

# Candidatos a Energía Oscura

April 19, 2025

## 1 Constante Cosmológica ( $\Lambda$ )

La explicación más sencilla para la energía oscura es la constante cosmológica  $\Lambda$ , introducida por Einstein en la ecuación de campo de la relatividad general:

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

Aquí,  $\Lambda$  es una constante que representa la densidad de energía del vacío. Su presión está dada por:

$$p_\Lambda = -\rho_\Lambda c^2. \quad (2)$$

La constante cosmológica se ajusta bien a las observaciones, pero presenta el problema de ajuste fino, ya que la densidad de energía predicha por la física cuántica es muchas órdenes de magnitud mayor que la observada.

## 2 Campo Escalar de Quintessence

Quintessence es un campo escalar dinámico con un potencial  $V(\phi)$  que varía en el tiempo y que puede explicar la aceleración cósmica sin necesidad de una constante cosmológica.

La ecuación de movimiento del campo escalar  $\phi$  está dada por:

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + \frac{dV}{d\phi} = 0. \quad (3)$$

Su ecuación de estado está definida como:

$$w = \frac{p_\phi}{\rho_\phi} = \frac{\frac{1}{2}\dot{\phi}^2 - V(\phi)}{\frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V(\phi)}. \quad (4)$$

Si  $w > -1$ , la energía oscura es diferente de la constante cosmológica y puede evolucionar con el tiempo. Se buscan evidencias observacionales que puedan distinguir entre  $\Lambda$  y quintessence.

### 3 Energía Fantasma

La energía fantasma es un tipo de energía oscura en la que la ecuación de estado satisface  $w < -1$ , lo que implica que la energía aumenta con la expansión del universo.

La densidad de energía evoluciona como:

$$\rho_{\text{phantom}} \propto a^{-3(1+w)}, \quad (5)$$

donde  $a$  es el factor de escala del universo.

Este modelo predice un "Big Rip", en el que la energía oscura domina tanto que rompe estructuras gravitacionales en el futuro.

### 4 Gravedad Modificada

En lugar de introducir una nueva forma de energía, algunos modelos proponen modificaciones a la relatividad general. Un enfoque común es la teoría  $f(R)$ , donde la acción de Einstein-Hilbert se generaliza como:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{1}{16\pi G} f(R) + \mathcal{L}_m \right]. \quad (6)$$

Aquí,  $f(R)$  es una función arbitraria del escalar de curvatura  $R$ . Estos modelos pueden explicar la aceleración cósmica sin necesidad de energía oscura, aunque requieren restricciones observacionales para ser consistentes con la estructura del universo.

### 5 Fluidos Exóticos y Energía Oscura Interactiva

Algunos modelos consideran que la energía oscura es un fluido exótico con propiedades no convencionales, como viscosidad o interacción con la materia oscura. La ecuación de continuidad en estos modelos toma la forma:

$$\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = Q, \quad (7)$$

donde  $Q$  representa la tasa de transferencia de energía entre materia y energía oscura.

Estos modelos podrían explicar algunos efectos observacionales como la tensión en la constante de Hubble ( $H_0$ ).