

LA LEY DE GRAVITACION DE NEWTON NO ES TAN UNIVERSAL COMO PARECE.

Nelson Falcón : Universidad de Carabobo. FACYT. Dpto. de Física. nelsonfalconv@gmail.com
Unión Astronómica Internacional VE-000856,

Resumen: La Dinámica Newtoniana Modificada (MOND) es una modificación empírica de la ley de gravedad de Newton a grandes escalas a fin de explicar las curvas de rotación de galaxias, como una alternativa a la materia oscura no bariónica. Pero las teorías MOND difícilmente pueden conectarse con el formalismo de la cosmología relativista tipo de Friedmann-Robertson-Walker. Se postula un modelo cosmológico con termino dinámico cosmológico (λ en función de la distancia comóvil) como una alternativa al paradigma de la materia oscura no bariónica. Este potencial se construye a partir de una reflexión especular sobre el potencial de Yukawa: nulo cerca del sistema solar, poco atractivo en rangos de distancias interestelares, muy atractivo en rangos de distancia comparable a las agrupaciones de las galaxias y repulsiva a escalas cósmicas.

Palabras Claves: Gravitación, Teorías MoND, cosmología FRW.

Abstract: It postulates a cosmological model Friedmann-Roberston-Walker with dynamic cosmological term (λ depending on the comoving distance) as an alternative to the paradigm of non-baryonic dark matter. This potential is build starting from a reflection to speculate of the potential of Yukawa: zero in the inner solar system, slightly attractiveness in ranges of interstellar distances, very attractiveness in distance ranges comparable to clusters to of galaxies and repulsive to cosmic scales. This model is compatible with the density critical observed, and Milgrom theory.

Keywords: Dark Matter, FRW cosmology, MoND Theory

1. Introducción.

La cosmología científica se basa en la descripción de la gravedad por medio de la Teoría General de la Relatividad, más concretamente en las soluciones de las ecuaciones de Friedmann para un modelo de universo isótropo y homogéneo a gran escala (métrica de Friedmann-Robertson-Walker FRW) y en continua la expansión de acuerdo a la Ley de Hubble. De acuerdo con esta descripción, la dinámica del universo estaría determinado por la cantidad de materia existente en él, que a su vez determina la geometría a gran escala del espacio-tiempo.

Observaciones recientes de la radiación reliquia en el Fondo Cósmico de Microondas (CMB) han confirmado, en esencia, las predicciones del modelo del Big Bang y parecen corroborar las predicciones de los modelos de universo FRW con curvatura cero ($k = 0$). Medidas más refinadas de la falta de homogeneidad en el CMB (Hinshaw et al 2009, Komatsu et al 2010) con las mediciones de las supernovas (supernovas Ia) a alto corrimiento al rojo (Riess et al, 1998, Pendlutter et al 1999) sugieren la existencia de una orden aceleración cósmica de acuerdo con las predicciones del modelo de universo con constante cosmológica ($\Lambda \neq 0$). Esta aceleración cósmica a gran escala, también llamada energía oscura, es hoy uno de los enigmas más importantes de la cosmología moderna (Peebles Rastra de 2003; Peebles 2007, Carroll et al 1992, y referencias en ellos). Aún más preocupante es la aparente contradicción entre los modelos del universo con curvatura cero ($k = 0$) en el formalismo FRW y el parámetro de densidad total (Ω), según la cual debe ser exactamente igual a la unidad, pero la densidad observada de la materia es un orden de magnitud inferior a lo esperado para la curvatura nula (véase Overduin - Wesson 2008 y referencias en él).

