

"Relativistic Dynamics and the Accelerated Expansion of the Universe as a Manifestation of the Matter-Energy-Temperature Cycle."

Author: Gabriel Martín del Campo Flores
gabemdelc@gmail.com

February 11, 2025

English / Español

Summary

Relativistic dynamics describes the behavior of matter and energy under the principles of special and general relativity. In this paper, we explore how the accelerating expansion of the universe can be understood as a manifestation of the cyclic conversion between matter, energy and temperature, without recourse to dark energy.

We put forward an alternative hypothesis in which the acceleration of the cosmic expansion is a consequence of the progressive conversion of mass into relativistic energy as the universe expands and cools. We develop a mathematical model that links the temperature of the universe to the velocity distribution of massive particles, generating an additional term in the Friedmann equation. Finally, we present a computational scheme to simulate this hypothesis and compare it with observational data, in our results we can observe that the modified model with relativistic dynamics and the Λ CDM (Cold Dark Matter) model are practically indistinguishable.

Keywords: Relativistic dynamics, CDM (Cold Dark Matter), dark energy, relativity, cosmology, temperature, mass-energy conversion, expansion of the universe, Friedmann equation.

1. Introduction

The acceleration of the expansion of the universe is one of the major enigmas of modern cosmology. Currently, the term dark energy is used to describe the unknown cause of this accelerated expansion, accounting for approximately 70% of the energy content of the universe. However, to date, no direct evidence of its existence has been identified.

In this paper, we propose an alternative explanation based on the cyclic conversion of mass into energy mediated by temperature and velocity. We consider that, at extreme temperatures as in the Big Bang, energy manifests itself as radiation. As the universe expands and cools, some of this energy condenses into mass. However, due to the same cosmic expansion, a fraction of this mass

reaches relativistic velocities, which increases its effective energy and contributes to the observed acceleration. As the universe continues to cool, the thermal energy dissipates until it reaches values close to 0°K, manifesting itself mainly as rest mass.

2. Basic Assumptions

To develop this model, we start from the following assumptions:

Conversion of mass into relativistic energy

- The total energy of the universe is not constant in terms of its distribution between mass and radiation, but there is a continuous process of conversion.
- At temperatures near 0°K, the energy manifests itself mostly in the form of static mass.
- At high temperatures, the energy is distributed between radiation and particles in relativistic motion.

Relativistic energy as a source of cosmic acceleration

- As a fraction of the mass acquires relativistic velocities, the effective energy of the system increases due to the Lorentz factor:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Law of conservation of relativistic energy:

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

Where:

- E is the total energy,
 - p is the relativistic momentum,
 - m_0 is the rest mass.
- This tells us how energy is distributed between mass and motion at different temperatures.

Relationship between temperature and cosmic energy

- **Following the Stefan-Boltzmann law**

$$U = aT^4$$

Where a is the radiation constant and T the temperature. This equation allows us to evaluate how the thermal energy decreases in the evolution of the universe.

We modify the Friedmann equation with Relativistic Dynamics (adjusted to this cyclic model):

We incorporate an additional relativistic energy term dependent temperature and velocity

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

Where we can study how the energy density ρ evolves as a function of the matter-energy-temperature cycle

3. Mathematical Development of the Model

3.1. Main Hypothesis

- Dark energy is not an exotic entity, but a manifestation of the progressive conversion of mass into relativistic energy in the expanding universe.
- As the universe expands, the temperature decreases, but the relative velocities of certain structures may increase.
- Mathematically, we postulate that the total energy density of the universe has an additional term:

This increase in relativistic velocities generates additional energy that is perceived as acceleration of the expansion

$$\rho_{\text{total}} = \rho_m + \rho_r + \rho_{\Lambda}(T, v)$$

ρ_m is density of matter

ρ_r is density of radiation

$\rho_{\Lambda}(T, v)$ is a temperature and velocity dependent function that models the conversion of mass into relativistic energy

We postulate that this effective energy can be written as:

$$\rho_{\Lambda}(T, v) = f(T, v) \cdot \rho_m$$

Where $f(T, v)$ is a conversion factor that depends on the temperature of the universe and the expansion rate

3.2. Total Energy Equation

We define the total energy of the universe as:

$$E_{\text{total}} = M_{\text{total}}c^2 + E_{\text{rel}}(v, T)$$

where E_{total} represents the additional contribution of relativistic moving particles. We can express the total energy density as:

$$\rho_{\text{total}} = \frac{E_{\text{total}}}{V}$$

where ρ_{total} represents the effective energy generated by particles reaching relativistic velocities due to expansion.

