

ასტროფიზიკური დისკების დინამიკა

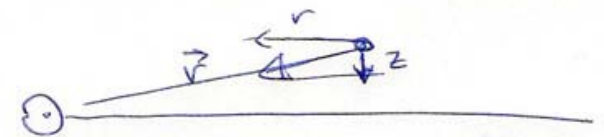
გრავიტირებადი ობიექტის გარშემო მბრუნავი უწყვეტი გარემო

ვერტიკალური და რადიალური წონასწორობის განტოლებები განტოლება:

$$r \Omega^2(r) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial r}$$

$$0 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial z}$$

$$\Phi(r, z) \approx \frac{1}{r} \sim \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}$$



ბრუნვის კუთხური სიჩქარე:

კეპლერული დიფერენციალური ბრუნვა

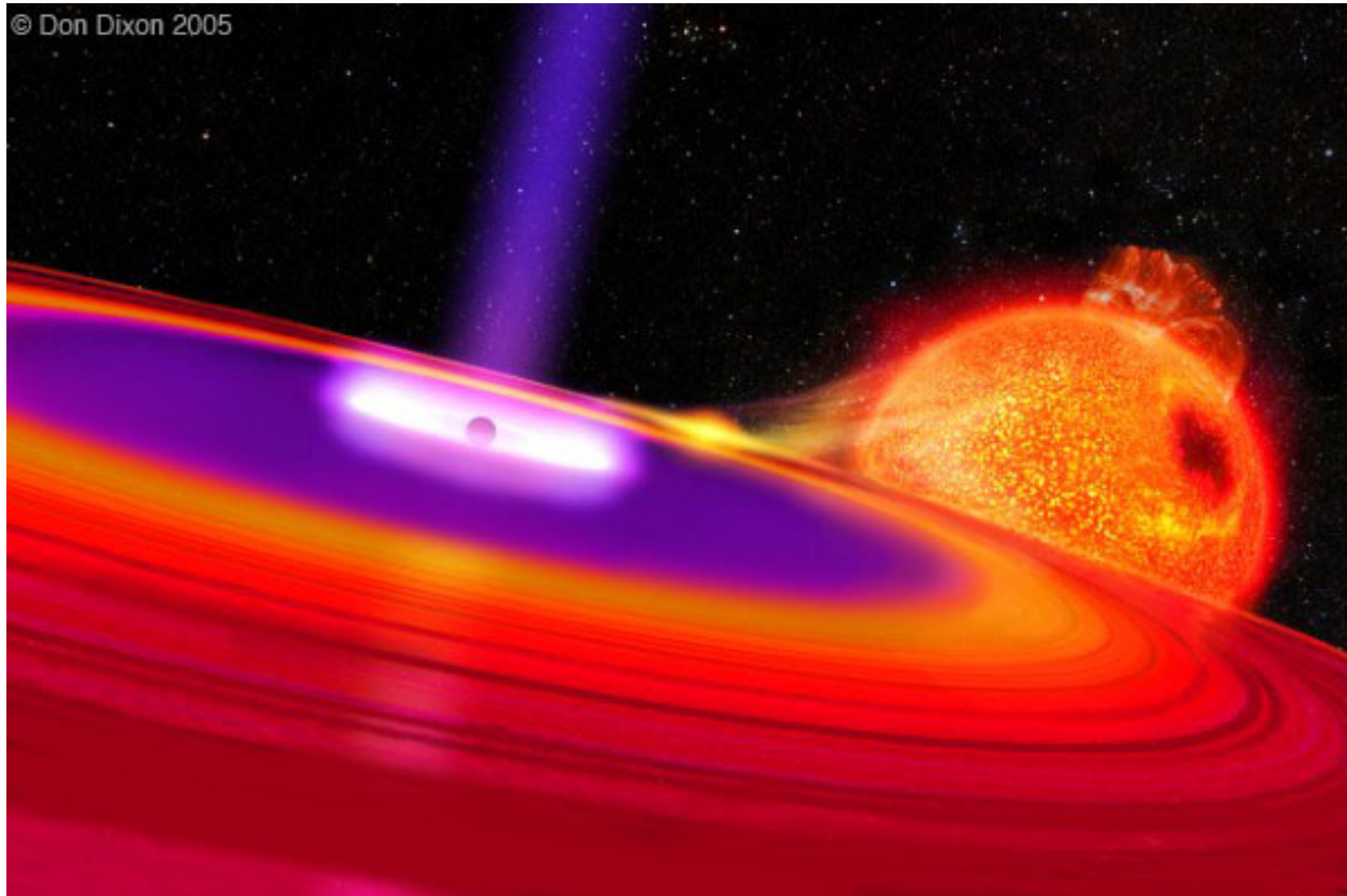
$$\Omega_{\text{kep}}(r) \sim r^{-3/2}$$

$$I(r) = \Omega r^2 \sim \sqrt{r}$$

დიფერენციალურად მბრუნავი ობიექტები: რეილის მდგრადობის კრიტერიუმი:

$$I'(r) > 0 \quad \sim r^n, \quad n > 0$$

აკრეცია ორმაგ სისტემაში



აკრეცია: დაკვირვებები

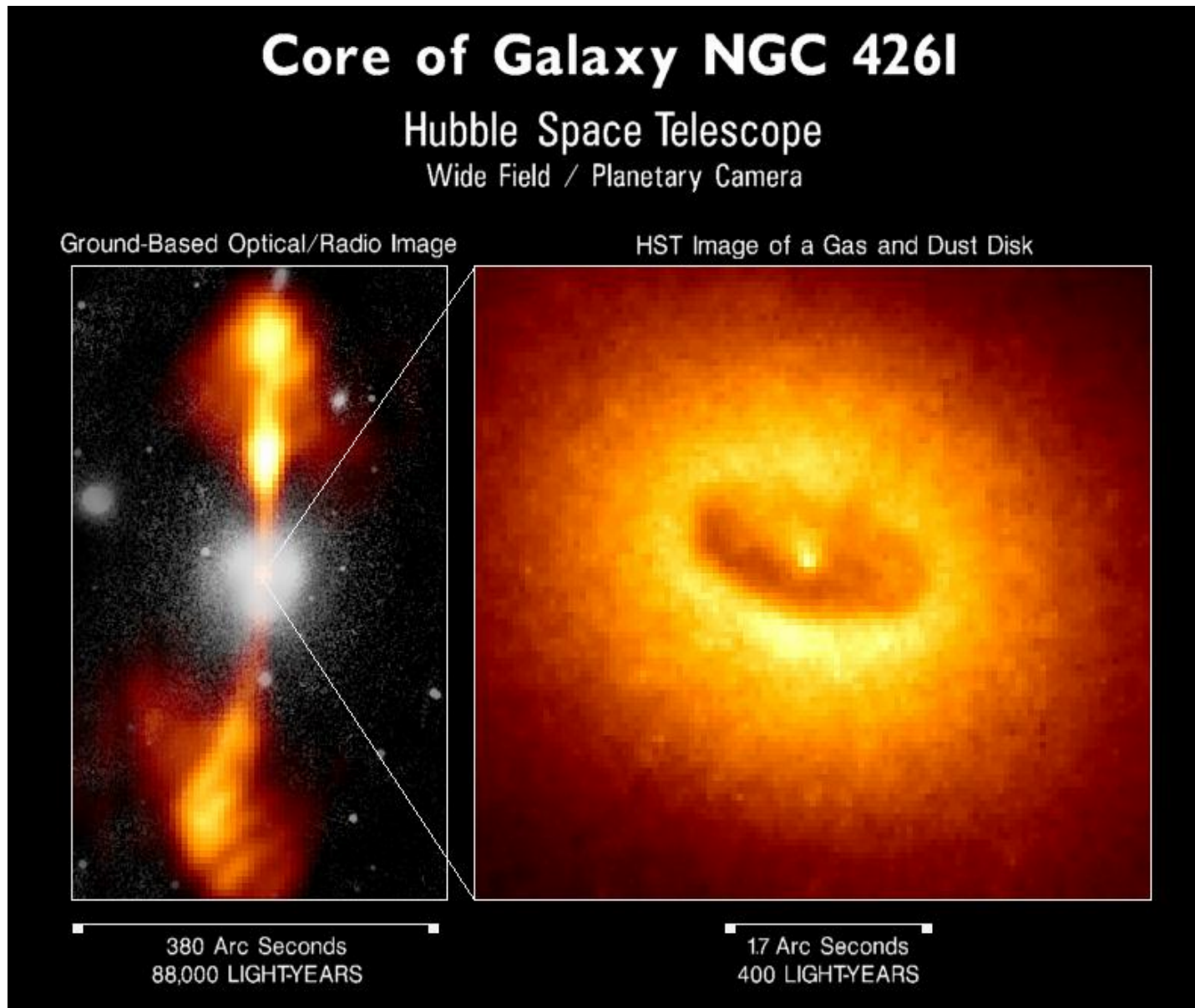
აქტიური გალაქტიკური ბირთვები

Radio Galaxy 3C353
VLA 3.6cm image



აკრეცია: დაკვირვებები

ელიფსური გალაქტიკა NGC4261 – აკრეცია შავ ხვრელზე

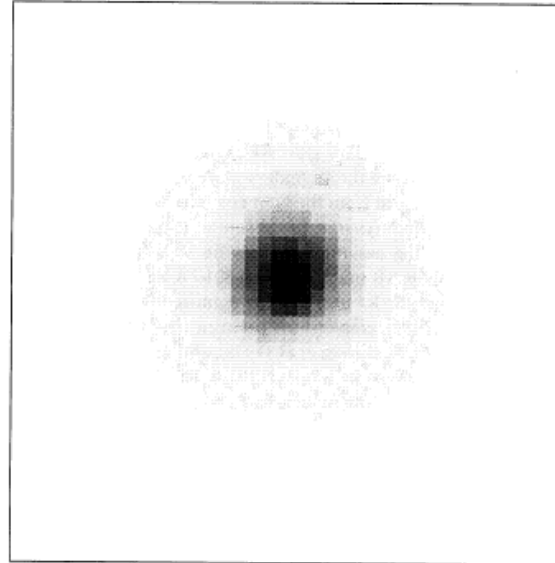


