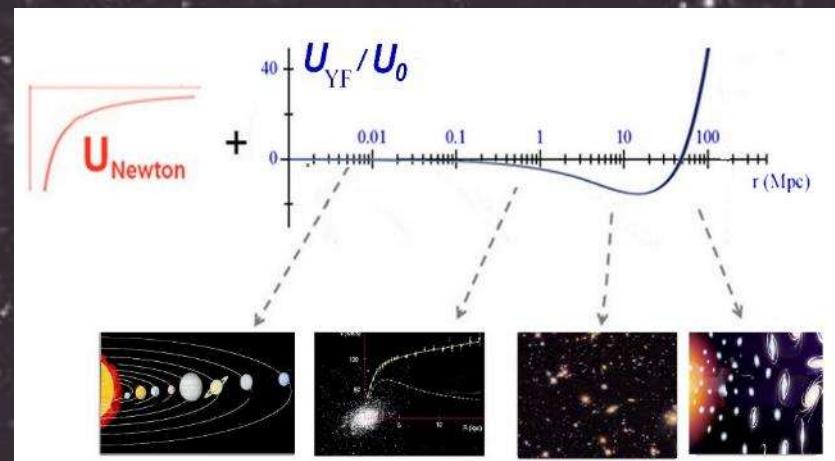
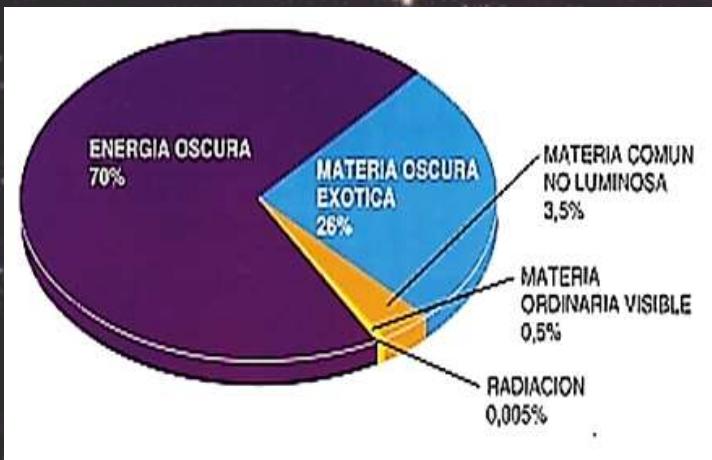


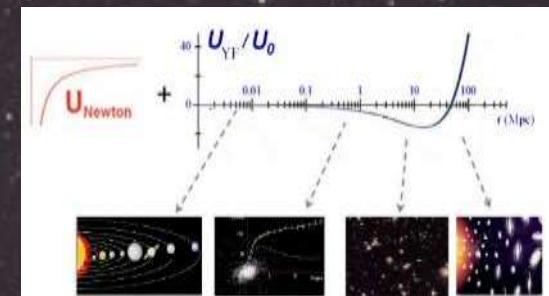
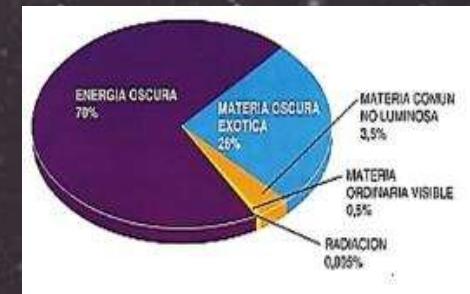
Cosmología versus Gravedad modificada



Resumen

1. *Sobre la ley de Gravedad de Newton*
2. *Expansión del Universo*
3. *Big Bang*
4. *Cosmología Oscura*
5. *Principio de Mach*

6. *Nuevo Paradigma: Gravedad Modificada*
7. *Consecuencias Cosmológicas*
8. *Universo Temprano*
9. *Implicaciones astrofísicas*
10. *Conclusión y Perspectivas*





1 Preámbulo: ¿La Ley de Gravitación es “Universal”?

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



¿Puede una ley tan simple explicar la dinámica de todo el Universo?

Supone alcance infinito y masa nula del gravitón!!!



¿Es compatible con las observaciones astronómicas?

¿Qué hay de su validez mas allá del Sistema Solar?

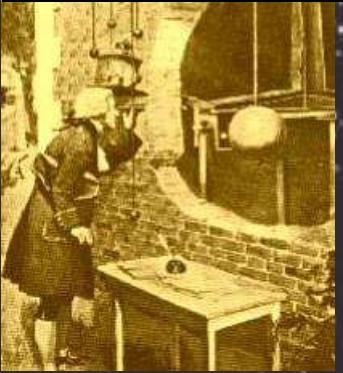


**Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo**

9, 10 y 11 de julio de 2025



1 Preámbulo: ¿La Ley de Gravitación es ‘Universal’?



Henry
Cavendish
1798



Pierre S.
Laplace
1825



Hugo
Seeliger 1898

$$F \propto \frac{e^{-\lambda r}}{r^2}$$

E. KANT 1755



$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



Lorand EötVös
1886

$$F \propto \frac{1}{r^{2.000000001}}$$

El calificativo de **Universal** es posterior e histórico



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9, 10 y 11 de julio de 2025



1 Preámbulo: ¿La Ley de Gravitación es “Universal”?



**NO HAY EVIDENCIA EMPIRICA
DE LA GRAVITACION
NEWTONIANA FUERA DEL
SISTEMA SOLAR**

Anomalías de los Pionner 10 y 11

Las medidas muestran que las sondas se frenan a medida que se alejan del Sol!



Anderson, J. D et al (2002) PhR D 65 , 55.

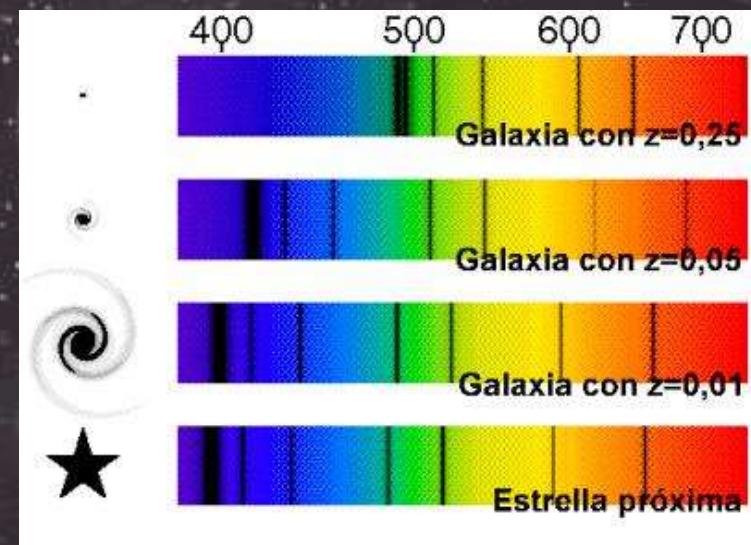
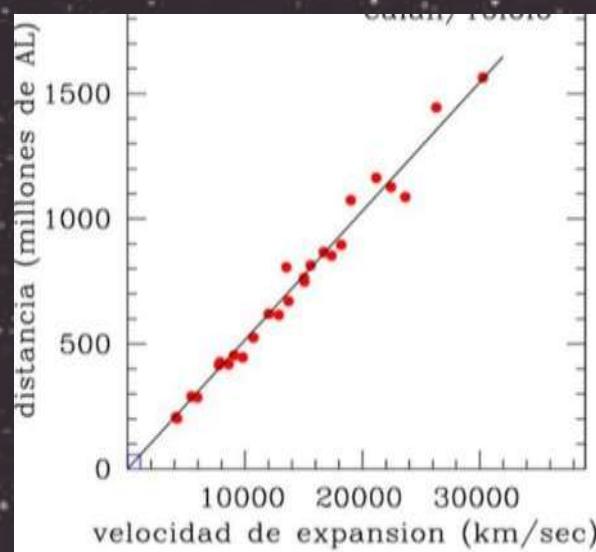


**Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo**

9,10 y 11 de julio de 2025



2. Expansión del Universo (Ley de Hubble-Lemaitre)



Herwin Hubble
1924

$$V = H_0 r$$

La Ley de Hubble-Lemaitre es empírica
No se deduce del formalismo del Big Bang

Las galaxias se separan entre si en proporción a su distancia



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

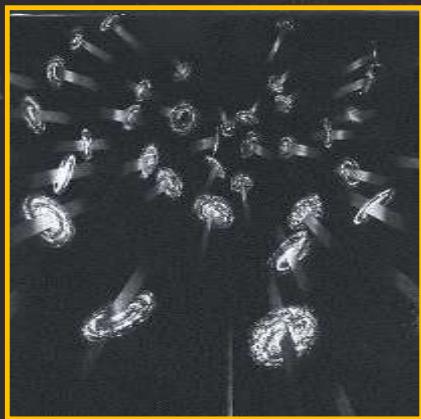
9,10 y 11 de julio de 2025



3. Teoría del Big Bang

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

A partir de un estado Primigenio: Caliente y denso, el Universo se expande y se enfriá continuamente



Einstein-Lemaitre
1927

$$\left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Modelos Λ FRW (Friedman-Robertson-Walker)

$$\frac{2\ddot{R}}{R} + \left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)}\right)^2 = -\frac{8\pi G}{c^2}P + \Lambda c^2$$

