

# Petr Zasche

## Cvičení z galaktické a extragalaktické astronomie

---

### 1 Jeansova nestabilita

Odvodte vzorec pro Jeansovu délku a hmotnost. (Předpoklady: nekonečné homogenní prostředí, jeden oblak plynu (ideálního), žádné vnější vlivy.) Spočtete Jeansovu hmotnost pro plyn o teplotě  $T = 10$  K a hustotě  $\rho = 10^{10}$  atomů vodíku v  $\text{m}^3$ . Diskutujte zdali by mohl být zárodečným oblakem naší Sluneční soustavy a také samotné principiální omezení Jeansovy úvahy. (Jeansův švindl ...)

---

### 2 Initial mass function (IMF)

Představte si, že pozorujete OB asociaci, která má 10 členů (to znamená 10 hvězd typu O a B). Odhadněte:

- Počet méně hmotných hvězd
- Celkovou hmotnost systému a kolik z toho je v O a B hvězdách a kolik v ostatních
- Hmotnost nejhmotnější hvězdy v systému

Zkuste nejprve tyto hodnoty odhadnout.

K výpočtu použijte Salpeterovu IMF:  $dN \sim M^{-2.35} dM$

Minimální hmotnost hvězdy typu B je cca  $4 M_{\odot}$ .

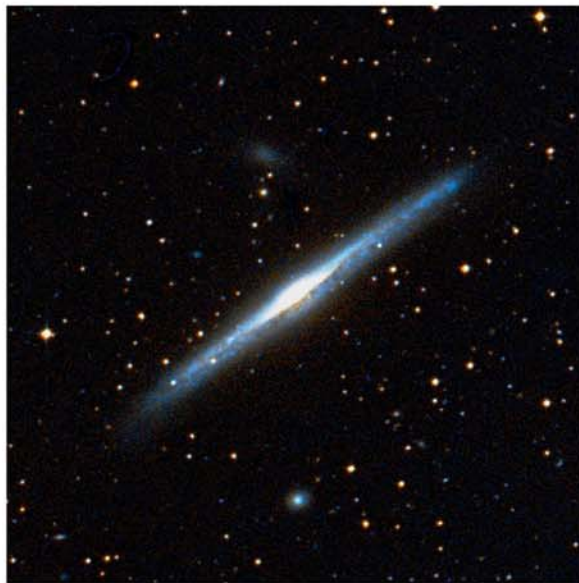
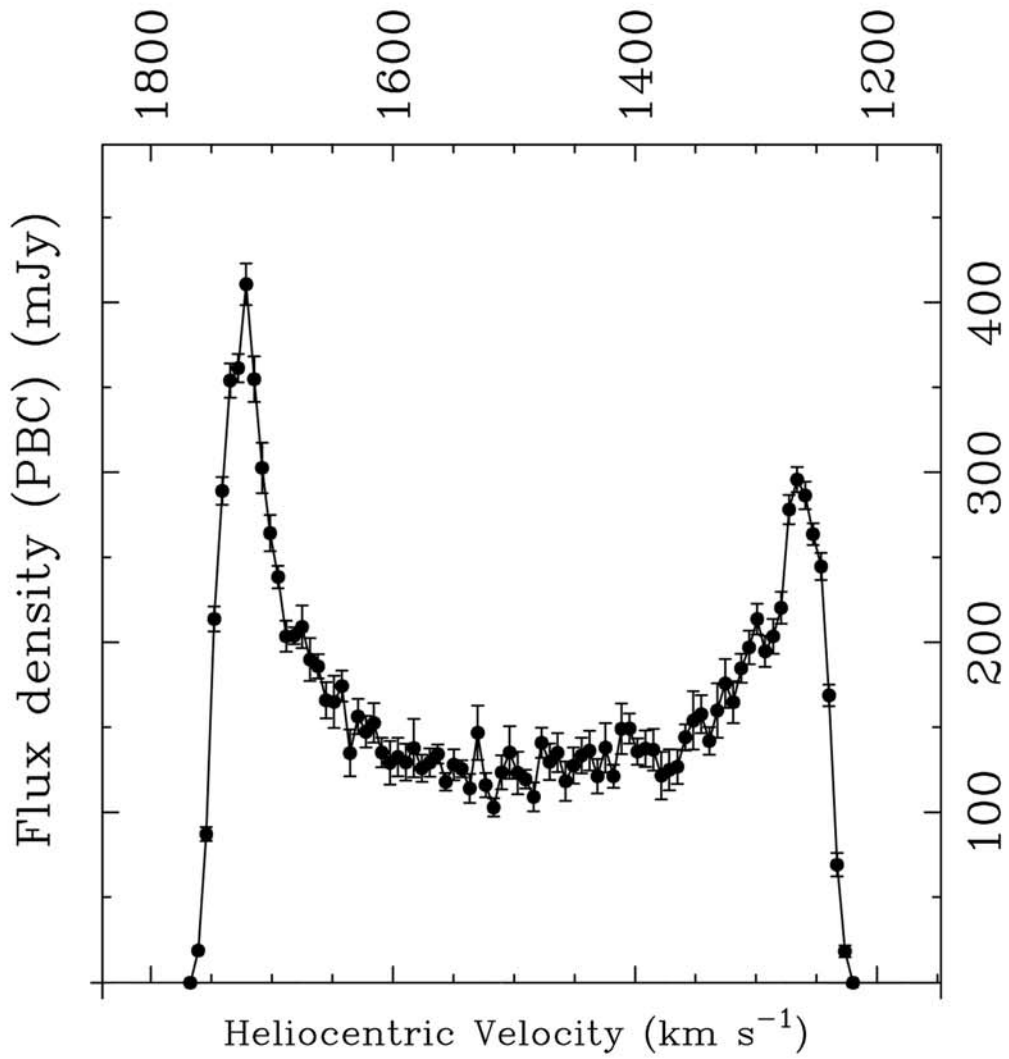
---