აკრეცია: დაკვირვებები

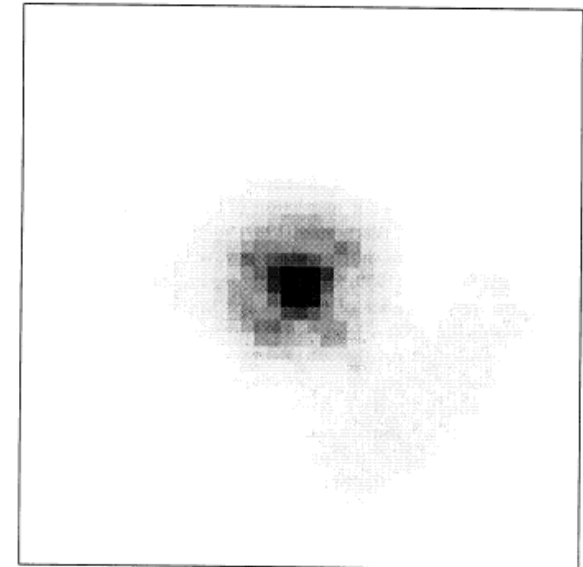
აკრეცია ვარსკვლავზე

დაბალენერგეტიკული
აკრეციული
დისკი

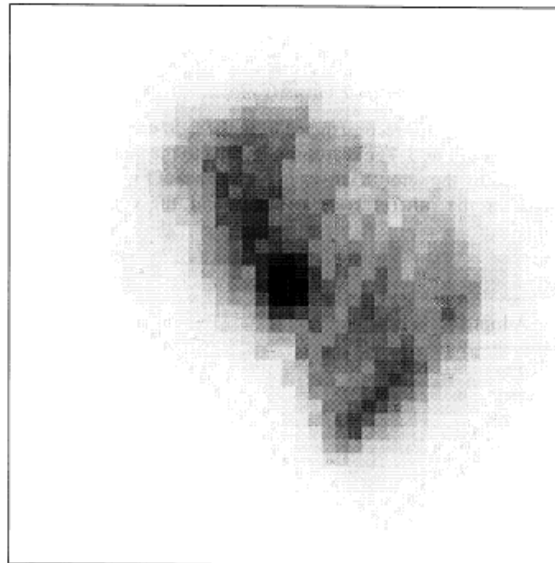
a: RW Tri



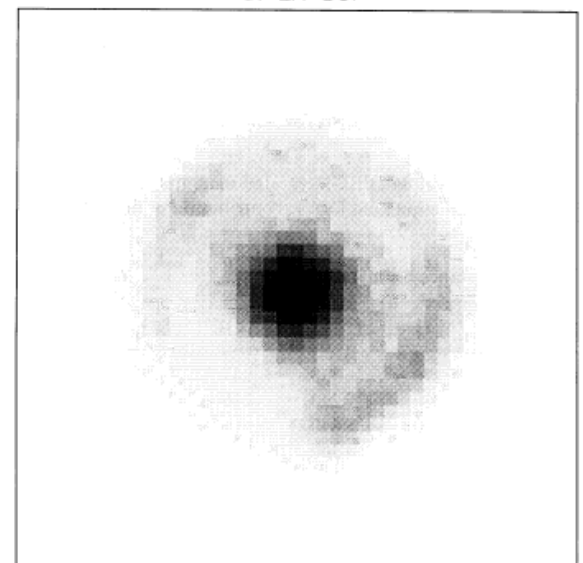
b: UX UMa



c: SW Sex



d: LX Ser

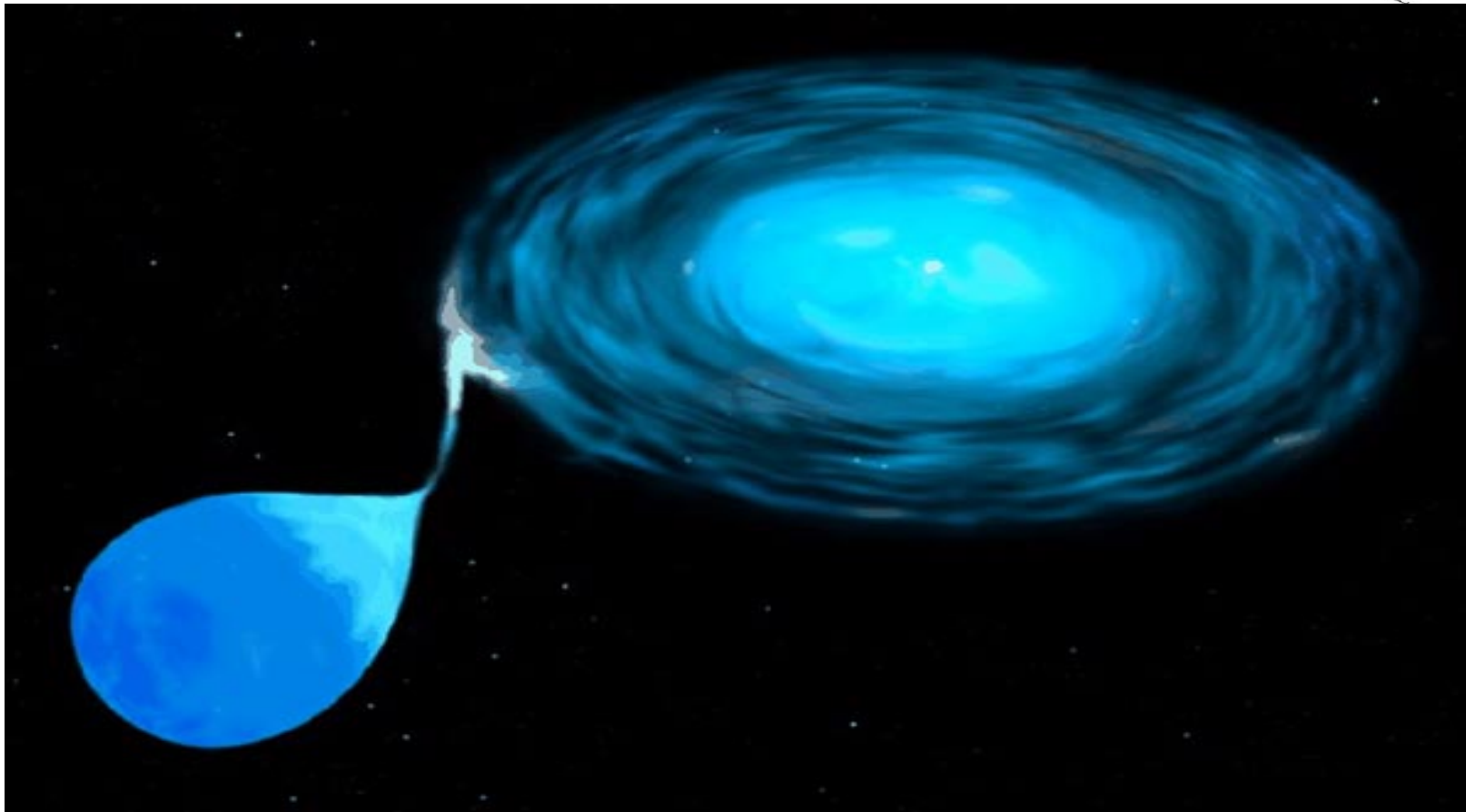
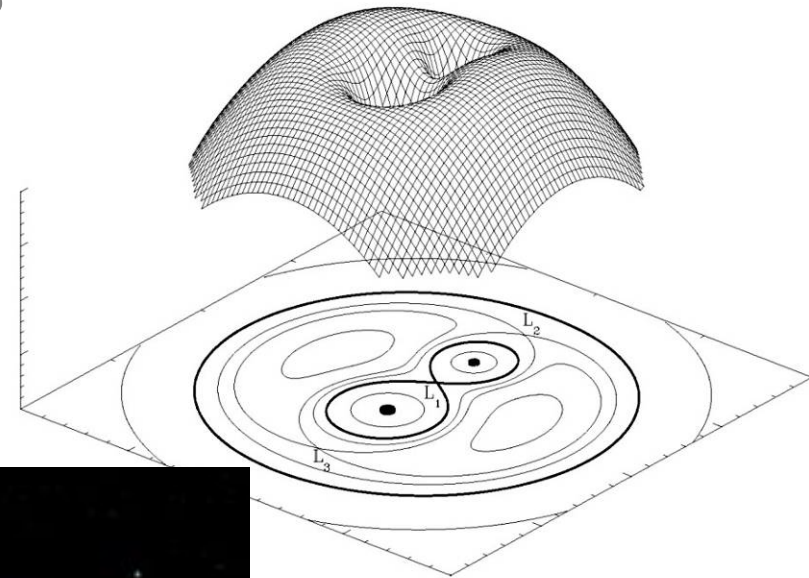


