

Reconstruction of mass profiles in disc-like galaxies based on its properties of lensing and rotational curves



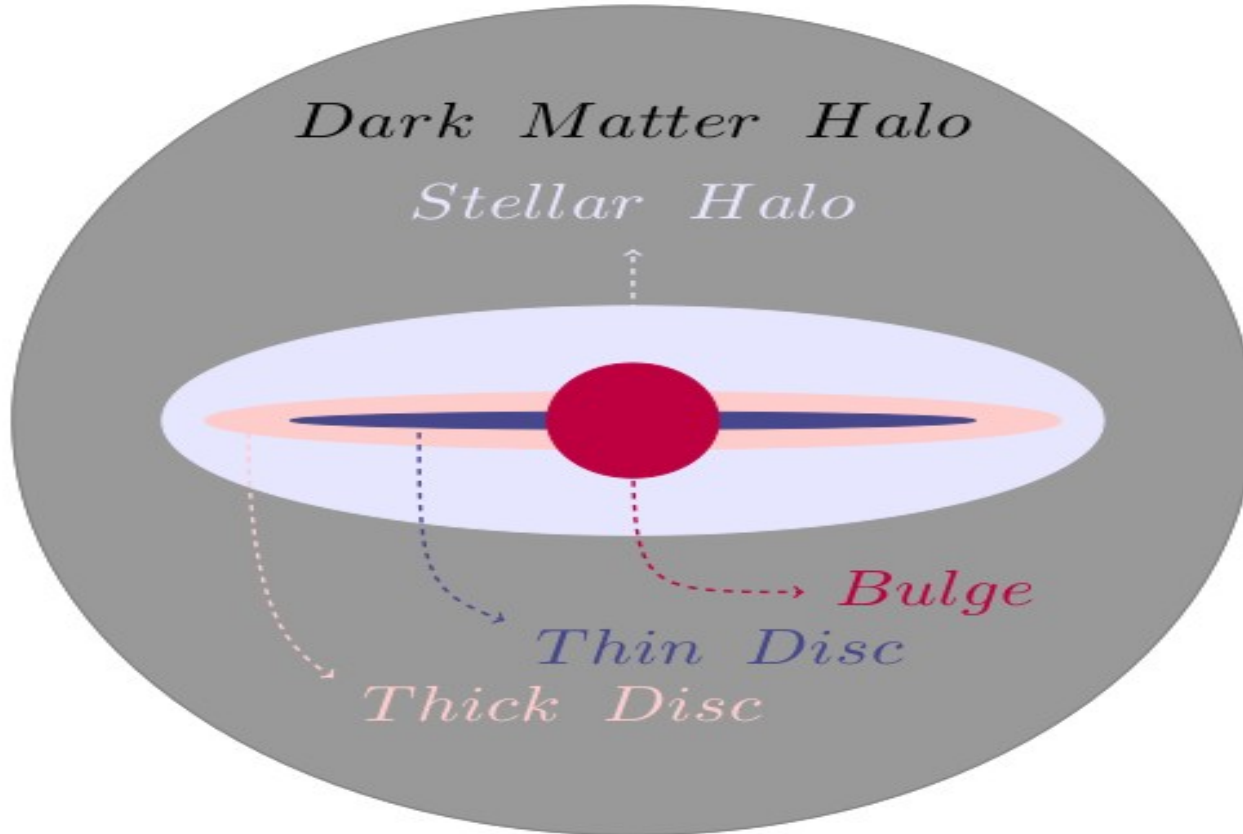
Msc. Itamar Alfonso López Trilleras
Observatorio Astronómico Nacional
Universidad Nacional de Colombia
September 2020

Contents



- ◆ **Methods of mass reconstruction**
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ Conclusions
- ◆ Events and publications

Galactic Dynamics

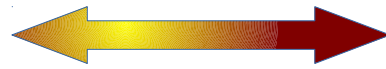


Galactic Dynamics



$$\nabla^2 \Phi = 4 \pi G \rho$$

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i$$



$$\phi = \sum_{i=1}^N \phi_i$$

(1)

$$V_c^2 = \sum_{i=1}^N V_c^2(i)$$

Gravitational Lensing Effect (GLE)

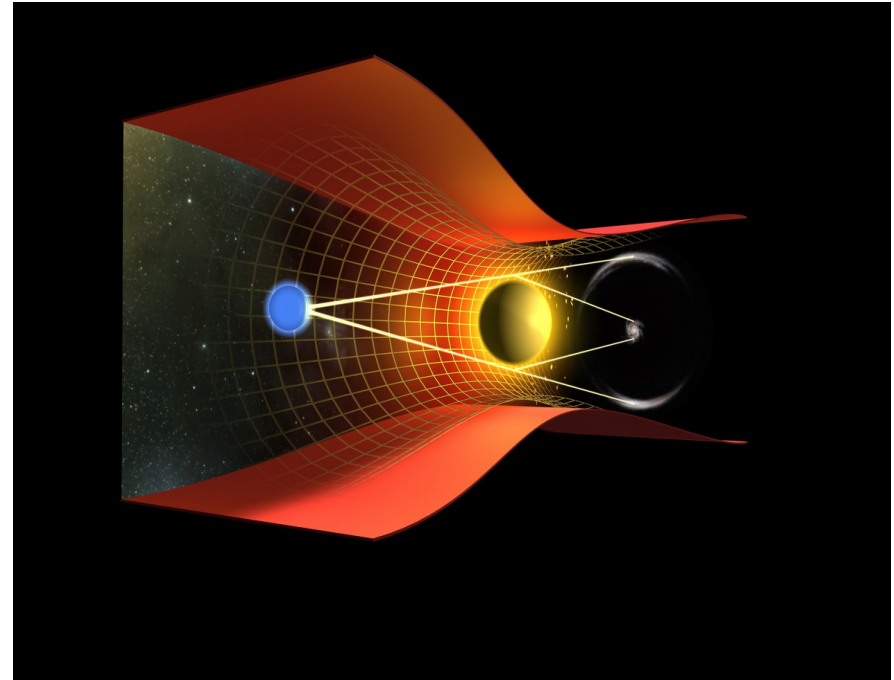


$$\vec{\beta} = \vec{\theta} - \nabla_{\vec{\theta}} \psi(\vec{\theta}) \quad \longleftrightarrow \quad \text{Lens equation}$$

$$K = \frac{\Sigma}{\Sigma_{crit}}, \quad \Sigma = \sum_{i=1}^N \Sigma_i \quad (2)$$

$$\psi = 2 \int_0^{\theta} \theta' \kappa(\theta') \ln \frac{\theta}{\theta'} d\theta' \quad (3)$$

With $\theta = \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2}$

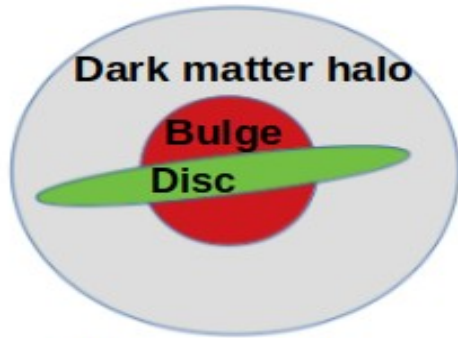


Contents

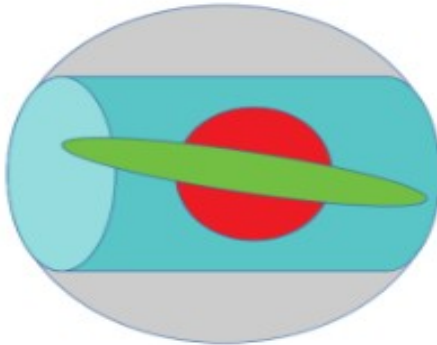


- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ **Combination of GLE and Galactic Dynamics**
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ Conclusions
- ◆ Events and publications

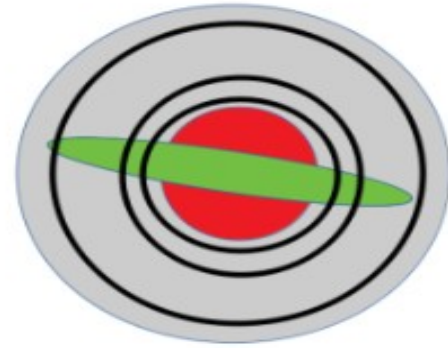
LENSING+DYNAMICS



Observer View



Mass projected
in the GLE



Mass projected with
galactic dynamics

- Taking advantages of each geometry.
- Combining restrictions of both methods.

Contents



- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ **Gallenspy code**
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ Conclusions
- ◆ Events and publications

Gallenspy Code



A computational routine
developed in python.

Mass reconstructions based on
GLE (Grid 100X100).

Invert numerically the lens
equation.

Estimation in the position of the
source.

