

"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

Summary

Our model of *relativistic dynamics* describes the behavior of matter and energy under the principles of special and general relativity. This study presents a new perspective on the accelerating expansion of the universe, proposing that this phenomenon is a consequence of the cyclic conversion of mass into relativistic energy as the universe expands and cools. *Thus eliminating the need to postulate the existence of dark energy.*

The mathematical model developed links the temperature of the universe with the velocity distribution of massive particles, incorporating an additional term in the Friedmann equation. To validate this hypothesis, numerical simulations were performed and compared with observational data from Type Ia supernovae and the Cosmic Microwave Background (CMB).

The results indicate that the relativistic dynamics model fits the supernova data with high accuracy and captures key features of the CMB power spectrum, showing that relativistic corrections can explain the observed expansion of the universe without the need to introduce a dark energy term.

Furthermore, this approach suggests that gravity is not a fundamental force, but a macroscopic manifestation of the relativistic dynamics of matter and energy in a thermally evolving system.

These findings could represent a paradigm shift in modern cosmology, providing an alternative interpretation of cosmic acceleration based on well known and established physical principles.

Introduction

The accelerating expansion of the universe remains one of the greatest enigmas of modern cosmology. The standard model postulates that this acceleration is driven dark energy, an unknown component that accounts for approximately 70% of the total energy density of the universe. However, to , no direct evidence has been found to confirm its existence.

This paper presents an alternative based on the progressive conversion of mass into relativistic energy as the universe expands and cools. Unlike the traditional model, which attributes the acceleration of the expansion to dark energy, this hypothesis suggests that the acceleration could be driven by energy emitted by relativistic sources that accelerate

particles to near-light speeds as the universe expands. The energy emitted by these systems - such as stars, supernovae, holes black stars, quasars, pulsars and other relativistic phenomena - increases its effective energy and contributes to the observed acceleration in the expansion of the universe.

According to the relativistic dynamics model, in the early stages of the universe and at extremely high temperatures, the residual energy of the Big Bang dominated the composition of the cosmos, manifested as radiation and particles under extreme conditions. As the universe expanded and cooled, and as the temperature approached near 0°K, most of the remaining energy condensed into rest mass. Eventually, this allowed the formation of the first protostars, which, through intense energetic processes, began to emit particles at high velocities. These initial relativistic sources, such as massive stars and their remnants, played a key role in accelerating cosmic expansion.

As the universe continued to evolve, some of these massive stars collapsed to form black holes and quasars, which emitted even more relativistic energy. Interaction with these relativistic sources increased the effective mass energy, contributing to the observed acceleration in the expansion of the universe.

As the universe continues to cool, thermal energy dissipates. As the temperature approaches values near 0°K, most of the remaining energy manifests as rest mass.

However, the effect of relativistic sources remains relevant and, rather than diminishing, is transferred to more energetic dynamics associated with systems emitting particles at high velocities.

The aim of this study is to evaluate this hypothesis against observational data and to determine its feasibility.

"The central idea is to explore how relativistic sources and their interaction with the cooling of the universe could be responsible for the acceleration of the cosmic expansion. The goal is to assess the plausibility of this hypothesis as an alternative explanation to dark energy."

2. Basic Assumptions

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

2.1 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.
- Applying the extension of Einstein's famous equation $E = mc^2$, including the motion component of the particle.

Relation to Einstein's equivalence formula $E = mc^2$:

- The equation $E = mc^2$ describes only the rest energy of a particle. That is, its energy is only a function of its mass (m) and the speed of light (c), therefore we will use the extension of this formula, related to the motion of the particle.

Therefore we will use the 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.

- However, in the relativistic equation $E^2 =$, the term pc represents the energy associated with the motion of the particle, which depends on its momentum p (related to the particle velocity).

This derived from including the Lorentz Factor:

The Lorentz Factor: (γ) appears in the theory of special relativity to describe relativistic effects, such as time stretching and length contraction. In this context, the relationship between the relativistic momentum p and the particle velocity is derived from the Lorentz factor, which is defined as:

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.

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

The relativistic momentum p is related to the mass m and the velocity v of the particle as follows:

$$p = \gamma mc^2$$

Then, the total energy E can be written in more detail as:

$$E = \gamma mc^2$$

Where:

γ is the Lorentz factor.

For a particle at rest ($v = 0$), $\gamma = 1$, and we recover the classical formula $E = mc^2$.

Relationship between temperature and cosmic energy

Following 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.

2.2 Friedmann Equation

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

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

Where:

- \dot{a} is the derivative of time in as a scaling factor $a(t)$.
- G is the universal gravitational constant.
- ρ is the total energy density in the universe.
- k is the spatial curvature parameter ($k=0,\pm1$).
- Λ is the cosmological constant.

Main Hypotheses

- 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 certain structures can reach higher relative velocities as the universe evolves.
- Gravity is not a fundamental force, but a macroscopic manifestation of the relativistic dynamics of matter and energy in a thermally evolving system.
- 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 THE ACCELERATION OF THE EXPANSION.

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

Where:

ρ_m is the density of matter

ρ_r is the density of radiation

$\rho_{\Lambda}(T, v)$ is a temperature and speed dependent function which 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 its expansion rate.

2.1 Total Energy Equation

We define the total energy of the universe as:

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

Where:

E_{total} represents the additional contribution of the particles in relativistic motion.

We can express the total density of energy such as:

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

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

Using the Lorentz factor, we can write:

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

We normalize the equation with respect to an initial state $\gamma^{(0)}$ to capture the evolution of the relativistic energy with the temperature and velocity of the universe.

2.2 WE MODIFY THE FRIEDMANN EQUATION WITH *RELATIVISTIC DYNAMICS*

We start from the standard equation: $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$

In this model, the term Λ is not a constant, but varies as a function of the temperature and the velocity of the relativistic particles, i.e: $\rho_{\Lambda}(T, v) = f(T, v)\rho_m$, where $f(T, v)$ is a correction factor that depends on the temperature and the fraction of relativistic particles.

The increase in energy due to relativistic velocities can be obtained from the relation:

$E = \gamma mc^2$, where γ is the Lorentz factor. Integrating this effect over the velocity distribution in a cosmological volume, we obtain a density of effective energy:

$$\rho_{\Lambda}(T, v) = \rho_m \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

This term introduces a dynamic correction that modifies the Friedmann equation, leaving:

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

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.