აკრეცია: დაკვირვებები

კატაკლიზმურად ცვალადი ვარსკვლავები (CV)

ახლო ორმაგი სისტემა: ვარსკვლავი–თეთრი ჯუჯა

დონორი ვარსკვლავის როზე ლობში „შეჭრა“



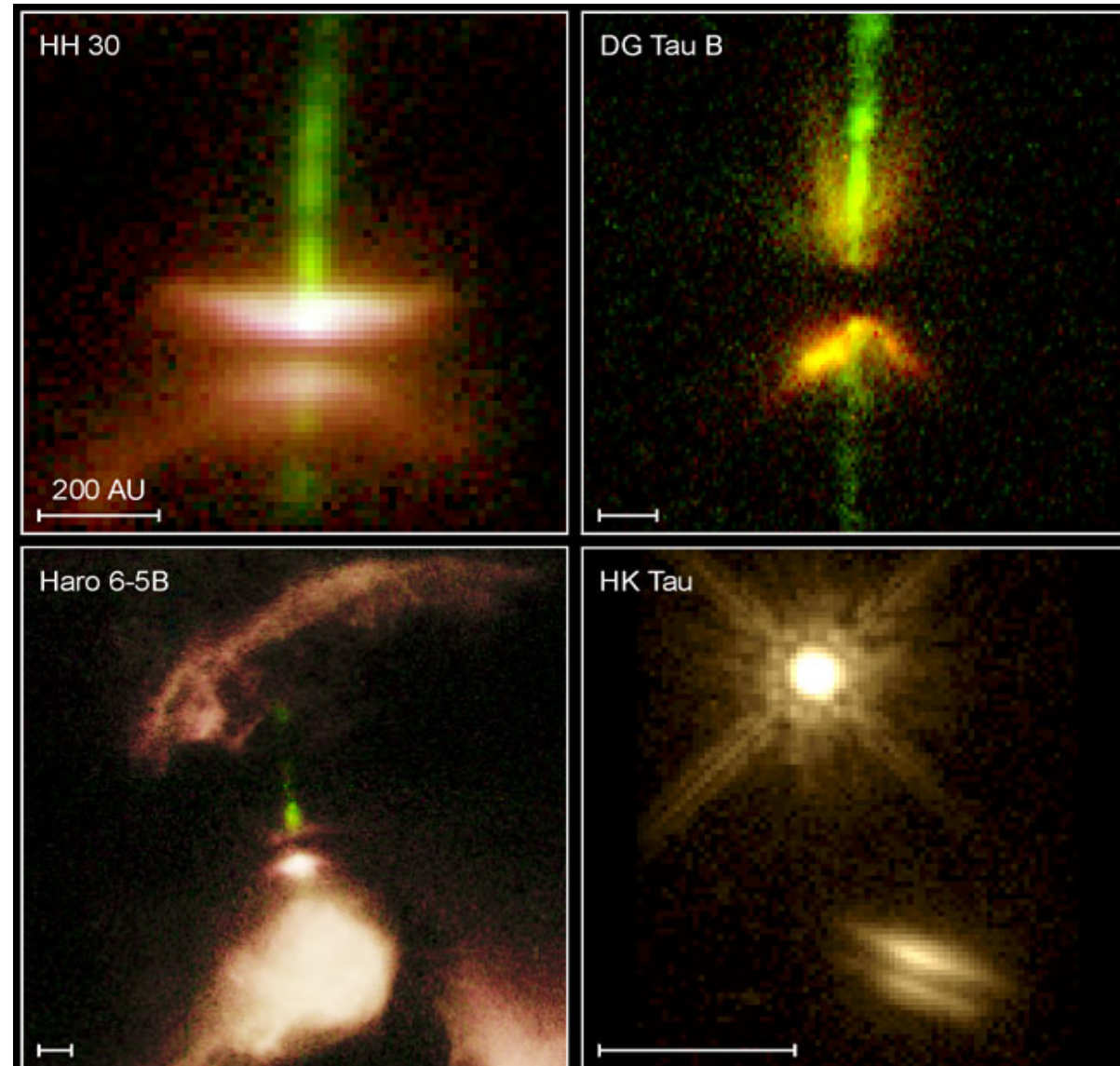
აკრეცია: დაკვირვებები

აკრეცია ახალგაზრდა
ობიექტების ირგვლივ

T-Tauri stage

ვარსკვლავური ჯეტები

Hebrig-Haro objects



Disks around Young Stars

HST • WFPC2

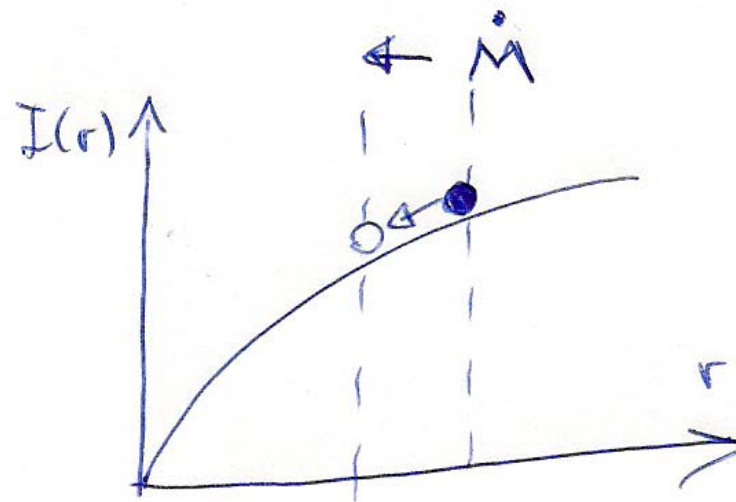
PRC99-05b • STScI OPO

C. Burrows and J. Krist (STScI), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

აკრეცია: მექანიზმი

ბრუნვის მომენტის გადატანა: გარეთ
 მასის გადატანა: შიგნით

გამოთავისუფლებული სიმძლავრე პროპორციულია მასის აკრეციის სიჩქარის



აკრეცია: სფერული, დისკური

აკრეცია: მექანიზმი

$$\dot{M} \sim \nu \sim 1/Re$$

ასტრონომიული ობიექტების რეინოლდსის რიცხვი: $Re \sim \frac{UL}{\nu} \gg 10^{10} \quad (10^{14})$

ანომალური სიბლანტე: ტურბულენტობა (ქაოსი)

Shakura, Sunyaev, 1973

$$\underline{\underline{\nu_{eff}}}$$

(აღფა მოდელი)