Gallenspy Code



Main libraries

Numpy
Data
handling

Matplotlib
Graphic
interfaces

emcee
Parametric
adjust

corner
Reliability
regions

Gallenspy potentials



**DARK MATTER
HALO**



**NFW
BURKERT**

**GALACTIC
DISC**



**Exponential Disc
Miyamoto-Nagai**

BULGE



Miyamoto-Nagai

Range of Values



Range of values with Gallenspy		
Component	Range of parameters	Units
Bulge I	$a = 0$	kpc
	$0.0 < b < 0.5$	kpc
	$0.1 < M < 1.0$	$10^{10} M_{\odot}$
Bulge II	$0.01 < a < 0.05$	kpc
	$0.5 < b < 1.5$	kpc
	$1 < M < 5$	$10^{10} M_{\odot}$
Disc thin	$1 < a < 10$	kpc
	$0.1 < b < 1.0$	kpc
	$0.5 < M < 1.5$	$10^{11} M_{\odot}$
Disc thick	$1 < a < 10$	kpc
	$0.1 < b < 15.0$	kpc
	$0.5 < M < 1.5$	$10^{11} M_{\odot}$
Exponential Disc	$2 < h_r < 6$	kpc
	$1 < \Sigma_0 < 15$	$10^2 M_{\odot}/pc^2$
Halo NFW	$0.1 < a < 30$	kpc
	$0.1 < M_0 < 10$	$10^{11} M_{\odot}$
Halo Burket	$2 < a < 38$	kpc
	$0.1 < \rho_0 < 10$	$10^6 M_{\odot}/kpc^3$

MCMC-Gallenspy



$$P(p|D, M) = \frac{P(D|p, M) P(p|M)}{P(D|M)} \quad (4)$$

σ_{ij} → Error in observational positions.

$$X_i^2 = \sum_{j=1}^N \frac{|\theta_{obs}^j - \theta(p)^j|}{\sigma_{ij}^2}$$

$$\prod_{i=1}^N \frac{1}{\prod_j \sigma_{ij} \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-X_i^2}{2}\right) \leftarrow \text{Likelihood} \rightarrow P(D|p, M)$$

Contents



- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ Conclusions
- ◆ Events and publications

Galrotpy Code



Mass reconstructions based on rotation curves with python.

Same potentials and value ranges of Gallenspy.

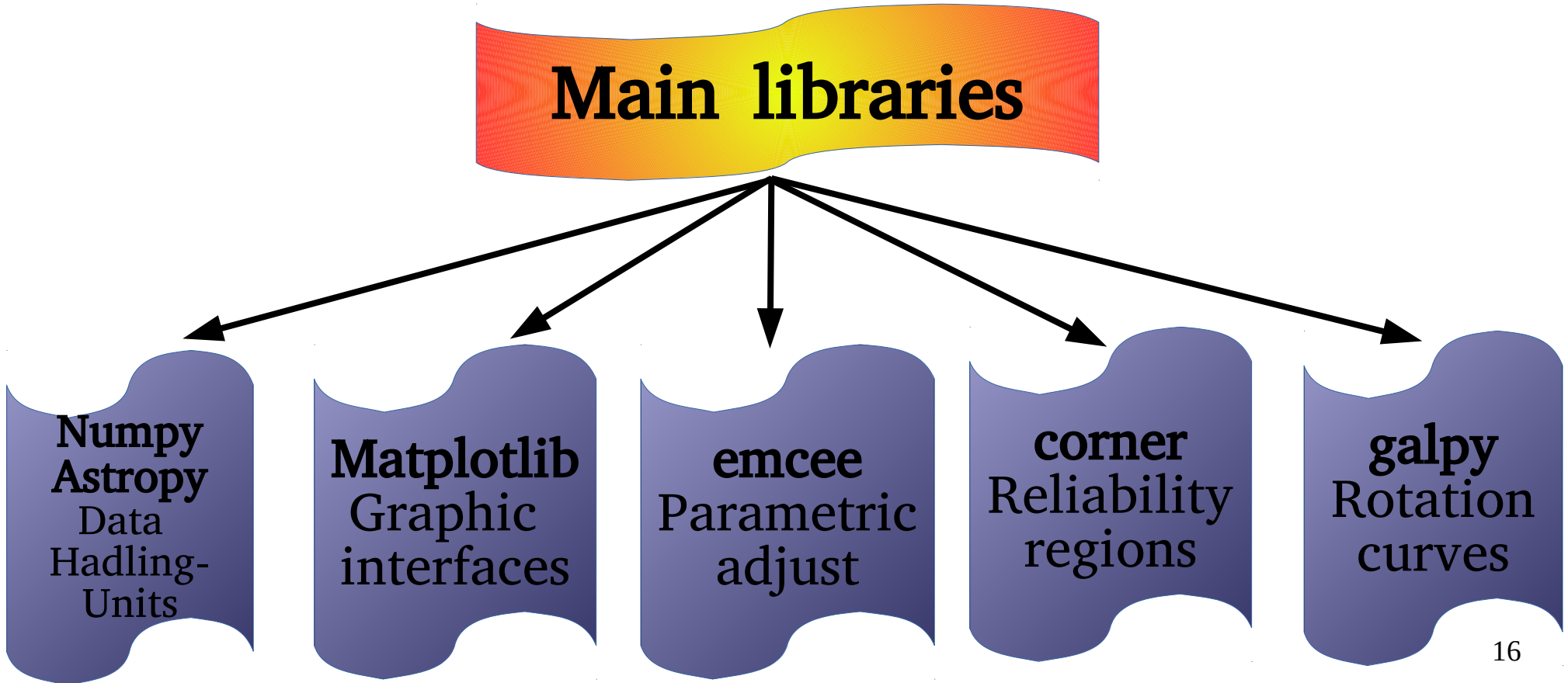
Each gravitational contribution is visualized.

The parameters initial set is fit interactively by the user.

Galrotpy Code



Main libraries



MCMC-Galrotpy



MCMC Equation 4

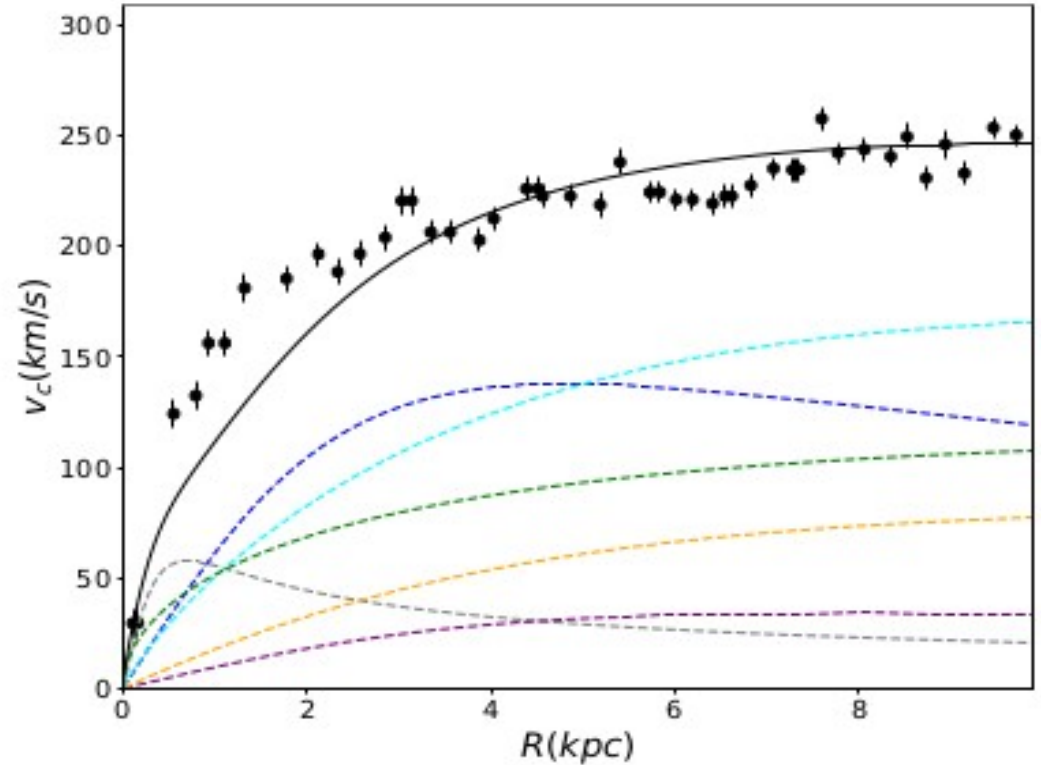
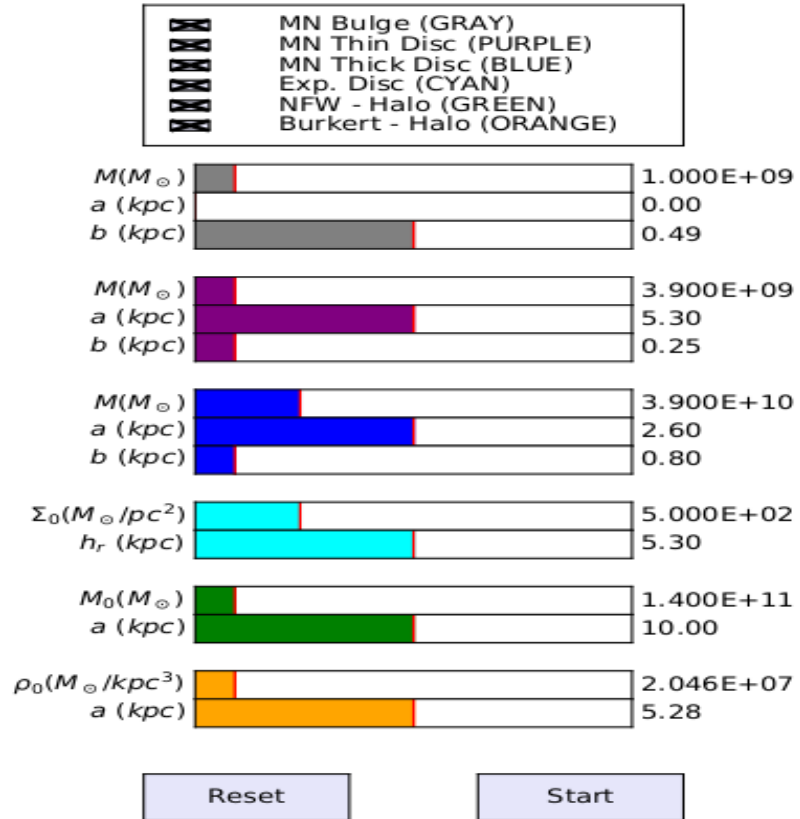
$$L = \exp \left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[\frac{v_i^{data} - v_i^{model}}{v_i^{error}} \right]^2 \right) \quad (5)$$

