



# O galaxiích



M87 © Anglo-Australian Observatory  
Photo by David Malin

## Galaxie?

- gravitačně vázaný systém
- obsahuje hvězdy, hvězdokupy, plyn, prach, temnou hmotu, ...
- základní struktury ve Vesmíru (ostrovy)

## Podle vzhledu rozlišujeme:

- eliptické
- spirální
- nepravidelné

# Eliptické galaxie

## Základní vlastnosti

- malý moment hybnosti
- vesměs bez struktury
- vznikají srážkami

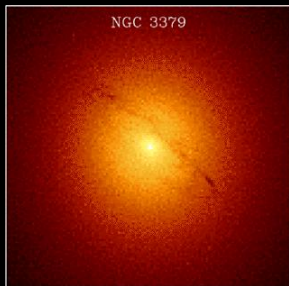


## Měřítko

	cD	E	dwarf
svítivost [ $L_{\odot}$ ]	$10^{11}$	$10^7 \dots 10^{10}$	$10^6 \dots 10^9$
hmota [ $M_{\odot}$ ]	$10^{14}$	$10^8 \dots 10^{13}$	$10^7 \dots 10^8$
poloměr [kpc]	300...1000	1...200	0.1...0.8

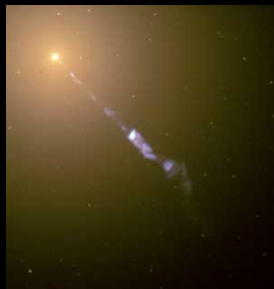
# Fakta o NGC 3379 a NGC 4486

## NGC 3379



- M 105 (Leo)
- 10 magnituda (R)
- $\sim 5'$
- 11 Mpc
- pás temné hmoty

## NGC 4486



- M 87 (Virgo)
- 10 magnituda (R)
- $\sim 7'$
- 18 Mpc
- jet

# Dvě galaxie versus dvě dámy

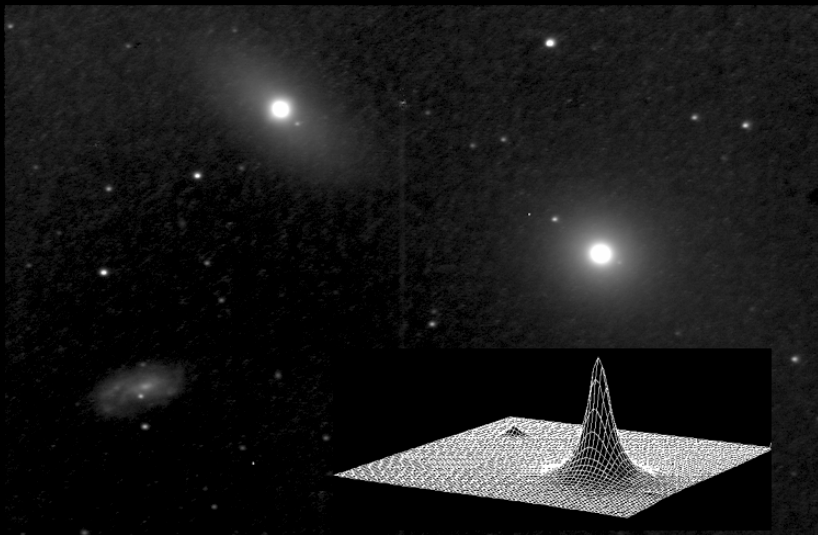
## Katka: fotometrie eliptických galaxií

- bakalářská práce
- pořízení a redukce snímků (MonteBoo, HST, ...)
- určení fotometrického tvaru galaxií
- získání profilů eliptických galaxií
- srovnání profilů získaných dalekohledy ze Země a z HST