$$\nu_{eff} = \alpha \cdot c_s H$$

დაკვირვებული გამოსხივებებისათვის:

$$\alpha \leq 1 \quad (0.1, 0.2)$$

აკრეცია: მექანიზმი

ტურბულენტობის წყაროები (აღფა მოდელი):

- კონვექცია (ვერტიკალური თერმული არამდგრადობა)
- დიფერენციალური ბრუნვა (აღგებრული არამდგრადობები)
- მაგნიტური ველი (მაგნიტობრუნვითი არამდგრადობა)

ბრუნვის მომენტის არატურბულენტური გადატანა:

- კოჰერენტული სტრუქტურები (გრიგალები)
- სპირალური ტალღები

აკრეციული დისკები: სტრუქტურა

რადიალური და ვერტიკალური სტრუქტურა

$$\rho(r, z) = \rho_0(r) \exp\left(-\frac{z^2}{H^2}\right)$$

$$H = \frac{c_s(r)}{\Omega(r)}, \quad c_s^2(r) = \frac{\partial P_0(r)}{\rho_0(r)}$$

თერმოდინამიკური + გამოსხივების წნევა

$$P = P_0 + P_R$$

$$P_R \sim T^4$$

$$T = T(r, z)$$

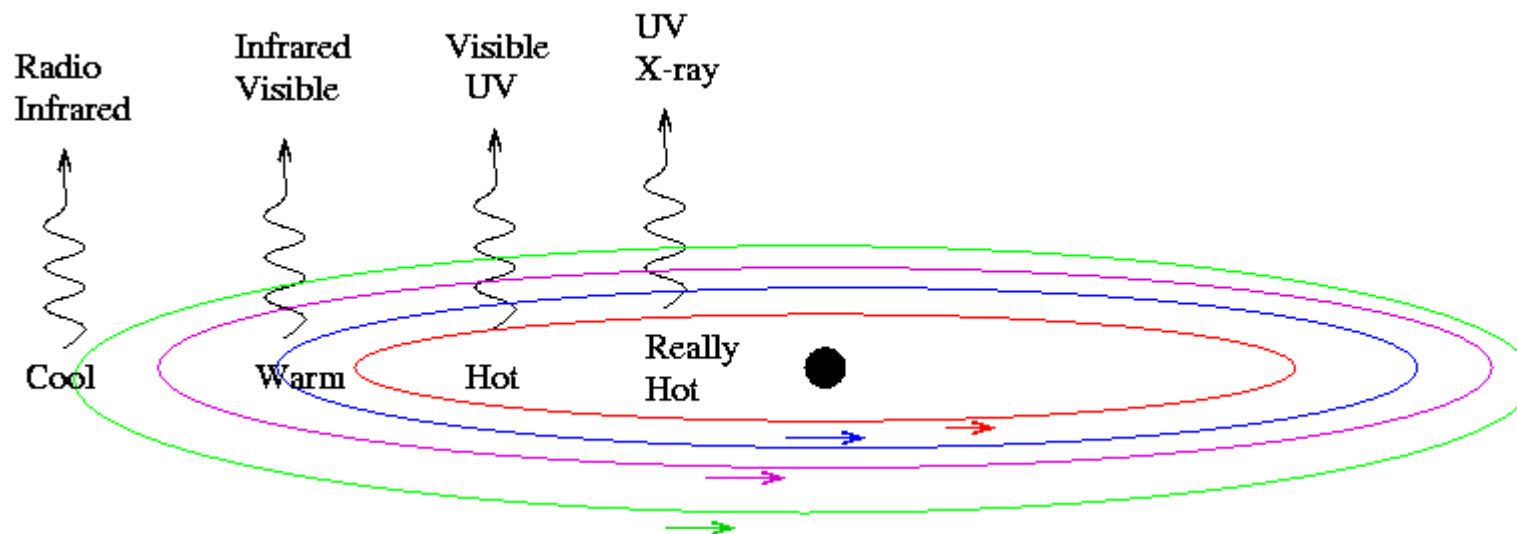
ტემპერატურის განაწილება

აკრეციული დისკები: სტრუქტურა

ტემპერატურის რადიალური პროფილი:

$$T(r) \sim \frac{\dot{M}}{r^3} \left[1 - \left(\frac{R_*}{r} \right)^{1/2} \right]^{1/4}$$