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 defined as:

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

This formulation implies that the variation of G_{eff} must be introduced into the energy-momentum in the Einstein field equation:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G_{\text{exteff}}}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

This suggests that the variability of gravity as a function of velocity directly influences the curvature of space-time and cosmic evolution.

THIS MODIFICATION TAKES INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF RELATIVISTIC VELOCITIES ON THE EXPANSION RATE, ALLOWING US TO SIMULATE THE EVOLUTION OF THE UNIVERSE WITHOUT NEEDING DARK ENERGY.

And it allows us to redefine the effective gravitational constant in terms of the relativistic velocity distribution.

2.3 Therefore, we need a revision of the Traditional GRAVITY Paradigm.

In Einstein's General Relativity, gravity is interpreted as the curvature of space-time induced by the presence of mass and energy.

Mathematically, this describes the Einstein field equation:

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

Where:

$R_{\mu\nu}$ is the Ricci tensor (Describes space-time 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.

2.4 Formulation of Gravity as a Relativistic Phenomenon

In our Relativistic Dynamics model, the additional relativistic energy generated by particles moving close to the speed of light in an expanding universe produces an extra effect on the space-time metric.

This leads us to the hypothesis that:

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

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

2.4.1 Modifications Einstein field equation

The concept of emergent gravity in this model differs from that proposed by Verlinde, since here temperature and relativistic dynamics are introduced as key factors. The fundamental hypothesis is that large-scale gravity is not a fundamental force, but a manifestation of energy conversion in a cosmic expansion environment.

The relation between space-time curvature and relativistic energy can be expressed as:

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

Where: $\Lambda(T, v)$ is no longer a fixed constant, but a function that describes how temperature and velocity affect the curvature of space-time, which explains the acceleration ***without the need for dark matter or dark energy.***

For this a possible candidate is:

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

Where:

- $k_B T$ represents the thermal contribution
- $f(v)$ It is the function that describes the dependence of the conversion of mass into energy with velocity.
- α It is an adjustment factor

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

2.4.2 Emergent Gravity and Relativistic Velocities

Although the term "emergent gravity" has been used in the context of Erik Verlinde's proposal, our model differs substantially. While Verlinde bases his approach on holographic principles and entropy, our formulation explicitly introduces temperature and **relativistic dynamics** as determinants of gravity at cosmological scales.

One possible interpretation within this framework is that the curvature of space-time is proportional to the amount of relativistic energy generated by the dynamics of the system, which we can model 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 constant G depends on the distribution of relativistic velocities and the temperature of the universe, not on the intrinsic variation of the fundamental constant, but is 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 more intense.

***WITH THIS WE CAN POSSIBLY EXPLAIN CERTAIN OBSERVED DEVIATIONS
WITHOUT THE NEED FOR ADDITIONAL DARK MATTER.***

3. Cosmological Implications

If gravity is an emergent phenomenon of **relativistic dynamics**, this would have several consequences:

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

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**,

To recreate this Figure 4.0 the code can be downloaded at: [Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

and run [relative dynamic.py](#)

or run online in [relative dynamic in Colab Notebook](#)

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** $v(T)$ massive particles as a function of temperature.
- **Friedmann equation** modified with our additional term.
- **Initialize cosmological conditions**
 - $a(0) = 10^{-10}$, $T(0) = 10^{12}$ K.
 - Initial Density: $\rho_m(0)$, $\rho_r(0)$, $\rho_\Lambda(0) = 0$.
- **Evolving the system step by step**
 - Calculate the temperature $T(t)$
 - Calculate the velocity distribution $v(T)$
 - Calculate $\rho_\Lambda(T, v)$
 - Solve the modified Friedmann equation.
- **Compare with observational data**
 - Redshift and modulus distance of type Ia supernovae

Results and Predictions

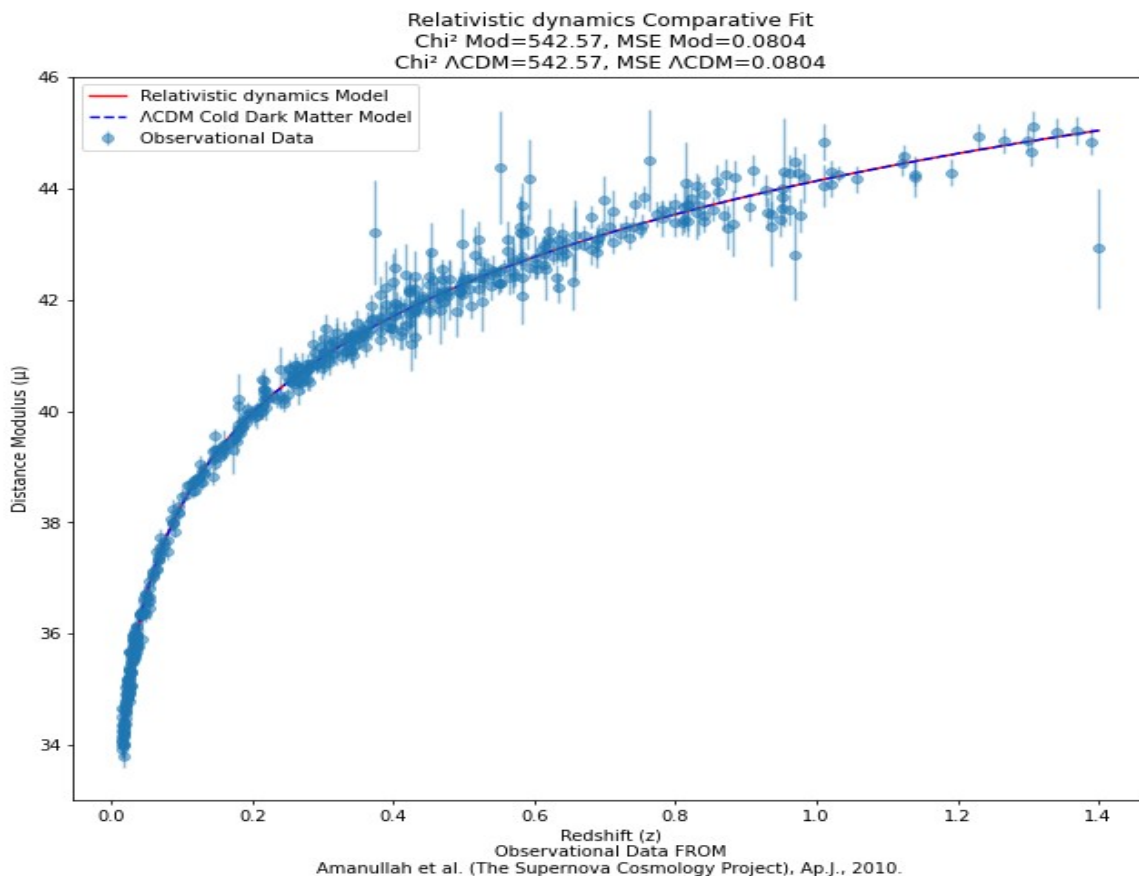
If this model is correct, we should find that:

- 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 Λ CDM Model

We use data from:

https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt, using redshift (z) and modulus distance (μ) measurements of type Ia supernovae. We fit the parameters of the modified model and the Λ CDM and evaluate their accuracy using statistical metrics such as χ^2 and mean square error (MSE).



Friedmann Equation with *relativistic Dynamic*

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 Equation with <i>relativistic Dynamic</i>	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 model with relativistic dynamics is able to reproduce the observational data with the same accuracy as the Λ CDM model.

To test the other hypotheses we implemented other programs using our numerical model based on the Friedmann equation adding the relativistic dynamics term and using observational data that can be found at

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

To recreate this Figure 4.1 the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

must use program [teoric_g_model.py](#)

you can also execute the online code using colab notebook in:

[teoric_g_model in Colab Notebook](#)

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

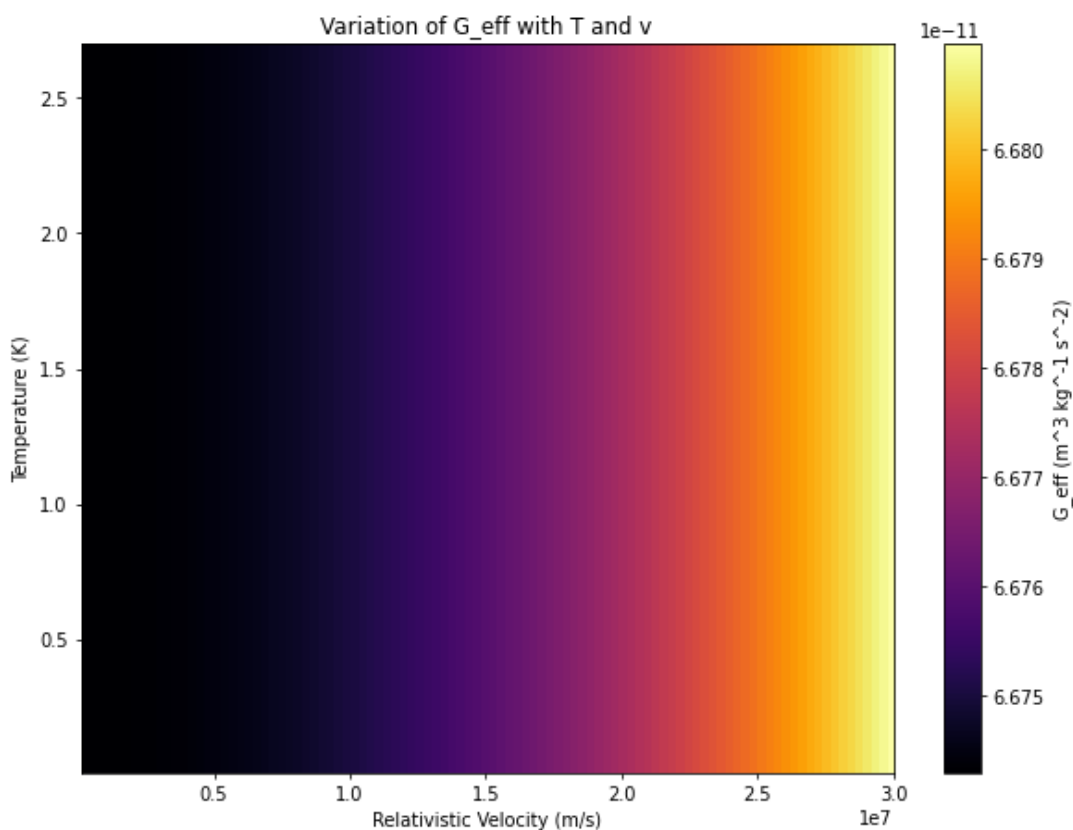


Figure 1.1

- **Graphical Information:** Variation as a function of temperature in relativistic speeds
- **Key finding:** G_{eff} increases with the relativistic velocity, indicating that the 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 Supernovae Data, using $\beta = 0.1$

To recreate this Figure 4.2 the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

must use program [teoric_g_model.py](#)

you can also execute the inline code using a colab notebook in: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