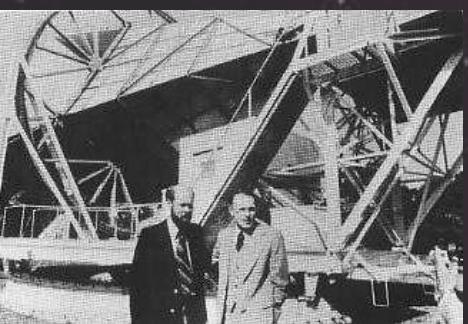


Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

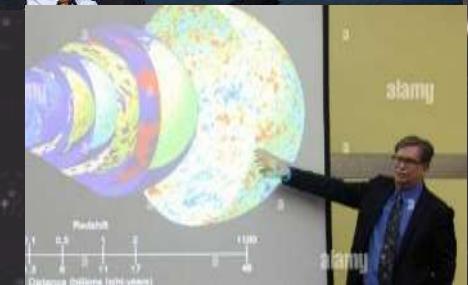
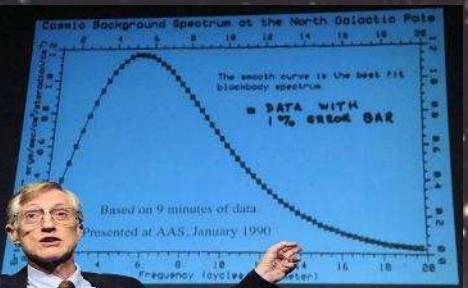
9, 10 y 11 de julio de 2025



3. Teoría del Big Bang: Radiación Cómica de Fondo (CMB)

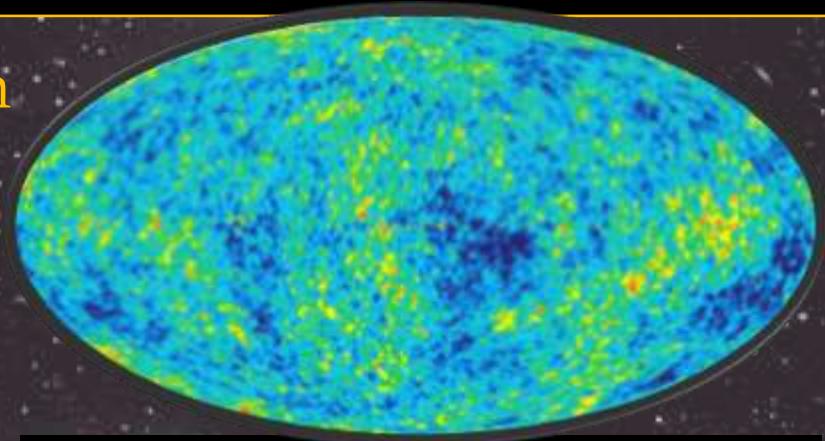


A. Penzias R. Wilson
1965 (Nobel 1978)



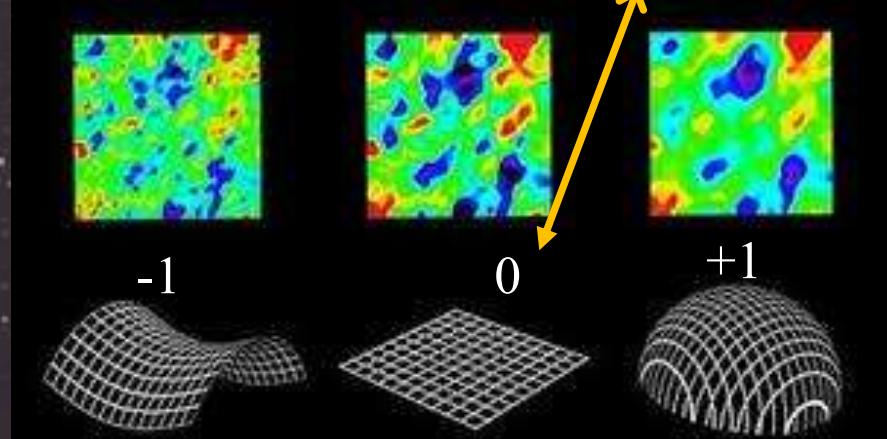
J. Mather G. Smoot
1995 (Nobel 2006)

Planitud del universo ($k=0$)



Eco de la Gran Explosión

$$H^2 (\Omega - 1) = k$$



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9, 10 y 11 de julio de 2025



4 . Cosmología Oscura: Materia oscura I (Dark Matter)



Cúmulos de Galaxias

$$M_V = \frac{R}{G} \sigma^2$$



$$M_V \gg M_L$$

F. Zwicky 1933

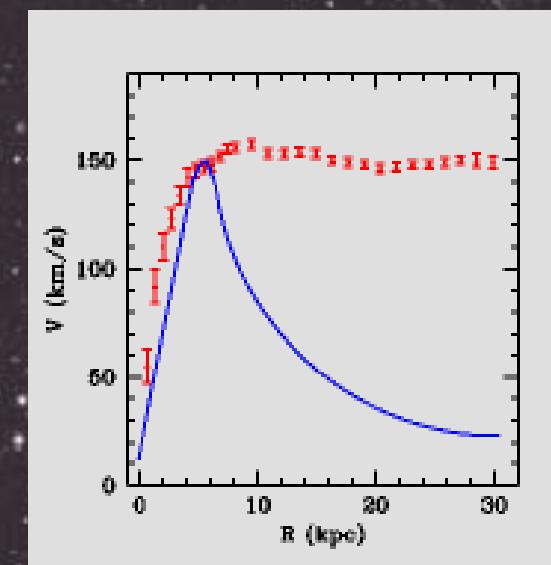
Curvas de Rotación



$$\nu = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$



V. Rubin 1970s

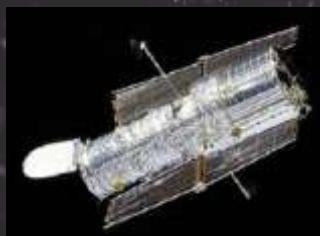


Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

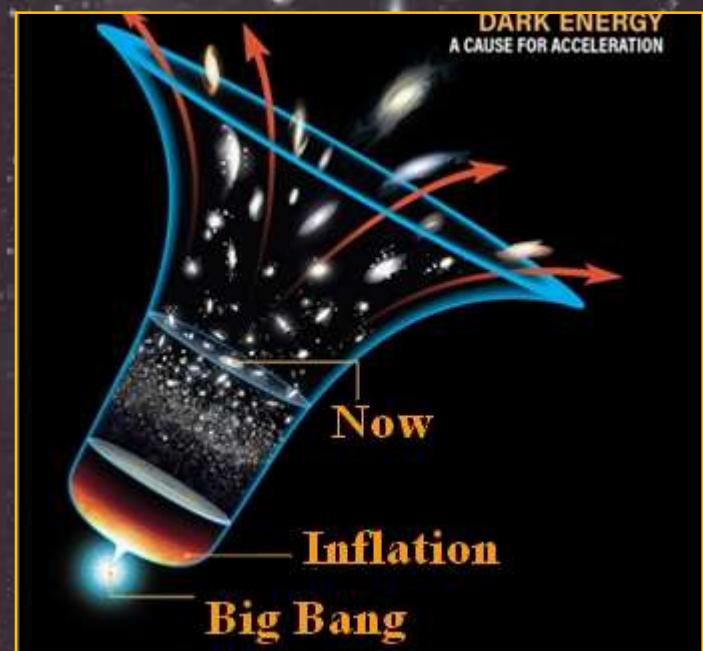
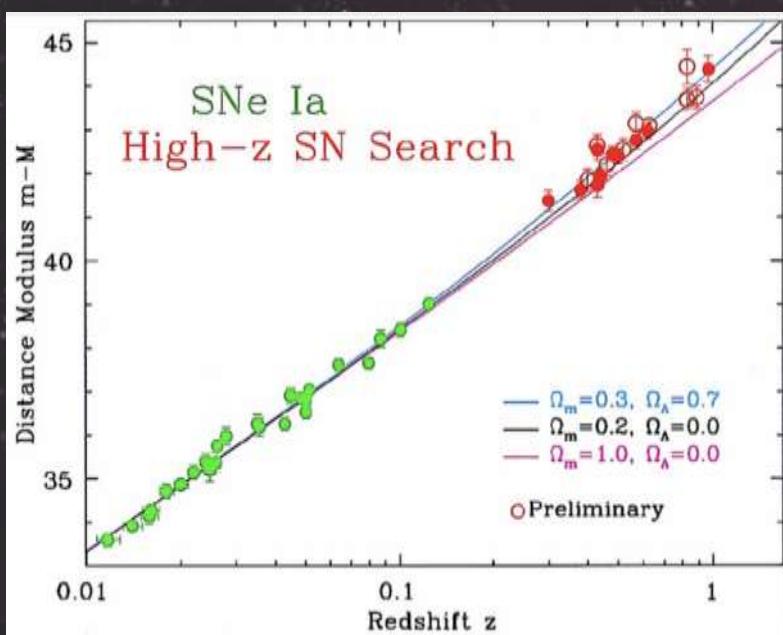
9, 10 y 11 de julio de 2025



4. Cosmología Oscura: Expansión Acelerada (*Dark Energy*)



G. Riess, S. Perlmutter,
1999 (Nobel 2011)



La expansión es Acelerada $\Lambda \neq 0$
(Energía Oscura) ($\Omega_\Lambda \approx 0.65$)