Suponiendo que la dinámica del universo se prescribe sólo por la fuerza de gravedad (como la única fuerza fundamental escala astronómica) nos encontramos con serias dificultades para describir el comportamiento del Universo: (i) No se puede explicar las curvas de rotación de las galaxias, que muestran su incompatibilidad con la masa virializados de las galaxias. (Sofue et al 1999, Sanders y McGaugh de 2002, y referencias en ellos); (ii) En los cúmulos ricos de galaxias, la masa observada en forma de estrellas y la masa de gas deducirse de la emisión difusa de rayos X es significativamente menor que la requerida para mantener estos sistemas gravitacionalmente estables. (Shirata et al 2005 y sus referencias) y (iii) A escalas cosmológicas la densidad observada materia bariónica es mucho menor que la predicha por los modelos FRW con curvatura cero y constante cosmológica. (Overduin - Wesson 2008, y referencias allí citadas)

El problema de la masa perdida y parece afectar a la dinámica en todas las escala de longitud más allá del Sistema Solar (Freese 2000 y sus referencias). Una solución ha sido proponer el requisito de la falta de material de origen desconocido (la materia oscura no bariónica) con propiedades igualmente desconocida y sólo interactúa gravitacionalmente con la materia ordinaria. Sin embargo, después de más de una década de grandes esfuerzos: tanto teóricos, observaciones astronómicas y experimentos de laboratorio, su existencia sólo se ha sugerido conjetural o paradigmática.

En los últimos años han surgido varias alternativas al paradigma de la materia oscura para explicar las curvas de rotación de las galaxias o como alternativas a la TGR y la cosmología del Big Bang. Entre las primeras se incluyen teorías MOND, que reproducen con éxito las curvas de rotación de las galaxias a pesar pero no puede resolver la falta de materia oscura en las escalas de los cúmulos de galaxias ni en la escala cosmológica. En la misma línea están las teorías de Moffat (2005), que postula una modificación de la constante de Gravitación Universal, aunque es una alternativa muy prometedora para el paradigma de la materia oscura, se enfrenta a problemas como que una variación de 25% o más en la constante de la gravedad, implica una gran cantidad de helio incompatible con las observaciones (Reeves 1994 y sus referencias, véase también Melnikov 2009 para restringir la variación de las constantes fundamentales).

Si bien es cierto que la ley de Newton de la gravitación, ha sido comprobada en el laboratorio para precisiones superiores a 10^{-8} en los experimentos de tipo Eötvös (Gundlach 2005; Silverman, 1987) no hay pruebas experimentales para confirmar la validez de la dinámica newtoniana más allá del Sistema Solar. Para una revisión de las especulaciones teóricas acerca de las desviaciones de la ley R^{-2} ver Adelberger et al. (2003). También los experimentos terrestres y del sistema solar limitan severamente la fuerza de un campo antigравidad con rango mucho mayor que 1 UA (Goldman, 1987). Las modificaciones a la Ley de gravitación se han teorizado incluso mucho antes de la relatividad (Seeliger 1895; Bondi 1970)..

En relación con la hipótesis de la materia oscura no bariónica, la historia de la ciencia ha mostrado muchos ejemplos locales de explicar paradigmáticamente el comportamiento de la naturaleza que eran entonces inexistente y sustituido por otras alternativas medibles. Tales como los ciclos y epiciclos de Ptolomeo, el éter antes del advenimiento de la Teoría Especial de la Relatividad, el "calórico" (como sustancia primaria) antes de que el trabajo de Joule y Carnot. En todos los casos, una revisión de las hipótesis establecidas en la descripción fenomenológica de los procesos condujeron a un avance en nuestra comprensión de la realidad natural.

Se puede asumir una modificación a la teoría de la gravitación de Newton (MOND) pero es necesario un formalismo para conectar estas ideas (Milgrom, 2001; Sanders y McGaugh 2002) con el formalismo habitual de los modelos FRW y los observables del modelo del Big Bang, tales como los picos acústicos en las fluctuaciones del CMB, la densidad de la materia, la edad del universo en términos de la constante de Hubble, nucleosíntesis primordial (bariogénesis) y la formación de estructuras de las fluctuaciones primordiales.

