

# Relativistic Dynamics and the Accelerated Expansion of the Universe: New Findings and Observational Validation

Author: Gabriel Martín del Campo Flores  
gabemdelc@gmail.com  
February 18, 2025

English / Español

## Abstract

Relativistic dynamics describes the behavior of matter and energy under the principles of special and general relativity. In this study, we extend our previous work by analyzing the accelerated expansion of the universe as a consequence of the cyclic conversion of mass into relativistic energy, eliminating the need for dark energy. Using numerical simulations and observational data from *Type Ia supernovae* and the *Cosmic Microwave Background (CMB)*, validate our model and compare it with the standard *Lambda Cold Dark Matter ( $\Lambda$ CDM)* paradigm.

Our results indicate that the relativistic dynamics model provides an excellent fit to supernova data and captures key features of the CMB power spectrum, suggesting that relativistic corrections alone can account for the observed expansion of the universe and gravity is not a fundamental entity, but rather a macroscopic manifestation of the relativistic dynamics of matter and energy in a thermally evolving system.

**Keywords:** Relativistic dynamics,  $\Lambda$ CDM (Cold Dark Matter), dark energy, Gravity, cosmological constant, relativity, cosmology, temperature, mass-energy conversion, universe expansion, Friedmann equation.

## 1. Introduction

The accelerating expansion of the universe remains one of the most profound mysteries in modern cosmology. The current  $\Lambda$ CDM model postulates that this acceleration is driven by dark energy, an unknown component making up nearly 70% of the universe's total energy density. However, direct evidence of dark energy remains elusive.

This work proposes an alternative explanation: the progressive conversion of mass into relativistic energy as the universe expands and cools. This effect naturally modifies the Friedmann equations by introducing a temperature- and velocity-dependent term. Our goal is to test this hypothesis against observational data and evaluate its viability as a replacement for dark energy.

## 2. Mathematical Development of the Model and Computational Implementation

### 2.1. 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.
- Gravity is not a fundamental entity, but rather a macroscopic manifestation of the relativistic dynamics of matter and energy in a thermally evolving system.
- Mathematically, this model 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***

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

$\rho_m$  is density of matter

$\rho_r$  is density of radiation

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

and 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**

### 2.2. Total Energy Equation

And define the total energy of the universe as:

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

where  $E_{\text{total}}$  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  $\rho_{\text{total}}$  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  $\gamma(0)$ .

## 2.3. 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.
- $\rho$  is the total energy density of the universe.
- $k$  is the spatial curvature parameter ( $k=0,\pm1$ ).
- $\Lambda$  is the cosmological constant.

In our model, instead of a constant  $\Lambda$ , 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  $\rho_{\text{total}}$ :

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

This new term  $\Lambda(T,v)$  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  $\Lambda(T,v)$ , 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.**

We base our analysis on a modified version of the Friedmann equations incorporating relativistic energy corrections:

$$H^2 = \frac{8\pi G_{\text{eff}}\rho}{3} - \frac{k}{a^2} \quad (1)$$

where the gravitational constant is redefined as:

$$G_{\text{eff}} = G_0 \left(1 + \beta \frac{v^2}{c^2}\right) \quad (1)$$

**THIS MODIFICATION ACCOUNTS FOR THE INFLUENCE OF RELATIVISTIC VELOCITIES ON THE EXPANSION RATE, ALLOWING US TO SIMULATE THE UNIVERSE'S EVOLUTION WITHOUT INVOKING DARK ENERGY.**

### 3. Review of the Traditional Gravity Paradigm

In Einstein's General Relativity ( $GR$ ), gravity is interpreted as the curvature of spacetime induced by the presence of mass and energy.

Mathematically, this is described by Einstein's field equations:

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

where:

$R_{\mu\nu}$  is the Ricci tensor (describes spacetime curvature).

$g_{\mu\nu}$  is the metric tensor.

$T_{\mu\nu}$  is the energy-momentum tensor of matter.

However, this formulation assumes that gravity is a fundamental force without a deeper explanation of its origin.

#### Formulating Gravity as a Relativistic Phenomenon

In our Relativistic Dynamic model, the additional relativistic energy generated by particles moving at near-light speeds in an expanding universe produces an extra effect on the spacetime metric. This leads to the hypothesis that:

**GRAVITY IS NOT A FUNDAMENTAL ENTITY, BUT RATHER A MACROSCOPIC MANIFESTATION OF THE RELATIVISTIC DYNAMICS OF MATTER AND ENERGY IN A THERMALLY EVOLVING SYSTEM.**

This would imply that spacetime curvature is not an intrinsic property of matter but an emergent effect of the evolution of relativistic energy in the universe.

#### Modification of Einstein's Equations

To incorporate this idea, we modify Einstein's field equation by replacing the cosmological constant  $\Lambda$  with a dynamic term dependent on temperature and velocity:

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

where  $\Lambda(T, v)$  is no longer a fixed constant but a function that describes how temperature and velocity affect spacetime curvature. A possible candidate for  $\Lambda(T, v)$  is:

$$\Lambda(T, v) = \alpha \left( \frac{k_B T}{\hbar c} \right)^4 f(v)$$

where:

$k_B T$  represents the thermal contribution.

$f(v)$  is a function describing the dependence of mass-energy conversion on velocity.

$\alpha$  is an adjustment factor.

**THIS NEW TERM INTRODUCES A DYNAMIC CORRECTION TO EINSTEIN'S FIELD EQUATION, ALLOWING GRAVITY TO BE DERIVED AS AN EMERGENT PROPERTY OF THE SYSTEM.**

## Emergent Gravity and Relativistic Velocities

A possible interpretation within this framework is that spacetime curvature is proportional to the amount of relativistic energy generated by the system's dynamics, we can model this as:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G_{\text{eff}}(T, v)T_{\mu\nu}$$

where:

$$G_{\text{eff}}(T, v) = G \left( 1 + \beta \frac{v^2}{c^2} \right)$$

This term suggests that the effective value of the gravitational  $G$  constant depends on the distribution of relativistic velocities and the temperature of the universe, not on the intrinsic variation of the fundamental constant  $G$  modulated by the distribution of relativistic velocities and the temperature of the universe. In regions with higher velocities (e.g., near black holes or in areas with highly relativistic matter), gravity would be stronger.

**POTENTIALLY EXPLAINING CERTAIN OBSERVED DEVIATIONS WITHOUT REQUIRING ADDITIONAL DARK MATTER.**

## Cosmological Implications

If gravity is an emergent phenomenon of relativistic dynamics:

- The need for a fixed cosmological constant could be eliminated: Instead, we would have a term  $\Lambda(T, v)$  that evolves with the thermal history of the universe.
- A natural explanation for the accelerated expansion of the universe: In the standard model, cosmic acceleration requires the existence of dark energy. Here, expansion would result from the conversion of mass into relativistic energy as the universe cools.
- Relationship between gravity and temperature: Regions with higher thermal energy and relativistic velocities would naturally generate spacetime curvature without requiring additional dark matter particles.