### 3 Plyn v galaxiích

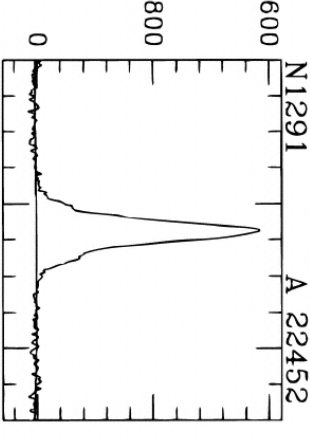
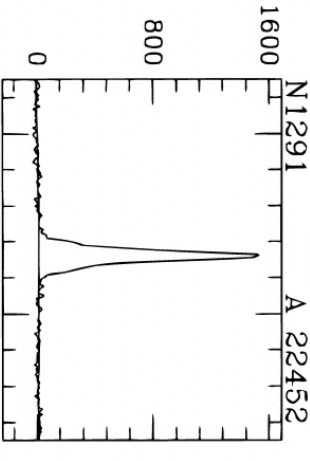
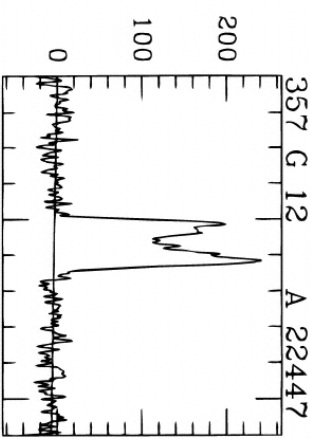
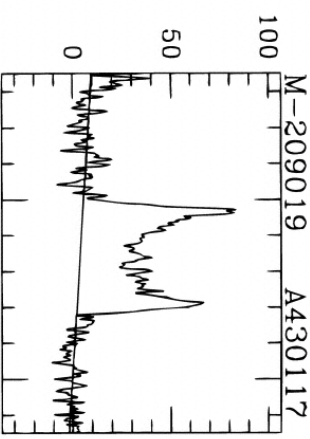
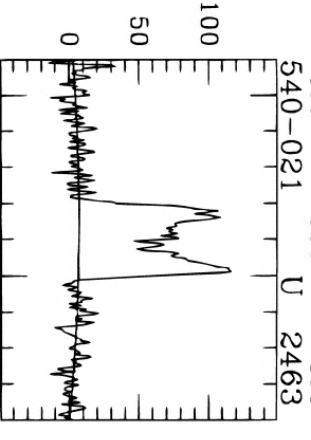
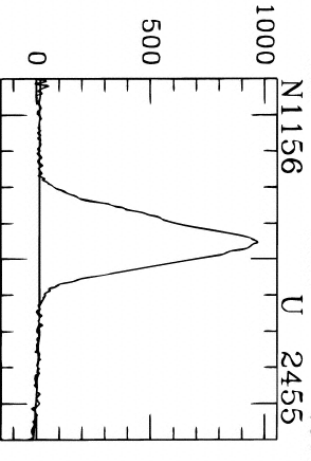
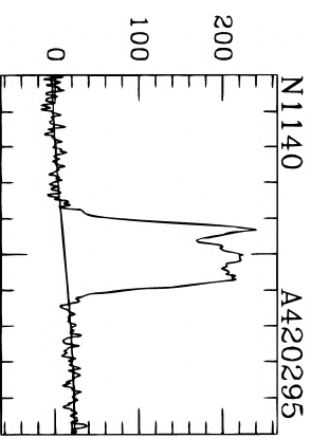
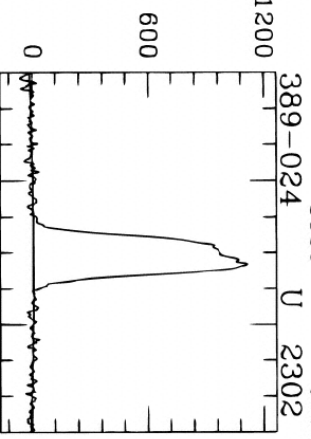
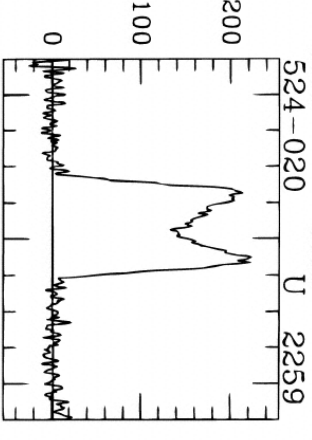
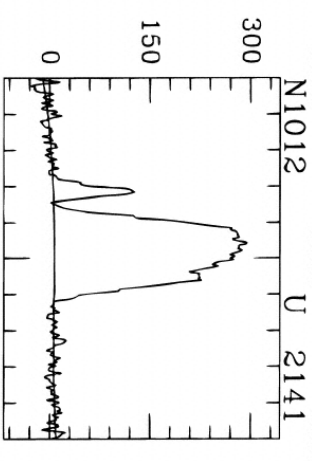
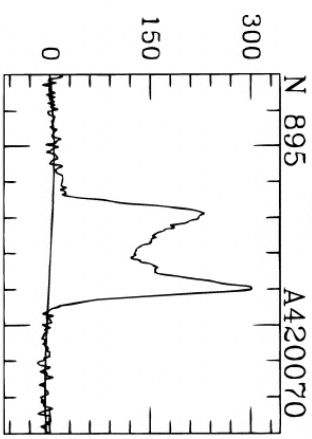
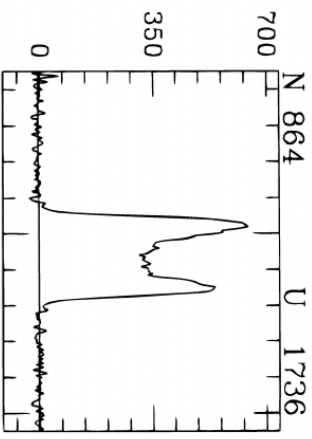
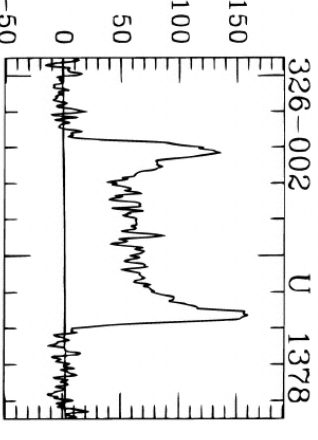
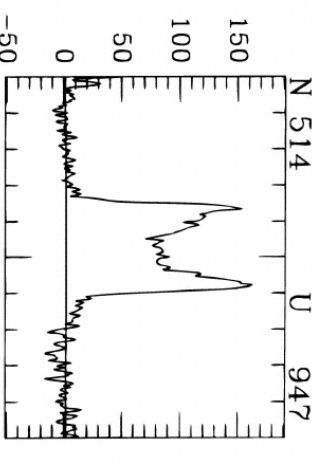
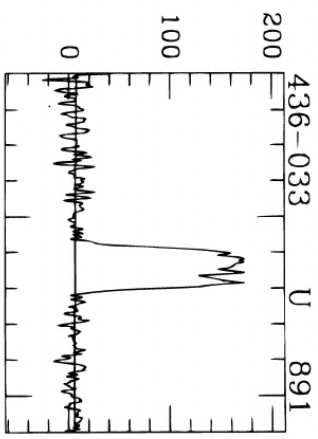
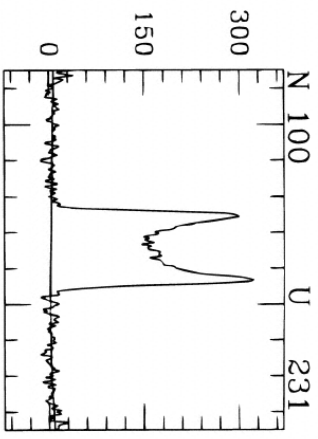
HI obálky (HI shells) patří k běžným objektům pozorovaným v rozložení neutrálního vodíku v mnoha galaxiích. První seznam obálek v naší Galaxii publikoval C.Heiles (1979, ApJ 229, 533). Obálky jsou označeny názvem typu  $GSllbbvv$ , kde GS je zkratka výrazu "galactic structure/shell",  $ll$ ,  $bb$  a  $vv$  jsou souřadnice středu obálky (galaktické souřadnice  $l$  a  $b$ ) a radiální rychlost středu  $v$  (vůči LSR - local standart of rest). Spočítejte vzdálenosti od Galaktického centra a lineární rozměry následujících tří struktur z Heilesova seznamu, když víte, že:

- úhlové rozměry GS139 – 03 – 69 jsou  $\Delta l \times \Delta b = 18^{\circ} \times 10^{\circ}$
  - úhlové rozměry GS041 + 01 + 27 jsou  $\Delta l \times \Delta b = 14^{\circ} \times 12^{\circ}$
  - úhlové rozměry GS061 + 00 + 51 jsou  $\Delta l \times \Delta b = 3^{\circ} \times 4^{\circ}$
-

# NGC 5170



NGC 5170 on DSS2 all sky survey; 0.2° view  
Credit: Anglo-Australian Observatory/STScI/WikiSky



## 4 Plyn v galaxiích, úloha 2

HI pozorování externích spirálních galaxií přináší také dost informací o těchto galaxiích. Zkuste určit co nejvíce údajů o externí galaxii NGC 5170 (viz obrázek).

---

## 5 Chemický vývoj v galaxiích

Tzv. *Closed-box model*

a) spočítejte jak se bude vyvíjet uzavřený systém hvězd a plynu ( $M_t = M_s + M_g = konst.$ ), ve kterém dochází k tvorbě hvězd (počáteční stav: samý plyn). Napiště rovnice popisující vývoj metalicity  $Z$ . Předpokládejte, že  $\Delta M_s$  vzniklých hvězd vyrobí  $p\Delta M_s$  těžších prvků a ty se do okolního prostředí uvolní okamžitě (tzv. *instantaneous recycling approximation*).

b) Na základě modelu určete množství hvězd s metalitou  $\frac{1}{4}Z_0$ .