En ese sentido se propone como una alternativa liberar el supuesto en que se basa la cosmología moderna, a saber, que la dinámica de las estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias se determina únicamente por la fuerza de gravedad (Falcon, 2010). En ella se postula una nueva interacción fundamental, cuyo origen es materia bariónica, similar a la gravedad, y que actúa de forma diferente en diferentes escalas de longitud, al igual que el enfoque de Yukawa para la interacción fuerte (Yukawa, 1935), según el cual la energía nuclear sería nula, atractiva o repulsiva en diferentes escalas de longitud. Esta nueva interacción, lo que aquí llamamos campo de Yukawa Inverso (IYF) es construido por el reflejo especular del potencial de Yukawa, resultando en una constante cosmológica en función de la distancia comóviles, es decir, potencial nulo cerca del Sistema Solar, en acuerdo con los experimentos terrestres, poco atractivo para escalas de decenas de kiloparsec; compatible con MOND; muy atractivo a escalas de decenas de Megaparsec y repulsivo escalas cosmológicas de la orden o mayor de 50 Mpc de acuerdo con la constante cosmológica (ver figura 1).

[Figura 1]

Se asume que cualquier partícula con masa en reposo no nula está sujeto a la fuerza gravitacional de Newton por la ley de la Gravitación Universal, y una fuerza adicional que varía con la distancia, que llamamos el campo inverso Yukawa. Además, sin cambiar el argumento, se podría pensar que la fuerza de la gravitación es bimodal (bigravedad): varía con el cuadrado inverso de las escalas de distancia insignificante en comparación con r_0 , pero varía de muy diferente cuando la distancia comóviles se trata de kiloparsec o más. En este sentido, nuestro argumento es una teoría MOND. También está claro que el origen de este IYF es la masa bariónica, como la fuerza gravitacional de Newton.

Este tipo de potencial de Yukawa inverso por unidad de masa, se construye a partir de una reflexión especular del potencial de Yukawa: nulo en muy cerca del sistema solar, poco atractivo en rangos de distancias interestelares, muy atractivo en rangos de distancia comparable a los cúmulos de galaxias y repulsivo a escalas cósmicas (para detalles ver Falcon 2011):

$$U(r) \equiv U_0(M) (r - r_0) e^{-\alpha/r} \quad (.1)$$

Donde $U_0(M)$ es la magnitud del potencial por unidad de masa (en unidades de N /kg) como función de la masa bariónica que causa el campo, y r_0 es la distancia promedio entre cúmulos de galaxias (véase Guzzo 2002, y referencias en él) del orden de 50 Mpc. y α es una constante de acoplamiento en el orden de 2.5Mpc que corresponde al el valor promedio de la

cuasitransición entre el medio fluido y la aglutinación fuerte en la distribución de galaxias (Peebles y Ratra 2003, y referencias en ellos).

La derivada respecto a la distancia comovil de (1) provee la fuerza de Yukawa inversa por unidad de masa (FYI), complementaria a la gravitación newtoniana, de la forma:

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

En la aproximación de campo débil FYI está dada por:

$$F_{YI}(r \ll r_0) \approx -\frac{U_0(M) \alpha r_0}{r^2} \quad (3)$$

Pero si la distancia comovil entre las partículas con masa, es pequeña en comparación a r_0 (muchísimo menor que 50 Mpc) la FYI es nula, en acuerdo a las medidas de los experimentos tipo Eötvös y las observaciones astronómicas del Sistema Solar y de estrellas binarias. Es fácil ver que si la distancia comovil entre objeto es del orden de kiloparsec, se recupera los supuestos de la MOND tipo Milgrom, y la aceleración asintótica va como r^{-1} (Falcon 2010).

Como la Teoría de Milgrom puede explicar por completo las curvas de rotación de las galaxias, entonces el campo propuesto IYF puede igualmente hacerlo. Recuerde que la habitual ley de Newton de la gravitación se suma a esta fuerza por unidad de masa .

2 Consecuencias Cosmologicas

También en el rango de la distancia cosmológica comovil, la fuerza inversa de Yukawa es constante y proporcionaría la aceleración cósmica asintótica, que se interpreta actualmente como una energía oscura de origen incomprensible (Sanders 2002). El valor mínimo del potencial se produce para $r \approx 1.2 h^{-1}$ Mpc, esto del orden del radio típico de Abell para cúmulos de galaxias.