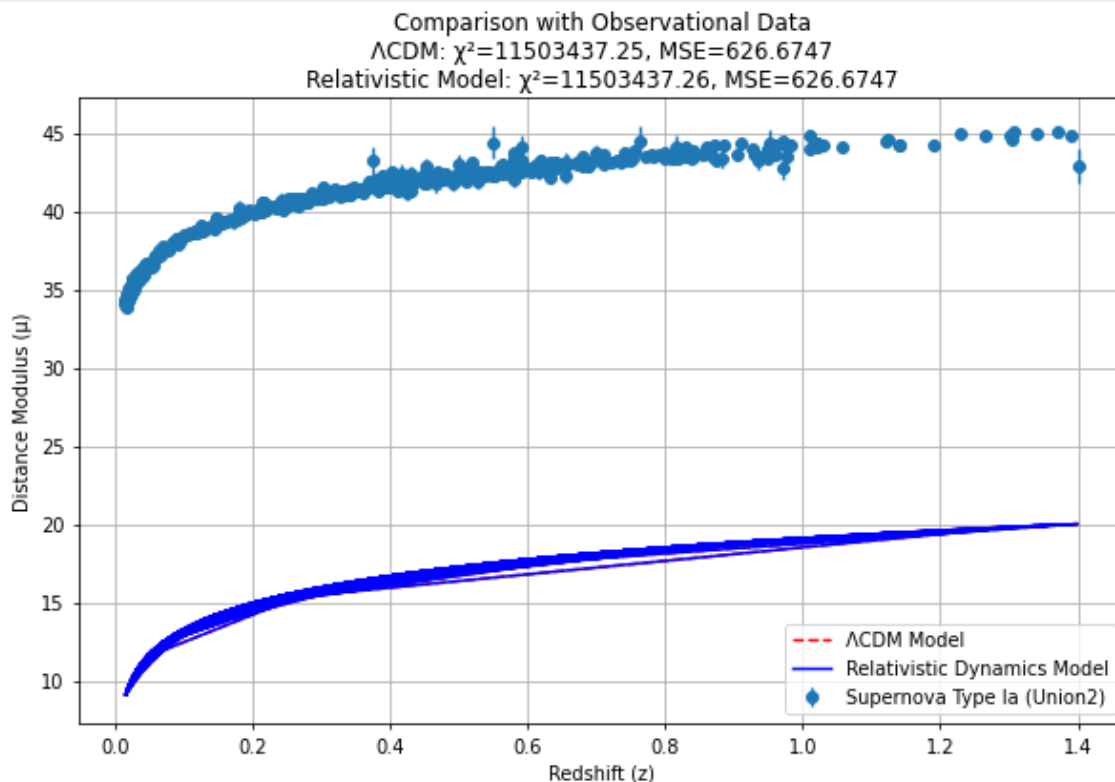


Figure 4.2

- **Key Finding:** The *relativistic dynamics* model fits the data from supernovae with an accuracy almost identical to the Λ CDM model.
- **Statistical Results :**
 - Model Λ CDM: MSE = 626.6747
 - Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$ MSE = 626.6747
 - Model Λ CDM: $\chi^2 = 11,503,437.25$
 - Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$ $\chi^2 = 11,503,437.26$
- Implication: Explanation of cosmic expansion without the need for a dark energy component.

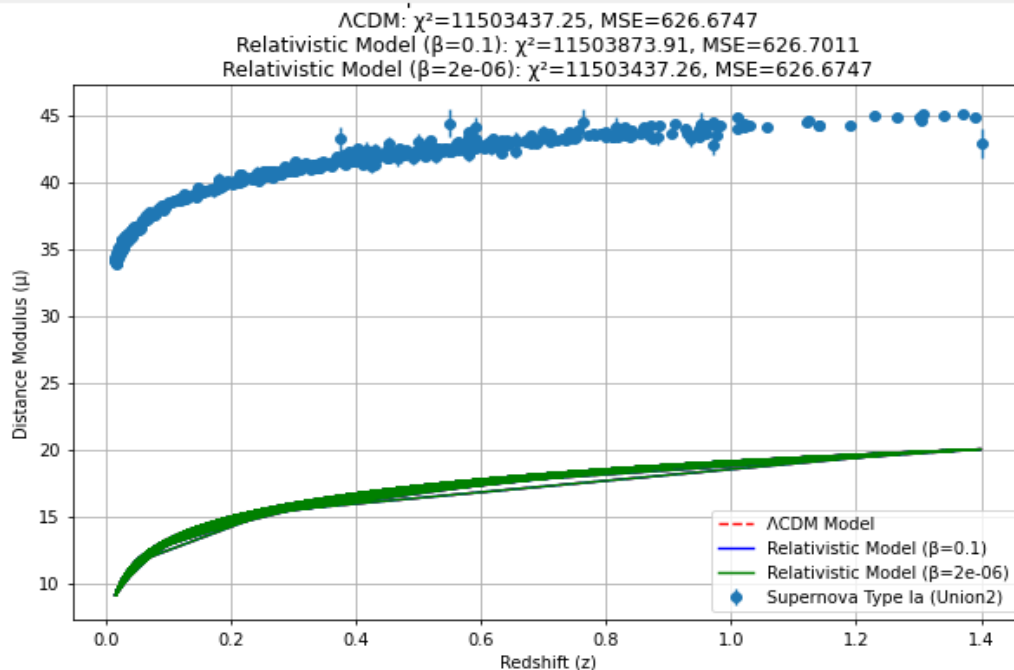
4.2.1 Comparison with Type Ia Supernovae Data, using $\beta = 0.1$ and $\beta = 2e^{-6}$

To recreate this Figure 4.2.1 the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

must use program [supernovae-beta-variance.py](#)

or online use the colab notebook [Colab Notebook supernovae beta variance](#)



Figure

4.2.1

- **Key Finding:** The relativistic dynamics model fits the data from supernovae with an accuracy almost identical to the Λ CDM model.
- **Statistical Results :**

Model Λ CDM:	MSE = 626.6747
Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$	MSE = 626.7011
Relativistic Dynamics Model using $\beta = 2e^{-6}$	MSE = 626.6747
◦ Model Λ CDM:	$\chi^2 = 11,503,873.91$
◦ Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$,	$\chi^2 = 11,503,437.26$
Relativistic Dynamics Model using $\beta = 2e^{-6}$	$\chi^2 = 11,503,437.27$
- **IMPLICATION: EXPLANATION OF COSMIC EXPANSION WITHOUT THE NEED TO OF A DARK ENERGY COMPONENT.**
- Using the value $\beta = 2e^{-6}$, that we found to improve our CMB results (Figure 4.3.1), we can see that our MSE only has a marginal variance but this may have other implications to evaluate how gravity has varied over time.

