

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Evolució dels Cúmuls del Centre Galàctic

Toni Sagristà Sellés

Universitat de Barcelona
Departament d'Astronomia i Meteorologia

1 de Febrer de 2011

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions
Esenari
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

El centre galàctic

Definició i consideracions generals

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció
El centre galàctic
Youth paradox
Cúmuls del CG
Motivacions
Esenari
Estudi detallat
Discussió resultats
Conclusions
Referències

Es defineix com el centre de rotació de la Via Làctea.

- ▶ Es troba a uns 8.5 Kpc del sol
- ▶ Conté un forat negre supermassiu (SMBH) $\sim 4 \cdot 10^6 M_\odot$
- ▶ SMBH situat a la regió Sgr A*
- ▶ No es pot observar al visible per absorció $\rightarrow \gamma$ -ray, IR, radio

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

Youth paradox

Estrelles joves aprop del CG

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció
El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG
Motivacions
Escrípтор
Estudi detallat
Discussió resultats
Conclusions
Referències

Detecció estrelles massives joves (<10 Myr) molt aprop del centre ($r \sim 1pc$), orbitant el SMBH en 2 discs.

Youth paradox

- ▶ **Formació in-situ:** Improbable a causa de l'efecte de marea del SMBH
- ▶ **Migració:** Temps migració més gran que edat

Youth paradox

Possibles explicacions

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Escenaris possibles:

- ▶ Formació en **discs d'acreció**
- ▶ **Rejuveniment** a través de fusions estelars
- ▶ Caiguda (**in-spiral**) de cúmuls cap al CG

Youth paradox

Disc d'acreció

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció
El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG
Motivacions
Escenari
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions
Referències

Col·lisió de núvols moleculars que cauen cap al CG. Formen discs d'acreció al voltant del SMBH (Levin & Beloborodov, 2003).

- ▶ Excentricitat de les estrelles massa alta (Nayakshin et al. 2007).
- ▶ Difícil deliberar si és un escenari plausible.

Youth paradox

Fusions estelars

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció
El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG
Motivacions
Escenario
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

Estrelles rejuvenides per processos de fusió, *stellar mergers*.

- ▶ Alta densitat del CG afavoreix el procés
- ▶ Podria ser viable amb estrelles dels cúmuls del CG (Figer et al. 2002)
- ▶ No és viable dins el primer parsec (Genzel et al. 2003)

Youth paradox

In-spiral

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció
El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG
Motivacions
Escenari
Estudi detallat
Discussió resultats
Conclusions
Referències

Caiguda en de cúmuls per fricció dinàmica (in-spiral)

- ▶ Proposat per Gerhard, 2001
- ▶ Cúmuls envien les estrelles al centre en la seva caiguda
- ▶ Necessari estudi detallat

Youth paradox

Estrelles joves a prop del CG

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències



Figure: El centre galàctic NIR+IR+X-ray (HST+Spitzer+Chandra)

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

In-spiral

Motivacions

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

És possible que les estrelles joves massives observades al CG hagin estat transportades com a membres d'un cúmul?

Com s'esdevé aquest procés?

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari**
- Estudi detallat
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

In-spiral

Escenari (1/2)

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

- ▶ El cùmul es forma a distàncies de desenes de pc del CG
- ▶ Cau cap al CG en una trajectòria en espiral per fricció dinàmica
- ▶ Es perd massa estelar, aproximació radi de marea per r_J

$$r_J \approx \left(\frac{m_c}{2M(R)} \right)^{1/3} R$$

In-spiral

Escenari (2/2)

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

- ▶ El cùmul es pot dispersar i desaparèixer (normalment $N_* < 0.5\%$)
- ▶ Evidències observacionals d'aquest escenari: Arches i Quintuplet (<30 pc)

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat**
- Discussió dels resultats

3 Conclusions

4 Referències

Estudi In-spiral

Simulacions del model de caiguda en espiral

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions
Escrípsti
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

- ▶ **Tradicionals**, fricció dinàmica tractada analíticament, galàxia aproximada per model de King ($W_0 \sim 9$)

$$a_{df} = -4\pi \ln \Lambda \chi G^2 \rho m_c \frac{v_c}{v_c^3}$$

$$\chi = \operatorname{erf}(X) - \frac{2X}{\sqrt{\pi}} e^{-X^2}$$

$$X = \frac{v_c}{\sqrt{2\sigma_G}}$$

- ▶ Simulació semianalítica basada en Monte Carlo - Gürkan et al. 2005
- ▶ **Modernes**, amb un model més realista de la galàxia
 - ▶ BRIDGE - Fujii et al. 2007