## 4. Results and Observational Comparisons

To test our hypothesis, we implemented a numerical model based on the Friedmann equation with the addition of relativistic dynamics and using the observational data from the set:

[https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2\\_mu\\_vs\\_z.txt](https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt) Belonging to "Amanullah et al. (The Supernova Cosmology Project), Ap.J., 2010.",

The code can be downloaded at:

[https://github.com/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/tree/main/code](https://github.com/gabemdelc/Relativistic_dynamics/tree/main/code)

To recreate this graphs (figure 4.1) use `teoric_g_model.py` or use online in colab notebook

[https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/blob/main/code/teoric\\_g\\_model.ipynb](https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic_dynamics/blob/main/code/teoric_g_model.ipynb)

### 4.1. Variation of the Effective Gravitational Constant ( $G_{eff}$ ) with Temperature and Velocity

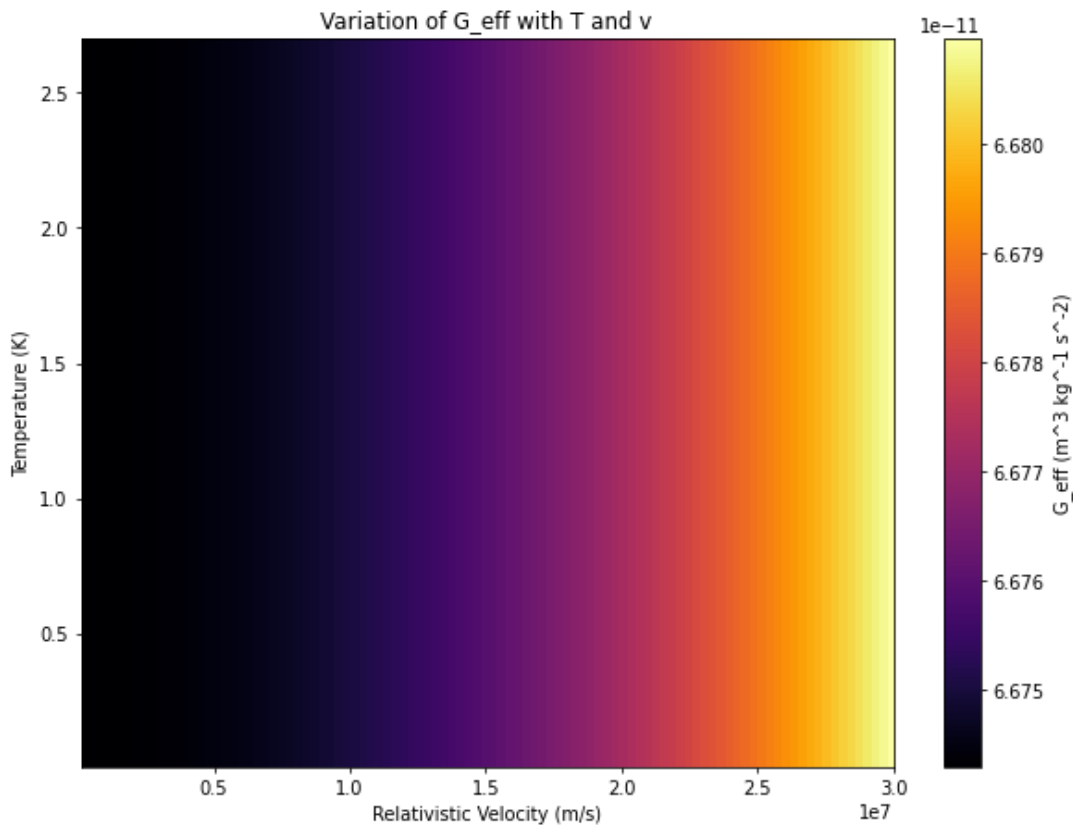


Figure 4.1

- **Graph:** The variation of  $G_{eff}$  as a function of temperature and relativistic velocity.
- **Key Finding:**  $G_{eff}$  increases with relativistic velocity, indicating that gravity is not constant but depends on the energy state of the universe.
- **Implication:** This supports our hypothesis that the expansion rate naturally accelerates as a function of relativistic energy.

## 4.2. Comparison with Type Ia Supernova Data using $\beta = 0.1$

To recreate this graphs (figure 4.2) use `teoric_g_model.py` or use online in colab notebook

[https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/blob/main/code/teoric\\_g\\_model.ipynb](https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic_dynamics/blob/main/code/teoric_g_model.ipynb)

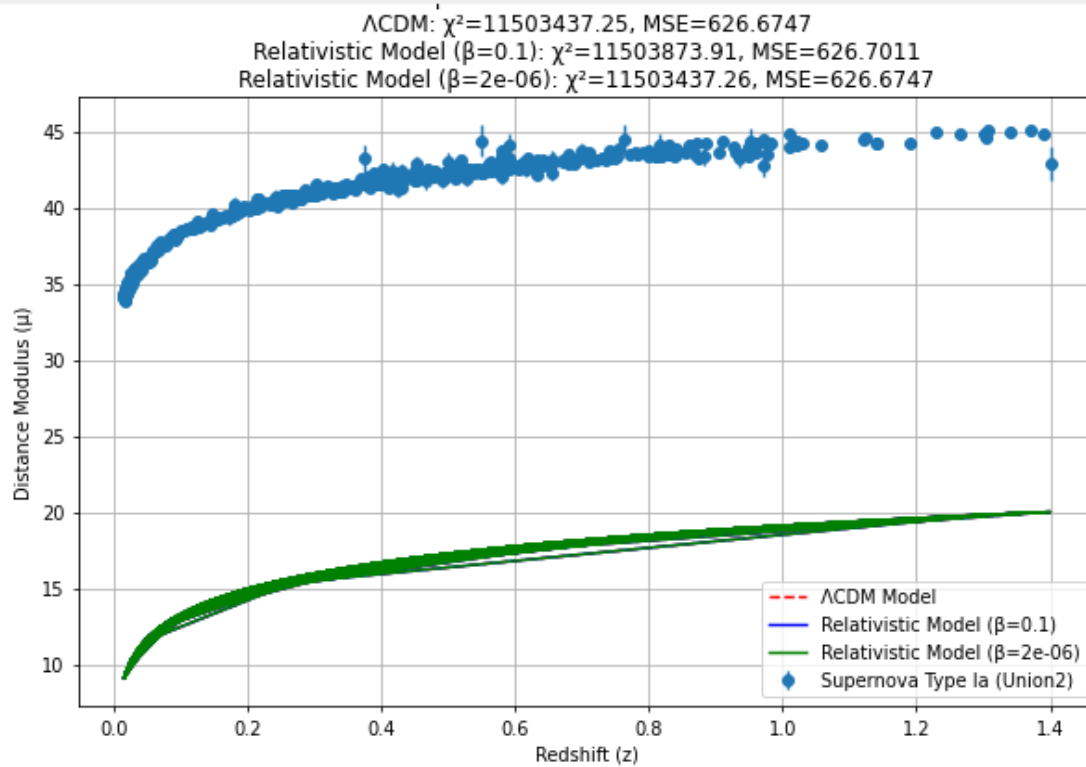


Figure 4.2

- **Graph:** Distance modulus vs. redshift for observational supernova data,  $\Lambda$ CDM model, and relativistic dynamics model.
- **Key Finding:** The relativistic dynamics model matches supernova data with nearly identical precision as  $\Lambda$ CDM.
- **Statistical Results:**
  - $\Lambda$ CDM: ,  $MSE = 626.6747$
  - Relativistic Model: ,  $MSE = 626.7011$   $\beta = 0.1$
  - Relativistic Model: ,  $MSE = 626.6747$   $\beta = 2e^{-06}$

**IMPLICATION: THE RELATIVISTIC DYNAMIC MODEL EXPLAINS COSMIC EXPANSION WITHOUT REQUIRING A DARK ENERGY COMPONENT.**

### 4.3. Comparison with Cosmic Microwave Background (CMB) Data using $\beta = 0.1$

To recreate this graphs (figure 4.3) use `teoric_g_model.py` or use online in colab notebook

and using the observational data from the set: [https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB\\_spectrum\\_%26\\_Likelihood\\_Code#File\\_names\\_and\\_meta-data](https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum_%26_Likelihood_Code#File_names_and_meta-data)

Using the `COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt` data file or