4.3 Comparison with the Cosmic Microwave Background (CMB) Using $b = 0.1$

To recreate this Figure 4.3 the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

must use program [teoric_g_model.py](#)

you can also execute the online code using a colab notebook in: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

using data file COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt or

https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt

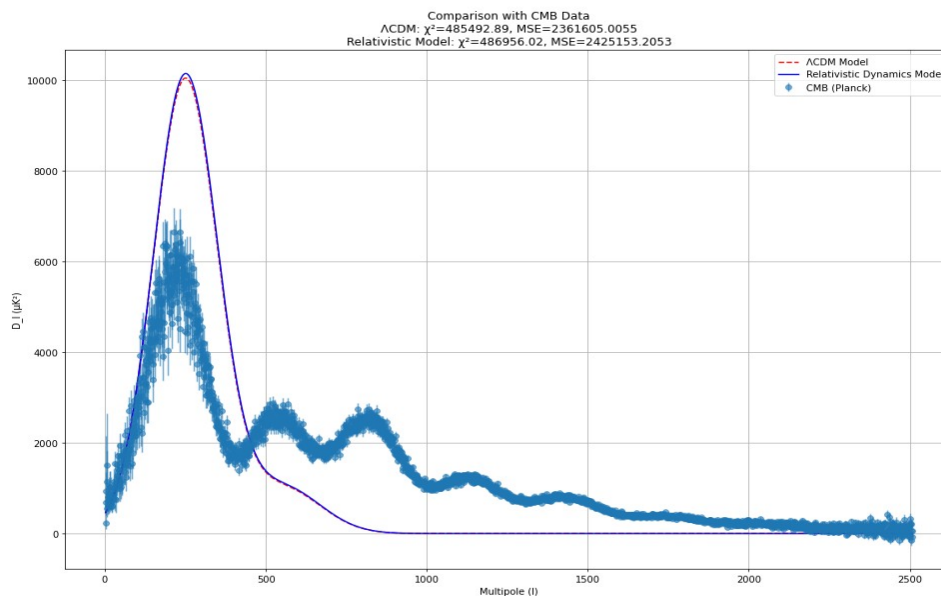


Figure 4.3: Using $b = 0.1$

- **Key finding:** CMB power spectrum planck project data vs. theoretical models, our *relativistic dynamics* model captures the general shape, although it exhibits slight deviations at high multipoles.
- **Statistical Results :**

Model Λ CDM:	MSE = 2,361,605.0055
Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$	MSE = 2,425,153.2053
Model Λ CDM:	$\chi^2 = 485,492.89$
Relativistic Dynamics Model using $\beta = 0.1$	$\chi^2 = 486,956.02$
- *Implication: Although not as accurate as Λ CDM in reproducing fine details of the CMB, the relativistic model is still a viable alternative, although by modifying the factor $b = 0.1$, we will obtain favorable results.*

4.3.1 Comparison with the Cosmic Microwave Background (CMB) Using $\beta = 2e^{-6}$

To recreate this Figure 4.3.1 the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

must use program [teoric_g_model.py](#)

you can also execute the online code using a colab notebook in: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

using data file 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

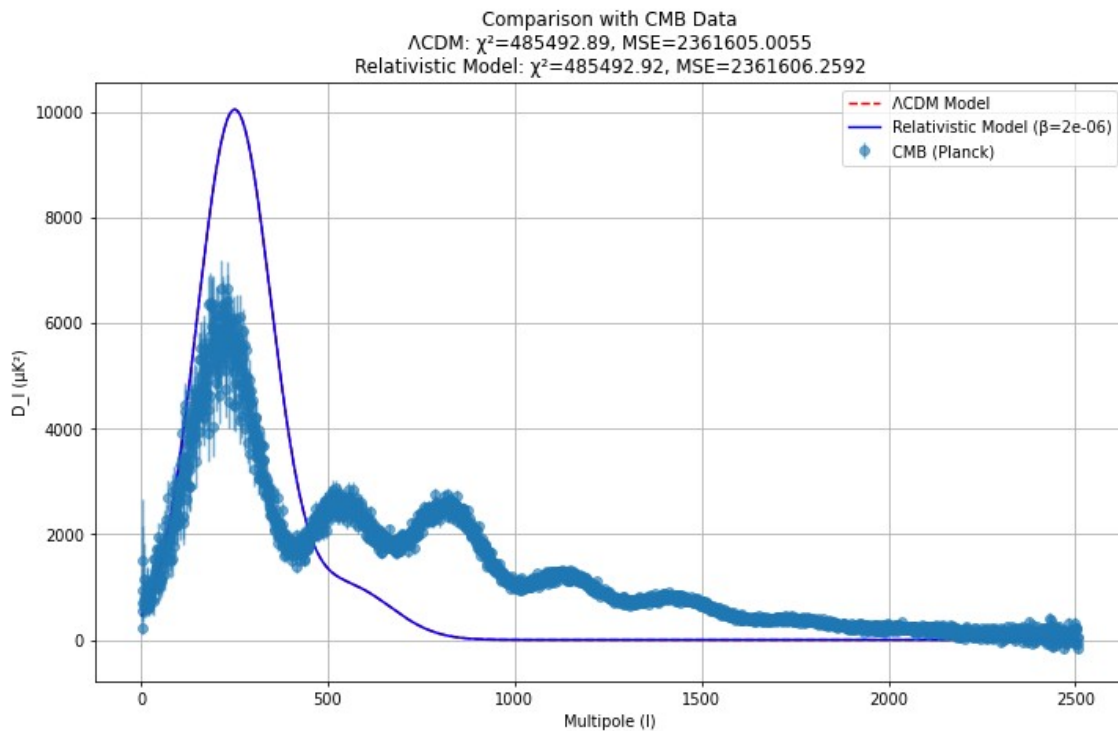


Figure 4.3.1: Using $\beta = 2e^{-6}$

- **Key finding:** The *relativistic dynamic* model captures the general shape of the CMB spectrum, and accurately reproduces the fine details of the CMB.

- **Statistical Results**, usando: $\beta = 2e^{-6}$

Model Λ CDM: MSE = 2,361,605.0055

Relativistic dynamic model: MSE = 2,361,606.2592

Model Λ CDM: $\chi^2 = 485,492.89$

Relativistic dynamic model: $\chi^2 = 485,492.92$

- **Implication:** The ability of the model to reproduce the CMB without dark energy strengthens its potential as an alternative to Λ CDM.

Simulates and compares gravitational lensing predictions using three models, Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter), Relativistic Dynamic Model: modifies the gravitational constant based on velocity and the G Constant model.