v_i^{error}



**Error in
observational
data.**

INTERACTIVE FIT



Contents

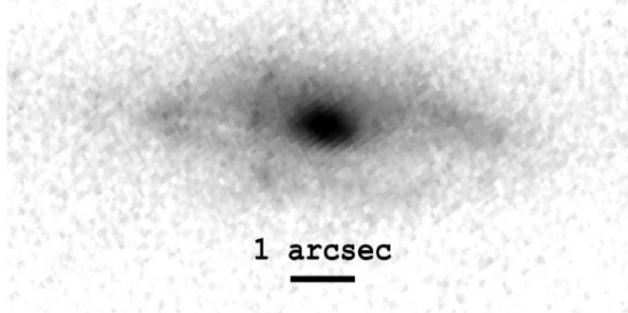


- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ **Galaxy J2141**
- ◆ Conclusions
- ◆ Events and publications

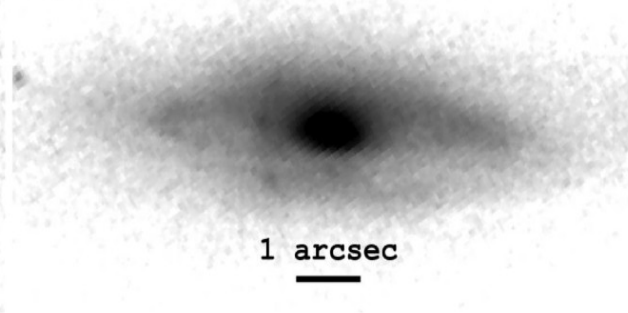
GALAXY J2141



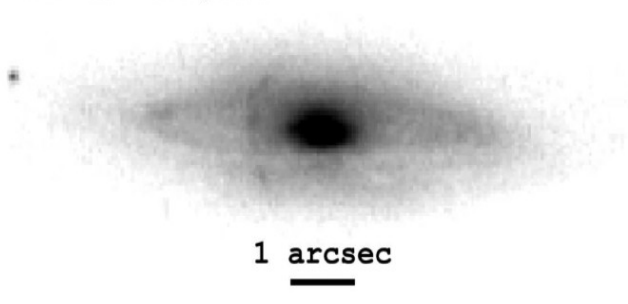
F450W HST/WFPC2



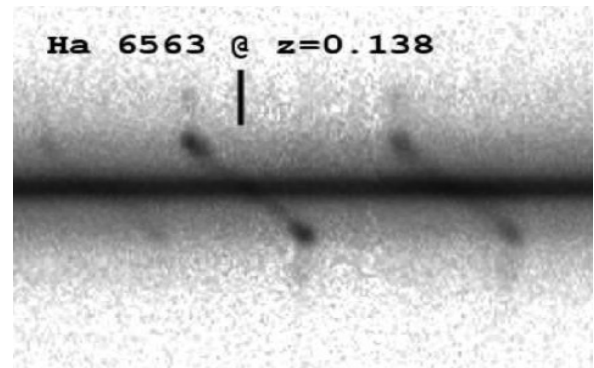
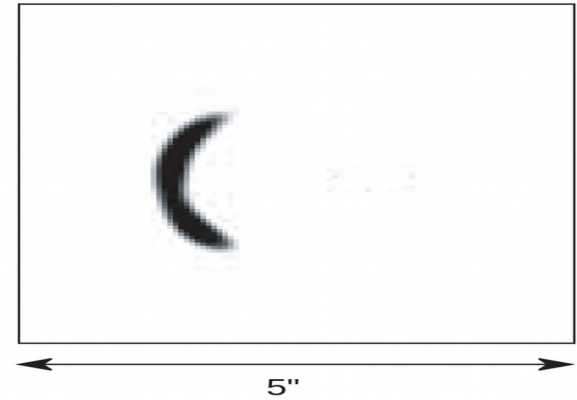
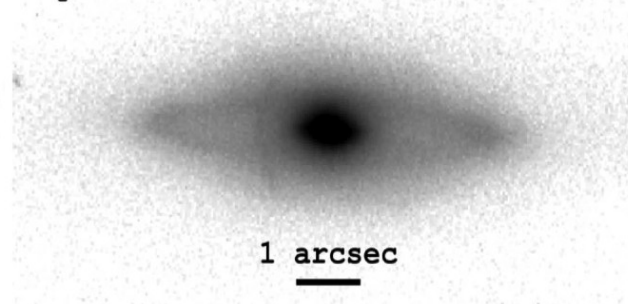
F606W HST/WFPC2



F814W HST/ACS



Kp Keck/NIRC2-LGSAO

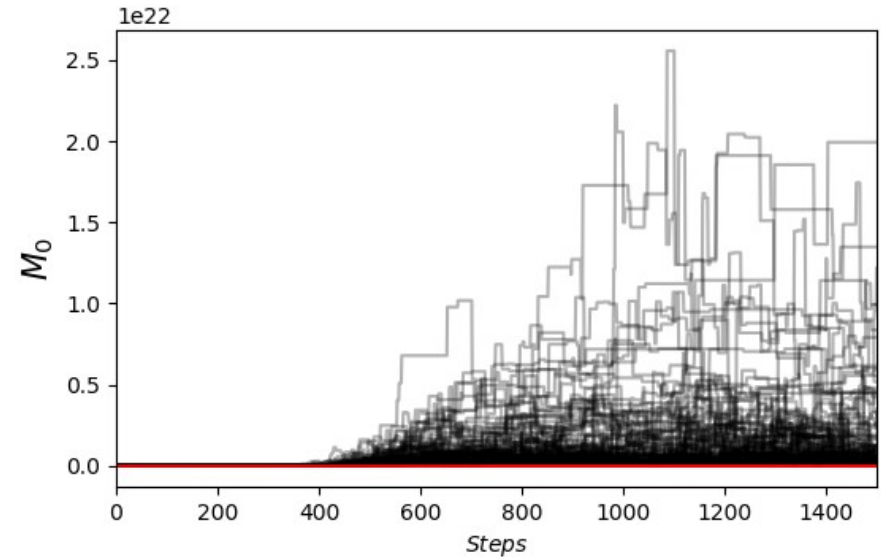
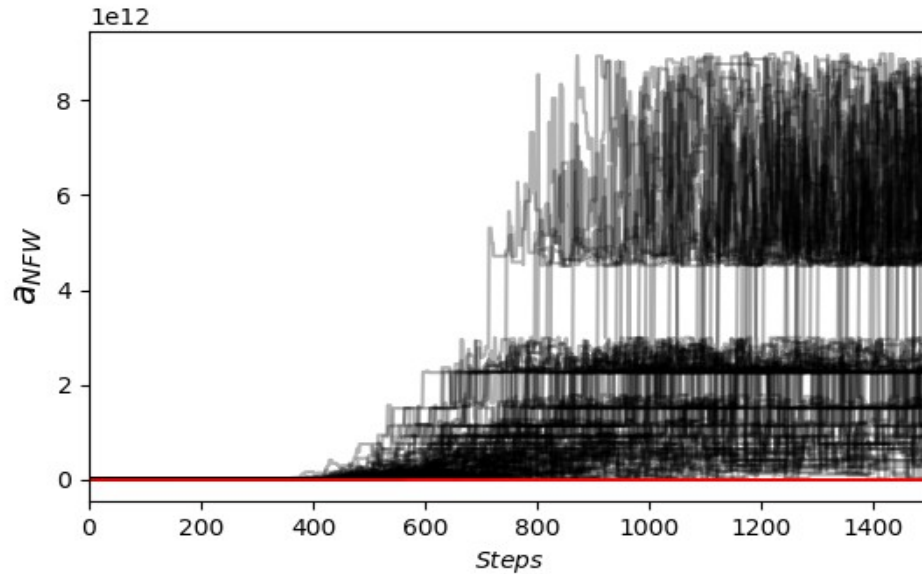