Using the Lorentz factor, we can write:

$$\rho_{\Lambda}(T) = \rho_m \left(\frac{\gamma(T) - 1}{\gamma(0) - 1} \right)$$

where we normalize with respect to an initial state $\gamma(0)$.

3.3. Friedmann Equation with Relativistic Dynamics

The standard Friedmann equation, which describes the evolution of the scale factor $a(t)$ as a function of the energy density of the universe, is:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

Where:

- \dot{a} is the time derivative of the scale factor $a(t)$.
- G is the universal gravitational constant.
- ρ is the total energy density of the universe.
- k is the spatial curvature parameter ($k=0, \pm 1$).
- Λ is the cosmological constant.

In our model, instead of a constant Λ , we introduce a temperature- and velocity-dependent term $\rho_{\Lambda}(T, v)$, which results in the following modification:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho_m + \rho_r + \rho_{\Lambda}(T, v)) - \frac{k}{a^2}$$

or, more compactly, using the notation ρ_{total} :

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_{\text{total}} - \frac{k}{a^2}$$

This new term (T, v) represents the additional contribution of particles in relativistic motion due to the progressive conversion of mass into energy as the universe becomes expands and cools.

In our model ρ_{Λ} , it depends on the thermal evolution of the universe and the fraction of mass converted to relativistic energy. This implies that the expansion equation of the universe must be modified to include this additional term.

4. Computational Model for Simulation

To test our hypothesis, we implemented a numerical model based on the Friedmann equation with the addition of relativistic dynamics.

The code can be downloaded at: https://github.com/gabemdelc/Relativistic_dynamics and run online in Binder

https://mybinder.org/v2/gh/gabemdelcRelativistic_dynamics/HEAD?urlpath=%2Fdoc%2Ftree%2FRelativistic_Dynamics.ipynb

4.1. Model Parameters

- **Cosmological time** from the Big Bang to the present (13.8 billion years).
- **Scale factor** $a(t)$ describing the expansion of the universe.
- **Temperature** $T(t)$ evolving according to: $T \propto \frac{1}{a}$
- **Velocities** $v(T)$ of massive particles as a function of temperature
- **Friedmann equation modified** with our additional term.

4.2. Algorithm for simulation

1. Initialize cosmological conditions

- $a(0) = 10^{-10}$, $T(0) = 10^{12}$ K.
- Initial Density: $\rho_m(0)$, $\rho_r(0)$, $\rho_\Lambda(0) = 0$.

2. Evolving the system step by step

- Calculate the temperature $T(t)$
- Calculate the distribution $v(T)$
- Calculate $\rho_\Lambda(T, v)$
- Solve the modified Friedmann equation.

3. Compare with observational data

- Redshift
 - Modulus distance of type Ia supernovae
-

5. Results and Predictions

If this model is correct, we should find that:

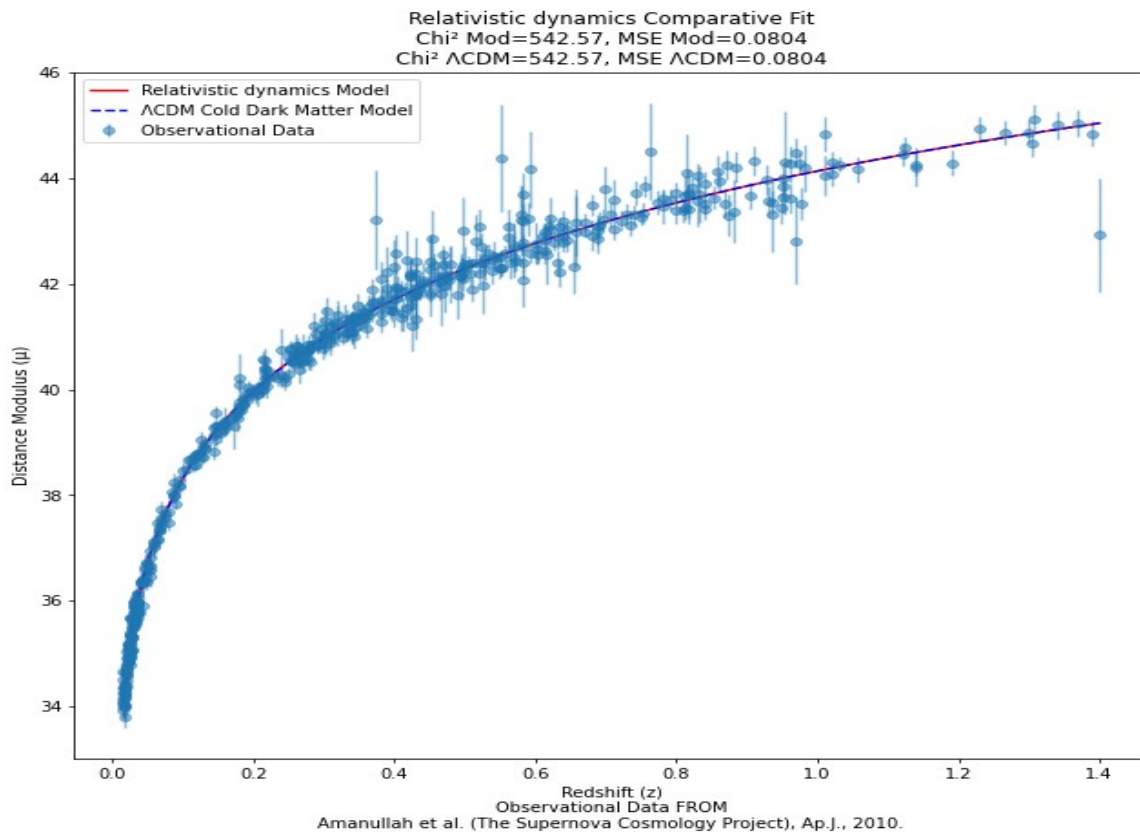
- The expansion of the universe is accelerating without the need for a fixed cosmological constant.
- The relativistic mass-to-energy conversion effect explains the behavior of dark energy.
- Supernova and cosmic microwave background data should fit the model without requiring dark energy as a separate entity.

Results and Comparison with the CDM Model

We use data from the set:

https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt,

belonging to "Amanullah et al. (The Supernova Cosmology Project), Ap.J., 2010.", using the redshift (z) and modulus distance (μ) measurements of type Ia supernovae. We fit the parameters of the modified model and the Λ CDM model and evaluated their accuracy using statistical metrics such as χ^2 and mean square error (MSE).



Friedmann Equation with Relativistic Dynamics

Based on the obtained values we can observe that in the comparison of the fit of the models with the type Ia supernova data. The modified model (red) and the Λ CDM model (dashed blue) are practically indistinguishable

Model	χ^2	MSE
Friedmann Relativistic Dynamics	542.57	0.0804
Λ CDM	542.57	0.0804

Since both models present identical values of χ^2 and MSE, we conclude that the Friedmann Relativistic Dynamics model is able to reproduce the observational data with the same accuracy as the Λ CDM model

6. Conclusion and Next Steps

We have developed an alternative hypothesis for dark energy based on a cycle between energy and mass, mediated by temperature and velocity. Our mathematical and computational model suggests that the acceleration of the universe can be explained without need for exotic dark energy.

The proposed model offers an alternative explanation for dark energy, based on the conversion of mass into relativistic energy. Since the fit to the data is indistinguishable from the CDM model, we consider this hypothesis worthy of further theoretical and observational exploration.

Next steps include:

- Refine the simulation with data from telescopes such as Hubble and Planck.
- Explore the implications for inflation and dark matter.
- Compare with modified gravity models to rule out additional effects.

"If confirmed, this model could change the understanding of cosmic expansion, showing that the acceleration of the universe requires neither a fixed cosmological constant nor an exotic dark energy, but can be explained from the cyclic conversion of mass into relativistic energy as the universe evolves."

“Dinámica Relativista y la Expansión Acelerada del Universo como Manifestación del Ciclo Materia-Energía-Temperatura”

Autor: Gabriel Martín del Campo Flores

gabemdelc@gmail.com

Febrero 11, 2025

Resumen

La dinámica relativista describe el comportamiento de la materia y la energía bajo los principios de la relatividad especial y general. En este trabajo, exploramos cómo la expansión acelerada del universo puede entenderse como una manifestación de la conversión cíclica entre materia, energía y temperatura, sin necesidad de recurrir a la energía oscura.