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9, 10 y 11 de julio de 2025



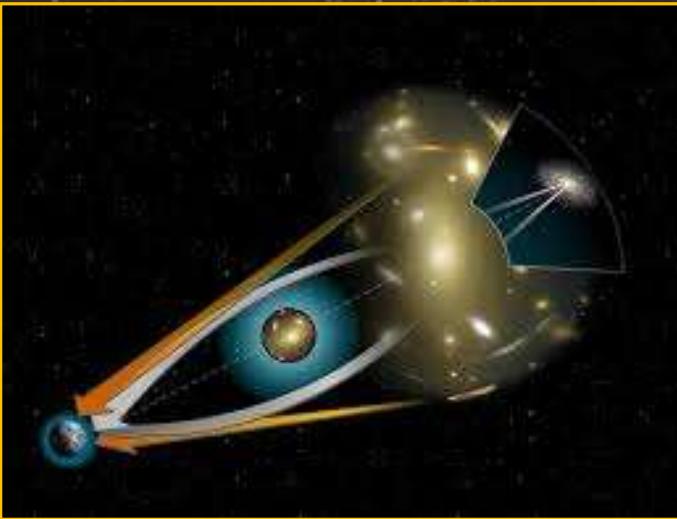
4 . Cosmología Oscura: Materia oscura II (*Dark Matter*)

Cosmología FRW

$$H^2 (\Omega_m + \Omega_\Lambda - 1) = 0$$

$$\Omega_m \cong 0.3 \quad \longleftrightarrow \quad \Omega_b \cong 0.03$$

Lentes Gravitacionales



$$\eta = 1 - \frac{2}{c^2} \Phi \cong 1 + \frac{2}{c^2} \left| \frac{GM}{R} \right|$$

$$M \gg M_L \quad \longleftrightarrow$$

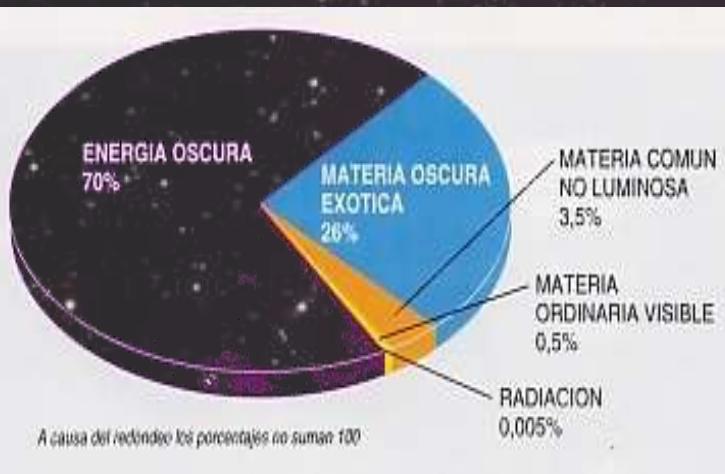


Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9,10 y 11 de julio de 2025



4 . Cosmología Oscura:



Paradigma Estándar:
Gravitación de Newton con materia
oscura exótica (No Barionica)
Modelos Navarro Frenk White

Luego de varias décadas:
la *Dark Matter* No Aparece !!
y la *Dark Energy* no se explica

*La Gravitación de Newton se
nos antoja incompleta*

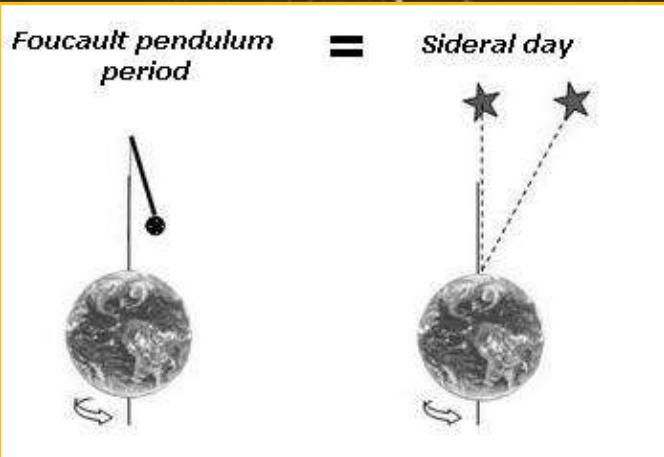


Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

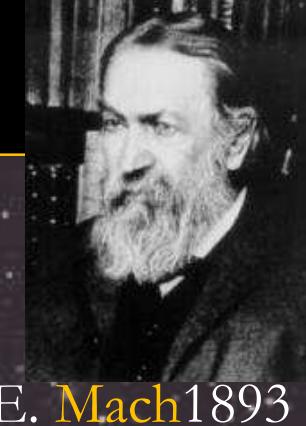
9,10 y 11 de julio de 2025



5. Principio de Mach



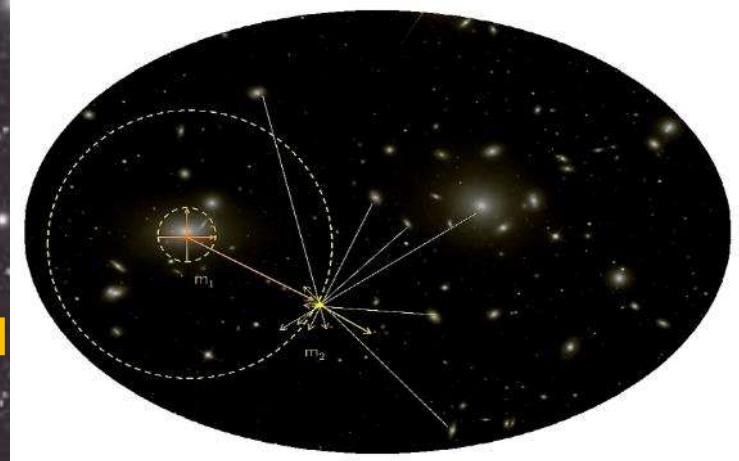
La inercia local está determinada por la distribución de masas de todo el Universo



E. Mach 1893

$$\frac{F}{m} = G \frac{M}{r^2} + F_{YF}$$

$$\frac{F}{m} = G \frac{M}{r^2}$$



La fuerza de gravedad total es la resultante local mas la contribución colectiva de masas a gran escala



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9, 10 y 11 de julio de 2025

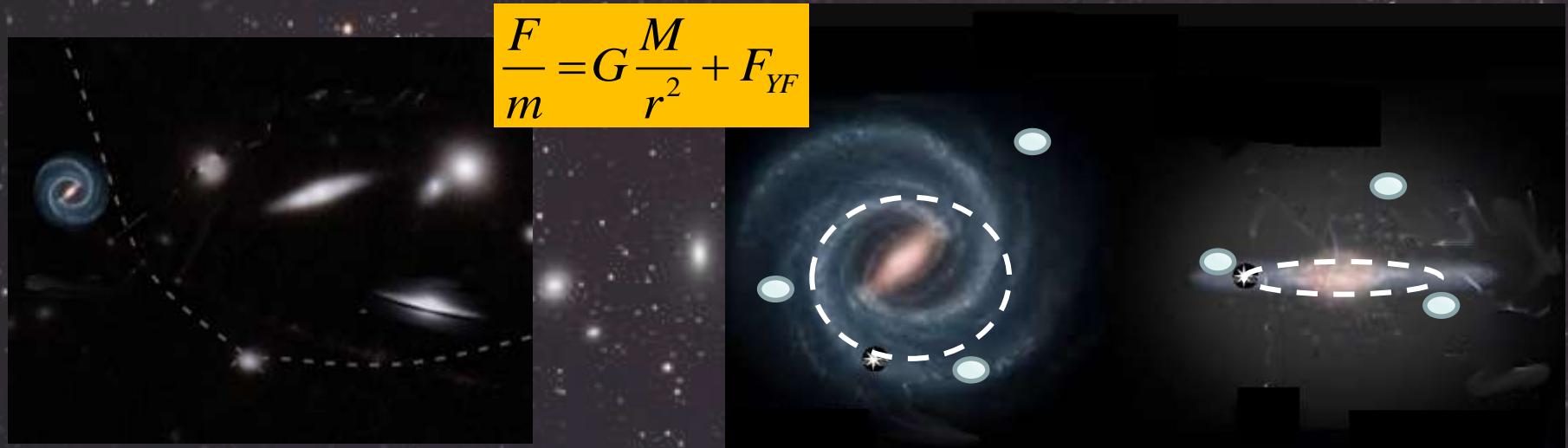


5. Principio de Mach

En el Sistema solar la Inercia de Mach puede despreciarse pues la longitud de la trayectoria de los planetas es depreciable respecto a la distancia promedio de las estrellas vecinas (~ 1.4 pc) .