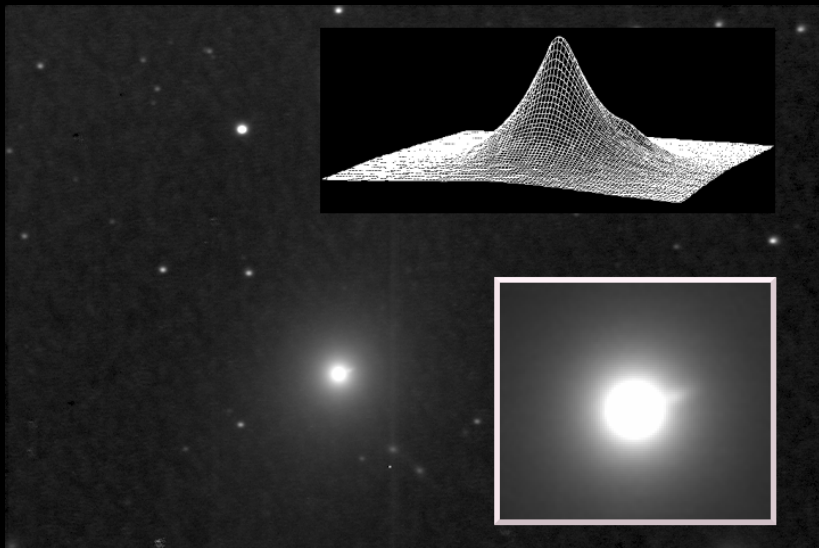
## Janis: studium dynamiky galaxií

- diplomová práce (zatím nedokončeno)
- matematický popis eliptických galaxií
- srovnání modelů s daty od Katky

# NGC 3379 – etalon studia galaktických profilů

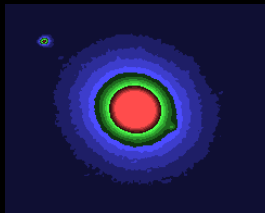


# NGC 4486 – centrální galaxie kupy v Panně



# Jak zjistit tvar eliptických galaxií?

## Isofoty NGC 3379



## Momentová metoda

- výpočet těžiště
- “momentu setrvačnosti”

## B2AC

- výpočetně nenáročná metoda
- používá pouze eliptické křivky

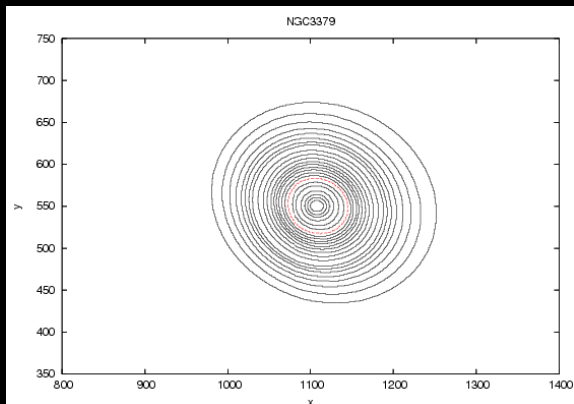
## B2AC

$$\mathbf{A} = (A_{xx}, A_{xy}, A_{yy}, \dots), \quad \mathbf{r} = (x^2, xy, y^2, \dots)^T$$

Minimalizace  $F(\mathbf{A}|\mathbf{r}) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{r}$  pokud  $4A_{xx}A_{yy} - A_{xy}^2 = 1$