Considerese la métrica FRW usual, homogénea e isotrópica y considérese el tensor de energía momentum para fluido perfecto, entonces es fácil ver que el término cosmológico asociado a la energía del campo de Yukawa es $\Lambda_0 \approx 39 H_0^2/c^2$; donde H_0 es la constante de Hubble y C es la velocidad de la Luz; lleva a la ecuación usual de Friedmann en el modelo del Big Bang (Falcon 2010):

$$0 = \frac{kc^2}{R^2(t)} = H_0^2 [\Omega_m (1 + \Omega_{YIF}) + \Omega_\Lambda - 1] \quad (4)$$

Donde el parámetro adimensional de densidad asociado al campo de Yukawa inverso es $\Omega_{YIF} \cong 8.1$; Ω_m y Ω_Λ representan los parámetros de densidad de materia y de la energía asociada al término cosmológico respectivamente. Es claro que el valor de la densidad crítica aumenta, porque la masa crítica ha sido subestimada por la definición habitual, debe sumarse a la masa, la energía equivalente del campo de Yukawa. Ahora, el resultado importante es que para un Universo asintóticamente plano ($k=0$) y un campo de Yukawa Inverso no nulo ($\Omega_{YIF} \neq 0$) ya no requiere usar la hipótesis de la materia oscura “extraña” (no bariónica). Así, con los valores usuales (Peacock 1999) de $\Omega_\Lambda \approx 0.7$ y $\Omega_m \approx \Omega_b = 0.03$, se verifica la ecuación de Friedmann (4) o para un modelo de universo plano sin incluir materia oscura.

Para las primeras etapas de la evolución del Universo, encontramos la relación usual entre el factor de escala $R(t)$ de expansión del Universo y las variables de estado de densidad ρ y presión P ; y en consecuencia la inclusión de la FYI no afecta el cálculo del tiempo de desacople entre la materia y la radiación. La FYI propuesta es proporcional a la masa bariónica, a través de la constante de acoplamiento U_0 (M). Las partículas con masa en reposo cero como los fotones no se verían afectados y por lo tanto no se espera variaciones en el CMB. Debido a que este FYI, a diferencia de la fuerza de la gravedad en el contexto de la relatividad general, no causa una curvatura del espacio-tiempo, está en pleno acuerdo con la hipótesis de Einstein (1916) al proponer la constante cosmológica.

Puede verse que la nucleosíntesis del Big Bang tiene lugar en el universo temprano, y el cálculo de la bariogénesis (Reeves 1994, Burles et al 2001, Steigman 2010 y referencias en ellos) usa explícitamente la relación entre densidad y presión ecuación, la cual es idéntica con o sin FYI. Otros modelos (Moffat 2006) que incluyen campos escalares modificando la constante de gravitación de Newton (G) podrían estar en conflicto con la nucleosíntesis primordial, la cual usa explícitamente este valor comparado con la constante de Fermi para calcular las abundancias de los elementos ligeros observados en el universo. Remarcamos que no es el caso de FYI porque se modifica la ley de la gravitación sólo a escalas de distancia comóviles cuarenta órdenes de magnitud mayor que la distancia promedio por nucleón en el plasma primordial.

La fórmula Mattig (Mattig 1959, Dabrowski y Stelmach 1986) sólo se modifica mediante la introducción del término de densidad crítica así vemos que el límite de edad del universo incrementa en aproximadamente un 30%, hasta las $17h^{-1}$ Gy. Recuérdese el problema de la edad cósmica asociada a cúmulos globulares más viejos en el halo galáctico y del cuasar

APM 08279 + 5255 en $z = 3.91$. Si las estimaciones de edad de estos objetos son correctas, el puzzle de la edad cósmica sigue estando en la cosmología estándar (Pont et al. 1998, Ma et al 2009, Wang et al 2010, Yang y Zhang 2010), pero no en el actual modelo FYI. Además, Wang y Zhang (2008) sugiere que la introducción de una nueva interacción puede ser útil para eliminar el problema de la edad cósmica y demostró que el paradigma de la energía oscura por sí sola no puede eliminar el problema de edad a alto z .