Estudi In-spiral

BRIDGE (1/2)

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Discussió basada en el BRIDGE

- ▶ Híbrid entre simulació directa i model d'arbre
- ▶ Moviment intern del cúmul simulat de manera acurada
- ▶ La resta de moviments (galàxia) calculats utilitzant esquema d'arbre (aproximació pel càlcul de forces)

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Discussió basada en el BRIDGE

- ▶ Model de King pels cúmuls ($W_0 = 3$)
- ▶ S'efectuen simulacions amb diferents models de galàxies i òrbites
- ▶ No es té en compte l'evolució estelar (escala temps <1 Myr)

Índex

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

1 Introducció

- El centre galàctic
- Youth paradox

2 Cúmuls del CG

- Motivacions per estudiar els cúmuls del CG
- Escenari
- Estudi detallat
- **Discussió dels resultats**

3 Conclusions

4 Referències

Discussió dels resultats

Simulacions

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Model	Galàxia	Òrbita	Pos _{ini} [pc]	Vel _{ini} [Kms ⁻¹]
C	1	C	2	130
E	1	E	5	72
B1	2	E	5	57
B2	2	E	5	67

Galàxia 1: No SMBH

Galàxia 2: SMBH

C: Circular

E: Excèntrica

Discussió dels resultats

Òrbita circular + No SMBH

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

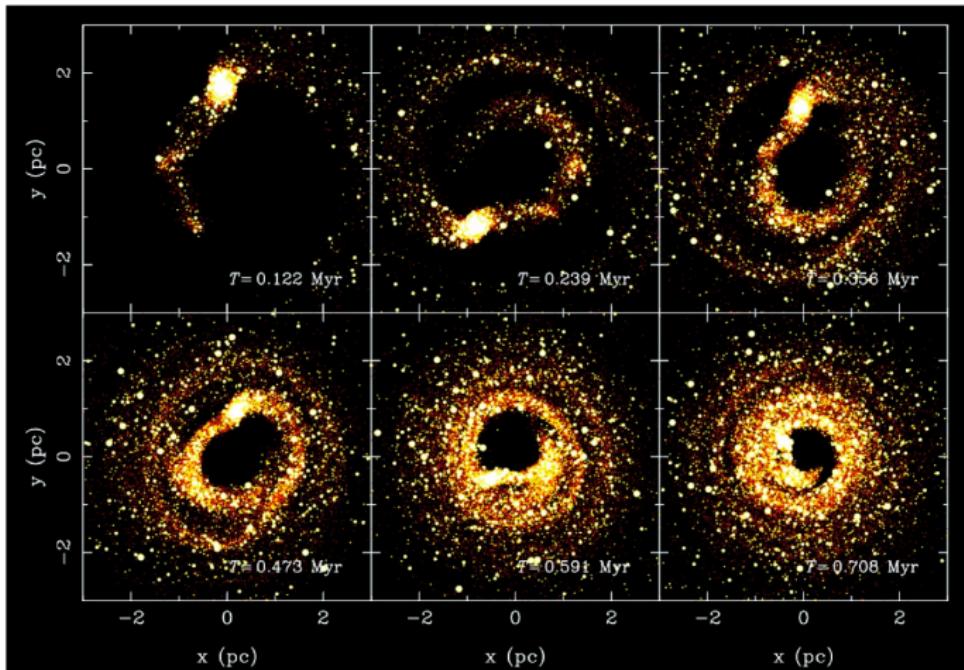


Figure: Projecció al pla XY del cùmul amb òrbita circular

Discussió dels resultats

Òrbita excèntrica + No SMBH

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions
Escenario
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