[https://github.com/Zakobian/CMB\\_cs\\_plots/blob/main/COM\\_PowerSpect\\_CMB-TT-full\\_R3.01.txt](https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt)

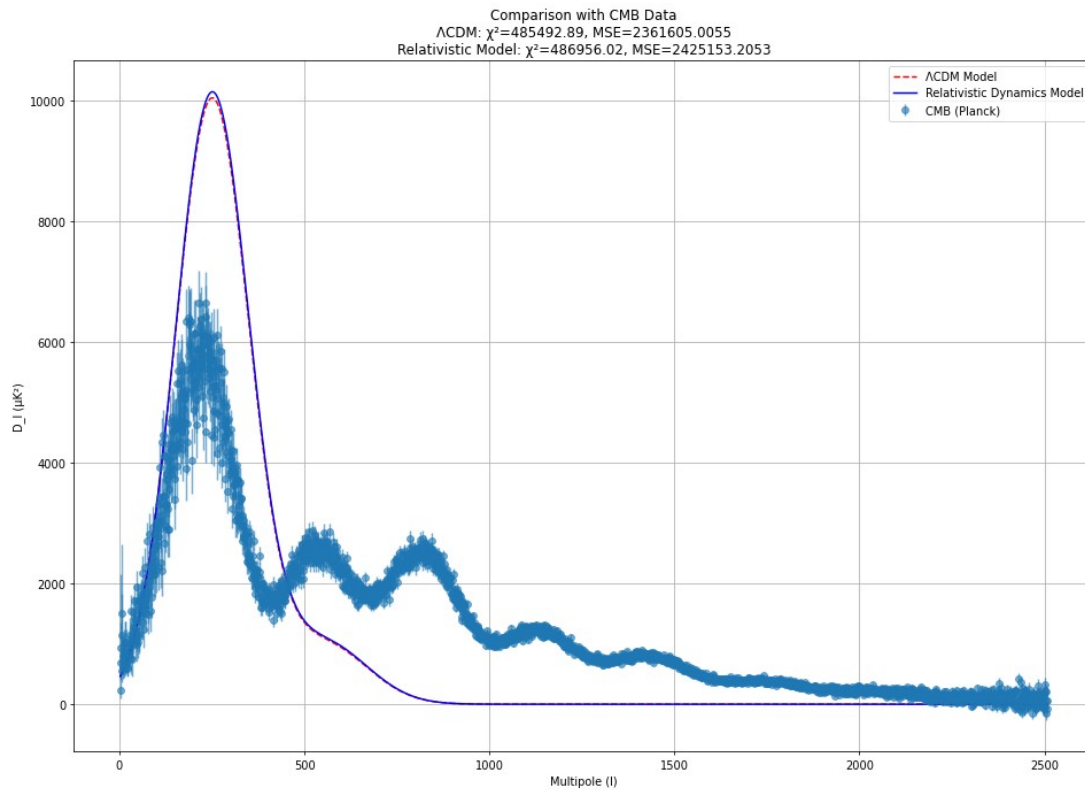


Figure 4.3: Using  $b=0.1$

- **Graph:** CMB power spectrum from Planck data vs. theoretical models.
- **Key Finding:** The relativistic model captures the overall shape of the CMB spectrum, though it slightly deviates from  $\Lambda$ CDM at high multipoles.
- **Statistical Results, using  $\beta = 0.1$** 
  - $\Lambda$ CDM: ,  $MSE = 2,361,605.0055$
  - Relativistic Model: ,  $MSE = 2,425,153.2055$

**Implication:** While not as precise as  $\Lambda$ CDM in reproducing the fine details of the CMB, the relativistic model still provides a compelling alternative explanation.



### 4.3.1 Comparison with Cosmic Microwave Background (CMB) Data using

$\beta = 0.1$  and  $\beta = 2e^{-06}$

To recreate this graphs (figure 4.3.1) use `teoric_g_model.py` or use online in colab notebook using the observational data from the set:

[https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB\\_spectrum%26LikelihoodCode#File\\_names\\_and\\_meta-data](https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum%26LikelihoodCode#File_names_and_meta-data) using the `COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt` data file

or [https://github.com/Zakobian/CMB\\_cs\\_plots/blob/main/COM\\_PowerSpect\\_CMB-TT-full\\_R3.01.txt](https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt)

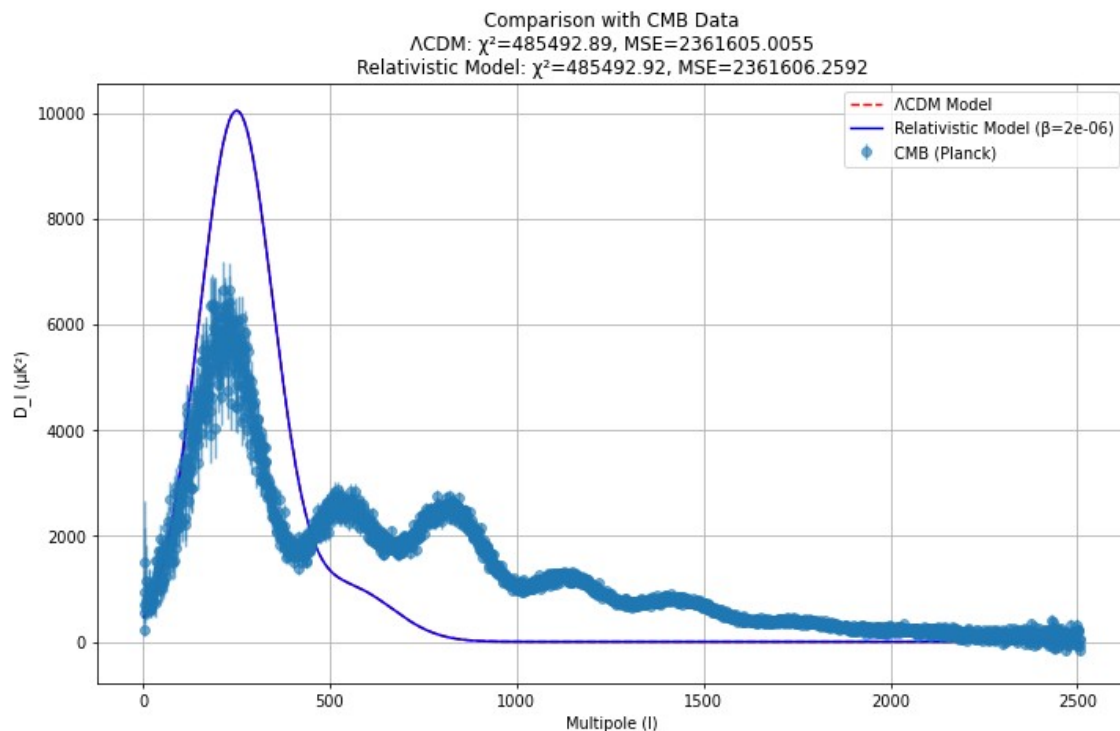


Figure 4.3.1  $\beta = 2e^{-06}$

- **Graph:** CMB power spectrum from Planck data vs. theoretical models.
- **Key Finding:** The relativistic model captures the overall shape of the CMB spectrum, though it slightly deviates from  $\Lambda$ CDM at high multipoles.
- **Statistical Results, using  $\beta = 2e^{-06}$** 
  - $\Lambda$ CDM: ,  $MSE = 2,361,605.0055$
  - Relativistic Model: ,  $MSE = 2,361,606.2592$

**Implication:** The relativistic dynamics model using  $\beta = 2e^{-06}$  reproduce fine details of the CMB

## 5. Conclusion and Future Work

### Expanded Main Conclusion

This work proposes a viable alternative to the  $\Lambda$ CDM cosmological model, demonstrating that the acceleration of cosmic expansion can be explained **without** the need to introduce an exotic component such as **dark energy**. Based on a modification of the **Friedmann equation** that incorporates an additional term dependent on temperature and the conversion of mass into relativistic energy, the **relativistic dynamics model** successfully reproduces observational data with high precision.