Por otro lado, la formación de estructuras a gran escala deben ser revisados en el contexto de una teoría de gravitación con campo de Yukawa Inverso como la aquí propuesta. Para nubes proto estelares, el tiempo de caída libre es sólo la gravedad de Newton, pero no puede ser igual a las dimensiones más altas durante tiempos de la Universo temprano, cuando las nubes tienen dimensiones colosales (protogalaxias) en escalas megaparsec. En talas escalas tendríamos bigravity (Rossi, 2009, Blas 2006), y el potencial de Yukawa inverso por unidad de masa tendrá que sumarse a la fuerza de la gravitación.

La disminución en la escala de longitud de Jeans implica que la fragmentación podría comenzar en los tiempos mas tempranos y por lo tanto favorece la formación de proto-galaxias a partir de nubes primordiales, disminuyendo el tiempo de caída libre. También el crecimiento de la estructura depende del contraste de densidad lineal de la materia y su descripción es diferente en escalas diferentes (Bueno-Sánchez et al 2010) como se esperar á de un término cosmológico dinámico $\Lambda(r)$. Queremos hacer hincapié en la función de crecimiento lineal de las perturbaciones de densidad en un modelo de universo plano con constante cosmológica ha sido reportado por Eisenstein (1997). Si en lugar de utilizar una expresión de gravitación con decaimiento monotono como r^{-2} , se utiliza como un término dinámico Ec. (1) se obtendría diferentes funciones de crecimiento para las perturbaciones en diferentes escalas de longitud.. Cabe señalar que, bajo o en escalas intergalácticas, las dimensiones de las distancias comóviles son tales que $r \ll r_0$ y el término de la FYI es insignificante y por lo tanto no se espera variaciones en la fragmentación de las nubes de las regiones activas de formación de estrellas.

3. Discussion

Otro interesante controversia en los últimos años es la relativa a la aceleración anómala de las naves espaciales Pioneer 10 y 11 en su viaje por los confines del sistema solar. Indicando la presencia de una pequeña y anómalo corrimiento de frecuencia Doppler, hacia el azul,

cambió interpretado como una aceleración hacia el Sol de $a_p = (8.74 \pm 1.33) \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ (Anderson et al 1998, 2002). Esta señal es conocida como la anomalía Pioneer; la naturaleza de ésta anomalía es todavía investigada (Toth 2009, Olsen 2007). Otra posible interpretación de la anomalía Pioneer es considerar la bigravedad. Por ejemplo si en adición a la gravedad newtoniana, tenemos una contraparte dada por la fuerza de Yukawa inversa como la propuesta aquí. En este caso, usando Ec. (3) con la constante de acoplamiento para la distancia promedio entre 20 a 70 UA , obtenemos $a_p \sim 9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$, en acuerdo a las medidas reportadas. Esta es ciertamente una muy cruda aproximación pero es fácil ver en la figura 1 que en el rango de 20 a 40 UA el IYF varía muy lentamente y por lo tanto su contribución a la aceleración es casi constante en este rango de la distancia.

También, el Principio de Mach dice que la inercia de un objeto puede ser entendida como la interacción gravitacional de su masa gravitacional con la distribución de materia en el universo distante (Mach, E. 1893, Singer 2005). La teoría MOND se puede interpretar como una nueva conexión entre la inercia del universo a gran escala y a escala local (Darabi, 2010). Sobre la base de esta interpretación, el campo de Yukawa inversa puede cumplir plenamente el principio de Mach, a través de la incorporación del término cosmológico dinámico $\Lambda(r)$.

Ishak y colaboradores (2010) han demostrado que la constante cosmológica aporta un factor de segundo orden en el ángulo de deflexión de las lentes gravitacionales. Es evidente que la inclusión del efecto de la FYI también conducen a una predicción de las variaciones de la masa estimada de las lentes gravitatorias con las mismas estimaciones de Ishak (2008).