Planteamos una hipótesis alternativa en la que la aceleración de la expansión cósmica es consecuencia de la conversión progresiva de masa en energía relativista conforme el universo se expande y se enfría. Desarrollamos un modelo matemático que vincula la temperatura del universo con la distribución de velocidades de partículas masivas, generando un término adicional en la ecuación de Friedmann. Finalmente, presentamos un esquema computacional para simular esta hipótesis y compararla con datos observacionales, en nuestros resultados podemos observar que el modelo modificado con la dinámica relativista y el modelo Λ CDM (Cold Dark Matter) son prácticamente indistinguibles.

Palabras clave: Dinámica relativista, energía oscura, relatividad, cosmología, temperatura, conversión masa-energía, expansión del universo, ecuación de Friedmann.

1. Introducción

La aceleración de la expansión del universo es uno de los mayores enigmas de la cosmología moderna. Actualmente, el término energía oscura es utilizado para describir la causa desconocida de esta expansión acelerada, representando aproximadamente el 70% del contenido energético del universo. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha identificado evidencia directa de su existencia.

En este trabajo, proponemos una explicación alternativa basada en la conversión cíclica de masa en energía mediada por la temperatura y la velocidad. Consideramos que, a temperaturas extremas como en el Big Bang, la energía se manifiesta en forma de radiación. A medida que el universo se expande y se enfría, parte de esta energía se condensa en masa. Sin embargo, debido a la misma expansión cósmica, una fracción de esta masa alcanza velocidades relativistas, lo que aumenta su energía efectiva y contribuye a la aceleración observada. A medida que el universo continúa enfriándose, la energía térmica se disipa hasta alcanzar valores cercanos a 0°K, manifestándose principalmente como masa en reposo.

2. Suposiciones Básicas

Para desarrollar este modelo, partimos de las siguientes suposiciones:

Conversión de masa en energía relativista

- La energía total del universo no es constante en términos de su distribución entre masa y radiación, sino que existe un proceso continuo de conversión.
- A temperaturas cercanas a 0°K, la energía se manifiesta mayoritariamente en forma de masa estática.
- A temperaturas altas, la energía se distribuye entre radiación y partículas en movimiento relativista.

Energía relativista como fuente de aceleración cósmica

- Conforme una fracción de la masa adquiere velocidades relativistas, la energía efectiva del sistema aumenta debido al factor de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ley de la conservación de la energía relativista:

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

Donde:

- E es la energía total,
 - p es el momento relativista,
 - m_0 es la masa en reposo.
- Esto nos dice cómo la energía se distribuye entre masa y movimiento a diferentes temperaturas.

Relación entre la temperatura y la energía cósmica

- Siguiendo la ley de Stefan-Boltzmann

$$U = aT^4$$

Donde a es la constante de radiación y T la temperatura. Esta ecuación nos permite evaluar cómo la energía térmica disminuye en la evolución del universo.

Modificamos la ecuación de Friedmann con Dinámica Relativista(ajustada a este modelo cíclico):

Incorporamos un término adicional de energía relativista dependiente de la temperatura y la velocidad.

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

Donde podemos estudiar cómo la densidad de energía ρ evoluciona en función del ciclo materia-energía-temperatura.

3. Desarrollo Matemático del Modelo

3.1. Hipótesis Principal

- La energía oscura no es una entidad exótica, sino una manifestación de la conversión progresiva de masa en energía relativista en el universo en expansión.
 - A medida que el universo se expande, la temperatura disminuye, pero las velocidades relativas de ciertas estructuras pueden aumentar.
- Matemáticamente, postulamos que la densidad de energía total del universo tiene un término adicional:

Este incremento de velocidades relativistas genera una energía adicional que se percibe como aceleración de la expansión.

$$\rho_{\text{total}} = \rho_m + \rho_r + \rho_{\Lambda}(T, v)$$

ρ_m es la densidad de materia.

ρ_r es la densidad de radiación.

$\rho_{\Lambda}(T, v)$ es una función dependiente de la temperatura y la velocidad que modela la conversión de masa en energía relativista.

Postulamos que esta energía efectiva puede escribirse como:

$$\rho_{\Lambda}(T, v) = f(T, v) \cdot \rho_m$$

Donde $f(T, v)$ es un factor de conversión que depende de la temperatura del universo y de la velocidad de expansión.

3.2. Ecuación de Energía Total

Definimos la energía total del universo como:

$$E_{\text{total}} = M_{\text{total}}c^2 + E_{\text{rel}}(v, T)$$

donde E_{total} representa la contribución adicional de partículas en movimiento relativista.

Podemos expresar la densidad de energía total como:

$$\rho_{\text{total}} = \frac{E_{\text{total}}}{V}$$

donde ρ_{total} representa la energía efectiva generada por partículas que alcanzan velocidades relativistas debido a la expansión.