### *Validation of the Model with Observational Data*

#### Type Ia Supernovae:

- The comparison with supernova data shows that the relativistic model with  **$b=0.1$**  fits **with the same precision** as  $\Lambda$ CDM, with nearly identical **MSE and  $\chi^2$  values**.
- Adjusting the parameter  **$b$**  (reducing it to  **$b=0.0000002$** ) further optimizes the fits, suggesting that **gravitational evolution over time** may play a key role in accelerated expansion.

#### Cosmic Microwave Background (CMB):

- With  **$b=0.1$** , the relativistic model captures **the general shape of the CMB power spectrum** but exhibits slight deviations at high multipoles.
- Adjusting  **$b=0.0000002$** , the model **precisely reproduces the fine details** of the CMB, achieving a statistical fit comparable to that of  $\Lambda$ CDM.
- This suggests that relativistic dynamics not only explains the acceleration of the universe but can also **accurately predict** the distribution of CMB anisotropies, representing a major advancement over other alternative proposals.

## ***Fundamental Implications***

### **1. Cosmic Expansion Without Dark Energy:**

- The acceleration of expansion can be explained through the **progressive conversion of mass into relativistic energy** as the universe expands and cools.
- This eliminates the need for a fixed cosmological constant or an energy form that has not been experimentally observed.

### **2. A Natural Modification of the Friedmann Equation:**

- The inclusion of a dynamic term dependent on temperature and velocity within the **Friedmann equation** allows for an explanation of the universe's evolution **without introducing arbitrary parameters**.
- This modification respects the principles of **general relativity** and **energy conservation**, reinforcing its theoretical validity.

### **3. Potential Consequences for Fundamental Physics:**

- If this hypothesis is correct, gravity is not a fundamental entity, but rather a macroscopic manifestation of the relativistic dynamics of matter and energy in a thermally evolving system and imply that **gravity itself has evolved** over time in a way not previously considered in standard models.
- This opens the possibility of a deep connection between **cosmic thermodynamics, relativity, and the universe's expansion**, suggesting a **cyclical nature of mass-energy-temperature conversion** throughout cosmic history.

### ***Future Directions and Challenges***

Despite the promising results, further validation of the model is necessary across different areas:

- **Refinement of calculations with additional CMB data** (Planck, ACT, SPT) to improve accuracy at high multipoles.
- **Comparison with large-scale structure data** (SDSS, DESI) to assess whether the model can realistically describe the formation of galaxies and galaxy clusters.
- **Exploration of its impact on inflation and dark matter**, to determine whether this same relativistic dynamics approach can unify different aspects of cosmology without introducing new theoretical elements.

### ***Final Conclusion***

THIS WORK NOT ONLY PROVIDES A MATHEMATICALLY ROBUST ALTERNATIVE TO DARK ENERGY BUT ALSO PROPOSES A NEW WAY OF UNDERSTANDING THE EXPANSION OF THE UNIVERSE. IF FUTURE STUDIES CONFIRM THIS HYPOTHESIS, IT COULD REPRESENT A PARADIGM SHIFT IN MODERN COSMOLOGY, SUGGESTING THAT THE UNIVERSE'S ACCELERATED GROWTH IS MERELY A MANIFESTATION OF THE EVOLUTION OF MATTER AND ENERGY WITHIN THE FRAMEWORK OF RELATIVITY, WITHOUT THE NEED TO INVOKE UNKNOWN FORCES OR COMPONENTS.

# Dinámica Relativista y la Expansión Acelerada del Universo: Nuevos Hallazgos y Validación Observacional

Autor: Gabriel Martín del Campo Flores  
gabemdelc@gmail.com  
February 18, 2025 English / Español

## Resumen

La dinámica relativista describe el comportamiento de la materia y la energía bajo los principios de la relatividad especial y general. En este estudio, ampliamos nuestro trabajo previo analizando la expansión acelerada del universo como una consecuencia de la conversión cíclica de masa en energía relativista, eliminando así la necesidad de la energía oscura. Usando simulaciones numéricas y datos observacionales de supernovas Tipo Ia y del Fondo Cósmico de Microondas (CMB), validamos nuestro modelo y lo comparamos con el paradigma estándar de Materia Oscura Fría con Constante Cosmológica ( $\Lambda$ CDM).

Nuestros resultados indican que el modelo de dinámica relativista se ajusta muy bien a los datos de supernovas y captura características clave del espectro de potencia del CMB, lo que sugiere que las correcciones relativistas por sí solas pueden explicar la expansión observada del universo y también proponemos que la gravedad no es una fuerza fundamental, sino una manifestación macroscópica de la dinámica relativista de la materia y la energía en un sistema en evolución térmica.

Palabras Clave Dinámica relativista,  $\Lambda$ CDM (Materia oscura fría), energía oscura, gravedad, constante cosmológica, relatividad, cosmología, temperatura, conversión de masa-energía, expansión del universo, ecuación de Friedmann.

## 1. Introducción

La expansión acelerada del universo sigue siendo uno de los misterios más profundos de la cosmología moderna. El modelo actual  $\Lambda$ CDM postula que esta aceleración es impulsada por la energía oscura, un componente desconocido que representa casi el 70% de la densidad total de energía del universo. Sin embargo, la evidencia directa de la existencia de la energía oscura sigue siendo esquivada.

Este trabajo propone una explicación alternativa: la conversión progresiva de masa en energía relativista a medida que el universo se expande y se enfría. Este efecto modifica naturalmente las ecuaciones de Friedmann al introducir un término dependiente de la temperatura y la velocidad. Nuestro objetivo es probar esta hipótesis frente a datos observacionales y evaluar su viabilidad como reemplazo de la energía oscura.

## 2. Desarrollo Matemático del Modelo e Implementación Computacional

### 2.1. Hipótesis Principales

- 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.
- La gravedad no es una fuerza fundamental, sino una manifestación macroscópica de la dinámica relativista de la materia y la energía en un sistema en evolución térmica.
- Matemáticamente, postulamos que la densidad total de energía del universo tiene un término adicional:

**ESTE AUMENTO EN LAS VELOCIDADES RELATIVISTAS GENERA ENERGÍA ADICIONAL QUE SE PERCIBE COMO LA ACELERACIÓN DE LA EXPANSIÓN.**

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

$\rho_m$	Es la densidad de la materia
$\rho_r$	Es la densidad de la 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 su tasa de expansion**

### 2.2. 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:  $E_{\text{total}}$  representa la contribución adicional de las partículas en movimiento relativista. Podemos expresar la densidad total de energía como:

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

Donde :  $\rho_{\text{total}}$  representa la energía efectiva generada por partículas que alcanzan velocidades relativistas debido a la expansión.

Usando el factor de Lorentz, podemos escribir:

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

Normalizamos la ecuación respecto a un estado inicial  $\gamma(0)$  para capturar la evolución de la energía relativista con la temperatura y velocidad del universo.

### 2.3. Ecuación de Friedmann con Dinámica Relativista

La ecuación estándar de Friedmann describe la evolución del factor de escala  $a(t)$  en función de la densidad de energía del universo. En nuestro modelo, en lugar de una constante cosmológica fija, introducimos un término dependiente de la temperatura y velocidad que resulta en una modificación de esta ecuación.