El origen del campo escalar propuesta está fuera del alcance de este trabajo, hay que tener en cuenta que no existe todavía una teoría cuántica de la gravedad, ni se han detectado directamente gravitones (excepto tal vez las mediciones púlsar binario PSR B1913+16 que puede ser tomado como una prueba indirecta). Hay pruebas controversiales sobre el origen de la física cuántica y los fenómenos gravitacionales, que siguen abiertas en la literatura y que podrán justificar la existencia de un campo de tipo Yukawa en la forma propuesta (Raut y Sinha 1981 Burgess y Cloutier, 1988), también "La existencia de un rango intermedio acoplamiento con el número bariónico o hipercarga de los materiales fue confirmada " (Fischbach et al 1986) y Bezerra et al (2010) Informa" restricciones más fuertes sobre los parámetros de las correcciones de tipo Yukawa a la gravedad de Newton a partir de mediciones de la fuerza de Casimir lateral " (ver revisión de Decca y otros, 2009). La constante cosmológica se puede construir a través de la

acción extendida en el lagrangiano Palatini (Rosenthal, 2009), por lo que la formulación variacional YIF campo se pueden hacer por extensión.

Se han propuesto varias modificaciones a la gravedad newtoniana, incluso de operación a gran escala o el tipo de potencial de Yukawa (Blanco y Kochanek, 2001; Amendola et al, 2004; Sealfon et al, 2005;. Reynaud y Jaekel, 2005; Shirata et al., 2005; 2006 Sereno y Peacock, 2006, Moffat, Berezhiani et al 2009). Es evidente que la incompatibilidad entre la planitud del Universo ($k = 0$) y la densidad de la materia viene de la ecuación de Friedmann en su forma convencional, que se elimina si se supone que actúa la gravedad de Newton, junto a algún campo escalar (bigravedad) o dentro de un marco de Dinámica Newtoniana Modificada, tal como el potencial de Yukawa inversa propuesto.

4. Conclusiones

Independientemente de si la expresión aquí se propone para la llamada fuerza inversa Yukawa por unidad de masa, es exactamente la propuesta aquí, vemos la inclusión de una expresión de la teoría MOND a través de algún tipo de término cosmológico dinámico, es decir, una función de la distancia comóviles, podrá ser una alternativa viable para el paradigma de la materia oscura no bariónica y es concomitante con la cosmología FRW. La constante cosmológica se convierte en un término cosmológico variable. En tal escenario, el bajo valor de Λ simplemente refleja el hecho que el Universo es viejo. En general, sin embargo esto significa modificar las ecuaciones y / o la introducción de nuevas formas de la materia, tales como campos escalares.

Agregar un campo escalar como la IYF que aquí se propone, o la teoría MOND que corresponde a una especie de bigravedad también implica que las masas de los núcleos de las galaxias (Agujeros Negro) se han sobrestimado, así como las masas como se deduce por el efecto de lente gravitacional, ya que al añadir el campo escalar como un término sumativo, contribuye de forma aditiva en el cálculo del potencial gravitatorio. A grandes distancias de las fuentes, la reducción en el campo de Newton con la inversa del cuadrado se vería compensado por una interacción que está creciendo a distancias mucho mayores. Estas interacciones de largo alcance también pueden ser causadas por la masa bariónica y por lo tanto se puede calcular con la física habitual.