R^* - ცენტრალური ობიექტის რადიუსი (სასაზღვრო ფენა)



აკრეციული დისკის ზომები

შიდა რადიუსი

შავი ხვრელის „რადიუსი“

მოვლენათა ჰორიზონტი = შვარცშილდის რადიუსი

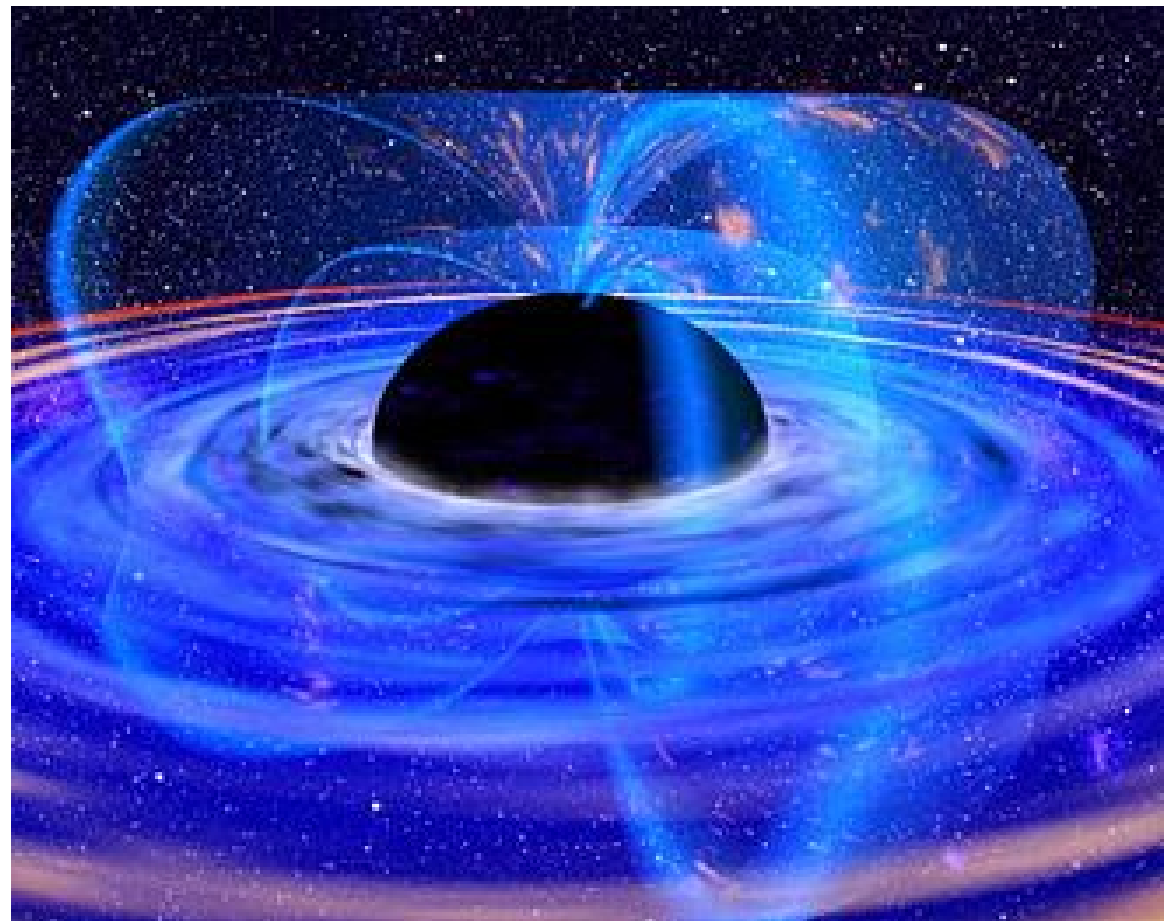
$$R = 2GM/c^2 = 3 \text{ km } (M/M_{\text{sun}})$$

$$1e8 M_{\text{sun}} \Rightarrow 2 \text{ AU} \quad (\text{AGNs})$$

$$1e9 M_{\text{sun}} \Rightarrow 20 \text{ AU} \quad (\text{quasars})$$

გარე რადიუსი

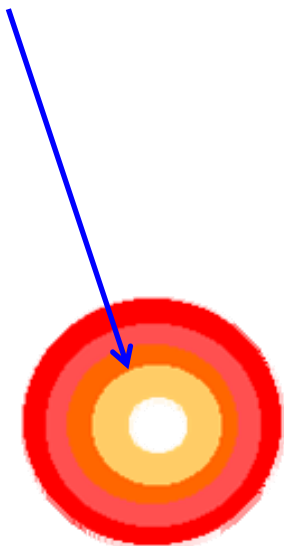
ორმაგი სისტემის როშე ლობი



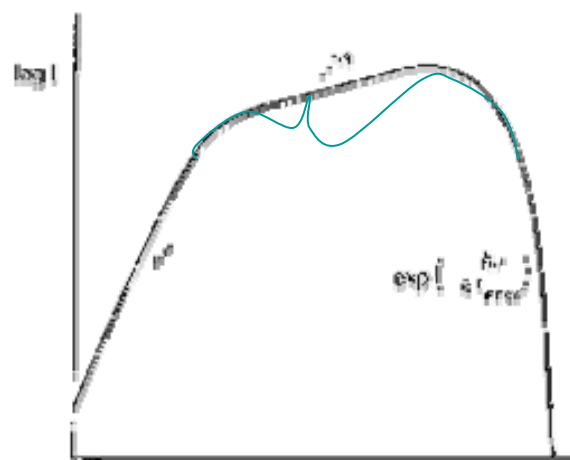
გამოსხივება

თხელი დისკის მიახლოება

ერთ-ერთი რგოლის გამოსხივება აკლია:



პლანეტების დიაგნოსტიკა



სიხშირე

ფენომენოლოგია

ვარსკვლავური აკრეციული დისკები
(T-Tauri ეტაპი)

აკრეციის ტემპი (დაკვირვებული სიმძლავრე, გამოსხივება)

$$\dot{M}(t) \sim 10^{-8} \frac{M_{\odot}}{1 \text{ yr}} \left(\frac{t}{2.5} \right)^{-n}$$

$$n = (1.5, 2.7)$$

დისიპაციური დროითი მასშტაბი:

$$\dot{M} \sim \frac{M_d}{t_v}$$

აღფას შეფასება:

$$R \sim 100 \text{ AU} : t_v \sim 1 \text{ Myr}$$

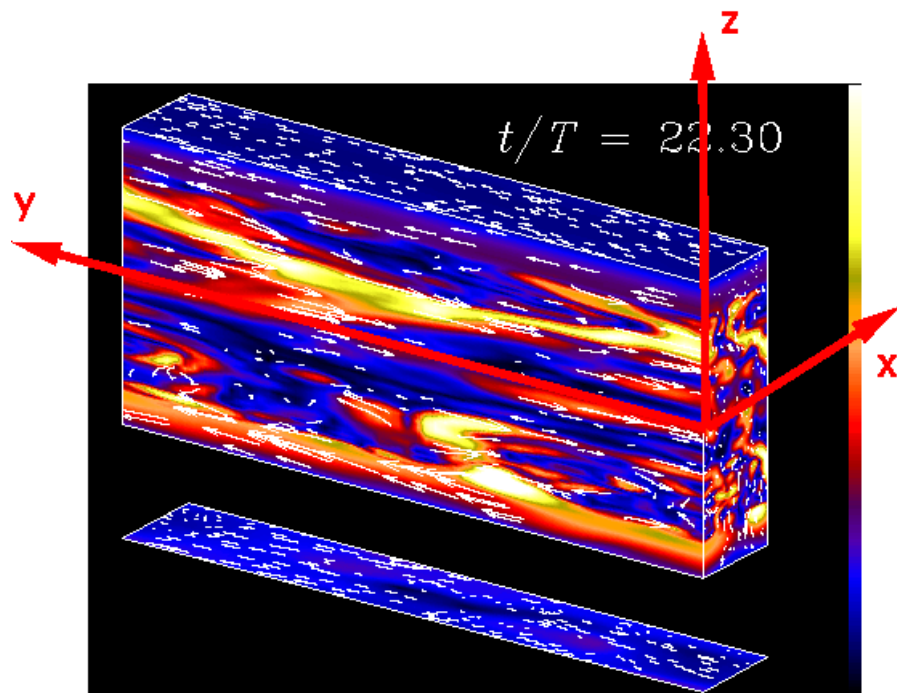
$$\alpha \sim 10^{-2}$$

ლოკალური მოდელირება

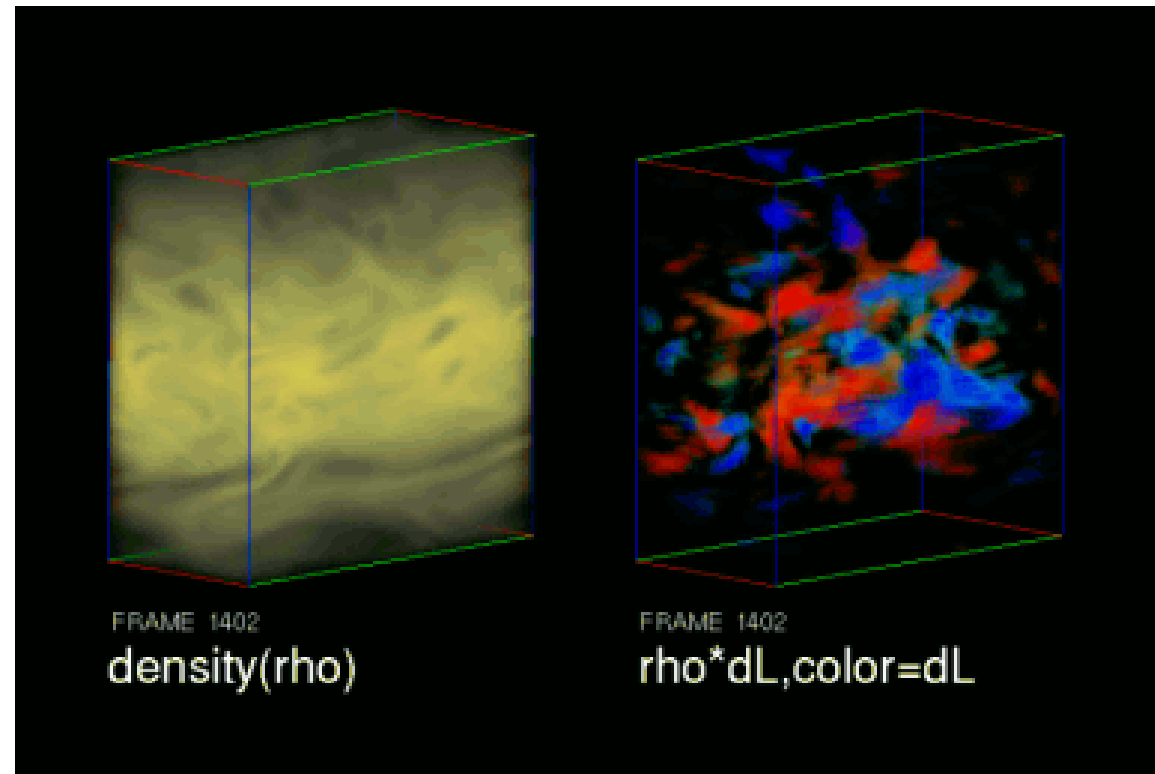
მაგნიტობრუნვითი არამდგრადობა

Gammie et al.