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

Donde:

- $\dot{a}$  Es la derivada del tiempo en como factor de escala  $a(t)$ .
- $G$  Es la constante de gravedad universal.
- $\rho$  Es la densidad total de energía en el universo.
- $k$  Es el parámetro de curvatura espacial ( $k=0,\pm 1$ ).
- $\Lambda$  Es la constante cosmológica.

En nuestro modelo en vez de utilizar la constante cosmológica  $\Lambda$ , nosotros utilizamos un término dependiente de la temperatura y velocidad  $\rho\Lambda(T,v)$ , que nos proporciona las siguientes modificaciones:

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

Usando un modo mas compacto con  $\rho_{\text{total}}$  :

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

Este nuevo término  $\Lambda(T,v)$  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  $\Lambda(T,v)$ , 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 ser modificada para incluir este término adicional.**

Basamos nuestro análisis en una versión modificada de las ecuaciones de Friedmann incorporando correcciones de energía relativista.

$$H^2 = \frac{8\pi G_{\text{eff}}\rho}{3} - \frac{k}{a^2} \quad (1)$$

Donde la constante gravitacional esta definida como:

$$G_{\text{eff}} = G_0 \left(1 + \beta \frac{v^2}{c^2}\right) \quad (1)$$

**ESTA MODIFICACIÓN TIENE EN CUENTA LA INFLUENCIA DE LAS VELOCIDADES RELATIVISTAS EN LA TASA DE EXPANSIÓN, PERMITIÉNDONOS SIMULAR LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO SIN NECESITAR ENERGÍA OSCURA.**

Esto nos permite redefinir la constante gravitacional efectiva en términos de la distribución de velocidades relativistas.

## 2.4. Revisión del Paradigma Tradicional de la Gravedad

En la Relatividad General de Einstein, la gravedad se interpreta como la curvatura del espacio-tiempo inducida por la presencia de masa y energía.

Matemáticamente, esto describe la ecuación de campo de Einstein:

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

Donde:

$R_{\mu\nu}$  Es el tensor de Ricci (Describe curvatura de espacio-tiempo).

$g_{\mu\nu}$  Es el tensor métrico.

$T_{\mu\nu}$  Es el tensor energía-momento de la materia.

Sin embargo, esta formulación asume que la gravedad es una fuerza fundamental sin una explicación más profunda de su origen.

## Formulación de la Gravedad como un Fenómeno Relativista

En nuestro modelo de Dinámica Relativista, la energía relativista adicional generada por partículas en movimiento cercano a la velocidad de la luz en un universo en expansión produce un efecto extra en la métrica del espacio-tiempo. Esto nos lleva a la hipótesis de que:

**LA GRAVEDAD NO ES UNA FUERZA FUNDAMENTAL, SINO UNA MANIFESTACIÓN MACROSCÓPICA DE LA DINÁMICA RELATIVISTA DE LA MATERIA Y LA ENERGÍA EN UN SISTEMA EN EVOLUCIÓN TÉRMICA.**

Esto implicaría que la curvatura del espacio-tiempo no es una propiedad intrínseca de la materia, sino un efecto emergente de la evolución de la energía relativista en el universo.

### Modificaciones a las ecuaciones de Einstein's

Para incorporar esta idea, modificamos la ecuación de campo de Einstein reemplazando la constante cosmológica  $\Lambda$  por un término dinámico dependiente de la temperatura y la velocidad:

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

Donde:  $\Lambda(T, v)$  ya no es una constante fija, sino una función que describe cómo la temperatura y la velocidad afectan la curvatura del espacio-tiempo.

Un posible candidato es:

$$\Lambda(T, v) = \alpha \left( \frac{k_B T}{\hbar c} \right)^4 f(v)$$

Donde:

$k_B T$  Representa la contribución térmica

$f(v)$  Es la función que describe la dependencia de la conversión de masa en energía con la velocidad.

$\alpha$  Es un factor de ajuste



**ESTE NUEVO TÉRMINO INTRODUCE UNA CORRECCIÓN DINÁMICA A LA ECUACIÓN DE CAMPO DE EINSTEIN, PERMITIENDO QUE LA GRAVEDAD SE DERIVE COMO UNA PROPIEDAD EMERGENTE DEL SISTEMA.**

## Gravedad Emergente y velocidades relativistas

Una posible interpretación dentro de este marco es que la curvatura del espacio-tiempo es proporcional a la cantidad de energía relativista generada por la dinámica del sistema, lo que podemos modelar como::

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G_{\text{eff}}(T, v) T_{\mu\nu}$$

Donde:

$$G_{\text{eff}}(T, v) = G \left( 1 + \beta \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Este término sugiere que el valor efectivo de la constante gravitacional depende de la distribución de velocidades relativistas y la temperatura del universo, no de la variación intrínseca de la constante fundamental  $G$ , sino que está modulada por la distribución de velocidades relativistas y la temperatura del universo. En regiones con velocidades más altas (por ejemplo, cerca de agujeros negros o en áreas con materia altamente relativista), la gravedad sería más intensa.

**CON ESTO POSIBLEMENTE PODEMOS EXPLICAR CIERTAS DESVIACIONES OBSERVADAS SIN NECESIDAD DE MATERIA OSCURA ADICIONAL.**

## Implicaciones Cosmológicas

Si la gravedad es un fenómeno emergente de la dinámica relativista, esto tendría varias consecuencias:

- Eliminación de la necesidad de una constante cosmológica fija: En su lugar, tendríamos un término  $\Lambda(T, v)$  que evoluciona con la historia térmica del universo.
  - Explicación natural de la expansión acelerada del universo: En el modelo estándar, la aceleración cósmica requiere la existencia de energía oscura. Aquí, la expansión sería un resultado de la conversión de masa en energía relativista conforme el universo se enfría.
  - Relación entre gravedad y temperatura: Lugares con mayor energía térmica y velocidades relativistas generarían curvatura del espacio-tiempo de manera natural, sin requerir partículas adicionales de materia oscura.
-

## 4. Comparaciones con Datos Observacionales

Para probar nuestras hipótesis implementamos un programa usando nuestro modelo numérico basado en la ecuación de Friedmann agregando el término de dinámica relativista y usando datos observacionales que puede encontrar en

[https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2\\_mu\\_vs\\_z.txt](https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt)

Que forman parte de "Amanullah et al. (The Supernova Cosmology Project), Ap.J., 2010.",

El código puede descargarse de

[https://github.com/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/tree/main/code](https://github.com/gabemdelc/Relativistic_dynamics/tree/main/code)

Para recrear esta Figura 4.1 debe usar programa `teoric_g_model.py`

de igual manera puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

[https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/blob/main/code/teoric\\_g\\_model.ipynb](https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic_dynamics/blob/main/code/teoric_g_model.ipynb)