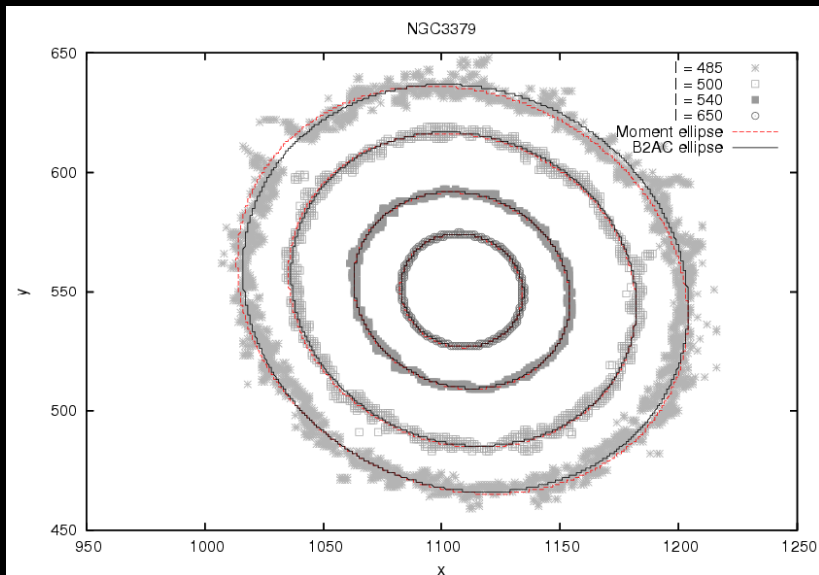
# Tvary eliptických galaxií



## Klasifikace

$a, b \dots$  poloosy,  $\varepsilon = 1 - b/a$ ,  $E_n$ ,  $n = \text{int}(10\varepsilon)$ ,  $E_0 \dots E_7$

# Proložené elipsy



# Fotometrcké profily

## Profil

- Závislost intenzity na prostorových souřadnicích:  $I(x)$

## Intenzita

$$I \equiv \frac{\Delta E}{\Delta A \Delta t \Delta \nu \Delta \Omega}$$

## Plošná magnituda

$$\mu_R(R) \equiv \mu_0 - 2.5 \log_{10} I(R)$$

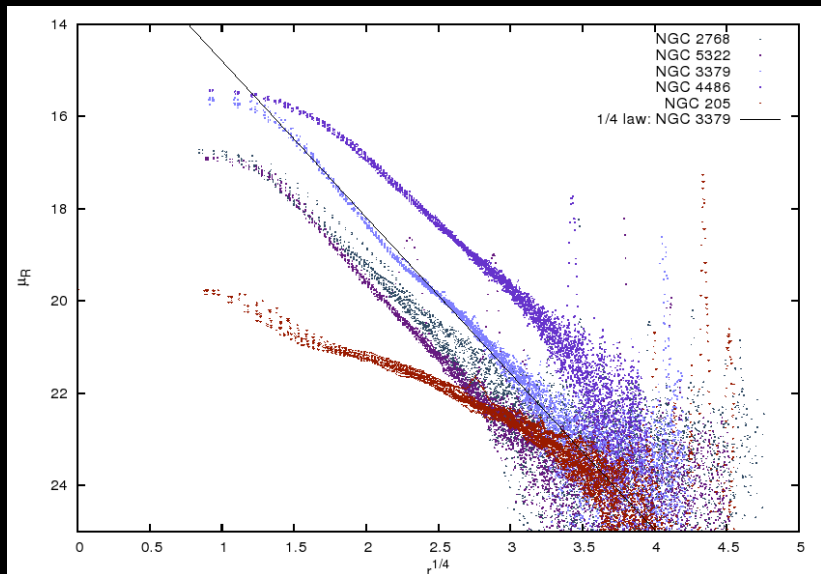
$$(\Delta \Omega = 1''^2, \Delta \nu(\text{Rfiltr}), \Delta A = 1 \text{ m}^2, \Delta t = 1 \text{ sec})$$

## 1/4-zákon (G. de Vaucouleurs, 1948)

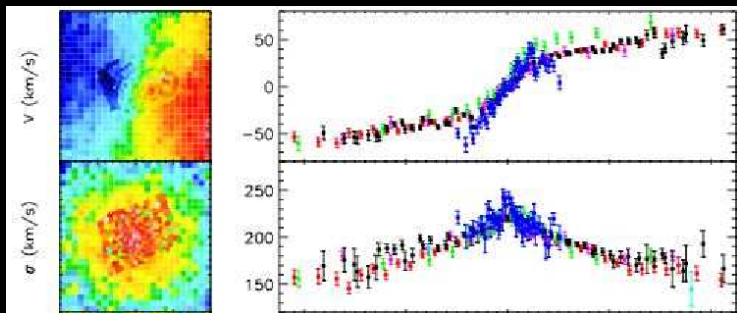
$$\mu(R) = A - BR^{1/4}$$

$$\mu(R) = \mu_e + 8.33((R/R_e)^{1/4} - 1), \quad I(R) = I_e e^{-7.67((R/R_e)^{1/4} - 1)}$$