Referencias

- Adelberger, E.G., et al (2003) *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci*, 53, 77.
- Amendola, L., et al (2004) *Phys. Rev. Lett.*, 92(18), 181102.
- Anderson, J. D. et al (1998) *PhRL*. 81 , 2858–2861.
- Anderson, J. D et al (2002) *PhR D* 65 , 55.
- Berezhiani, Z. et al (2009) *JHEP* 07, 83.
- Bezerra, V. B. et al (2010) *PhRvD*..81, 5, 55003.
- Blas, D. (2006) *AIPC* 841, 397 (arXiv:0902.0072).
- Bondi, H. (1951) *Cosmology*. Cambridge Univ. Press, London. UK.
- Burgess, C.P., Cloutier, J.(1988) *Phys. Rev. D*, 38(10), 2944-2950,
- Carroll, S.M, Press, W.H., Tunner, E.L. (1992) *Ann. Rev. Astron Astrophys.* 30,49
- Dabrowski, M , Stelmach, J. (1986) *AJ* 92,6,1272
- Darabi, F. (2010) *IJTP* 49, 5, 1133.
- Decca, R. S. et al (2009) *PhRvD* 79, l4021
- Einstein, A. (1916) *Ann. Phys.* 49, 769.
- Eisenstein (1997) An Analytic Expression for the Growth Function in a Flat Universe with a Cosmological Constant. arXiv:9309054v2 [astro-ph.co]
- Falcon, N. (2010) *La Cosmologia del Siglo XXI*, ISBN 978-980-12-4385-4. Fondo Editorial APUC, Valencia Venezuela
- Falcon, N. (2010) “Theory MOND in a Friedmann-Robertson-Walker Cosmology as alternative to the Nonbaryonic Dark Matter paradigm” arXiv: astro-ph/1007.33444v1 (PrePrint)
- Freedman, W. L. (2000) *Phy. Rep.* 333-334,13.
- Freese, K. (2000) *Phy, Rep.* 333-338,183
- Fischbach, E. et al (1986) *PhRvL* 56,3-6
- Goldman, I. (1987) *AA* 170, 1, L1-L3.
- Gundlach, JH. (2005) *NJPh*.7, 1, 205
- Guzzo, L. (2002) “Clustering in the universe: from highly nonlinear structure to homogeneity” in *Modern Cosmology*, Bonometto, S. Gorini, V y Moschella, U. Ed. Ins. of Physics Pub. Bristol. Uk.
- Hinshaw, G., et al (2009) *Ap.J.* SS, 180, 225.

Ishak, M (2008) PhRvD 78, 103006

Ishak, M. et al (2010) MNRAS 403, 4, 2152

Komatsu, E. et al (2010) Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Cosmological Interpretation. arXiv:1001.4538. [astro-ph.co]ApJ SS (in press)

Ma, J. et al. (2009), Astron. J 137, 4884.

Mattig, W. (1959) A.N. 285,1.

Mach, E. (1893) The Science of Mechanics, Cambridge University Press. Londres. UK

Melnikov, V. N. (2009) arXiv:0910.3484v1 [astro-ph.co]

Milgrom, M (2001) AcPPB..32.3613M

Milgrom, M (2009) arXiv:0912.2678v1[astro-ph.co]

Moffat, J.W. (2006) J. Cosmology and Astropart. Phys. 3, 4.

Overduin, J ; Wesson, P.S. (2008) The light/Dark Universe. World Sc. Pub. Danvers USA.

Olsen, O. (2007) Astron. & Astrophys., 463, 393–397

Peacock, J. (1999) Cosmological Physics. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Peebles, P.J:E , Rastra, B.(2003) RvMP...75..559P

Peebles, P.J:E (2007) ASPC..379...83

Peebles. P.J.E. (1993) Principles of Physical Cosmology. Princenton Univ. Press. USA

Perlmutter, S et al (1999) ApJ 517, 565

Pont F., Mayor M., Turon C., Vandenberg D. A., (1998), AA, 329, 87

Raut, U.; Sinha, K. P. (1981) IJTP 20, 69

Reeves, H. (1994) Rev.Mod. Ph. 66,1,193.

Riess, G. et al (1998) Astron. J. 116,1009

Reynaud, S., Jaekel, M. (2005) Int. J. Mod. Phys. A, 20(11), 2294-2303

Rosenthal, E. (2009) Extend Palatini action for the General Relativity and the natural emergence of the cosmological constant. arXiv:0809.2053v2 [astro-ph.co]

Rossi, N (2009) Dark Halo or Bigravity? arXiv:0902.0072 [astro-ph.co]

Sanders, R.H. ; McGaugh, S. (2002) ARA&A..40, 263

Sealfon, C., Verde, L., and Jimenez, R., (2005) Phys. Rev. D, 71(8), 083004,

Seeliger, H. (1895) Astrom Nachr 137,129.