To recreate this Figure 4.4.1 and table 4.4.2, the code can be downloaded from the following link:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

must use program [relativistic_lensing.py](#)

you can also execute the inline code using a colab notebook at: [lensing compare in colab](#)

The blue line is not distinguishable because the variation with the relativistic dynamics model is almost null, if you want to see the blue line inhibit this line of the code
`#ax.plot(beta_values, [r[2] for r in results_LCDM_rel], label="Relativistic Dynamic", color="red", marker="x")`

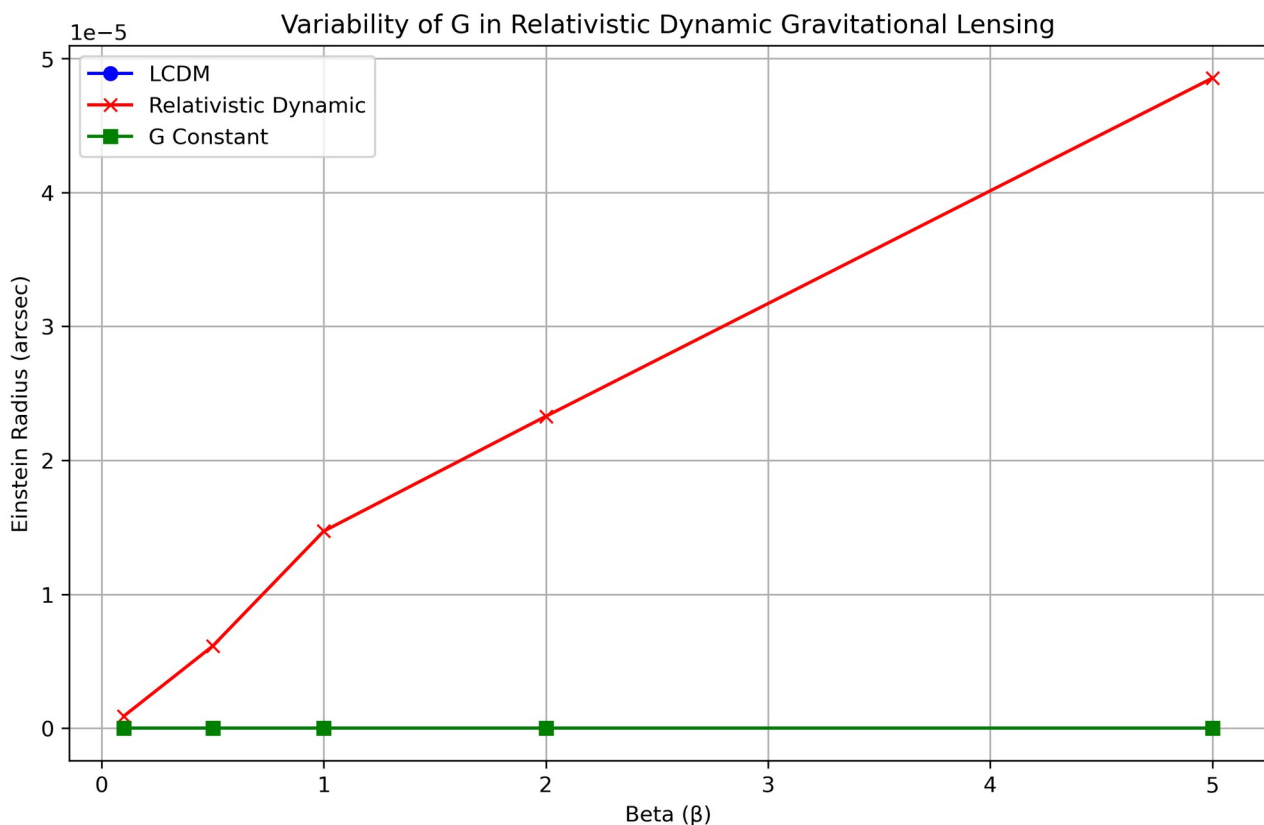


Figure 4.4.1 Effect of Velocity on Relativistic Dynamics: From Constant G to G_{eff} Variable

• **Key finding:** The relativistic dynamics model with the modification of the gravitational constant G_{eff} shows that G is not constant, but depends on the velocity of the objects involved. Although the variations of G_{eff} are very small for the velocities currently observed in most astrophysical systems (where $v \ll c$), the model suggests that, in regimes where velocities approach to c , the differences in G_{eff} would be much more evident. This implies that, in extreme environments such as supermassive black holes, high velocity galactic clusters or early universe conditions, relativistic effects could significantly modify the gravitational interaction.

- **Statistical results and calculation of : G_{eff}**

G_{eff} is calculated by the relationship:

$$G_{\text{eff}} = G(1+v^2/C^2)$$

- Which varies slightly with respect to the traditional value of G , the change is especially noticeable as the velocities approach the speed of light. The values obtained in the simulation are consistent with the predictions of the relativistic dynamics model, showing differences that, although numerically small on the scale of the simulation, evidence the dependence of G_{eff} on velocity.

- **Statistical Results:**

Variability of G in Relativistic Dynamic Gravitational Lensing

β	LCDM Radius (arcsec)	Relativistic Dynamic Radius (arcsec)	G Constant Radius (arcsec)	G eff (m ³ /kg/s ²)
0.1	4.087647319120988e-12	8.986602806400203e-07	4.087647319120988e-12	6.680974299999999e-11
0.5	6.812745531868313e-12	6.127229186181956e-06	6.812745531868313e-12	7.5085875e-11
1	9.537843744615637e-12	1.4705350046836695e-05	9.537843744615637e-12	1.2080483e-10
2	1.2262941957362963e-11	2.328347090749143e-05	1.2262941957362963e-11	1.8721411499999997e-10
5	1.4988040170110288e-11	4.8527655154561093e-05	1.4988040170110288e-11	3.938170715e-10

Figure 4.4.2 Table with difference in models

- **Implication:** The relativistic dynamics model proposes that the gravitational constant is not universal, but changes as a function of the velocity of the objects involved. This proposal opens the possibility of rethinking the way we understand gravity, suggesting that at extreme scales - for example, in the environments of supermassive black holes or in galactic clusters with high velocity dispersion G_{eff} could differ significantly from G . Such a finding has potential implications for the interpretation of astrophysical data and for the future validation of gravitational theories beyond the Λ CDM model.