# Profily eliptických galaxií



# Rotace eliptických galaxií



relativní radiální rychlost:  $v \sim \sum v_i$

disperzní rychlost:  $\sigma^2 \sim \sum (v_i - v)^2$

# Polytropní plynná koule

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} - \nabla \Phi \quad (\text{Euler}) \quad \& \quad p \sim \rho^{1+1/n} \quad (\text{polytropa})$$

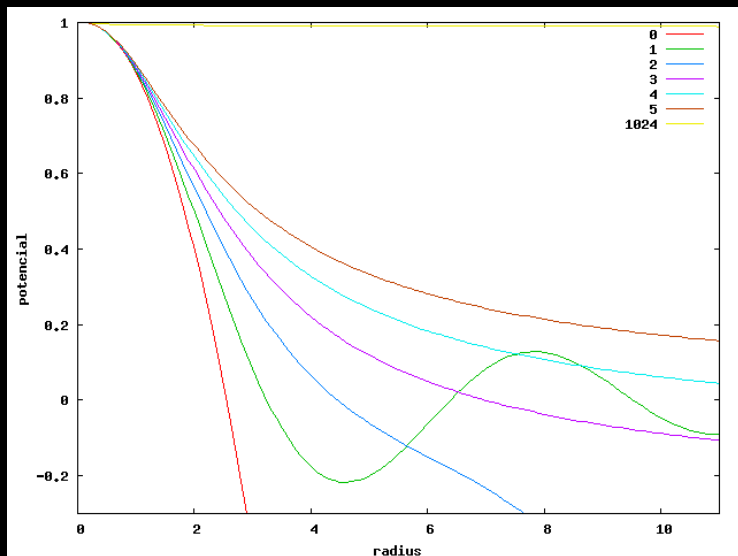
$$\Rightarrow \quad \rho = c_n \Phi^n \quad \& \quad \nabla^2 \Phi = -4\pi G \rho \quad (\text{Laplace})$$

## Emdenova rovnice

$$\frac{d^2 \Phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Phi}{dr} + 4\pi G c_n \Phi^n = 0$$

$$\Phi > 0, \quad \frac{d\Phi}{dr} = 0 \quad \text{pro } r = 0$$

# Potenciály polytropních koulí



# Hvězdný plyn

## Vlastnosti polytropních modelů

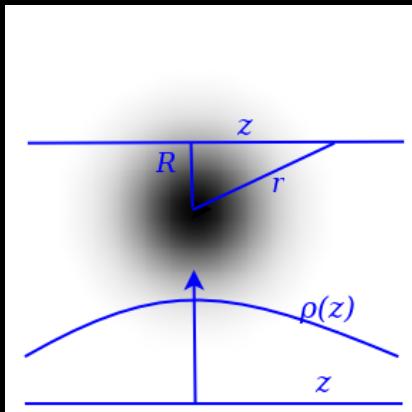
- $n = 0$ ,  $\rho = \text{const.}$
- $n = 1$ ,  $\Phi \sim \sin r/r$ , Helmholtzova rovnice
- $n = 5$ ,  $\Phi \sim 1/\sqrt{1+r^2/3}$ , nekonečný poloměr, konečná hmota
- $n > 5$ , nekonečný poloměr i hmota

## Jsou galaxie z ideálního plynu?

- ideální plyn: neinteragující částice vyjma srážek.
- hvězdné uskupení: hvězdy interagující mezi sebou silou  $r^{-2}$
- princip: na jednotlivou hvězdu působí všechny okolní hvězdy a jejich působení je v rovnováze (Newtonův teorém)
- hustota a rychlosti v galaxiích vedou k bez srážkovému plynu (v okolí Slunce je jedna srážka za  $10^{13}$  let)