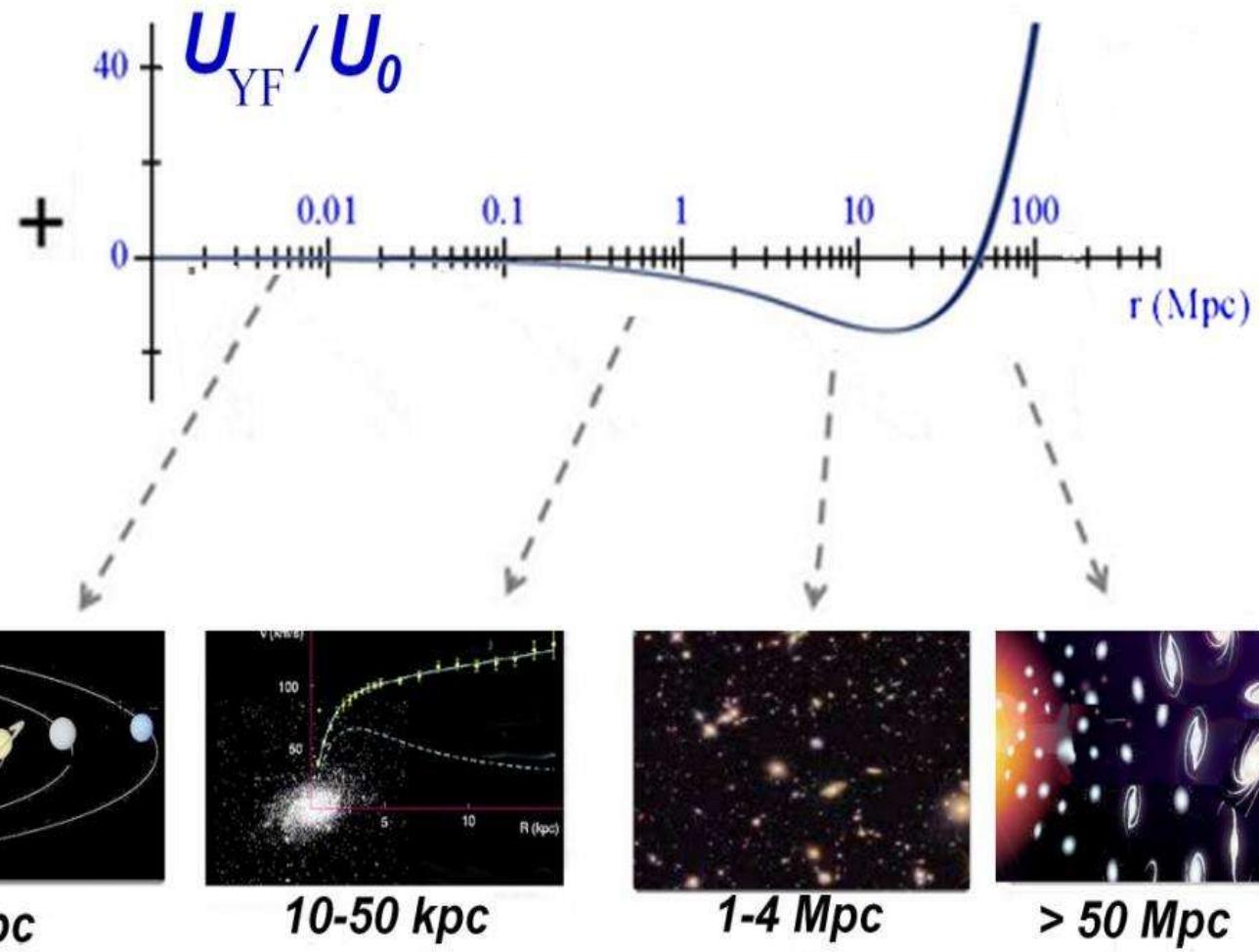
→ No es así en escalas estelares (curvas de rotación) ni en escalas galácticas (Masa de Zwicky) donde el campo de la periferia no es constante ni isótropo

$$\frac{F}{m} = G \frac{M}{r^2} + F_{YF}$$



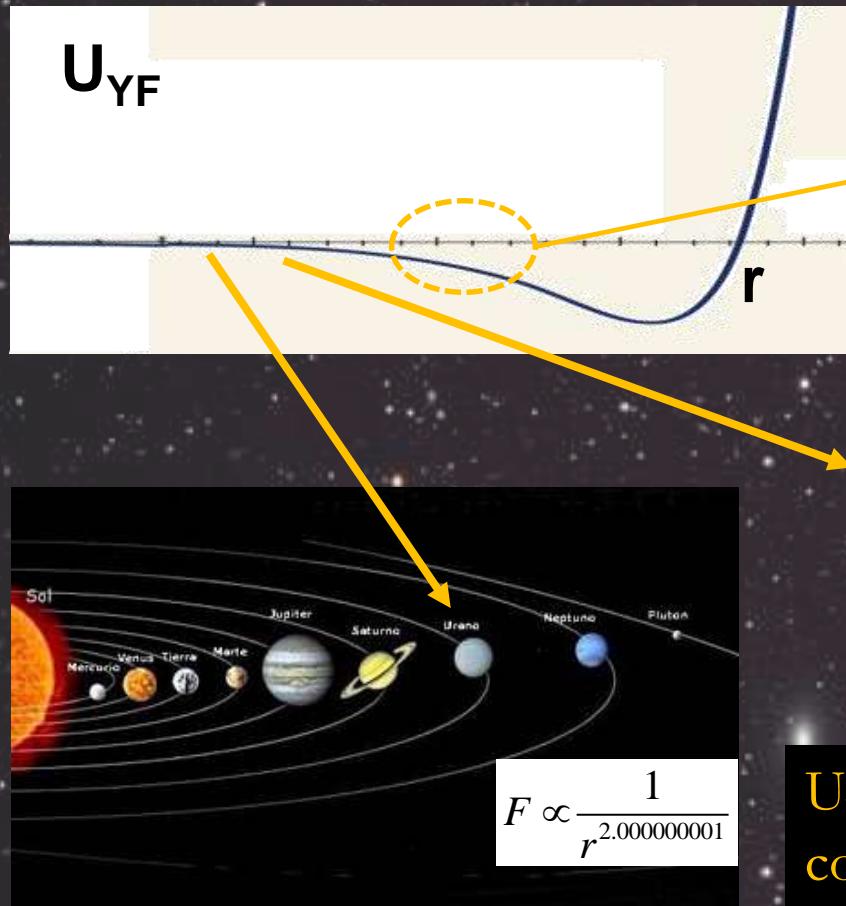
6. Nuevo Paradigma: U_{YF}

$$U_{YF}(r) = U_0 (r - r_0)e^{-\alpha/r}$$



6. Nuevo Paradigma: U_{YF}

$$U_{YF}(r) = U_0 (r - r_0)e^{-\alpha/r}$$



Recupera la Teoria MoND Milgrom
Para modelar las curvas de rotacion

anomalías de las Pioneer
Y precesión del perihelio de Saturno

$U_{YF} \sim 0$ cercar del sistema en acuerdo
con los experimentos tipo Eötvös



6. Nuevo Paradigma: U_{YF}

$$U_{YF}(r) = U_0(r - r_0)e^{-\alpha/r}$$

U_{YF}



r

$$\frac{F_{YI}(r)}{m} \equiv -\frac{U_0(M)}{r^2} e^{-\alpha/r} (r^2 + \alpha(r - r_0))$$

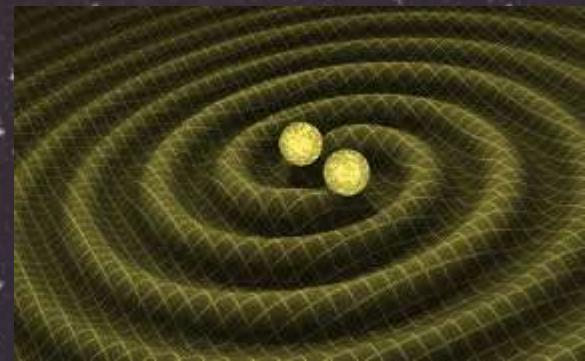
F_{YF} nula: alcance finito ($\approx 10\text{Mpc}$)

Masa del gravitón compatible con LIGO-VIGO (Nobel 2017)

$$m_g^0 \approx 10^{-64} \text{ kg}$$

$$\langle v^2 \rangle = \left\langle \frac{GM}{r} + \frac{U_0(M)}{r} e^{-\alpha/r} [r^2 + \alpha(r - r_0)] \right\rangle$$

Da cuenta de la masa faltante en los cúmulos de galaxias (Zwicky)



6. Nuevo Paradigma: U_{YF}

$$U_{YF}(r) = U_0 (r - r_0) e^{-\alpha/r}$$

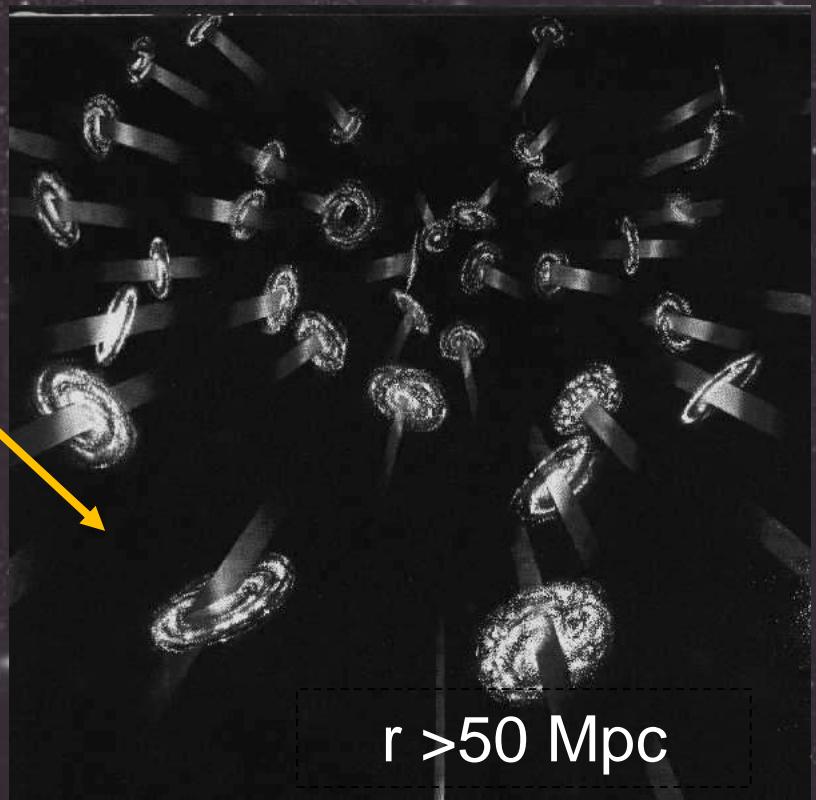
U

r

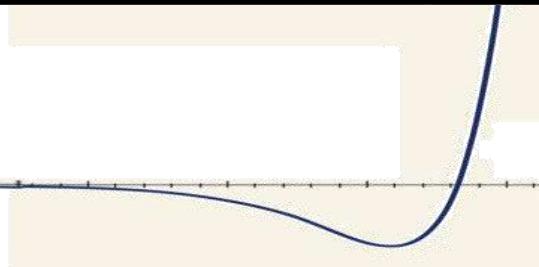
Explica la naturaleza de la energía oscura ($\Lambda \neq 0$) y la expansión acelerada del Universo