---

## 6 Pohyb v gravitačním poli

Slunce se pohybuje po téměř kruhové dráze kolem Galaktického centra ve vzdálenosti  $R_0 \approx 8$  kpc, rychlostí  $V_0 \approx 200$  km/s. Pokud by byla veškerá hmota Galaxie koncentrována v centru, ukažte že hmotnost GC bude poté cca  $7 \times 10^{10} M_\odot$  a že tedy hvězdy ve slunečním okolí pohybující se rychleji nežli  $\sqrt{2}V_0$  opustí Galaxii. Ve skutečnosti ale vidíme blízké hvězdy, jež se pohybují až 500 km/s - vysvětlete. Za předpokladu, že Galaxie má potenciál Plummerovy sféry s  $a_p = 8$  kpc za použití vzorce pro Plummerovu sféru a pohybových vlastností Slunce kolem středu, vypočtete celkovou hmotnost Galaxie. Dokáže tento model vysvětlit existenci hvězd pohybujících se rychlostí 500 km/s ? Pokud ne, jak je to tedy možné?

---

## 7 Rozložení částic v potenciálním poli...

Tento příklad zkoumá závislost rozložení částic na gravitačním potenciálu. Zanedbává se vlastní gravitace částic, takže výsledky příkladu jsou dobře aplikovatelné například na rozložení plynu v Galaxii.

- Odvoďte, jaká je závislost mezi částicovou hustotou  $n$  a gravitačním potenciálem  $\Phi$ . Uvažujte izotermální částice. Situaci si můžete zjednodušit předpokladem, že  $\Phi$  i  $n$  jsou funkcemi pouze jedné souřadnice (např  $z$ ). Zanedbejte vlastní gravitaci částic.
  - Zkoumejte rozložení částic v disku galaxie  $n(z)$  pro potenciál typu nekonečně tenké desky v  $z = 0$
  - Zkoumejte rozložení částic v disku galaxie  $n(z)$  pro potenciál typu nekonečného homogenního prostředí
-

## 8 Základní charakteristiky galaxií

Doplňte chybějící údaje do následující tabulky:

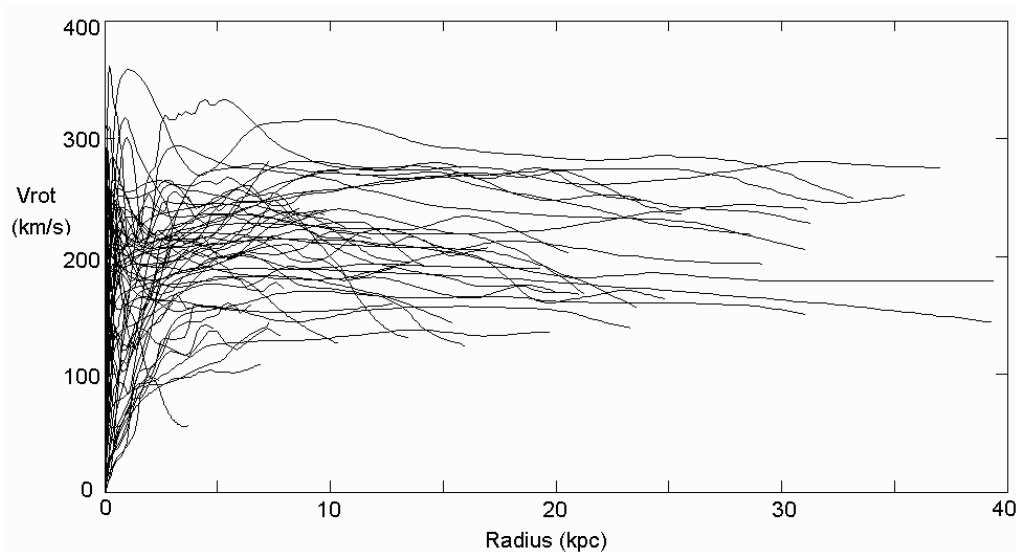
| Vlastnost                                      | Elipsoidické                            | Spirální                                | Nepravidelné                            |
|--|---|---|---|
| Procento zastoupení typu                       | 60%                                     | 30%                                     | 15%                                     |
| Zastoupení plynu jako procento hmotnosti hvězd |   | 5-15%                                   |   |
| Hvězdné populace                               |   |   | Populace I a II                         |
| Přibližný rozsah hmotností                     |   |   |   |
| Přibližný rozsah svítivosti                    | $\sim 10^5$ až $\sim 10^{11} L_{\odot}$ | $\sim 10^9$ až $\sim 10^{11} L_{\odot}$ | $\sim 10^7$ až $\sim 10^{10} L_{\odot}$ |
| Rozsah průměrů (1 = průměr Galaxie)            |   | 0.02 – 1.5                              | 0.05 – 0.25                             |
| Moment hybnosti na jednotku hmotnosti          |   |   | malý                                    |