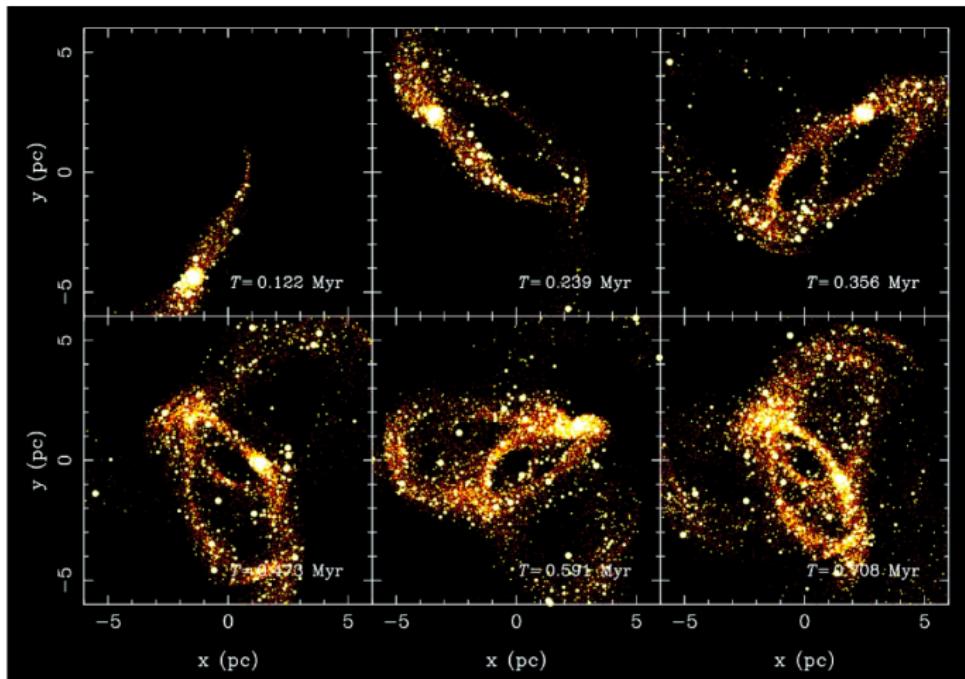


Figure: Projecció al pla XY del cúmul amb òrbita excèntrica

Discussió dels resultats

Distància al CG

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Velocitat inicial $B_1 = 57 \text{ Km} \cdot \text{s}^{-1}$, $B_2 = 67 \text{ Km} \cdot \text{s}^{-1}$, $E = 72 \text{ Km} \cdot \text{s}^{-1}$

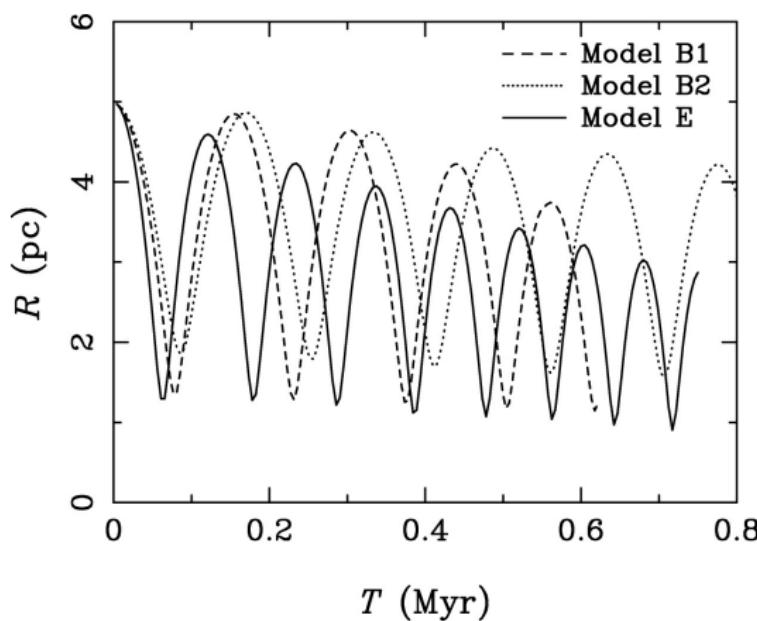


Figure: Distància del cúmul al CG

Discussió dels resultats

Massa del cùmul

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions
Escenario
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