$$\Lambda(r) \approx 39 \frac{H_0^2}{r_c c^2} (r - r_c) e^{-\alpha/r}$$

$$U_{YF}(r \text{ in Mpc}) \cong U_0 (r - 50) e^{-2.5/r}$$



7. Consecuencias Cosmológicas: Modelos ΛFRW



$$\frac{2\ddot{R}(t)}{R(t)} + \left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \right)^2 = -\frac{8\pi G}{c^2} P + \Lambda(r_m)c^2$$
$$\left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho + \frac{\Lambda(r_m)c^2}{3}$$

$$\Lambda = \Lambda_0 F_{IY}(r) = -\frac{3H_0}{c^3} \frac{dU_{YF}}{dr}$$

$$\Omega_{IY} \equiv \frac{c^2}{3} \Lambda(r_m) H_0^{-2}$$
$$\Omega_\Lambda \equiv \frac{\Lambda(r_c)c^2}{3H_0^2} \approx 0.72$$

$$0 = H_0^2 [\Omega_b (1 + \Omega_{IY}) + \Omega_\Lambda - 1]$$

La energía oscura se interpretaría como la aceleración cósmica en marcos locales, causada por la distribución a gran escala de la materia bariónica ordinaria.

$$\Omega = \Omega_m + \Omega_\Lambda = 0.255 + 0.6911 \approx 1.$$



7. Consecuencias Cosmológicas: Modelos ΛFRW

$$k = H_0^2 [\Omega_b(1 + \Omega_{YF}) + \Omega_\Lambda - 1]$$

valor típico observado para Universo plano sin dark matter.

$$\Omega_b \approx 0.022 \quad \Omega_\Lambda \cong 0,65 \quad \Omega_{YF} \cong 8.1$$

$k = 0$ y $\Omega_b = 0.0223$ se obtiene $\Omega = 1 \rightarrow$ **No hay materia oscura!**

Modelo FRW compatible con las observaciones !!

$$V = \int a(r) dt = \frac{4\pi G}{c} U_{YL}(r) \quad \Rightarrow \quad V \cong \frac{4\pi G}{c} r \equiv H_o r$$

$$H_{o\max} \approx 86 \text{ km}/(\text{sMpc})$$

Se puede deducir teóricamente la Ley de Hubble-Lemaitre



**Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo**

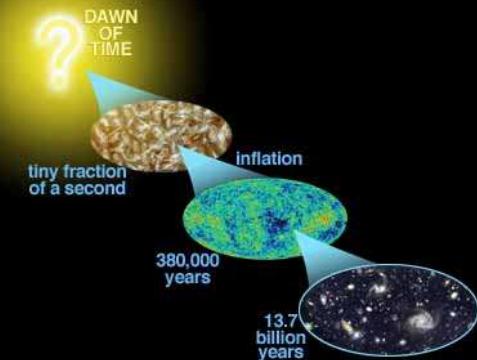
9, 10 y 11 de julio de 2025



20

8. Universo Temprano: CMB y BAO

U_{YF} se deduce del trabajo promedio en la formación de las protogalaxias y la energía media por nucleón del plasma primordial durante la recombinación (CMB en $z=1100$)



$$\langle U \rangle \equiv \left\langle \frac{u}{N} \right\rangle = -U_0(r_o - r) \exp \left(-\frac{s}{k_B T} \right)$$



$$U_{YF}(r) \equiv \langle U \rangle = U_0 (r - r_0) e^{-\alpha/r}$$

$$\varepsilon = \frac{m_p v^2}{2} \cong \frac{1}{2} \frac{G m_p M}{r}$$

$$\alpha = \frac{G m_p}{k_B T_d} M = \frac{4\pi G m_p}{3 k_B T_d} r_0 \rho_c$$

$$U_{YF}(r \text{ in } Mpc) \cong U_0 (r - 50) e^{-2.5/r}$$

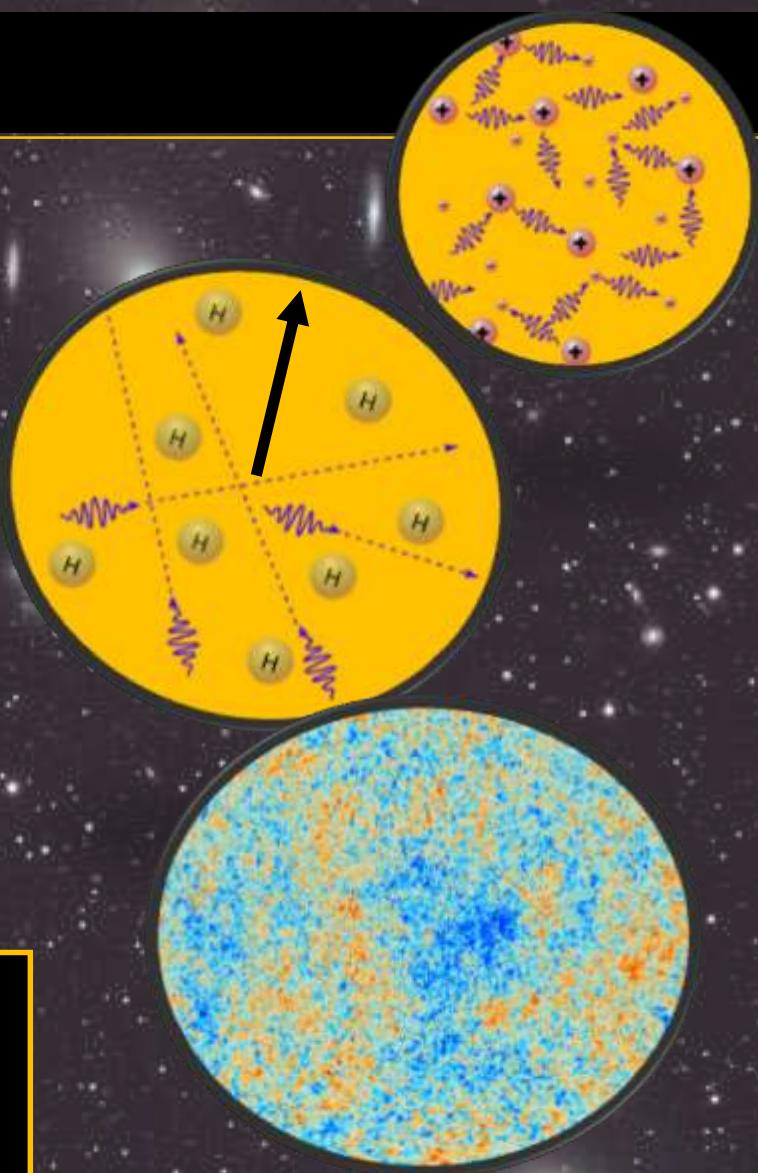


8. Universo Temprano: CMB y BAO

$$U_{YF}(r \text{ in Mpc}) \cong U_0 (r - 50) e^{-2.5/r}$$

- El radio de la “esfera sonora” en el instante de recombinación es en escala comóvil de sonido (Planck 2018): $r_s = 0.3 \text{ Mpc}$
- Por lo tanto, cada sobre-densidad primordial “oía” un eco sonoro de radio $\sim 1.3 \times 10^5 \text{ pc}$ antes del desacople.