## Vzhled plynné koule



### Plošná hustota

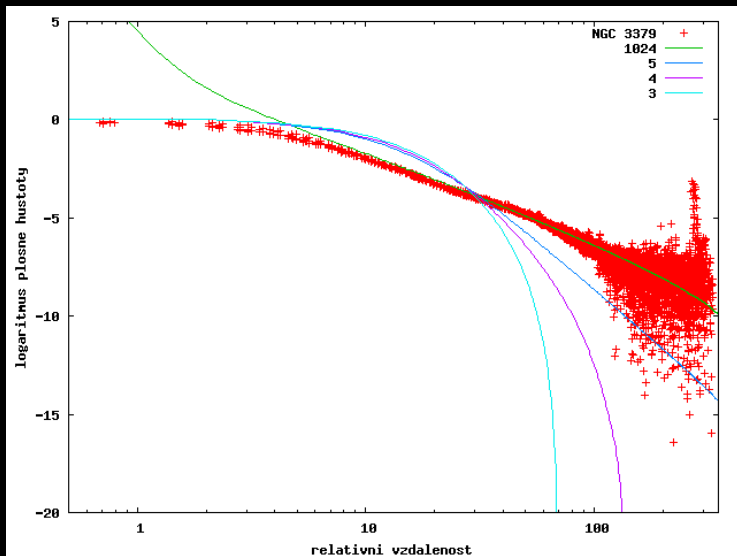
- pozorovatel *neměří*  $\rho(r)$
- pozorovatel měří pouze průmět  $\rho(r)$  do směru jeho pohledu

$$\Sigma(R) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r) dz$$

$$z = \sqrt{r^2 - R^2}$$

- $\Sigma(R)$  je ekvivalentní  $\mu(R)$

# Polytropní model pro NGC 3379



## Izotropní plynná koule

$$\rho \sim \rho^{1+1/n} \quad \text{pro } n \rightarrow \infty \quad \text{je } \rho \sim \rho$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} - \nabla \Phi \quad (\text{Euler}) \quad \& \quad p = \frac{k_B T}{m} \rho \quad (\text{izoterma})$$

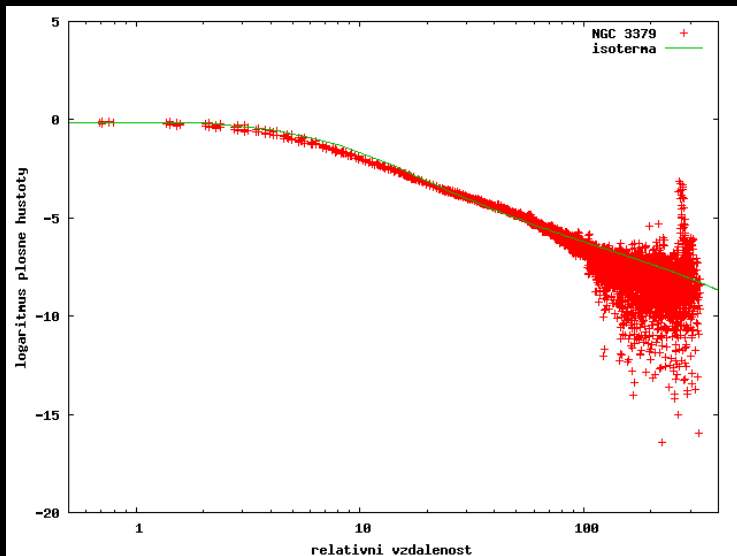
$$\Rightarrow \quad \rho = e^{(\Phi_0 - \Phi)m/k_B T}, \quad \Psi \equiv \Phi_0 - \Phi$$

### Izotropní model

$$\frac{d^2 \Psi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Psi}{dr} + 4\pi G e^{\Psi m/k_B T} = \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d \ln \rho}{dr} \right) + \frac{4\pi G m}{k_B T} r^2 \rho = 0$$

$$\text{Řešení pro hustotu: } \rho(r) = \frac{k_B T}{2\pi G m r^2}$$

# Izotropní model pro NGC 3379



## Statistický popis

- statisticky můžeme popsat obecnější systém

$$f(E) \sim e^{-E/\sigma^2} \quad (\text{Gibbs}) \quad \& \quad \rho = \int f d^3 \mathbf{v}$$