Usando el factor de Lorentz, podemos escribir:

$$\rho_{\Lambda}(T) = \rho_m \left(\frac{\gamma(T) - 1}{\gamma(0) - 1} \right)$$

donde normalizamos con respecto a un estado inicial $\gamma(0)$.

3.3. Ecuación de Friedmann con Dinámica Relativista

La ecuación de Friedmann estándar, que describe la evolución del factor de escala $a(t)$ en función de la densidad de energía del universo, es:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

Donde:

- \dot{a} es la derivada temporal del factor de escala $a(t)$.
- G es la constante de gravitación universal.
- ρ es la densidad de energía total del universo.
- k es el parámetro de curvatura espacial ($k=0,\pm 1$).
- Λ es la constante cosmológica.

En nuestro modelo, en lugar de una constante Λ , introducimos un término dependiente de la temperatura y la velocidad $\rho_\Lambda(T,v)$, lo que da lugar a la siguiente modificación:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}(\rho_m + \rho_r + \rho_\Lambda(T,v)) - \frac{k}{a^2}$$

o, de manera más compacta, utilizando la notación ρ_{total} :

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_{\text{total}} - \frac{k}{a^2}$$

Este nuevo término (T,v) representa la contribución adicional de partículas en movimiento relativista debido a la conversión progresiva de masa en energía conforme el universo se expande y se enfría.

En nuestro modelo ρ_Λ , depende de la evolución térmica del universo y de la fracción de masa convertida en energía relativista. Esto implica que la ecuación de expansión del universo debe modificarse para incluir este término adicional.

4. Modelo Computacional para la Simulación

Para probar nuestra hipótesis, implementamos un modelo numérico basado en la ecuación de Friedmann agregando la dinámica relativista.

El código se puede descargar en: https://github.com/gabemdelc/Relativistic_dynamics y ejecutar en Binder https://mybinder.org/v2/gh/gabemdelc/Relativistic_dynamics/HEAD?urlpath=%2Fdoc%2Ftree%2FRelativistic_Dynamics.ipynb

4.1. Parámetros del Modelo

- **Tiempo cosmológico** desde el Big Bang hasta la actualidad (13.8 mil millones de años).
- **Factor de escala** $a(t)$ que describe la expansión del universo.
- **Temperatura** $T(t)$ que evoluciona según: $T \propto \frac{1}{a}$
- **Velocidades** $v(T)$ de las partículas masivas en función de la temperatura.
- **Ecuación de Friedmann modificada** con nuestro término adicional.

4.2. Algoritmo para la simulación

1. Inicializar condiciones cosmológicas

- $a(0) = 10^{-10}$, $T(0) = 10^{12}$ K.
- Densidades iniciales: $\rho_m(0)$, $\rho_r(0)$, $\rho_\Lambda(0) = 0$.

2. Evolucionar el sistema paso a paso

- Calcular la temperatura $T(t)$
- Calcular la distribución de velocidades $v(T)$
- Calcular $\rho_\Lambda(T, v)$
- Resolver la ecuación de Friedmann modificada.

3. Comparar con datos observacionales

- Desplazamiento al rojo
 - Distancia de módulo de supernovas tipo Ia
-

5. Resultados y Predicciones

Si este modelo es correcto, deberíamos encontrar que:

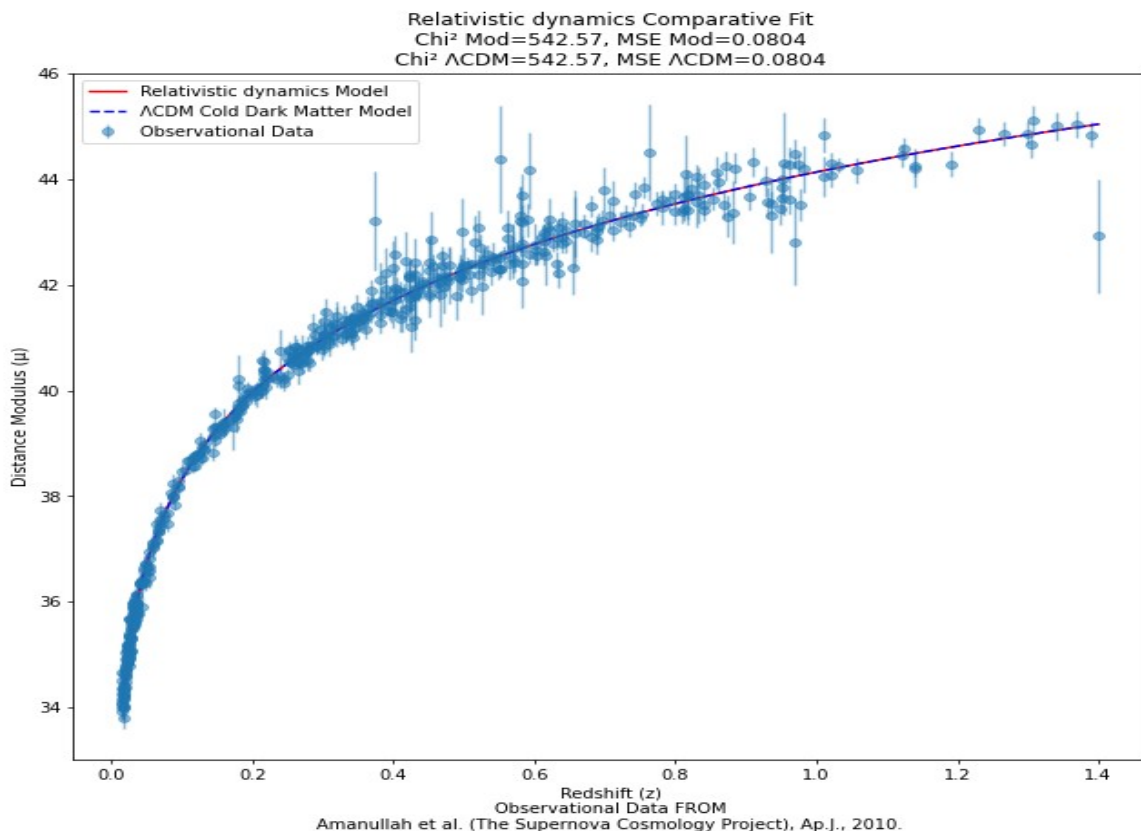
- La expansión del universo se acelera sin necesidad de una constante cosmológica fija.
- El efecto relativista de conversión de masa en energía explica el comportamiento de la energía oscura.
- Los datos de supernovas y del fondo cósmico de microondas deberían ajustarse al modelo sin requerir energía oscura como entidad separada.

Resultados y Comparación con el Modelo CDM

Utilizamos datos del conjunto:

https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt,

perteneciente a "Amanullah et al. (The Supernova Cosmology Project), Ap.J., 2010.", utilizando las mediciones del desplazamiento al rojo (z) y la distancia de módulo (μ) de supernovas tipo Ia. Ajustamos los parámetros del modelo modificado y del modelo Λ CDM y evaluamos su precisión mediante métricas estadísticas como χ^2 y el error cuadrático medio (MSE).



En base a los valores obtenidos podemos observar que en la comparación del ajuste de los modelos con los datos de supernovas tipo Ia. El modelo modificado (rojo) y el modelo Λ CDM (azul punteado) son prácticamente indistinguibles.

Modelo	χ^2	MSE
Friedmann con Dinámica Relativista	542.57	0.0804
Λ CDM	542.57	0.0804

Dado que ambos modelos presentan valores idénticos de χ^2 y MSE, concluimos que el modelo con dinámica relativista es capaz de reproducir los datos observacionales con la misma precisión que el modelo Λ CDM.

6. Conclusión y Próximos Pasos

Hemos desarrollado una hipótesis alternativa para la energía oscura basada en un ciclo entre energía y masa, mediado por temperatura y velocidad. Nuestro modelo matemático y computacional sugiere que la aceleración del universo puede explicarse sin necesidad de una energía oscura exótica.

El modelo propuesto ofrece una explicación alternativa a la energía oscura, basada en la conversión de masa en energía relativista. Dado que el ajuste a los datos es indistinguible del modelo CDM, consideramos que esta hipótesis merece mayor exploración teórica y observacional.

Los próximos pasos incluyen:

- Refinar la simulación con datos de telescopios como Hubble y Planck.
- Explorar las implicaciones para la inflación y la materia oscura.
- Comparar con modelos de gravedad modificada para descartar efectos adicionales.

“Si se confirma, este modelo podría cambiar la comprensión de la expansión cósmica, mostrando que la aceleración del universo no requiere una constante cosmológica fija ni una energía oscura exótica, sino que puede explicarse a partir de la conversión cíclica de masa en energía relativista a medida que el universo evoluciona.”