Ha 6563 @ z=0.138

GALROTPY J2141



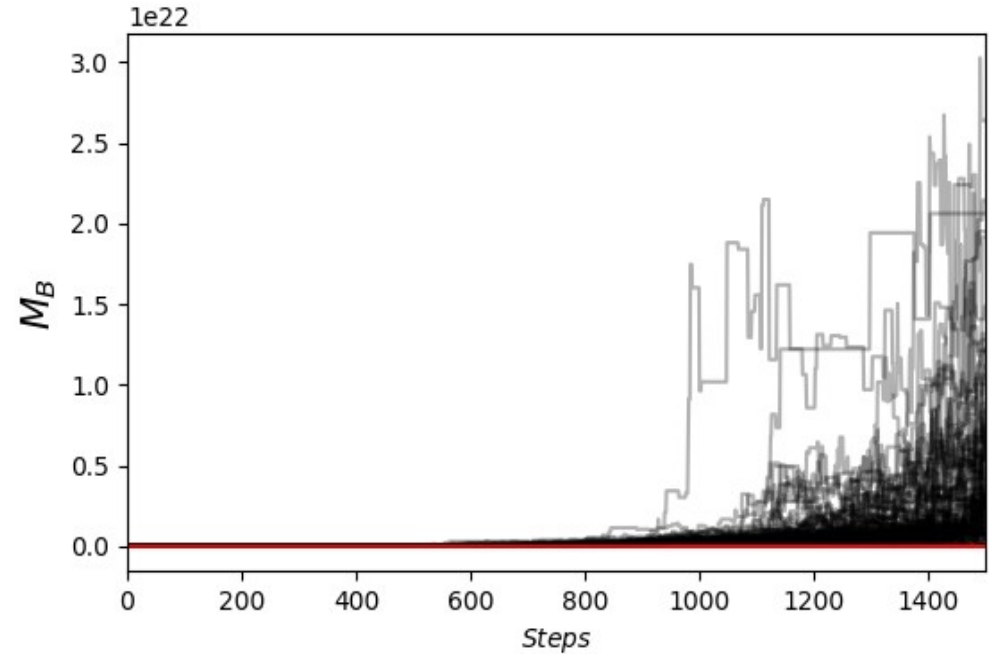
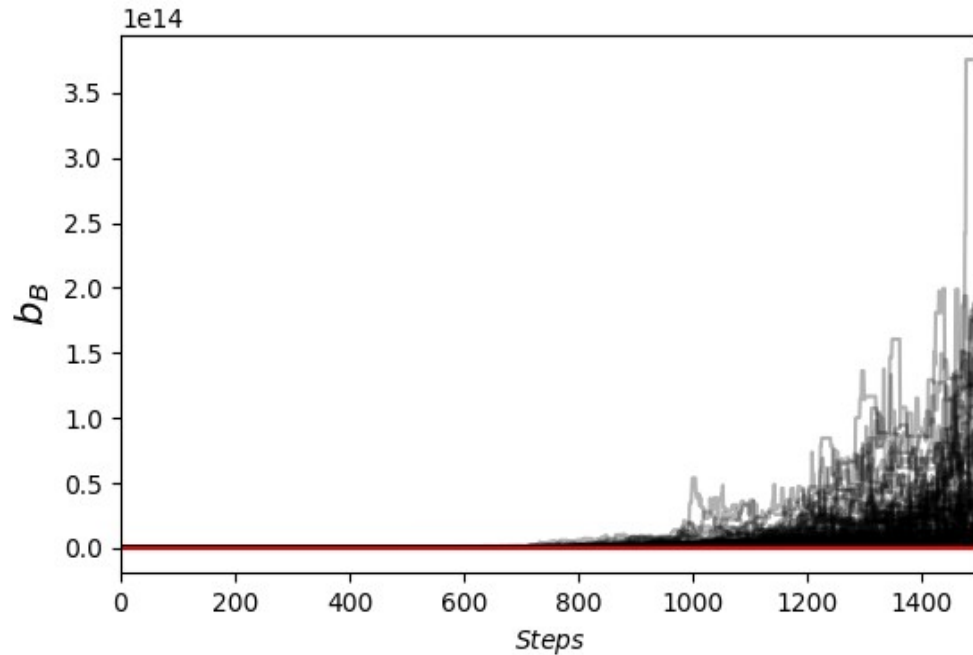
NFW Profile



GALROTPY J2141



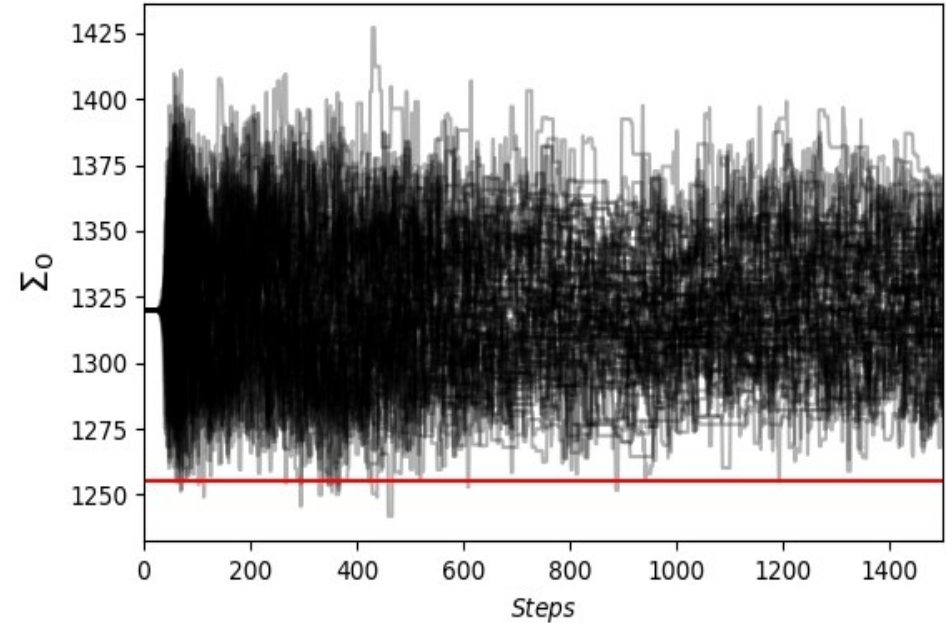
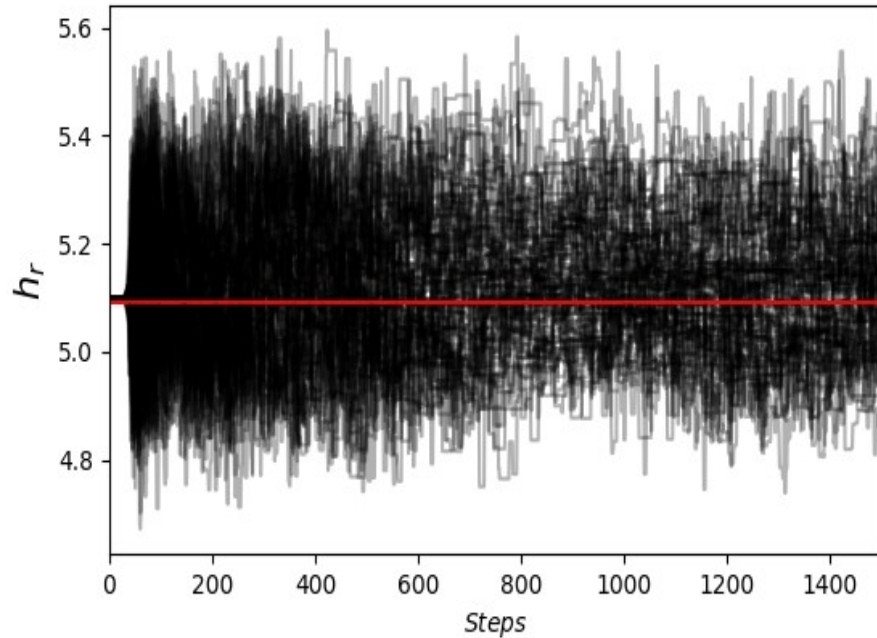
MN Profile



GALROTPY J2141



Exponential Disc Profile



DEGENERACY PROBLEM



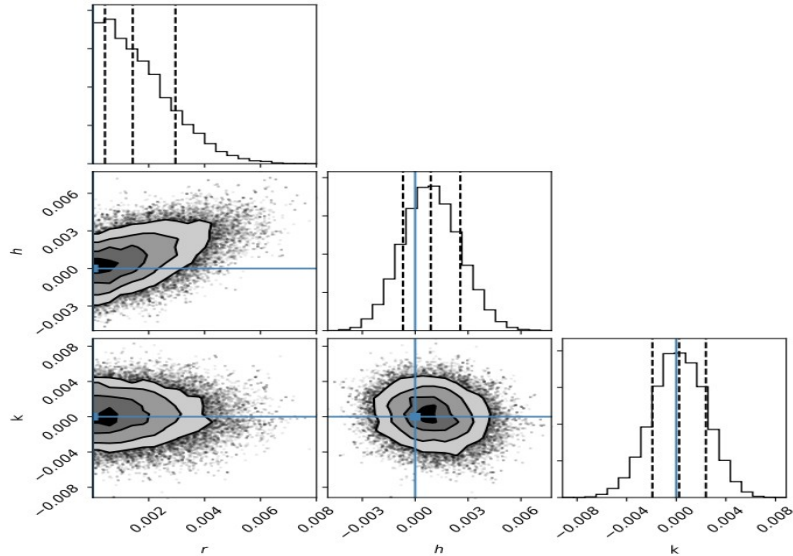
- ◆ Gravitational dominance of disc.
- ◆ Difficult to know the gravitational contribution of each mass component.
- ◆ Combine geometries and restrictions of GLE and galactic dynamics.