Las BAO y el CMB quedarían inalterables en el formalismo de la Gravedad modificada con campo U_{YF}

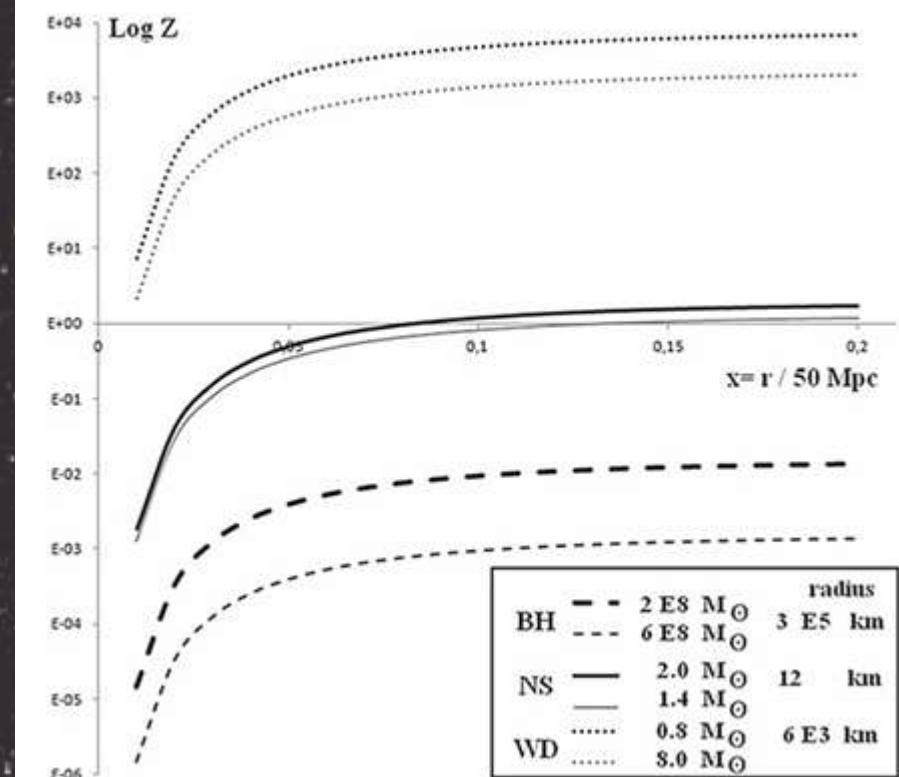


9. Implicaciones Astrofísicas: Red shift

AGN mas cercanos que lo supuesto

$$z_g = -\frac{1}{c^2} \left(-\frac{GM}{R} + U_{YF} \right)$$

$$z_g = \left[\frac{R_s}{2R} \right] \left[-\frac{1}{R} + 4\pi l e^{-\alpha_0/x} (x - 1) \right],$$



Incremento del redshift gravitacional

- Resuelve la **Controversia de Harp** y los Redshift anómalos
- Explica la naturaleza de los Quasares (AGN)



9. Implicaciones Astrofísicas: Teorema del Virial

$$G \equiv \sum_i \vec{p}_i \cdot \vec{r}_i$$

$$0 = -\langle U \rangle + 2\langle T \rangle$$

$$M = \frac{3\pi}{2} \frac{\sigma_p^2}{G} R_{PV}$$

$$0 = -\langle U \rangle + 2\langle T \rangle + 4\pi G M l r_0^{-1} \alpha \sum_i m_i.$$

$$M = \frac{3\pi}{2} \frac{\sigma_p^2}{G} R_{PV} \left[1 - 4\pi \ell R_{PV} \left(e^{-2.5/R_{PV}} (R_{PV} - 50) + 2.5 \right) \right]^{-1}$$

Cluster	M_{vir} ($10^{14} M_\odot$)	M_{vir} (YF) $10^{11} M_\odot$)	
A1656 Coma	7.97	11.20	705
A1689 Virgo	4.59	6.68	687
A3558 Shapley	13.10	15.4	850
...			
Average	4.73	7.30	648

$M_{virial} \sim 700$ veces menor que la calculada por Zwicky



Escobar-J / Falcon-N 2025



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9,10 y 11 de julio de 2025

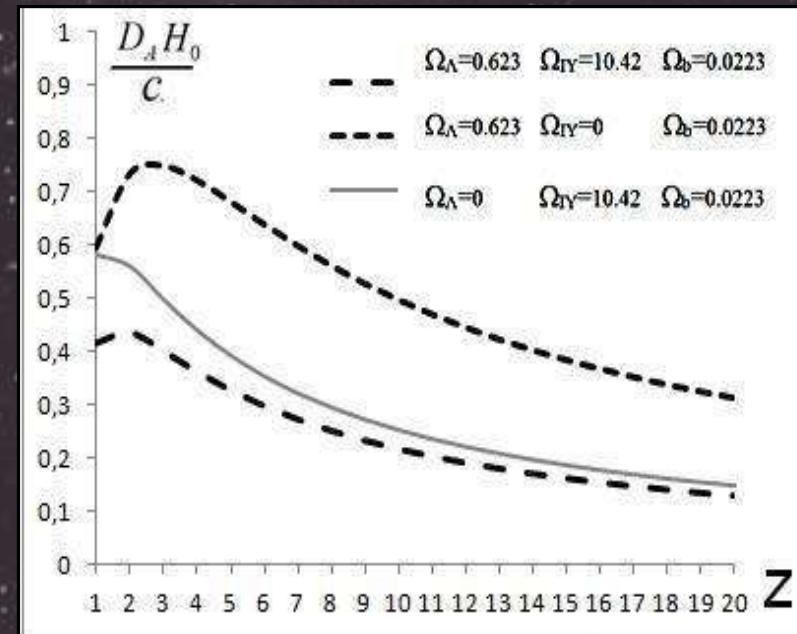
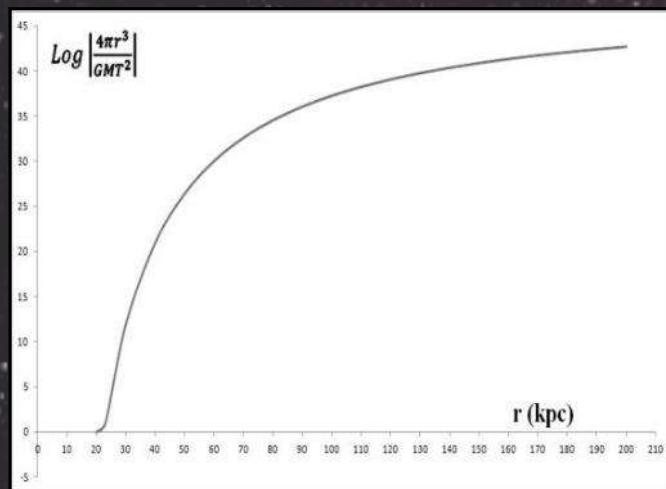


24

9. Implicaciones Astrofísicas

Máximo en Z=2 de la distribución a gran escala de galaxias

$$D_A = \frac{cH_0^{-1}}{z+1} \int_0^z \left[(1+z)^3 \Omega_b (1+\Omega_{\Lambda}) + \Omega_\Lambda \right]^{-\frac{1}{2}} dz$$



Desviación Kepleriana en la
orbita de los cúmulos globulares

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{GM}{r^3} - \frac{U_0(M)}{r^3} e^{-\alpha/r} (r^2 + \alpha(r - r_0))$$



Salas-D / Falcon-N 2025



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9,10 y 11 de julio de 2025

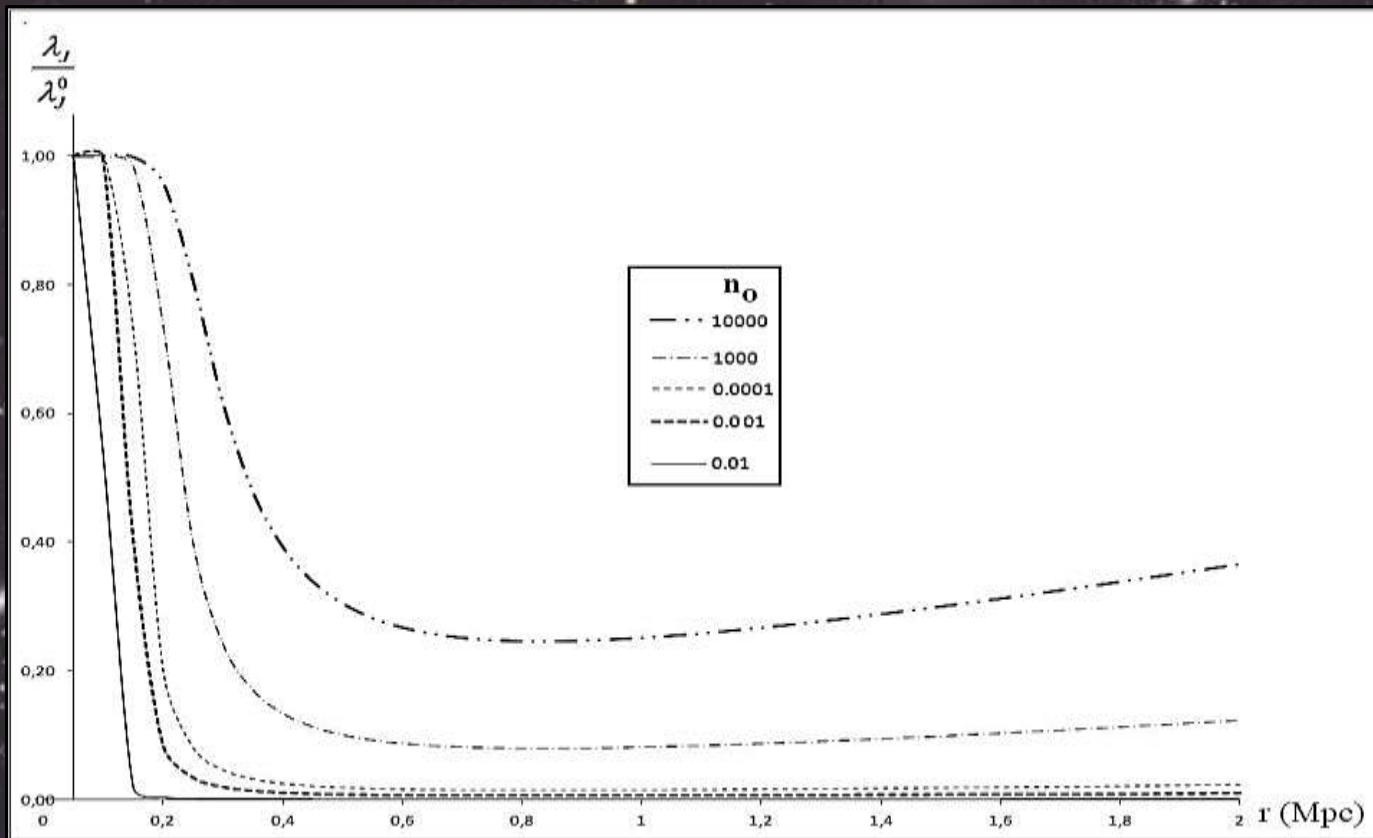


25

9. Implicaciones Astrofísicas: Longitud de Jeans

La Longitud de fragmentación disminuye a escalas de cúmulos y supercúmulos de galaxias

$$\lambda_J = \lambda_J^0 \left[1 - A r^{-3} e^{-\alpha/r} (r^2 + \alpha(r - r_0)) \right]^{-1/2}$$