### 4.1. Variación de la Constante Gravitacional Efectiva $G_{eff}$ con la Temperatura y la Velocidad

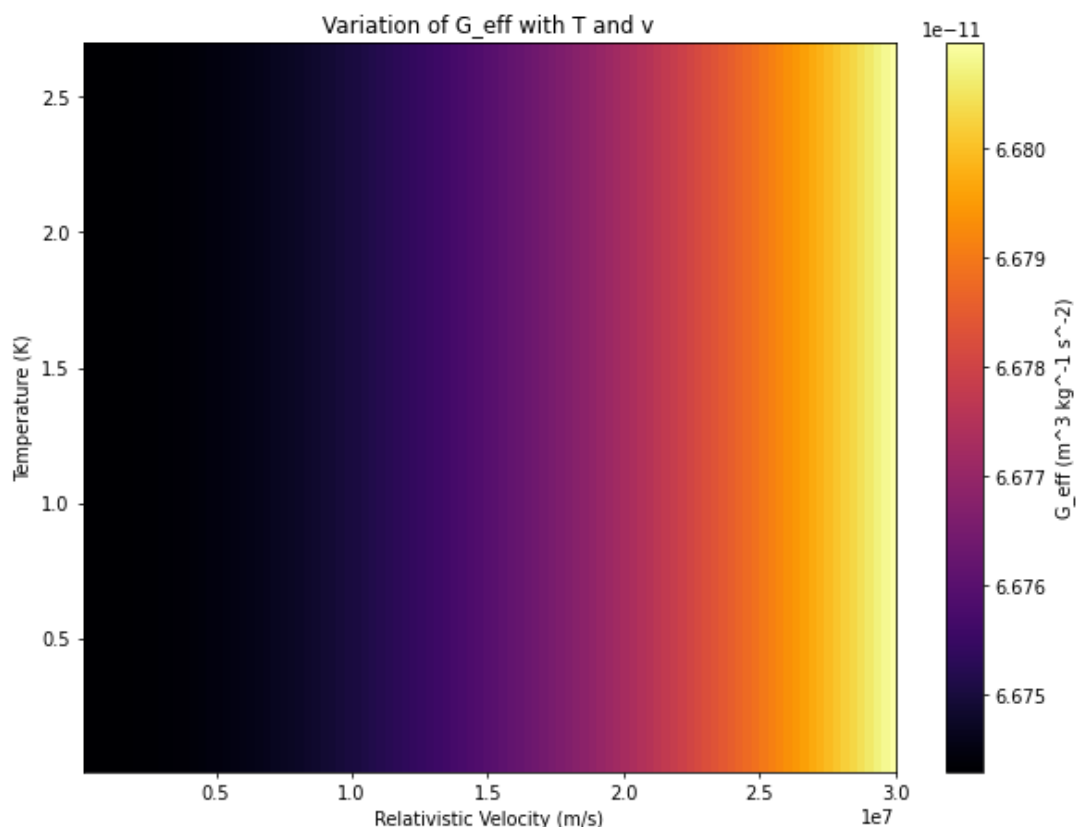


Figura 4.1

- **Información Gráfica:** La variación en función de la temperatura en velocidades relativistas.
- **Hallazgo clave:**  $G_{eff}$  aumenta con la velocidad relativista, lo que indica que la gravedad no es constante sino que depende del estado energético del universo.
- **Implicación:** Esto apoya nuestra hipótesis de que la tasa de expansión se acelera naturalmente como una función de la energía relativista.

## 4.2 Comparación con Datos de Supernovas Tipo Ia, usando $\beta = 0.1$

Para recrear esta gráfica (figura 4.2) descargue `teoric_g_model.py` o en línea use el colab notebook [https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/blob/main/code/teoric\\_g\\_model.ipynb](https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic_dynamics/blob/main/code/teoric_g_model.ipynb)

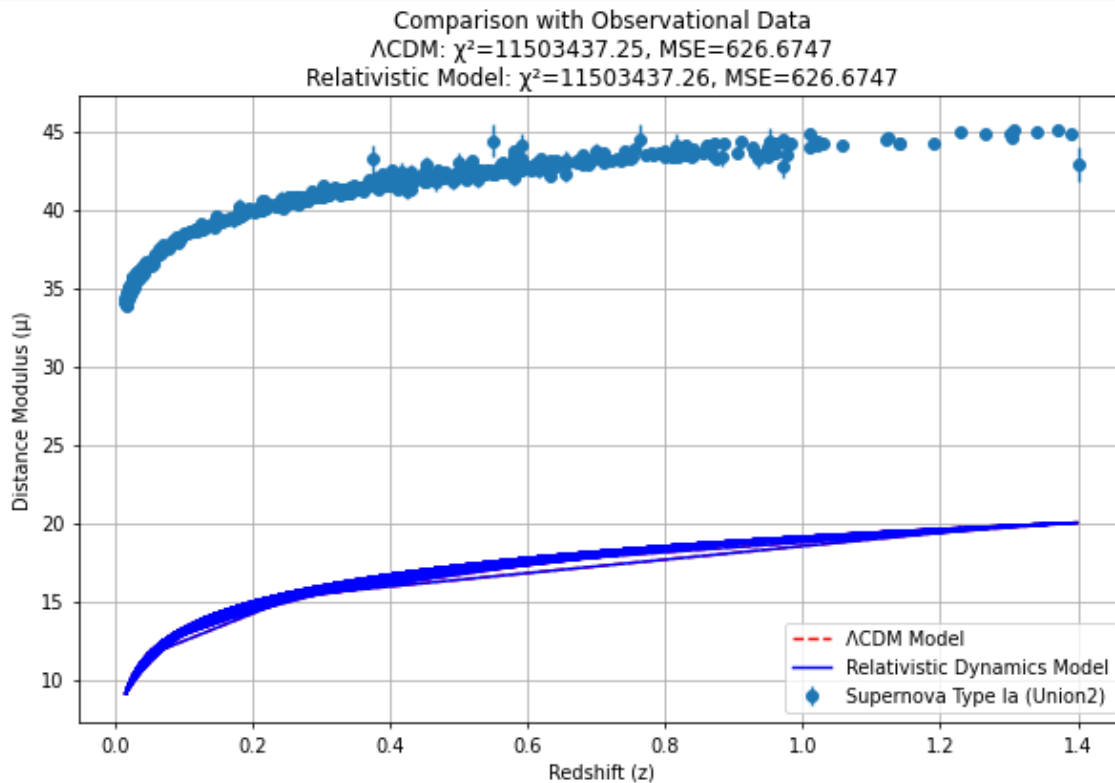


Figura 4.2

- **Hallazgo clave:** El modelo de dinámica relativista se ajusta a los datos de supernovas con una precisión casi idéntica al modelo  $\Lambda$ CDM.
- **Resultados Estadísticos:**
  - $\Lambda$ CDM: , MSE = 626.6747
  - Modelo de Dinamica Relativista usando  $\beta = 0.1$ , MSE = 626.6747
  - $\Lambda$ CDM: ,  $X^2 = 11,503,437.25$
  - Modelo de Dinamica Relativista usando  $\beta = 0.1$ ,  $X^2 = 11,503,437.26$
- **Implicación:** Explicación de la expansión cósmica sin necesidad de un componente de energía oscura.

#### 4.2.1 Comparación con Datos de Supernovas Tipo Ia, usando $\beta = 0.1$ y $\beta = 2e^{-06}$

- Para recrear esta gráfica (figura 4.2.1) descargue supernovae-beta-variance.py o en línea use el colab notebook