GALLENSPY J2141

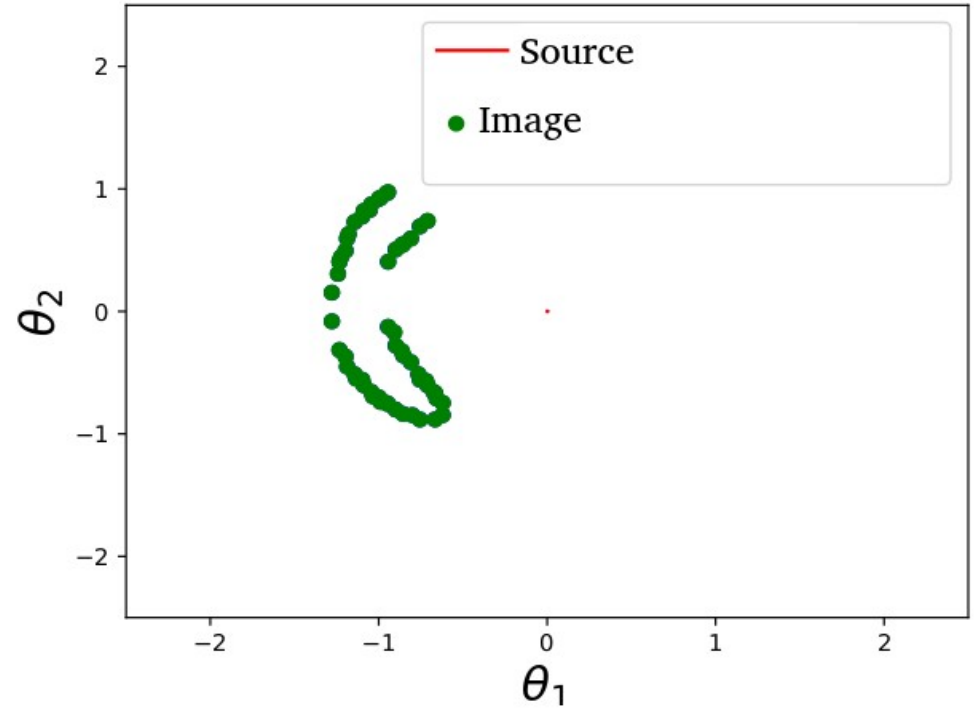


- ◆ Cosmological model Λ *CDM*.
- ◆ Cosmological distance: $D_d = 497.6 \text{ Mpc}$,
 $D_s = 1510.2 \text{ Mpc}$ and $D_{ds} = 1179.6 \text{ Mpc}$
- ◆ Circular source in strong lensing formalism.

GALLENSPY J2141



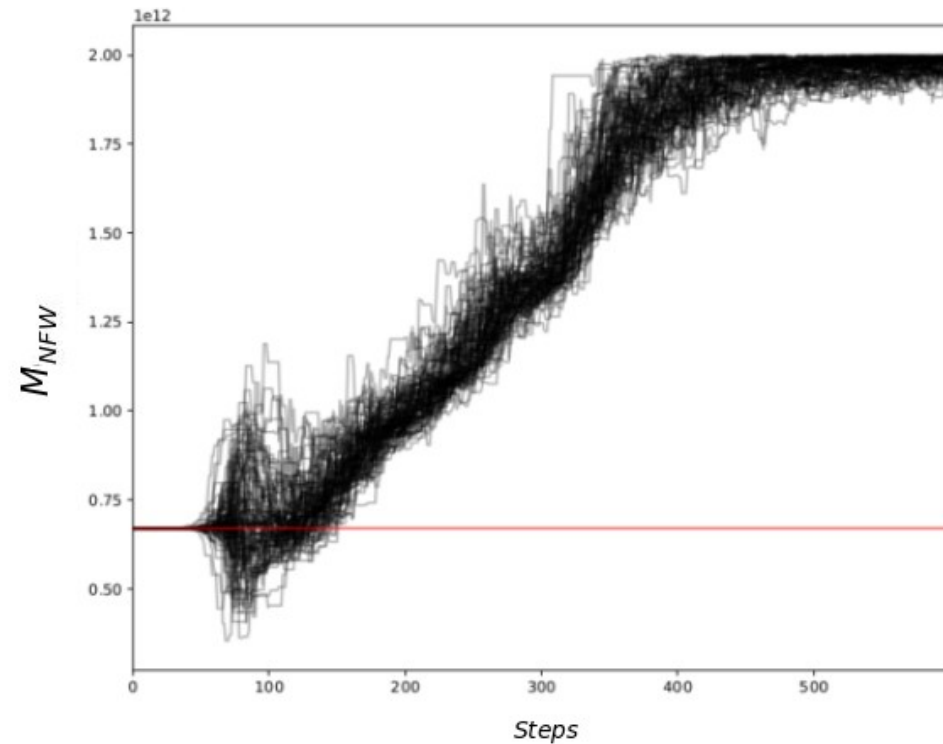
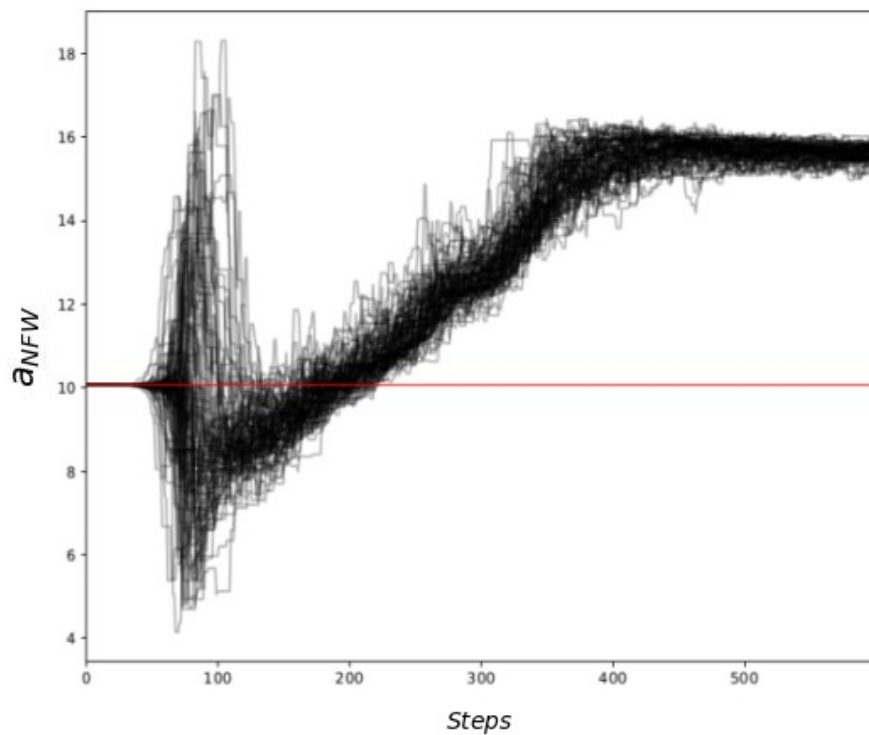
Parameter	68%	95%
r ($\times 10^3$ arcs)	$1.42^{+1.5}_{-0.9}$	$1.42^{+3.21}_{-0.135}$
h ($\times 10^4$ arcs)	$8.85^{+16.75}_{-1.576}$	$8.85^{+3.333}_{-3.065}$
k ($\times 10^4$ arcs)	$2.294^{+2.15}_{-0.215}$	$2.294^{+4.13}_{-0.435}$



