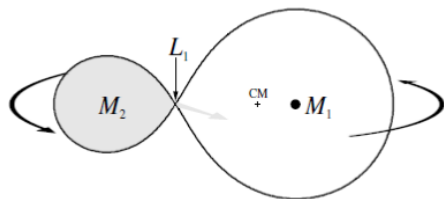
# Vstupní parametry

- NS\_M – Hmotnost centrálního objektu [ $M_{\odot}$ ]
- SPIN – Spin centrálního objektu
- DELTA\_TIME – Integrační krok
- TOTAL\_TIME – Celkový čas simulace [s]
- TIME\_SAMPLE – Perioda výstupu
- MOM – Specifický moment hybnosti radiačního pole  $b$
- ALPHA\_ZERO – Parametr udávající počáteční směr rychlosti částic  $\alpha$
- R\_MAX – počáteční radiální souřadnice částic
- N\_ADDED – Počet částic přidávaných v každém integračním kroku



# Model akrečního disku

- Konstantní tok částic
- Počáteční rychlost odpovídající kruhové orbitě bez přítomnosti záření
- Náhodná azimutální souřadnice
- Proměnný počet částic

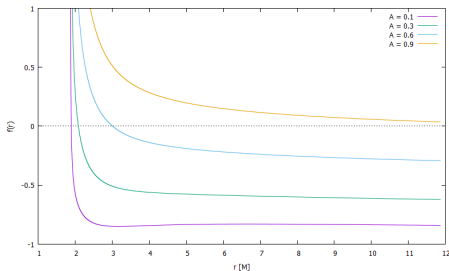


[J. Frank, A. King, D. Raine, Accretion Power in Astrophysics]

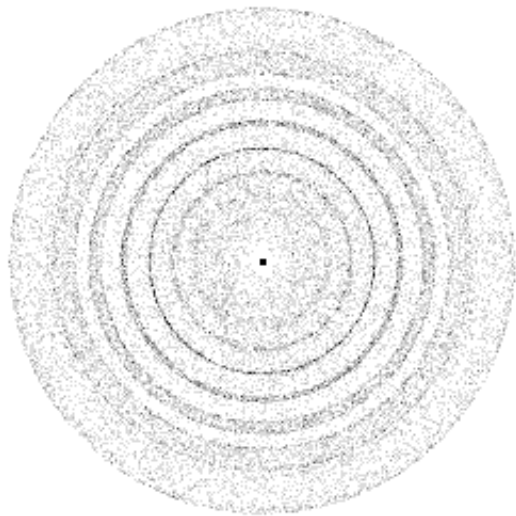
# Statický poloměr

- Taková radiální vzdálenost, ve které dojde k vyrovnání gravitační síly a tlaku záření
- Pro nenulový spin a specifický moment hybnosti radiálního pole zadán implicitně
- V extrémních konfiguracích více řešení

$$\bullet \frac{A}{MN} = \text{sgn}(\beta_0) \frac{1 - \frac{b^2}{Mr_0} \left(1 - \frac{2M}{r_0}\right)}{\left[1 - \frac{b^2}{r_0^2} \left(1 - \frac{2M}{r_0}\right)\right]^{\frac{3}{2}}}$$

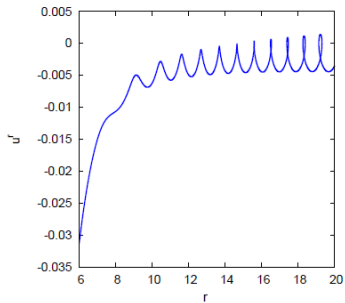
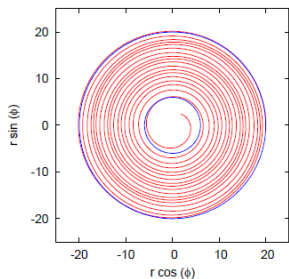


## Akreční disk



## Hustota částic na disku

$a = 0.0$ ,  $r_0 = 20$ ,  $v_0 = 0.235702$ ,  $A = 0.01$ ,  $\text{MoM} = 0.0$



# Výstupní video

# Závěr

- Poynting-Robertsonův efekt má výrazný vliv na chování a strukturu tenkých disků
- Nehomogenní rozložení hmoty s výraznými maximy
- Radiální poloha maxim je citlivá na nastavení počátečních podmínek
- Rozložení maxim se mění během burstu
- Maxima budou generovat výrazné frekvenční píky v power spektrech záření disku
- Možná spojitost s QPOs
- Potřebujeme realističtější model akrečního toku

Děkuji za pozornost!

**Počítačová simulace vlivu Poynting-Robertsonova efektu na pohyb částic v tenkých akrečních discích neutronových hvězd**

*Školitel: RNDr. Pavel Bakala, Ph.D.*