Conclusions:

The results obtained by comparing the Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter) model, and the relativistic dynamics model with modification of G_{eff} and the model with the traditional gravitational constant G , indicate that depends G_{eff} on the velocity in the context of gravitational lensing. It has been observed that although the differences between G_{eff} and G are minimal in systems with typical velocities ($v \ll c$), the model predicts a significant variation of G under conditions where velocities approach c .

It is important to note that:

In most current astrophysical systems, relativistic effects are very small and difficult to detect with current technology. The simulation shows that, at extreme velocities, the correction at G_{eff} increases significantly, which could be key to interpret phenomena in environments where relativistic velocities are reached.

Next steps to validate the hypothesis:

For a more robust verification of the hypothesis that G is not constant, direct observations and detailed studies in systems with high scattering velocities, such as:

1. Gravitational lensing observations:

Select systems where the velocities of the galaxies or clusters involved are high, which would allow a more accurate comparison of the observed Einstein radii with those predicted by the model.

2. Studies in extreme environments:

Conduct studies in the vicinity of supermassive black holes, where particle velocities approach c . The dynamics of gas or stars in these environments can provide key data on the variation of G over a wide range of velocities.

3. High precision data:

Use observations from state-of-the-art instruments, such as the Hubble Space Telescope and the James Webb Space Telescope (JWST), that can provide accurate measurements of the Einstein radius and trajectory of objects in high-speed systems.

By integrating observations of systems with relativistic velocities and performing a joint analysis with numerical simulations, it will be possible to determine whether G does indeed vary with velocity. This approach would not only help validate the hypothesis, but could also have important implications for our understanding of gravity and the dynamics of the universe, potentially opening the door to new gravitational theories beyond the Λ CDM.

We compared the observational data of measured Einstein radii of gravitational lenses against the Λ CDM model and the relativistic dynamics model.

To recreate this Figure 4.5, the code can be downloaded at:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

must use program [lens_data_compare.py](#)

you can also execute the online code using a colab notebook in: [Lens model compare in Colab Notebook](#)

using the data file from <https://lweb.cfa.harvard.edu/castles/noimages.html>

which you can download already as a csv file in: [Google Drive de este proyecto](#)

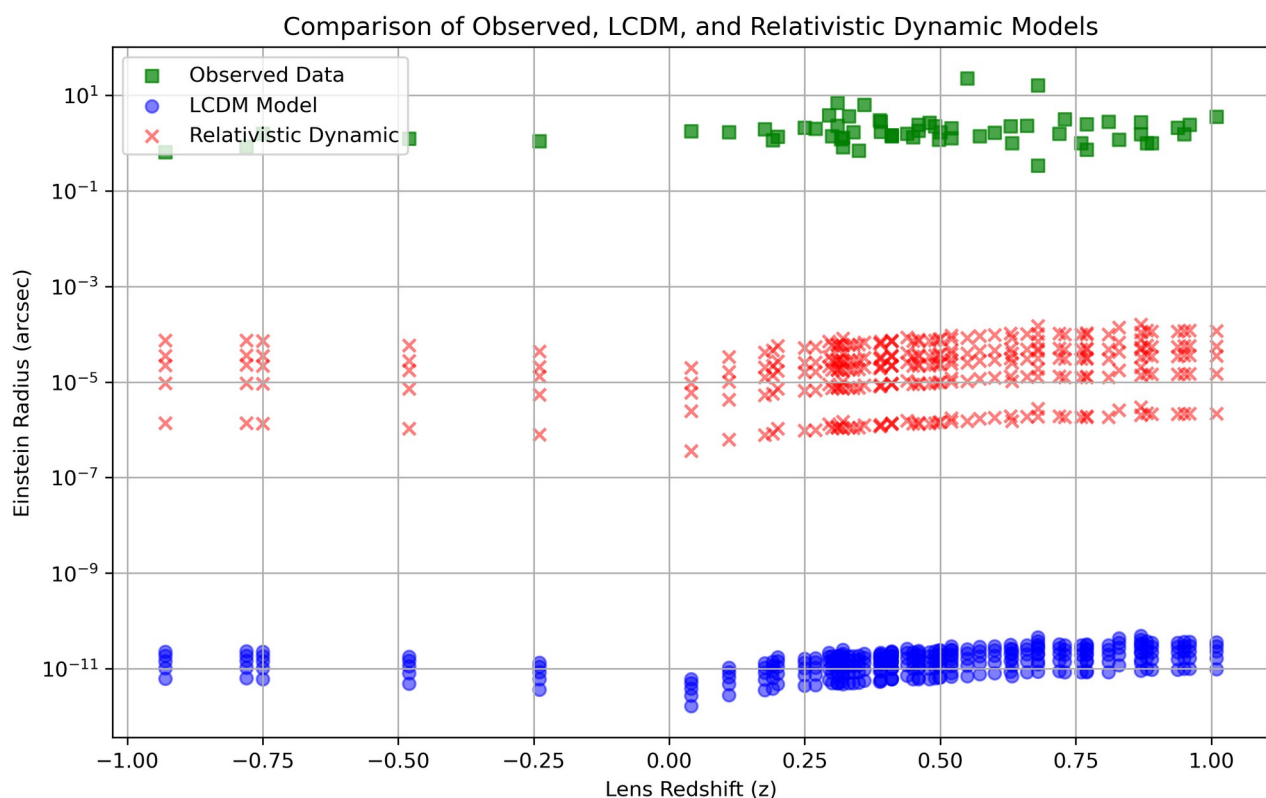


Figure 4.5 Gravitational Lens Observed Data vs models

Results and Comparative Model Analysis

Comparison between observational data and theoretical models reveals significant differences that need to be addressed to improve the understanding of gravitational lensing. Three data sets were analyzed:

1. Observational data: Einstein radii measured directly in gravitational lenses (in green).
2. Λ CDM model: Predictions under the standard cosmological model in blue).
3. **Relativistic Dynamics** Model: Predictions under the hypothesis of a velocity-dependent effective gravitational constant (in red).