GALLENSPY J2141

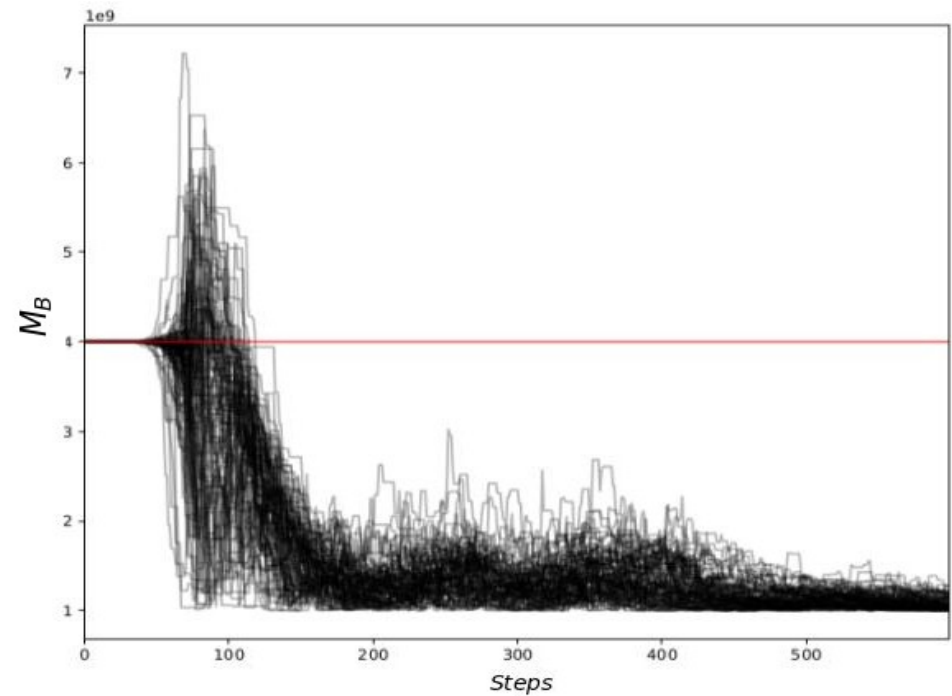
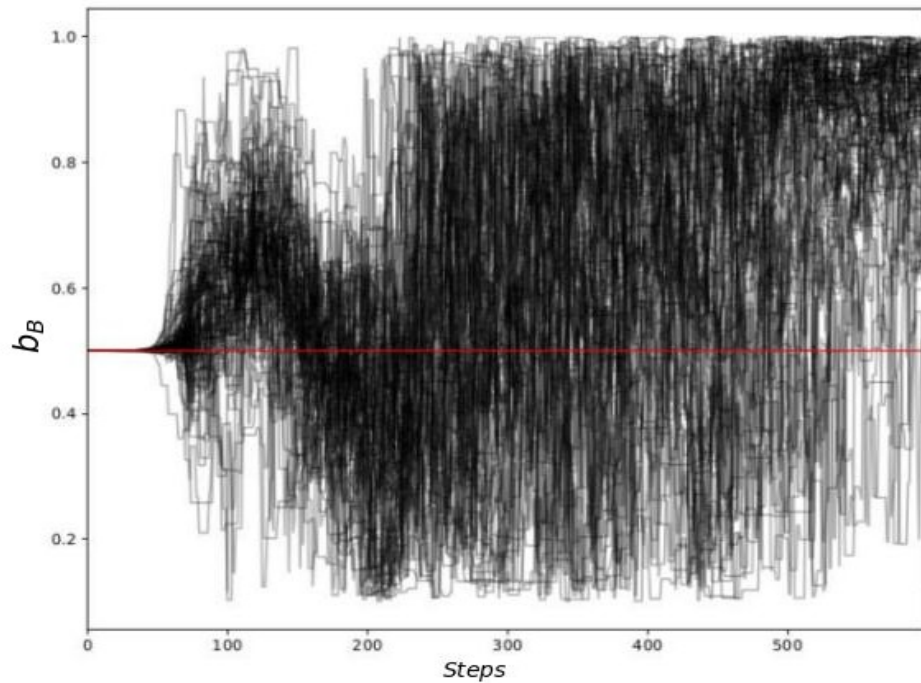


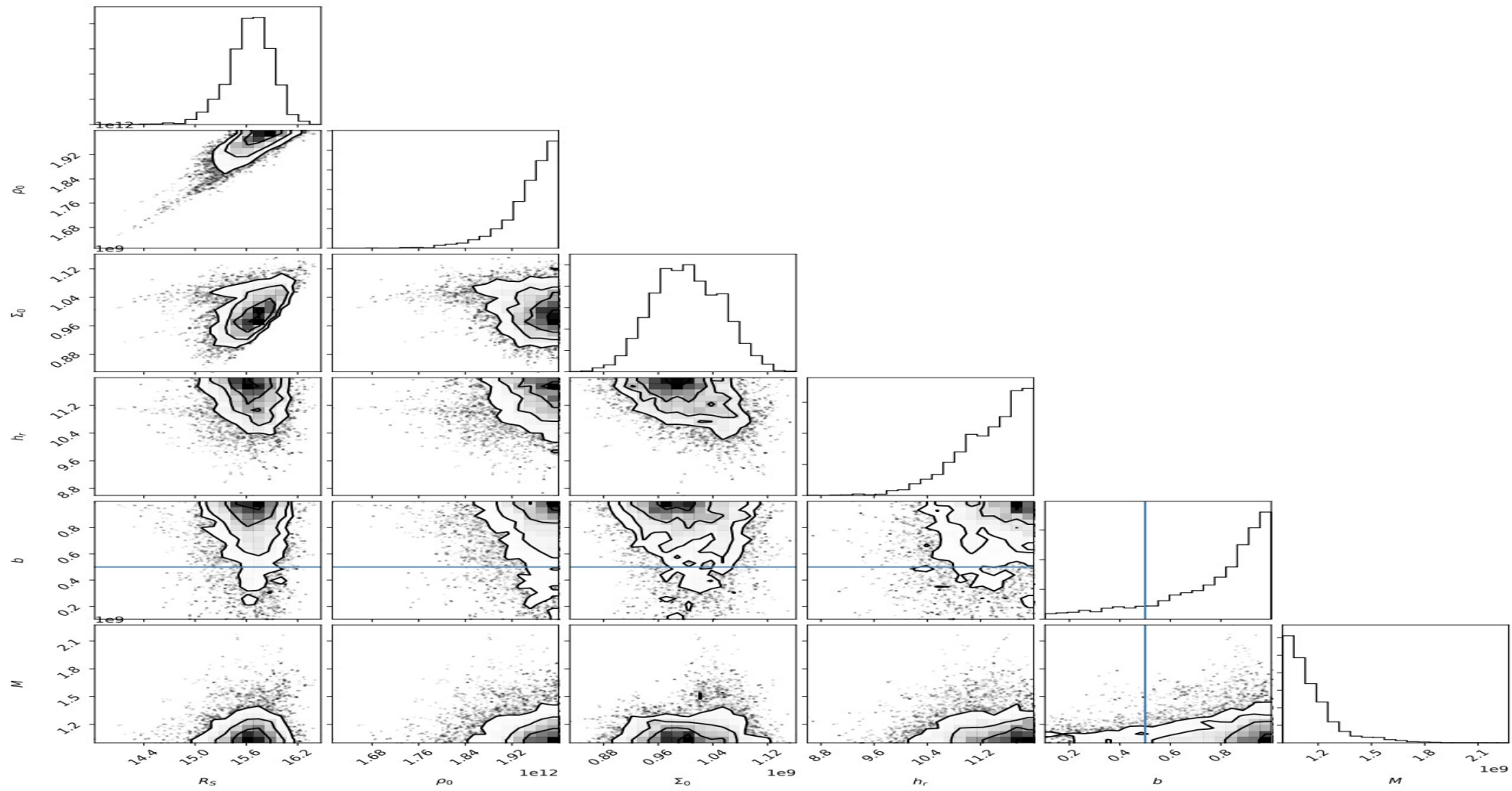
NFW Profile



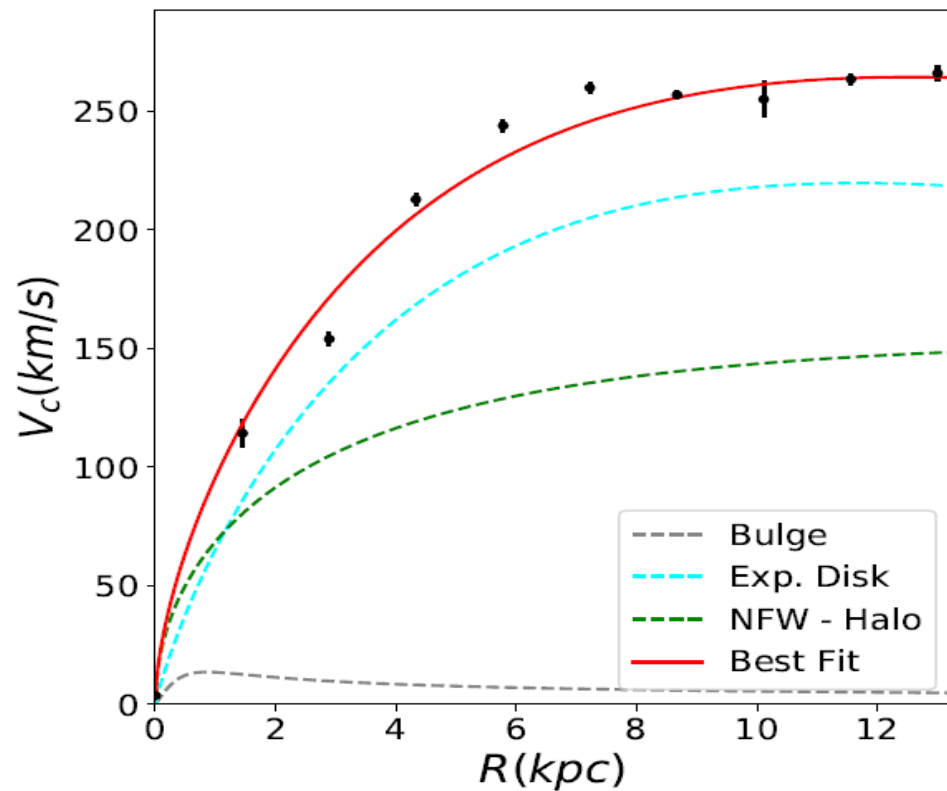
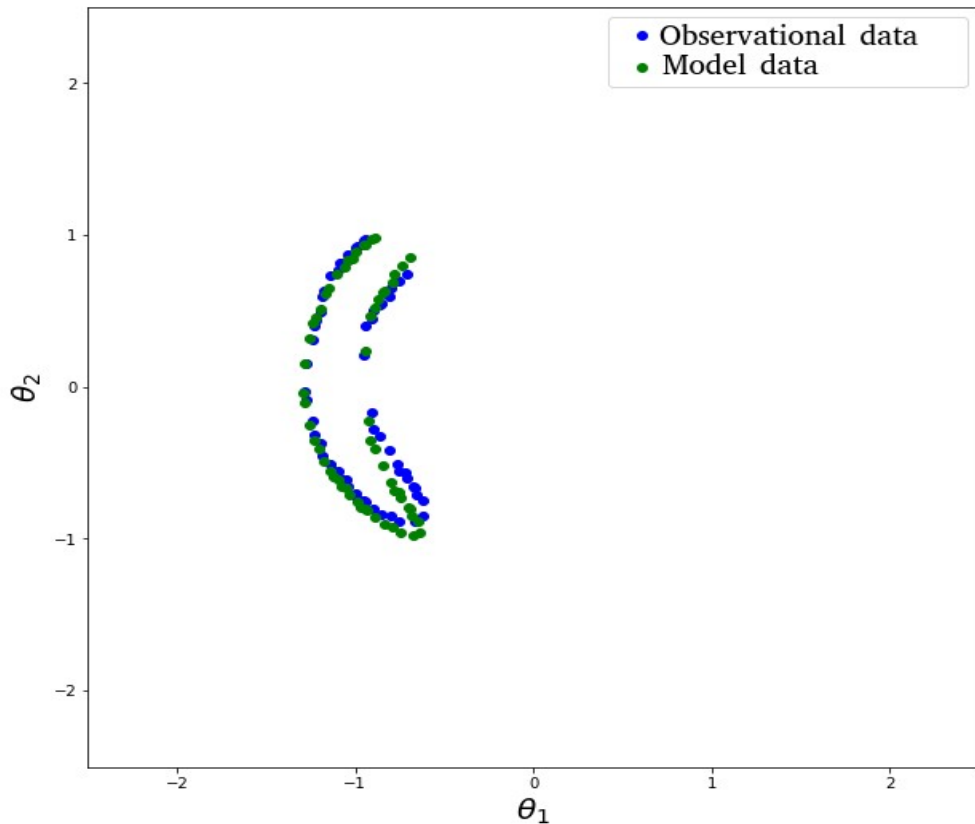