Disperzní rychlost

$$E = \Psi(r) - \frac{1}{2}v^2, \quad \sigma^2 = \frac{k_B T}{m} \quad \Rightarrow \quad \sigma \sim \int v^2 f(E) d^3 \mathbf{v}$$

Obecná rovnice galaktického potenciálu

$$\nabla^2 \Psi + 4\pi G \int f d^3 \mathbf{v} = 0$$

# Kingův model

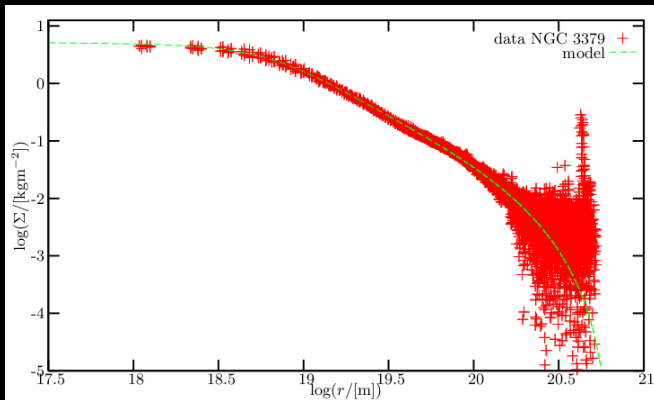
## Distribuční funkce

$$f(E) \sim \begin{cases} e^{E/\sigma^2} - e^{E_0/\sigma^2}, & E < E_0 \\ 0, & E > E_0 \end{cases}$$

## Vlastnosti

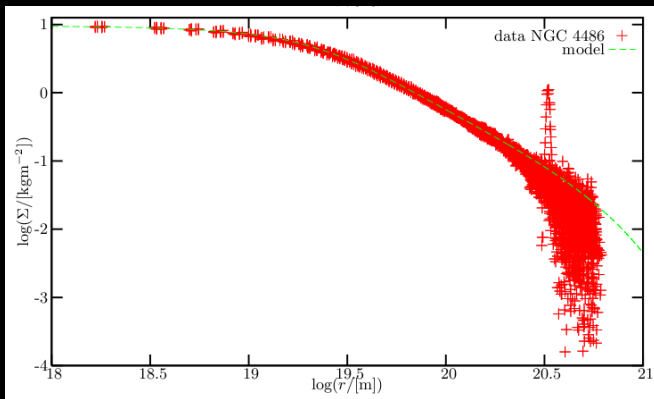
- přeskupuje hvězdy poblíž středu (přiděluje menší energii)
- ubírá hvězdy na okrajích
- neobsahuje singularitu
- dává konečnou hmotu i poloměr
- umožňuje určit: hustotu ve středu, disperzní rychlost, celkovou hmotu, podíl temné hmoty

# Kingův model pro NGC 3379



Kingův poloměr:  $240 \text{ pc}$ ,  $\sigma = 40 \text{ km/s}$ , centrální hustota:  $5.3 M_{\odot}$ ,  
celková hmota:  $10^8 M_{\odot}$ , temná hmota (parametr):  $10 M_{\odot}/L_{\odot}$