## 9 Dynamické tření

Úloha na dynamické tření: Určete, za jak dlouho bude hvězdokupa o hmotnosti  $M$  obíhající kolem galaktického centra pohlcena a dopadne do středu?  $M = 10^6 M_{\odot}$ , v počáteční vzdálenosti  $r = R = 10$  kpc,  $r_c = 220$  km/s.

## 10 Další cvičení a úlohy, na doma, do testu ...

- Seznam objektů, které použijeme pro "hledání spirálních ramen" ?
- Proč metoda rotačních křivek dává pouze odhad spodního limitu pro hmotnost galaxie? Různé rotační křivky galaxií, viz obr. Proč metodu rotační křivky nelze použít pro eliptické galaxie?



- Určování vzdáleností ze Supernov typu I - všechny cca stejný peak svítivosti  $\Rightarrow$  Otázka: Mějme 3 galaxie v nichž je v každé jedna supernova,

vyjmenujte všechny důležité info co potřebujete znát o těchto Supernovách i galaxiích, abyste tuto metodu nakalibrovali. Stručně vysvětlete jak na to.

- Příklad 2.9 - za předpokladu že  $H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  vypočtete vzdálenost galaxie s rudým posuvem  $z = 0.048$ . Porovnejte váš výsledek s obrázkem (viz Fig.2.30). Dále na podobné téma příklad 2.11 - Typická hodnota rozptylu rychlostí galaxií je celkem cca 300 km/s. Jaká je tedy očekávaná hodnota rozptylu  $z$  v blízkých galaxiích, kde ze ještě zanedbat Hubbleův zákon?. A v cca jakých vzdálenostech začne tedy Hubbleův zákon dominovat nad těmito náhodnými pohyby (vezměte  $H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ) ?
- Odvoďte průměrnou dobu  $t$  mezi srážkami a střední volnou dráhu  $l$  hvězd a) v okolí Slunce, kde je jejich střední rychlost  $v = 20 \text{ km/s}$  a prostorová hustota  $N = 0.1 \text{ pc}^{-3}$  (uvažujte poloměr hvězd rovný  $R_\odot$ ), b) v jádře Galaxie, kde  $v = 1000 \text{ km/s}$  a kde se pohybuje  $10^9$  hvězd ve sféře o poloměru 5 pc (poloměr hvězd předpokládejte rovný  $10 R_\odot$ ).
- [Binney & Tremaine - Galactic Dynamics 10.1] Tento příklad zkoumá efekt chyby v určení vzdálenosti pomocí Hubbleova zákona ( $v_r = H_0 d$ ) na odvození hmotnosti: a) Předpokládejme, že hmotnost diskové galaxie je určena z měření rotační křivky až do nějaké vzdálenosti od centra galaxie. Ukažte, že hmotnost obsažená v tomto poloměru závisí na  $H_0^{-1}$ .

*Doplňkové úlohy na doma/do testu...*

b) Ukažte, že *mass-to-light ratio galaxie s hmotností určenou v bodě a) závisí na  $H_0$ .*

c) Ukažte, že *mass-to-light ratio skupiny galaxií, který byl odvozen za pomoci viriálového teorému, je úměrný  $H_0$ .*

- [Další úloha do případného testu - viz BT 10.2] Předpokládejme, že temná hmota je tvořena železnými asteroidy s hustotou  $\rho = 8 \text{ g cm}^{-3}$  a poloměrem  $r$ , které jsou rovnoměrně rozprostřeny v mezigalaktickém prostředí (ignorujte problém, jak vytvořit tolik železa z primordiálního helia a vodíku). Pro vesmír s  $\Omega_0 = 1$  najděte dolní odhad poloměru  $r$  z podmínky, že vesmír není neprůhledný (tzn. vidíme vzdálené kvazary). Stačí řádový odhad. Pro připomenutí:  $\Omega = \rho / \rho_{crit}, \rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G}$ .