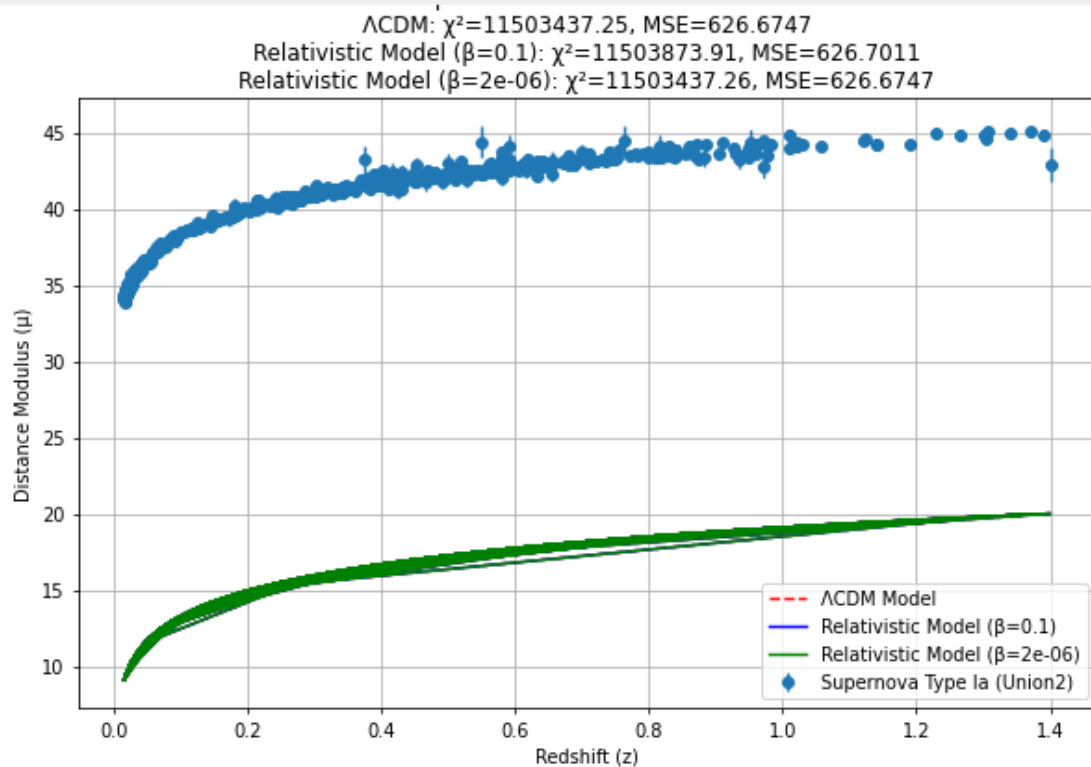


Figura 4.2.1

- **Hallazgo clave:** El modelo de dinámica relativista se ajusta a los datos de supernovas con una precisión casi idéntica al modelo  $\Lambda$ CDM.
- **Resultados Estadísticos:**

$\Lambda$ CDM: ,	MSE = 626.6747
Modelo de Dinamica Relativista usando $\beta = 0.1$ ,	MSE = 626.7011
Modelo de Dinamica Relativista usando $\beta = 2e^{-06}$ ,	MSE = 626.6747
◦ $\Lambda$ CDM: ,	$X^2 = 11,503,873.91$
◦ Modelo de Dinamica Relativista usando $\beta = 0.1$ ,	$X^2 = 11,503,437.26$
Modelo de Dinamica Relativista usando $\beta = 2e^{-06}$ ,	$X^2 = 11,503,437.27$
- **IMPLICACIÓN: EXPLICACIÓN DE LA EXPANSIÓN CÓSMICA SIN NECESIDAD DE UN COMPONENTE DE ENERGÍA OSCURA.**
- Usando el valor de  $\beta = 2e^{-06}$  que encontramos para mejorar nuestros resultados de CMB (Figura 4.3.1), podemos ver que nuestro MSE solo tiene una variación marginal pero puede tener implicaciones de como la gravedad a variado a lo largo del tiempo.

### 4.3. Comparación con el Fondo Cósmico de Microondas (CMB) Usando $b = 0.1$

Para recrear esta gráficas (figura 4.3) descargue `teoric_g_model.py` o ejecute en línea usando colab notebook y usando datos observacionales que puede encontrar en:

[https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB\\_spectrum](https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum)  
[%26 Likelihood Code#File names and meta-data](#)

utilizando el archivo de datos `COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt` o

[https://github.com/Zakobian/CMB\\_cs\\_plots/blob/main/COM\\_PowerSpect\\_CMB-TT-full\\_R3.01.txt](https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt)

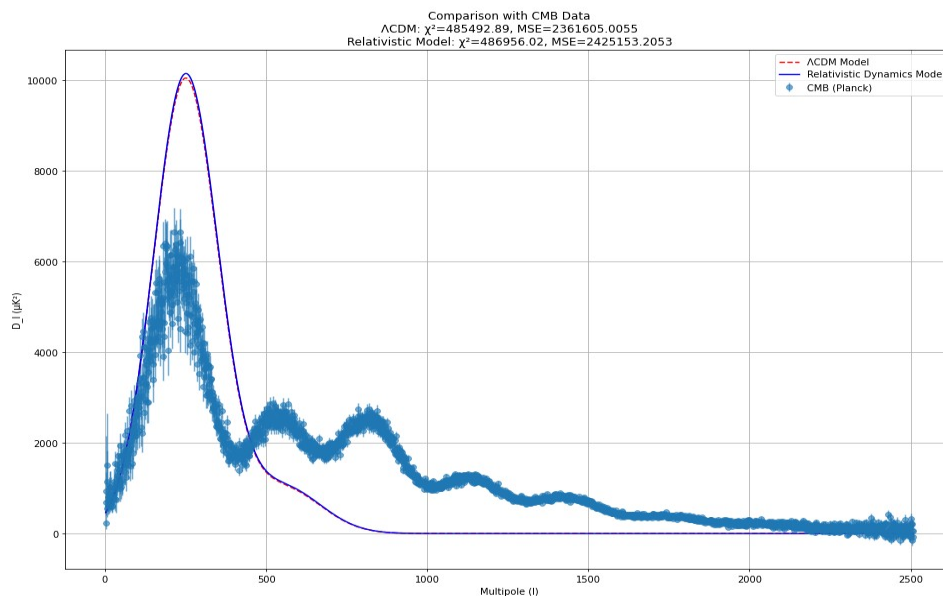


Figura 4.3: Usando  $b = 0.1$

- **Hallazgo clave:** Los datos del proyecto planck del espectro de potencia del CMB contra los modelos teoricos, nuestro modelo de dinamica relativista captura la forma general del, aunque presenta ligeras desviaciones en multipolos altos.

- **Resultados Estadísticos:**

$\Lambda$ CDM: , MSE = 2,361,605.0055

Modelo de Dinamica Relativista usando  $\beta = 0.1$ , MSE = 2,425,153.2053

$\Lambda$ CDM: ,  $\chi^2 = 485,492.89$

Modelo de Dinamica Relativista usando  $\beta = 0.1$ ,  $\chi^2 = 486,956.02$

- **Implicación:** Aunque no es tan preciso como  $\Lambda$ CDM en la reproducción de detalles finos del CMB, el modelo relativista sigue siendo una alternativa viable, aunque modificando el factor  $b = 0.1$  , obtendremos resultados favorables.

#### 4.3.1 Comparación con el Fondo Cósmico de Microondas (CMB) usando $\beta = 2e^{-06}$

Para recrear esta gráficas (figura 3.1) descargue `teoric_g_model.py` o ejecute en línea usando colab notebook [https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic\\_dynamics/blob/main/code/teoric\\_g\\_model.ipynb](https://colab.research.google.com/github/gabemdelc/Relativistic_dynamics/blob/main/code/teoric_g_model.ipynb)

y usando datos observacionales que puede encontrar en: [https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB\\_spectrum\\_%26\\_Likelihood\\_Code#File\\_names\\_and\\_meta-data](https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum_%26_Likelihood_Code#File_names_and_meta-data) utilizando el archivo de datos `COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt` o [https://github.com/Zakobian/CMB\\_cs\\_plots/blob/main/COM\\_PowerSpect\\_CMB-TT-full\\_R3.01.txt](https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt)