9. Implicaciones Astrofísicas:

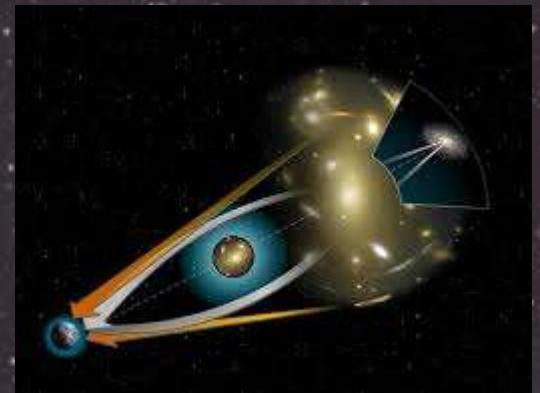
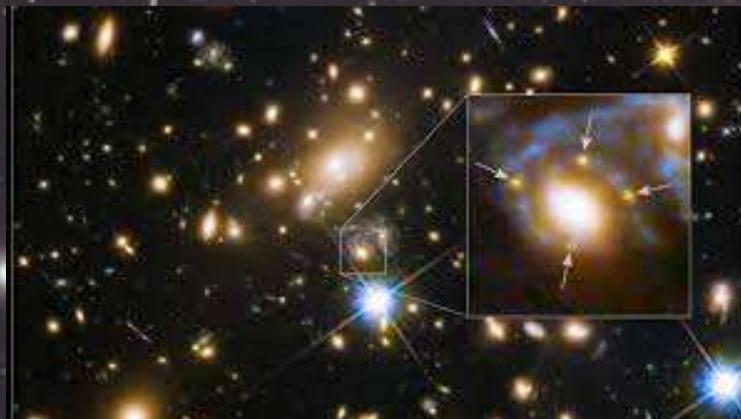
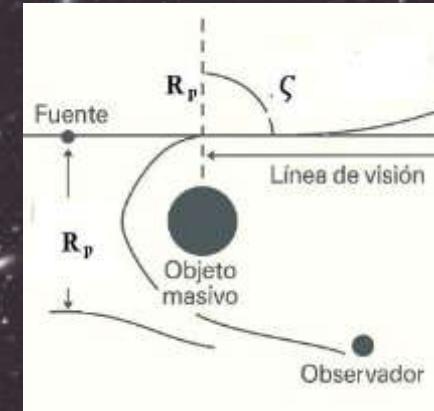
Lentes gravitacionales

$$\vec{\zeta} = - \int \vec{\nabla}_{\perp} \eta dl = \frac{2}{c^2} \int \vec{\nabla}_{\perp} \Phi dl$$

$$\Phi = U_N + U_{YF} \approx -\frac{GM}{r} + \frac{4\pi GM\alpha_0}{r}$$



$$\zeta \approx \frac{5R_s}{3c^2 R_p} = \frac{5(2GM)}{3c^4 R_p}$$



La masa oscura en las lentes gravitacionales están sobreestimadas en un factor del 20%, debido a la omisión del potencial U_{YF} , aun suponiendo que todo el “z” es cosmológico



9. Implicaciones Astrofísicas:

Posibles objeciones

- Covarianza
- Teorema de Birkhoff
- H_0 “medido” por CMB
- Estructuras a Gran escala
- Sería observable en el Sistema Solar

Respuestas

- Para $r >> 10 \text{ Mpc}$ $\Lambda \approx \text{const}$ como en modelos FRW
- No es aplicable. Supondría usar gaussiana esférica en el centro de la distribución, no es posible definir tal gaussiana en ningún caso real del Universo
- no es una medida de H_0 , el CMB ajusta estadísticamente varios parámetros simultáneos
- No tienen simetría esférica, se explican por interacción gravitatoria de “cadenas” de masas
- UYF es nulo a escalas interplanetaria en experimentos tipo Eövos, sin embargo da cuenta del frenado de las Pioneer

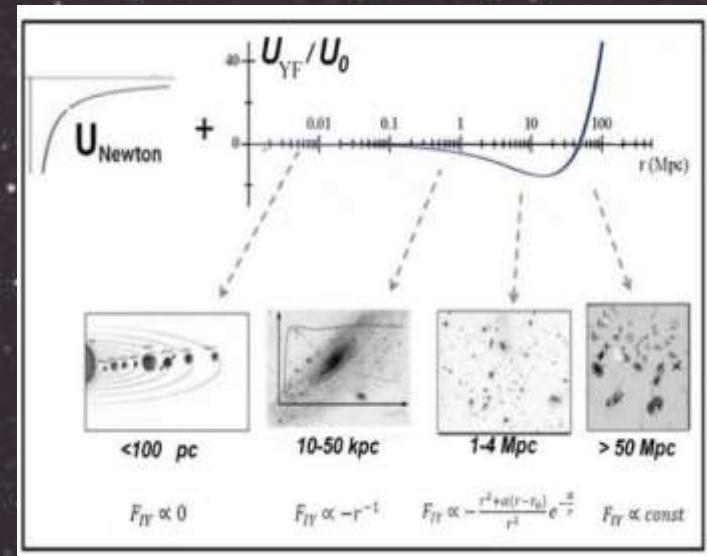
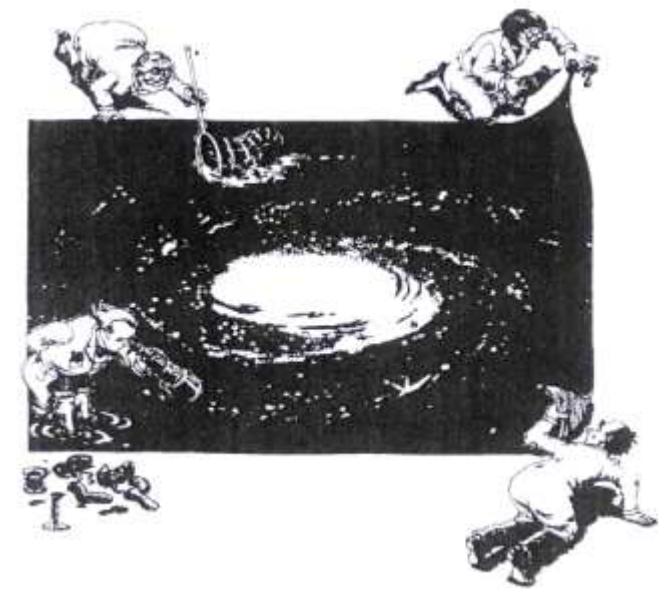


10. Conclusión

Nuestra comprensión del Cosmos requiere un cambio de paradigma.

Repensar la Ley de Gravedad con un término dinámico (U_{YF} o similar) en lugar de Materia exótica inobservable (*Dark Matter*) ofrece una alternativa robusta y completa dentro de la Cosmología del Big Bang caliente

La energía oscura sería la consecuencia del principio de March (Campo U_{YF}) y la materia del Universo sería solo bariónica y mensurable!!!



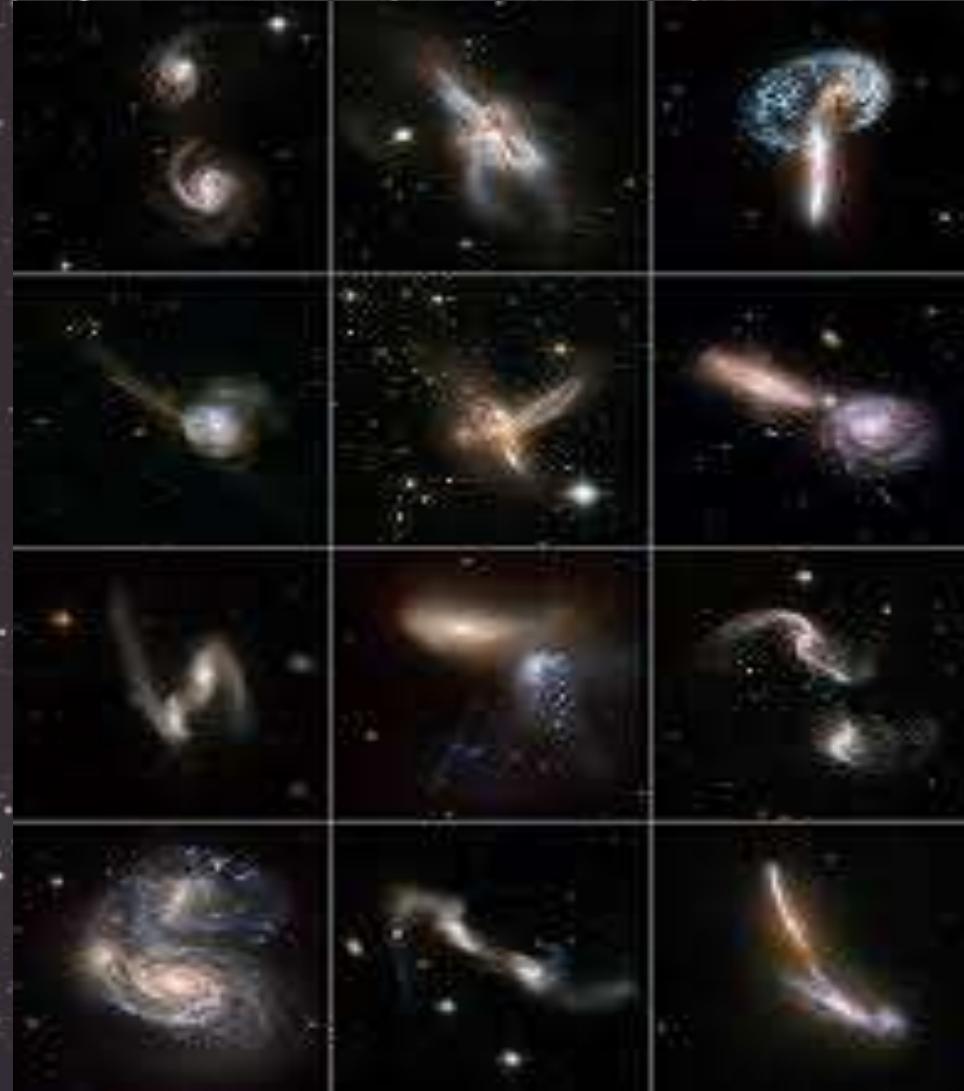
$$U_{YF}(r) = U_0 (r - r_0) e^{-\alpha/r}$$