Sereno, M., and Peacock, J.A. (2006), MNRAS. 371(2), 719.,

Shirata, A., Shiromizu, T., Yoshida, N., Suto, Y.(2005)Phys. Rev. D, 71(6), 064030,

- Singer, G. (2005) AcHA. 27, 142.
- Sofue, Y et al (1999) ApJ. 523,136.
- Steigman, G (2010) IAU Symposium, 268, 19.
- Toth, V. T (2009) Int. J. Mod. Phys. D, 18, 717,
- Yang, R.J.; Zhang, S. N, (2010) The age problem in the Λ CDM model. MNRAS 953 (in press)
- Yukawa, H. (1935) Proc. Phys-Math. Soc. 17, 3, 48.
- Wang ,S. ; Zhang, Y . (2008) Phys. Lett. B 669, 201 .
- Wang, S.; Li, X..D; Li, M.(2010) Revisit of Cosmic Age problem arXiv:1005.4345

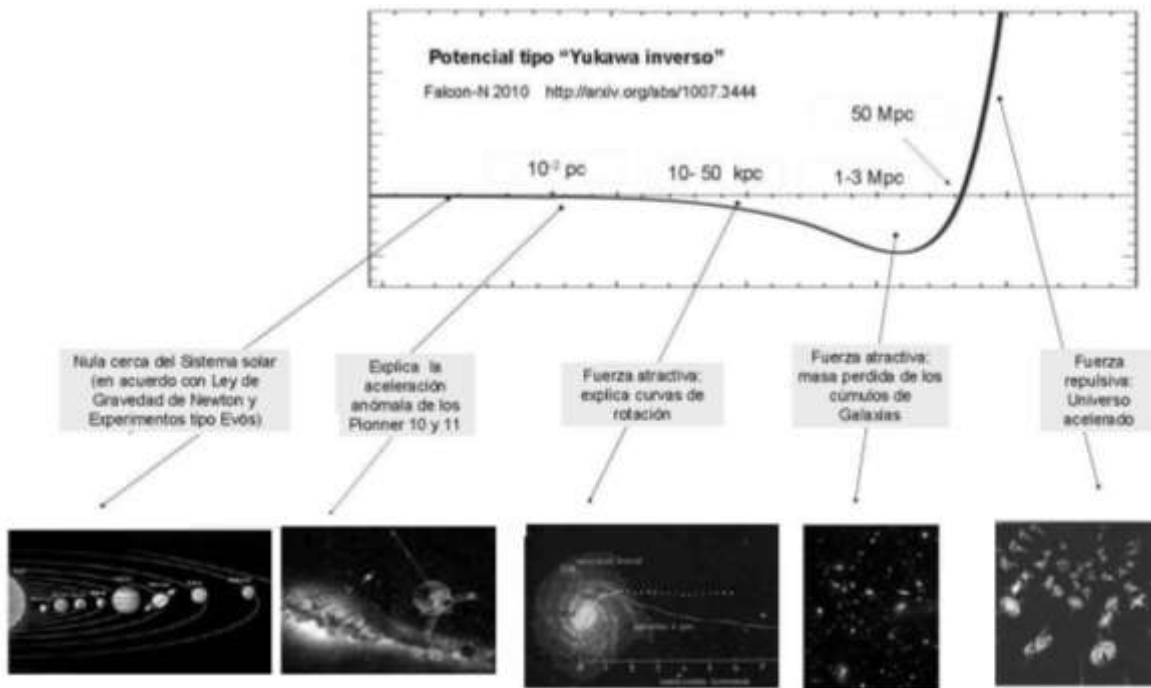


Figura 1. Potencial tipo Yukawa Inverso en función de la distancia comóvil r . Una teoría MoND basada en este potencial podrá explicar la dinámica del Universo a diferentes escalas, sin suponer la existencia de materia oscura no bariónica.