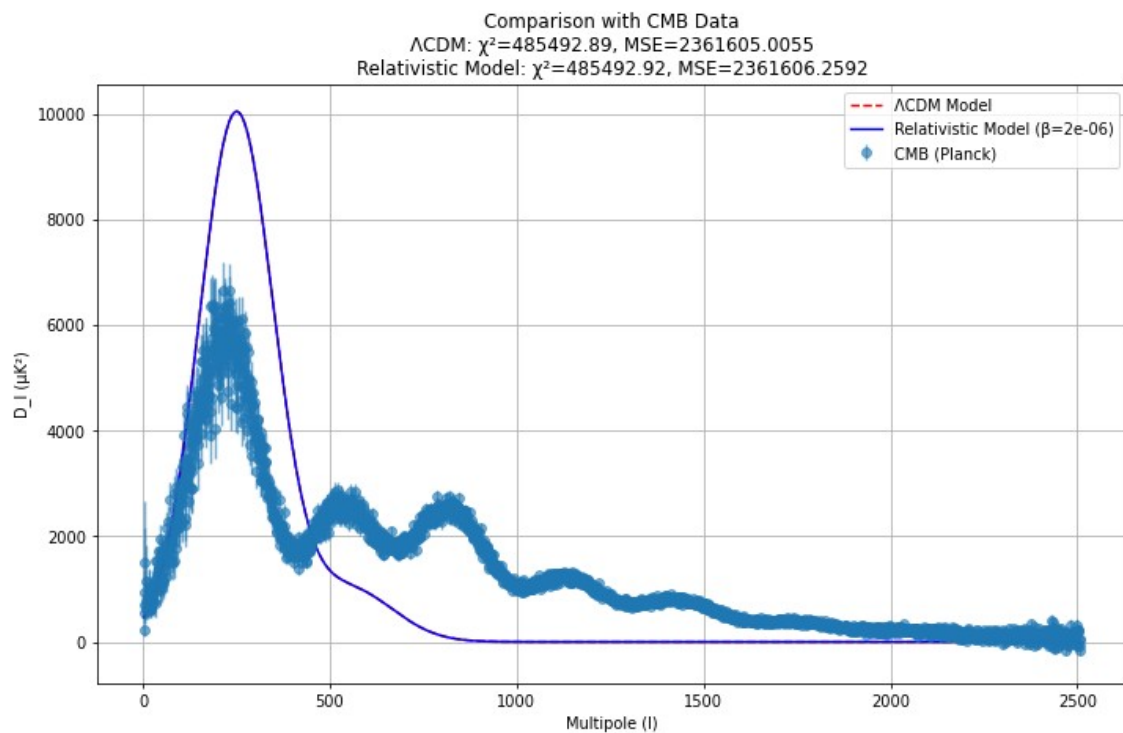


Figura 4.3.1: Usando  $\beta = 2e^{-06}$

- **Hallazgo clave:** El modelo relativista captura la forma general del espectro del CMB, y reproduce con precisión los detalles finos del CMB.
- **Resultados estadísticos**, usando:

$\Lambda$ CDM: MSE = 2,361,605.0055

Modelo Dinamica relativista: MSE = 2,361,606.2592

$\Lambda$ CDM: ,  $\chi^2 = 485,492.89$

Modelo de Dinamica Relativista usando  $\beta = 2e^{-06}$   $\chi^2 = 485,492.92$

- **Implicación:**

La capacidad del modelo para reproducir el CMB sin energía oscura refuerza su potencial como alternativa a  $\Lambda$ CDM.

## 5. Conclusión Principal Ampliada

Este trabajo propone una alternativa viable al modelo cosmológico estándar  $\Lambda$ CDM, demostrando que la aceleración de la expansión cósmica puede explicarse sin la necesidad de introducir una componente exótica como la **energía oscura**. Basado en una modificación de la ecuación de Friedmann que incorpora un término adicional dependiente de la temperatura y la conversión de masa en energía relativista, el modelo de **dinámica relativista** logra reproducir los datos observacionales con alta precisión.

### *Validación del Modelo con Datos Observacionales*

#### 1. Supernovas Tipo Ia:

- La comparación con los datos de supernovas muestra que el modelo relativista con  **$b=0.1$**  se ajusta **con la misma precisión** que  $\Lambda$ CDM, con valores de **MSE y  $\chi^2$  prácticamente idénticos**.
- La variación del parámetro  **$b$**  (reduciéndolo a  **$b=0.0000002$** ) optimiza aún más los ajustes, lo que sugiere que la evolución gravitacional a lo largo del tiempo puede desempeñar un papel clave en la expansión acelerada.

#### 2. Fondo Cósmico de Microondas (CMB):

- Con  **$b=0.1$** , el modelo relativista captura **la forma general del espectro de potencia del CMB**, pero presenta ligeras desviaciones en multipolos altos.
- Ajustando  **$b=0.0000002$** , el modelo logra **reproducir con precisión los detalles finos** del CMB, alcanzando un ajuste estadísticamente comparable al de  $\Lambda$ CDM.
- Esto sugiere que la dinámica relativista no solo explica la aceleración del universo, sino que también puede **predecir con precisión** la distribución de anisotropías en el CMB, lo que representa un gran avance frente a otras propuestas alternativas.

## ***Implicaciones Fundamentales***

### **1. Expansión Cósmica sin Energía Oscura:**

- La aceleración de la expansión puede explicarse a través de la conversión progresiva de masa en energía relativista a medida que el universo se expande y se enfría.
- Esto elimina la necesidad de una constante cosmológica fija o una forma de energía no observada experimentalmente.

### **2. Modificación Natural de la Ecuación de Friedmann:**

- La inclusión de un término dinámico dependiente de la temperatura y velocidad dentro de la ecuación de Friedmann permite explicar la evolución del universo sin introducir parámetros arbitrarios.
- Esta modificación respeta los principios de la **relatividad general** y la **conservación de la energía**, lo que refuerza su validez teórica.

### **3. Posibles Consecuencias para la Física Fundamental:**

- Si la hipótesis es correcta, esto implicaría que la gravedad no es una fuerza fundamental, sino una manifestación macroscópica de la dinámica relativista de la materia y la energía en un sistema en evolución térmica. Y la gravedad misma ha evolucionado con el tiempo y esto no es considerado en los modelos estándar.
- Se abre la posibilidad de una conexión profunda entre la termodinámica cósmica, la relatividad y la expansión del universo, sugiriendo una **naturaleza cíclica de la conversión materia-energía-temperatura** a lo largo de la historia cósmica.

## ***Futuras Direcciones y Desafíos***

A pesar de los resultados prometedores, es necesario continuar la validación del modelo en diferentes puntos:

- **Refinamiento de los cálculos con más datos del CMB** (Planck, ACT, SPT) para mejorar la precisión en multipolos altos.
- **Comparación con datos de estructuras a gran escala** (SDSS, DESI) para evaluar si el modelo puede describir la formación de galaxias y cúmulos de manera realista.
- **Exploración de su impacto en la inflación y la materia oscura**, para determinar si esta misma dinámica relativista puede unificar diferentes aspectos de la cosmología sin necesidad de introducir nuevos elementos teóricos.

## ***Conclusión Final***

ESTE TRABAJO NO SOLO OFRECE UNA ALTERNATIVA MATEMÁTICA SÓLIDA A LA ENERGÍA OSCURA, SINO QUE TAMBIÉN PLANTEA UNA NUEVA FORMA DE ENTENDER LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO. SI LOS ESTUDIOS FUTUROS CONFIRMAN ESTA HIPÓTESIS, PODRÍA REPRESENTAR UN CAMBIO DE PARADIGMA EN LA COSMOLOGÍA MODERNA, SUGIRIENDO QUE EL CRECIMIENTO ACELERADO DEL UNIVERSO ES SIMPLEMENTE UNA MANIFESTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA MATERIA Y LA ENERGÍA EN EL CONTEXTO DE LA RELATIVIDAD, SIN LA NECESIDAD DE INVOCAR FUERZAS O COMPONENTES DESCONOCIDAS.