MN Profile





FIT J2141



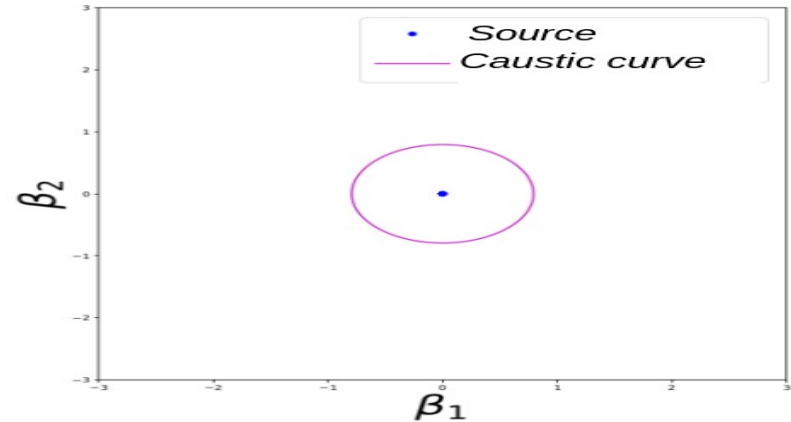
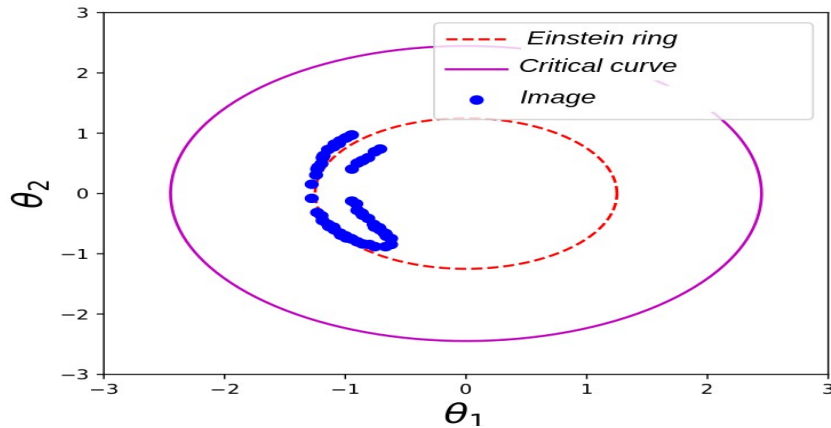
FIT J2141



$$\theta_{crit} = 2.477^{+0.001}_{-0.001} \text{ arcs}$$

$$\theta_{Eins} = 1.250^{+0.45}_{-0.45} \text{ arcs}$$

Parameter	68%	95%
NFW		
a (X10kpc)	$1.563^{+0.007}_{-0.010}$	$1.563^{+0.020}_{-0.036}$
m_0 (X10 ¹¹ M _⊙)	$9.938^{+2.96}_{-2.13}$	$9.938^{+0.048}_{-0.630}$
Exponential Disc		
h_r (Kpc)	$11.556^{+0.046}_{-0.310}$	$11.556^{+0.055}_{-1.276}$
Σ_0 (X10 ⁹ M _⊙ pc ⁻²)	$1.015^{+0.117}_{-0.044}$	$1.015^{+0.291}_{-0.087}$
Miyamoto-Nagai		
b (Kpc)	$0.972^{+0.098}_{-0.293}$	$0.972^{+0.111}_{-0.782}$
M (X10 ⁹ M _⊙)	$1.044^{+2.367}_{-0.035}$	$1.044^{+2.956}_{-0.043}$





Parameter	$Log_{10} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)$
M_{crit}	$11.172^{+0.336}_{-0.135}$
$Mbar_{crit}$	$10.672^{+0.325}_{-0.618}$
M_{Eins}	$10.860^{+0.462}_{-0.160}$
$Mbar_{Eins}$	$10.381^{+0.395}_{-0.868}$
M_{curv}	$11.1808^{+0.336}_{-0.145}$
$Mbar_{curv}$	$10.679^{+0.418}_{-0.305}$

Component of the galaxy	$log_{10} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)$
Bulge	$9.400^{+0.528}_{-0.256}$
Disc	$10.656^{+0.360}_{-0.142}$
Dark Matter Halo	$11.016^{+0.966}_{-0.131}$

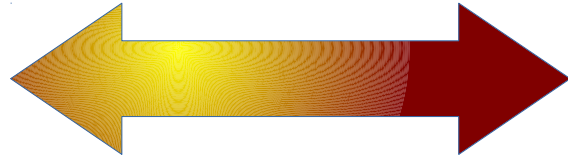
Mass within the radius of the rotation curve reported by Dutton et al.

$$Log_{10} \left(\frac{Mbar}{M_{\odot}} \right) = 10.99^{+0.11}_{-0.25}$$

Other tested cases

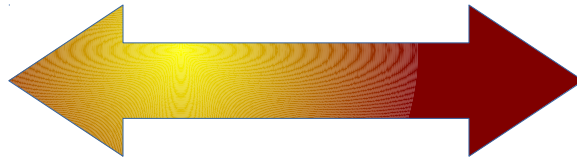


J1331



Trick et. al.

HE 0435



Courbin et. al.

Contents



- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ **Conclusions**
- ◆ Events and publications

CONCLUSIONS



- ◆ Gallenspy as a efficient tool for mass profiles reconstructions.
- ◆ The great advantages of combining lensing and Galactic dynamics with Galrotpy and Gallenspy.
- ◆ Significant results of mass models with spherical symmetry.

CONCLUSIONS



- ◆ Future improvements for Gallenspy: mass profiles, superficial brightness functions, temporary cosmological delays.
- ◆ Advantages of performing visuals fitting in these routines.

Contents



- ◆ Methods of mass reconstruction
- ◆ Combination of GLE and Galactic Dynamics
- ◆ Gallenspy code
- ◆ Galrotpy code
- ◆ Galaxy J2141
- ◆ Conclusions
- ◆ **Events and publications**

COCOA 2019



Estudio del contenido de materia oscura en galaxias de disco con GalRotpy

Andrés Moreno Galindo¹, Itamar López Trillerías², Leonardo Castañeda Colorado³

¹Grupo de Investigación en Astronomía Galáctica, Gravitación y Cosmología

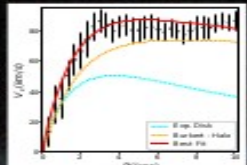
Observatorio Astronómico Nacional - Universidad Nacional de Colombia

²itamar@uniquindío.edu.co, ³lalo@opn.unal.edu.co, ⁴lcastan@uniquindío.edu.co



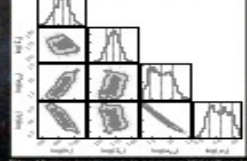
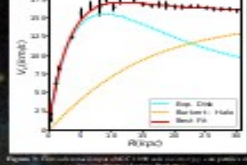
Resumen
 Estudiamos el contenido de materia oscura en galaxias de disco con GalRotpy, un código de Python que permite analizar los datos de las curvas de rotación y las propiedades de las galaxias de disco. El código está diseñado para ser utilizado en un entorno de computación en la nube, lo que permite analizar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. En este artículo presentamos los resultados de nuestro estudio para una muestra de galaxias de disco seleccionadas a partir de los datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Los resultados muestran que el contenido de materia oscura en estas galaxias es consistente con los modelos de materia oscura fría (CDM) y que el perfil de materia oscura es más extendido de lo que se esperaba a partir de los modelos de materia oscura fría (CDM).