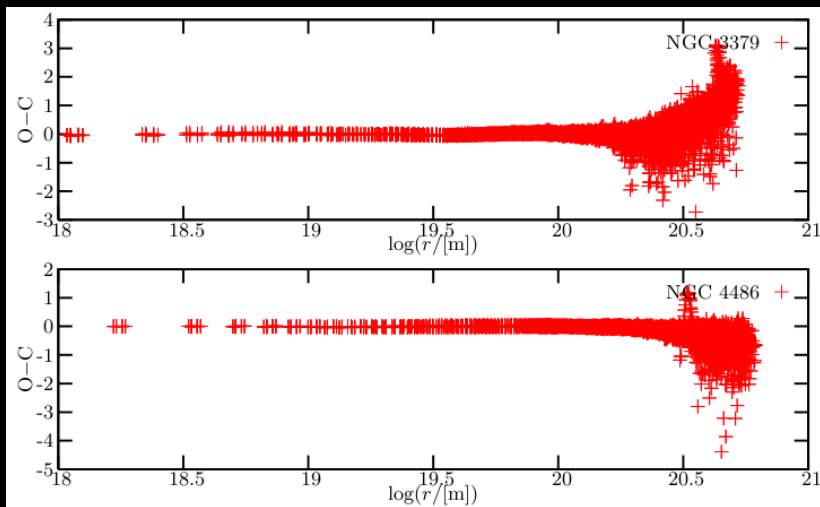
# Kingův model pro NGC 4486



Kingův poloměr: 800 pc,  $\sigma = 110$  km/s, centrální hustota:  $3.0M_{\odot}$ ,  
celková hmota:  $10^9 M_{\odot}$ , temná hmota (parametr):  $17M_{\odot}/L_{\odot}$



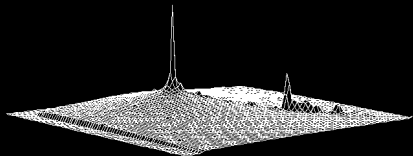
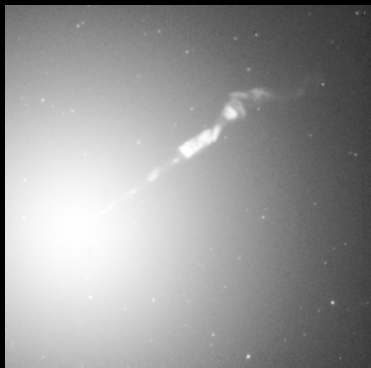
# Rezidua Kingových modelů NGC 3379 a NGC 4486



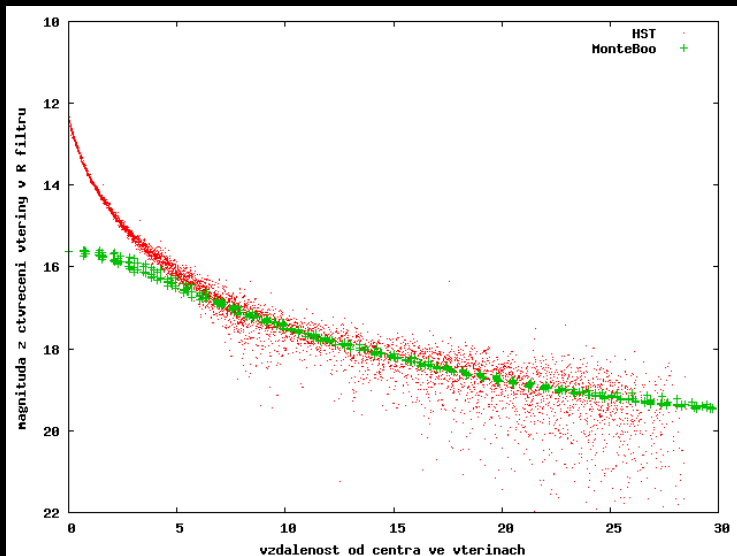
# Shrnutí klasických modelů

- popis eliptických galaxií aparátem statistické fyziky a hydrodynamiky v rovnováze
- modelování rozložení hvězd v galaxiích
- možnost odhadnout základní parametry
- temná hmota je nutný parametr
- dokonalý souhlas s pozorováním