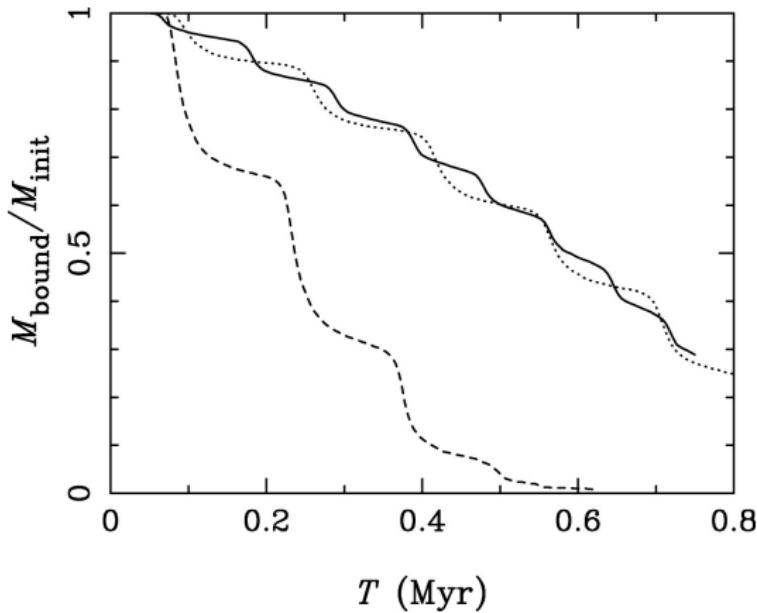


Figure: Massa del cùmul al llarg del temps

Discussió dels resultats

Evolució de la funció de masses

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions
Escenario
Estudi detallat
Discussió resultats

Conclusions

Referències

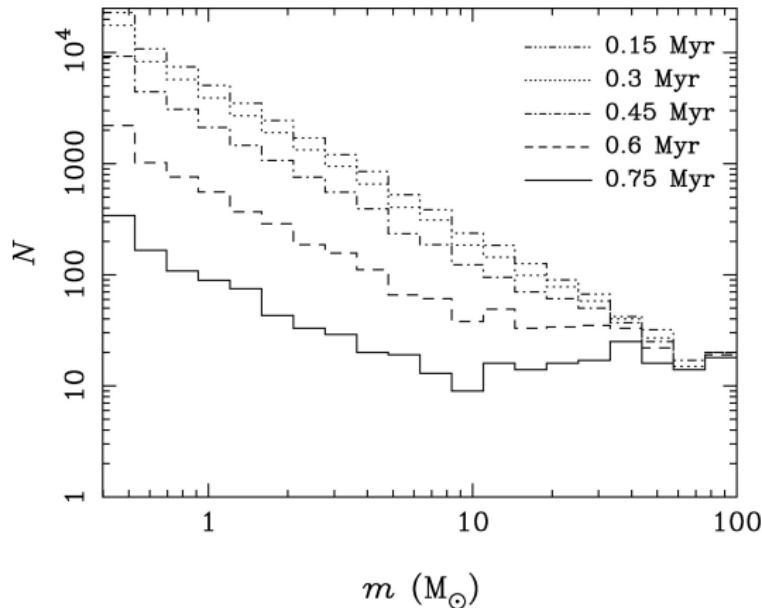


Figure: Evolució de la funció de masses al llarg del temps

Discussió dels resultats

Altres paràmetres

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic

Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenari

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

Densitat central augmenta amb el temps (pot col·lapsar i produïr IMBH)

Clau: Es desintegra el cúmul abans de col·lapsar el seu nucli?

Conclusions

Evolució dels
Cúmuls del
Centre Galàctic

Toni Sagristà
Sellés

Introducció

El centre galàctic
Youth paradox

Cúmuls del CG

Motivacions

Escenario

Estudi detallat

Discussió resultats

Conclusions

Referències

- ▶ In-spiral, candidat per explicar part de la *youth paradox*
- ▶ Segurament hi ha més d'un mecanisme en joc
- ▶ Condicions inicials importants (òrbita, velocitat, W_0)
- ▶ Cúmuls amb W_0 gran poden col·lapsar i desapareixen aprop del CG
- ▶ Cúmuls amb W_0 petit es dispersen lluny, mals candidats

Exemple

$$R_0 \geq 10\text{pc} \rightarrow M \geq 10^6 M_\odot$$

Referències

- Gürkan, M.A., Freitag, M. & Rasio, F.A. 2004, ApJ, 604:632-652
- Gürkan, M.A. & Rasio, F.A. 2005, ApJ 628:236-245
- Fujii, M., Funato, Y. & Makino, J. 2006, PASJ, 58:743-755
- Fujii, M., Iwasawa, M., Funatio, Y. & Makino, J. 2008, ApJ, 686:1082-1093
- Nayakshin S., Sunyaev R., 2007, MNRAS, 377, 1647
- Figer, D.F. et al. 2002, ApJ 581:258
- Gerhard, O. 2001, ApJ, 546, L39
- Paumard, T. et al. 2006, ApJ, 643:1011-1035
- King, I. 1962, ApJ, 67:471-485
- Binney & Tremaine, S. 1987, Galactic Dynamics
- Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, 2001, Nature Publishing Group, Institute of Physics Publishing