$\alpha \sim 10^{-3}$

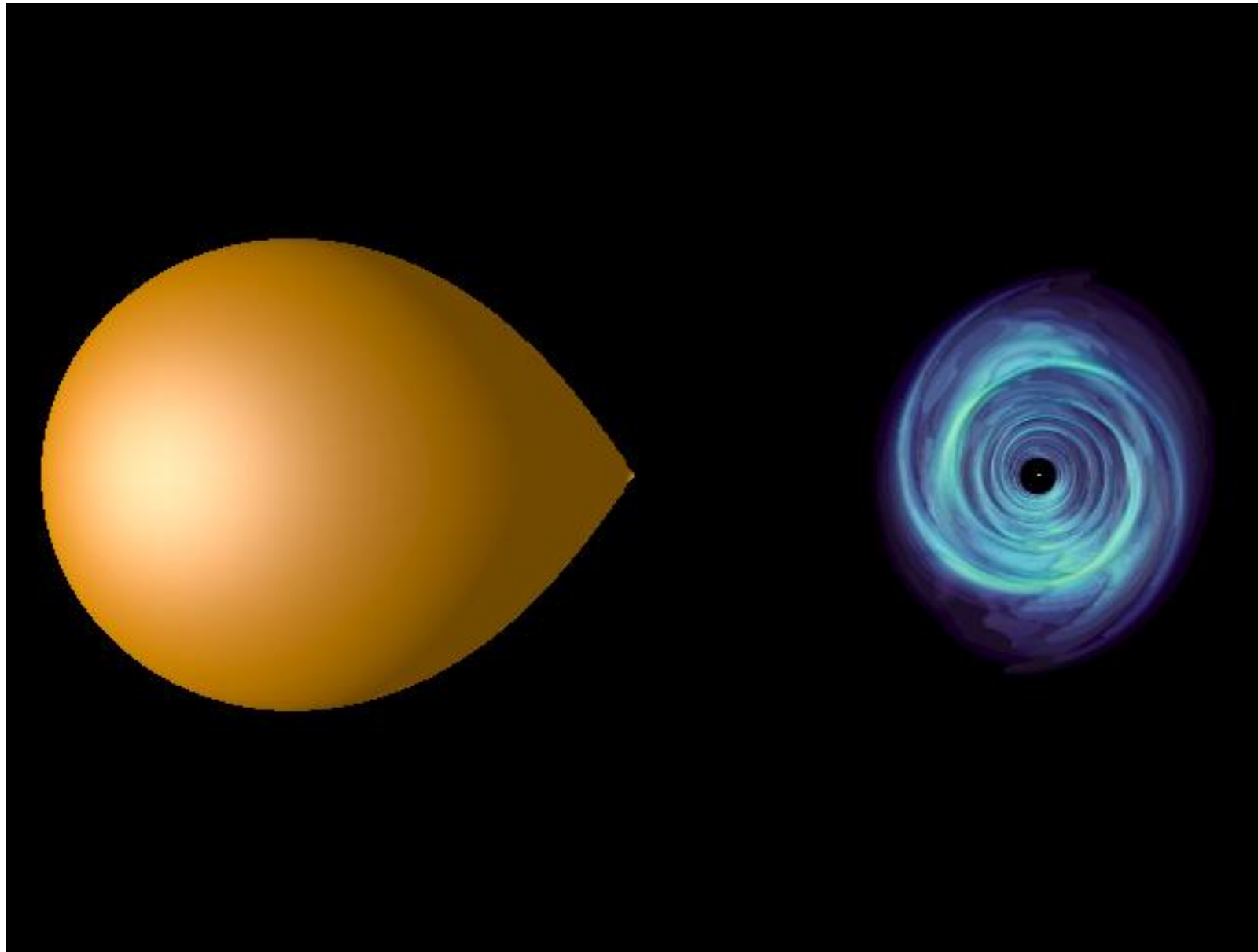


The magnetic flux density at the periphery of the computational box.
Yellow indicates strong magnetic fields.



გლობალური მოდელირება

PPM (Riemann/Godunov)



აკრეცია

ზემპლავრი ენერგიის წყარო:

- კვაზარები
- აქტიური გალაქტიკური ბირთვები (გალაქტიკები)

სწრაფი ცვალებადობა:

- აკრეცია ვარსკვლავებზე (კატაკლიზმური ცვლადები, ტ-ტაური, ჯეტები,)
- კვაზიპერიოდული ოსცილაციები
- რენტგენული და გამა გამოსხივების ვარიაციები

აკრეციული დისკების ტიპები:

- პროტოგალაქტიკური,
- პროტოვარსკვლავური,
- პროტოპლანეტარული

პროტოპლანეტარული დისკები: პლანეტების ფორმირება;

ამოცანა

გამოიყვანეთ რეილის მდგრადობის კრიტერიუმი ($d/dr (r^2 \Omega(r)) > 0$) ორგანზომილებიანი უკუმშვადი დიფერენციალურად მბრუნავი დისკური ნაკადისათვის წრფივ შემფოთებათა თეორიის გამოყენებით. განიხილეთ ღერძულად სიმეტრიული შემფოთებები.