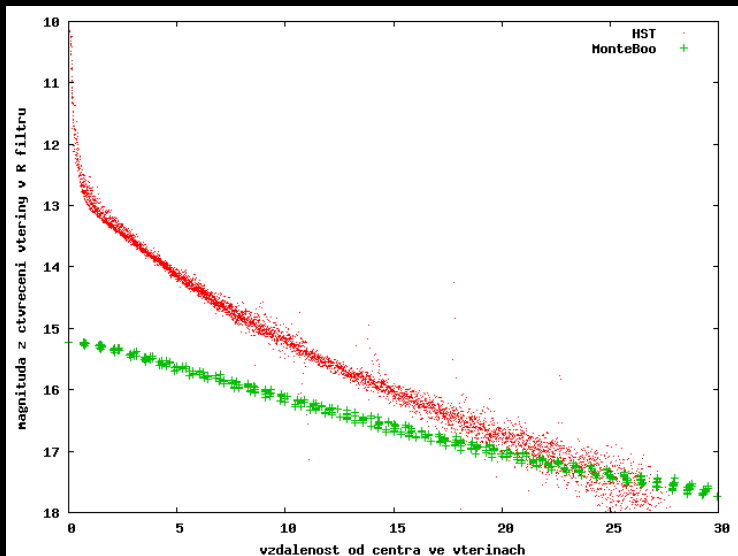
# Centrum NGC 4486



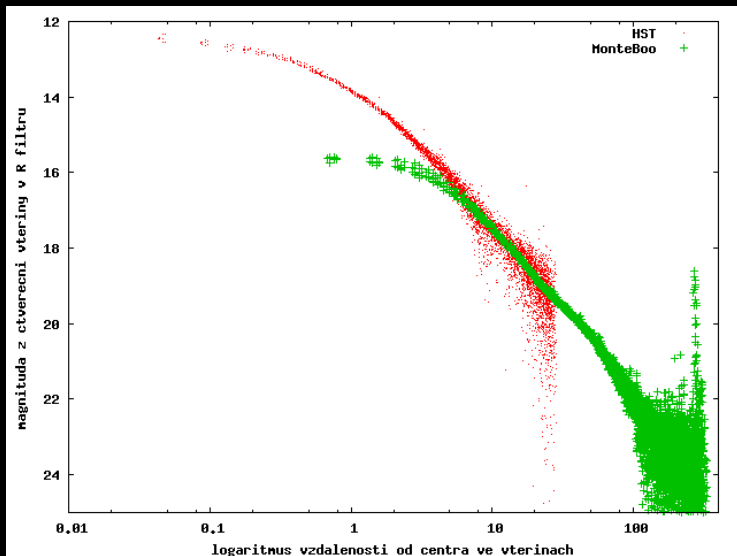
# Profil jádra NGC 3379



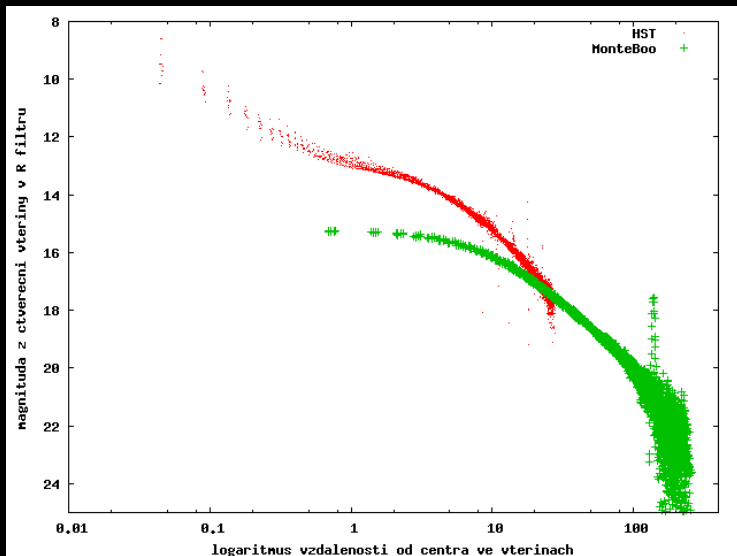
# Profil jádra NGC 4486



## Profil jádra NGC 3379 (log)



## Profil jádra NGC 4486 (log)



# Procitnutí

## Všechno je jinak?

- pozorování ze Země neodhalují pravou podstatu center
- modely (minimálně u centra) neodpovídají pozorováním
- možná je statisticko-hydrostatický popis korektní
- Kingovy modely aproximují korektně jen pozemská data
- parametry Kingových modelů neodpovídají realitě?
- odhad centrální hustoty a podílu temné hmoty je nekorektní?

## Možnosti k prozkoumání

- profily kulových hvězdokup
- plošná fotometrie komet
- jiný tvar distribuční funkce v galaxiích?
- ?