Análisis y Resultados para NGC 2915



Resultados de los parámetros para NGC 2915

Resultados para NGC 1090



Parámetros de los modelos para NGC 1090

Scalpe GalRotpy.py

La versión más reciente de GalRotpy se puede encontrar en el repositorio de GitHub de la Universidad Nacional de Colombia. El código está escrito en Python y requiere de Python 3.6 o superior. Para instalar GalRotpy, se debe ejecutar el siguiente comando en el terminal: `pip install galrotpy`. El código está diseñado para ser utilizado en un entorno de computación en la nube, lo que permite analizar grandes volúmenes de datos de manera eficiente.

Perfiles para el hecho de que las estrellas

En el presente artículo se presentan los resultados de nuestro estudio para una muestra de galaxias de disco seleccionadas a partir de los datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Los resultados muestran que el contenido de materia oscura en estas galaxias es consistente con los modelos de materia oscura fría (CDM) y que el perfil de materia oscura es más extendido de lo que se esperaba a partir de los modelos de materia oscura fría (CDM).

Galaxias NGC 1090 y NGC 2915

NGC 2915 es una galaxia de disco que se encuentra a una distancia de aproximadamente 100 millones de años luz de la Tierra. Esta galaxia es una de las más brillantes de su tipo y ha sido estudiada extensamente en el pasado. NGC 1090 es una galaxia de disco que se encuentra a una distancia de aproximadamente 10 millones de años luz de la Tierra. Esta galaxia es una de las más brillantes de su tipo y ha sido estudiada extensamente en el pasado.

Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación



Rafael Alfonso López, Leonardo Castañeda, Juan Camilo Torres
 Universidad Nacional de Colombia - Bogotá, D.C.
 Observatorio Astronómico Nacional
 Grupo de Investigación en Astronomía Galáctica, Gravitación y Cosmología



El objetivo de este artículo es reconstruir los perfiles de masa de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. Para ello se utiliza un código de Python que permite analizar los datos de las curvas de rotación y las propiedades de las galaxias de disco. El código está diseñado para ser utilizado en un entorno de computación en la nube, lo que permite analizar grandes volúmenes de datos de manera eficiente.



Figura 1: Resultados de los parámetros de los modelos de lente gravitacional y curvas de rotación.



Figura 2: Resultados de los parámetros de los modelos de lente gravitacional y curvas de rotación.

Los resultados de nuestro estudio muestran que el contenido de materia oscura en estas galaxias es consistente con los modelos de materia oscura fría (CDM) y que el perfil de materia oscura es más extendido de lo que se esperaba a partir de los modelos de materia oscura fría (CDM). Estos resultados son importantes porque ayudan a entender mejor la naturaleza de la materia oscura y su rol en la evolución de las galaxias de disco.

Conclusiones

En este artículo se presentan los resultados de nuestro estudio para una muestra de galaxias de disco seleccionadas a partir de los datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Los resultados muestran que el contenido de materia oscura en estas galaxias es consistente con los modelos de materia oscura fría (CDM) y que el perfil de materia oscura es más extendido de lo que se esperaba a partir de los modelos de materia oscura fría (CDM).

Referencias

- [1] Castañeda, L., López, R., Torres, J., et al. (2019). Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 42(1), 1-15.
- [2] López, R., Castañeda, L., Torres, J., et al. (2018). Estudio de las propiedades de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 41(1), 1-15.
- [3] Torres, J., López, R., Castañeda, L., et al. (2017). Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 40(1), 1-15.
- [4] Castañeda, L., López, R., Torres, J., et al. (2016). Estudio de las propiedades de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 39(1), 1-15.
- [5] López, R., Castañeda, L., Torres, J., et al. (2015). Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 38(1), 1-15.
- [6] Torres, J., López, R., Castañeda, L., et al. (2014). Estudio de las propiedades de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 37(1), 1-15.
- [7] Castañeda, L., López, R., Torres, J., et al. (2013). Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 36(1), 1-15.
- [8] López, R., Castañeda, L., Torres, J., et al. (2012). Estudio de las propiedades de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 35(1), 1-15.
- [9] Torres, J., López, R., Castañeda, L., et al. (2011). Reconstrucción de los perfiles de masa en galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 34(1), 1-15.
- [10] Castañeda, L., López, R., Torres, J., et al. (2010). Estudio de las propiedades de las galaxias de disco con base en sus propiedades de lente gravitacional y curvas de rotación. *Revista Colombiana de Astronomía*, 33(1), 1-15.

New Astronomy



ScienceDirect

Journals & Books



Register

Sign in



Access through your institution

to view subscribed content from home



Download PDF

Share

Export

Search ScienceDirect



Advanced

Outline

Highlights

Abstract

1. Introduction

2. Gravitational potential of disc-like galaxies

3. GalRotpy

4. Results using GalRotpy

5. Conclusions

Declaration of competing interest

Acknowledgements

References

Show full outline



New Astronomy

Volume 82, January 2021, 101456



GalRotpy: a tool to parametrize the gravitational potential of disc-like galaxies ☆

Andrés Granados ^{a, b}, Daniel Torres ^b, Leonardo Castañeda ^b, Lady Henao ^c, Santiago Vanegas ^b

Show more

<https://doi.org/10.1016/j.newast.2020.101456>

Get rights and content

Recommended articles

Jet-driven AGN feedback in galaxy formation...

New Astronomy, Volume 81, 2020, Article 101438

Purchase PDF

View details

Exact solutions for the ferromagnetic and an...

Physica A: Statistical Mechanics and its Application...

Purchase PDF

View details

Astrophysical accretion near Hayward regula...

New Astronomy, Volume 81, 2020, Article 101437

Purchase PDF

View details

1 2 Next

Citing articles (0)

Feedback

Bibliography



- Dutton Aaron A., Brendon J., Brewer Philip J., Marshall Matthew W., Auger Tommaso, Treu David, Koo C., Bolton Adam S., Bradford P. Holden, and Koopmans Leon V. E. The swells survey – ii. breaking the disc–halo degeneracy in the spiral galaxy gravitational lens sdss j2141. Royal Astronomical Society, pages 1621–1642, 2011.
- Dutton Aaron A., Treu Tommaso, Brewer Brendon J., Marshall Philip J., Auger M. W., Barnabé Matteo, Koo David C., Bolton Adam S., and Koopmans Leon V. E. The swells survey – v. a salpeter stellar initial mass function in the bulges of massive spiral galaxies. Oxford Journals, pages 3151–3168, 2013.
- Dutton A.A., Treu T. and Brewer Brendon J., Marshall Philip J., Auger M. W., Barnabé Matteo, Koo David C., Bolton Adam S., and Koopmans Leon V. E. The swells survey – v. a salpeter stellar initial mass function in the bulges of massive spiral galaxies. MNRAS, 2013.

Bibliography



- Hurtado Mojica Roger Anderson. Perfil de masa de abell 370 a partir de sus propiedades como lente gravitacional. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- Granados Andrés, Torres Daniel, Castañeda Leonardo, Henao Lady, and Vanegas Santiago. Galrotpy: an educational tool to understand and parametrize the rotation curve and the gravitational potential of disc-like galaxies. *New Astronomy Journals*, 2020.
- Jo Bovy. Galpy: A python library for galactic dynamics. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 216, 29, 2015.
- F. Combes, P. Boissé, A. Mazure, and Blanchard A. *Galaxies and Cosmology*. Springer Science+Business Media, 1995.
- NumPy community. NumPy User Guide. Release 1.17.0rc1, July 12, 2019.

Bibliography



- Foreman-Mackey Daniel. corner.py: Scatterplot matrices in python. The Journal of Open Source Software, 2016.
- Foreman-Mackey Daniel, Hogg David W., Dustin Lang, and Goodman Jonathan. emcee: The mcmc hamme. Astronomical Society of the Pacific, 2013.
- The Astropy Developers. Astropy Documentation. Release 1.0.13, May 30, 2017.
- Corbelli E., Thilker D., Zibetti S., Giovanardi C., and Salucci P. Astronomy and Astrophysics, page 572–A23, 2014.
- Jullo E., Kneib J-P., Limousin M., Elíasdottir Á., Marshall P. J., and Verdugo T. A bayesian approach to strong lensing modelling of galaxy clusters. New Journal of Physics, 2007.
- Koopmans L. V. E., de Bruyn A. G., and Jackson N. The edge-on spiral gravitational lens b1600+434. MNRAS, page 295–534, 1998.

Bibliography



- Salpeter E. E. The luminosity function and stellar evolution. American Astronomical Society, page 121–161, 1955.
- Courbin F., Chantry V., Revaz Y., Sluse D., Faure C., Tewes M., Eulaers E., Koleva M., Asfandiyarov I., Dye S., Magain P., van Winckel H., Coles J., Saha P., Ibrahimov M., and Meylan G. Cosmograil: the cosmological monitoring of gravitational lenses. Astronomy and Astrophysics, 2011.
- Granados Cruz Andrés Felipe. Dinámica estelar y perfiles galácticos de lentes gravitacionales. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- López Fune, E. Salucci P., and Corbelli E. Radial dependence of the dark matter distribution in m33. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 468, 147, (2017).

Thanks