Colisiones de Galaxias ¿por que tan frecuentes?

U_{YF} predice que la trayectoria en escalas de megaparsec son arcotangentes.

Dinámica de Lagrange y Cúmulos de Galaxias.

Ortega-A / Falcon-N 2025



Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo

9,10 y 11 de julio de 2025



30

10. Perspectivas: Universo rejuvenecido

$$U_{YF}(r) = U_o (r - r_o)e^{-\alpha/r}$$

Cosmocronología Enanas Blancas (WD)

Krauss et al. 2003 11.2 Gyr

Kilic et al. 2017 11.42Gyr



Planck Collaboration (2019) 13.8 Gyr

$$\tau = H_0^{-1} \int_0^{\infty} [(1+z)^3 \Omega_b (1 + \Omega_{IY}) + \Omega_{\Lambda}]^{-1/2} \frac{dz}{z+1}.$$

Medida	H_0 (km/s Mpc)	Edad Universo (GigaAños)
Falcon-Aguirre (2014)	86,3	11,42
CMB (Plank 2018)	67,74	13.8
Jaeger (SN 2022)	75.5	12,4

$$\Omega_b \approx 0.0223$$

$$\Omega_{\Lambda} \approx 0.623$$

$$\Omega_{IY} \approx 10.42$$

$$H_0 \approx 86,3 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

Enfriamiento de Enanas Blancas García-K/ Falcon-N 2025



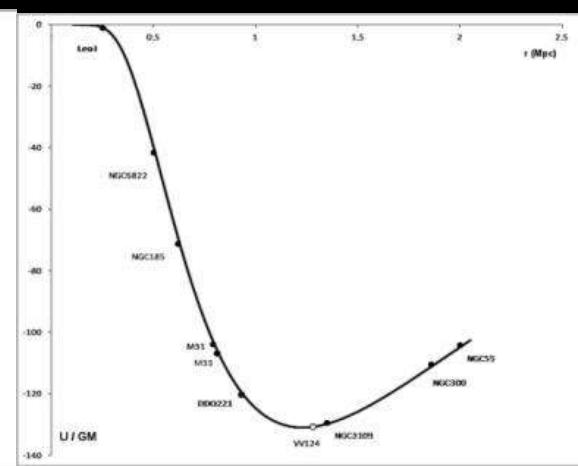
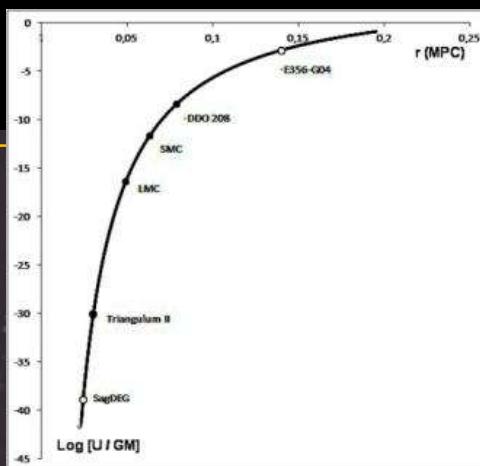
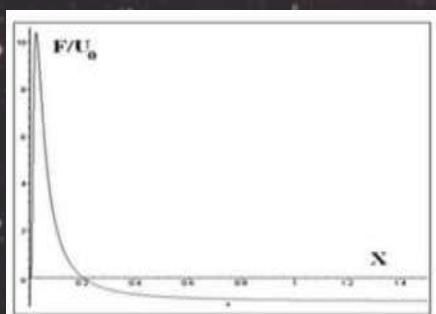
**Coloquio Latinoamericano
Materia Oscura y Energía Oscura en el Universo**

9,10 y 11 de julio de 2025



10. Perspectivas

Energía potencial y masas del grupo Local de galaxias

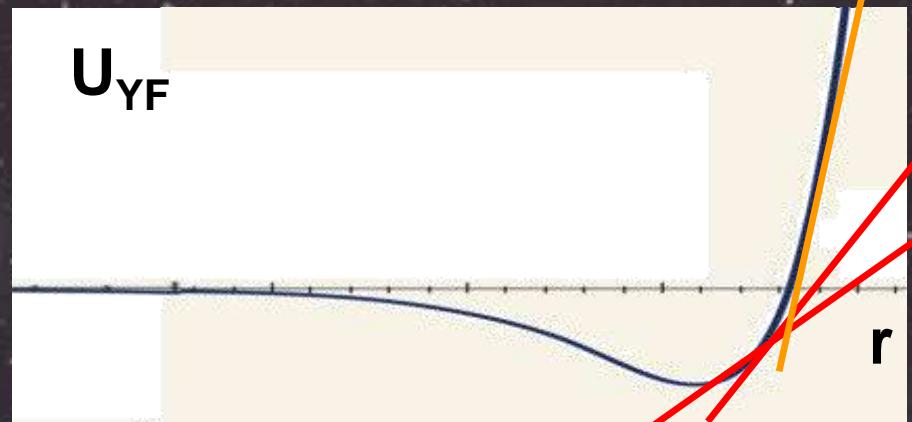


$$m_g^0 \approx 10^{-64} \text{ kg}$$

Alcance máximo de la gravedad:
~10,4 Megaparsec

Tensión de Hubble: Cota superior
de la Constante de Hubble
(86,3 km/sMpc)

$$H_0 = \frac{4\pi G \ell}{c}$$





MEDWIN PUBLISHERS
Committed to Create Value for Researchers

Open Access Journal of Astronomy

ISSN 2996-6701

2025

Zwicky's Missing Mass: Dark Matter versus Modified Gravity

Falcon N*

Laboratory of Physics of the Atmosphere and Ultraterrestrial Space, Department of Physics, FACYT, University of Carabobo, Venezuela

*Corresponding author: Nelson Leonardo Falcon Veloz, Laboratory of Physics of the Atmosphere and Ultraterrestrial Space, Dpto of Physics, FACYT, University of Carabobo, Valencia 2001, Venezuela, <https://orcid.org/0000-0001-5286-5047>, Email: nelsonfalconv@gmail.com

Research Article

Volume 3 Issue 1

Received Date: January 20, 2025

Published Date: February 10, 2025

DOI: 10.23880/oaaj-10000156



Journal of Astrophysics & Astronomy

Published: 13 September 2021

2021

A large-scale heuristic modification of Newtonian gravity as an alternative approach to dark energy and dark matter

N. FALCON

Journal of Astrophysics and Astronomy 42, Article number: 102 (2021)

Journal of Modern Physics, 2013, 4, 10-18
<http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2013.4A003> Published Online August 2013 (<http://www.scirp.org/journal/jmp>)



Modification of the Newtonian Dynamics in aFRW-Cosmology an Alternative Approach to Dark Matter and Dark Energy

Nelson Falcon

Department of Physics, FACYT, University of Carabobo, Valencia, Venezuela
Email: nelsonfalconv@gmail.com

Received June 2, 2013; revised July 9, 2013; accepted August 3, 2013

2013

Gracias por su atención



MEDWIN PUBLISHERS
Committed to Create Value for Researchers

Open Access Journal of Astronomy

2023

Modified Gravitation and Mach's Principle: An Alternative to the Dark Matter and Dark Energy Cosmological Paradigm

Falcon N*

Department of Physics, University of Carabobo, Venezuela

*Corresponding author: Nelson Falcon, Department of Physics, University of Carabobo, FACYT, Valencia Carabobo 2001, Venezuela Email: nelsonfalconv@gmail.com

Research Article

Volume 1 Issue 1

Received Date: October 27, 2023

Published Date: December 19, 2023

DOI: 10.23880/oaaj-10000103



2014

Theoretical deduction of the Hubble law beginning with a MoND theory in context of the aFRW-Cosmology

Nelson Falcon, Andrés Aguirre

Laboratory of Physics of the Atmosphere and the Outer Space, University of Carabobo, Valencia, Venezuela
Email: nelsonfalconv@gmail.com, aaguirre3@uc.edu.ve

Received **** 2014



San
Agustín