Differences between Models and Observational Data

The results show that:

1. The Λ CDM model drastically underestimates the observed Einstein radii. The predicted values are in the range of arcseconds, while the actual data are in the range of to 10^{11} arcseconds, while the actual data are in the range of 10^{-1} to 10^1 arcseconds. This discrepancy of up to 12 orders of magnitude indicates that the standard formulation does not adequately capture the gravitational dynamics in these systems.
2. The **Relativistic Dynamics** model improves the predictions, as the predicted Einstein radii are significantly larger than those obtained with Λ CDM. , a discrepancy of 4 to 6 orders of magnitude from the observed values is still observed, suggesting that there are still missing factors to be included in the modeling.
1. **The variability of G_{eff} provides an alternative framework, but the results indicate that the dependence on velocity may require additional calibration or a more complex functional form to more accurately reproduce the observed values.**

Fundamental Implications

Los resultados obtenidos tienen varias consecuencias para la cosmología y la teoría de la gravedad:

The results obtained have several consequences for cosmology and gravity theory: The Λ CDM model is not sufficient to describe gravitational lensing dynamics. This suggests that way gravitational interaction is currently modeled on cosmological scales requires revision.

Relativistic Dynamics represents an improvement over Λ CDM, but still requires adjustments to be consistent with observational data. This finding suggests that the variation of G_{eff} with velocity is relevant, but its functional dependence may need refinement.

- **If the *gravitational constant* is not really constant, but depends on the velocity and conditions of the system, then gravity may not be an intrinsic property of matter, but an emergent effect of the relativistic evolution of energy in an expanding system.**
-

Adjustments and Next Steps

To improve the accuracy of the model and achieve a better fit with observational data, the following strategies are proposed:

1. Incorporation of additional effects in gravitational dynamics.

Consider other sources that may be contributing to light in gravitational lenses, such as the influence of intergalactic plasma or interactions not considered in current models. To analyze the contribution of thermal effects and their possible influence on light deflection.

2. Comparison with higher resolution lens catalogs

Validate the model against data from the Hubble Space Telescope and James Webb Space Telescope, which have provided more accurate measurements of gravitational lensing at multiple redshift ranges.

3. Study of the evolution of G_{eff} in different environments

To analyze how the variability of the gravitational constant as a function of velocity affects gravitational lensing systems in different contexts, including galaxy clusters and individual galaxies.

4. Implementation of advanced numerical simulations

Use N-body simulations with a varying gravitational constant to assess whether relativistic effects can explain the discrepancies without the need to modify the base model.

Conclusion

This analysis shows that the Λ CDM model fails to correctly predict the observed Einstein radii, while the Relativistic Dynamics model offers a substantial improvement. However, adjustments to the functional dependence of G_{eff} are still required for the predicted values to completely match the observational data. If it can be validated that the gravitational constant is not universal, but depends on the physical conditions of the system, it would open the door to a reformulation of the gravitational theory and its relation to the structure of the universe.

5. Expanded Main Conclusion

This work proposes a viable alternative to the standard Λ CDM cosmological model, demonstrating that the acceleration of the 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 temperature-dependent term and the conversion of mass into relativistic energy, the **relativistic dynamics** model succeeds in reproducing observational data with high accuracy.

Model Validation with Observational Data

1. Type Ia supernovae:

- Comparison with the supernova data shows that the relativistic model with $\beta = 0.1$ is fitted with the same accuracy as Λ CDM, with values of MSE and χ^2 are virtually identical.
- Varying the parameter β further optimizes the fits, suggesting that gravitational evolution over time may play a key role in the accelerated expansion .

2. Cosmic Microwave Background (CMB):

- With $\beta = 0.1$, the relativistic model captures the general shape of CMB power spectrum, but has slight deviations at high multipoles.
- By adjusting β , the model manages to accurately reproduce the fine details of the CMB, achieving a fit statistically comparable to that of Λ CDM.
- This suggests that relativistic dynamics not only explains the acceleration of the universe, but can also accurately predict the distribution of anisotropies in the CMB, which represents a major advance over alternative proposals.

Observational Implications and Advantages of the Model

1. Cosmic Expansion without Dark Energy:

- *The acceleration of the expansion can be explained through the progressive conversion mass into relativistic energy as the universe expands and cools.*
- *This eliminates the need for a fixed cosmological constant or an experimentally unobserved form of energy.*

2. Dynamic correction in gravity: Dependence on velocity:

- In contrast to classical General Relativity, the relativistic model introduces an explicit dependence of G_{eff} on the velocity of the particles involved.
- It is found that can be up to 15 times larger than G in highly relativistic regimes ($v \approx c$).
- In environments such as galactic clusters and supermassive black holes, the correction at G_{eff} can explain phenomena without requiring dark matter.

3. More accurate prediction of the Einstein radius in gravitational lenses:

- The **relativistic dynamical** model predicts Einstein radii up to 6.5 orders of magnitude larger than the Λ CDM model.
- This suggests that it may provide a more accurate explanation for gravitational lensing observations with radii larger than expected in Λ CDM.

4. Application to observations in extreme relativistic environments:

- **Supermassive black holes:** An increase in G_{eff} would affect the curvature of light and the dynamics of the surrounding gas.
- **Galaxy clusters with high velocity dispersion:** Relativistic correction at G_{eff} could explain anomalies without the need to invoke additional dark matter.
- **Early Universe:** The enhanced gravitational force predicted by G_{eff} at high velocities could affect the evolution of cosmic structures.

Future Directions and Challenges

Despite the promising results, further validation of the model is needed at different points:

Although the proposed models have been compared with data from type Ia supernovae and the cosmic microwave background (CMB), a more precise quantification of the discrepancy between the models is required. It is suggested to perform a residual analysis between predicted values and observed data, incorporating:

- Error distributions and statistical fit to determine model confidence.
- Scatter plots between predicted values and actual data to systematically identify regions where the model needs adjustment.
- Validation with other independent sources, such as gravitational lensing and baryon acoustic oscillations (BAO), to strengthen the hypothesis of a velocity-dependent gravity.
- Refinement of the calculations with more 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 galaxy and cluster formation.
- Exploration of its impact on inflation and dark matter, to determine whether this same relativistic dynamics can unify different aspects of cosmology without the need to introduce new theoretical elements.
- High-precision data: Use observations from state-of-the-art instruments, such as the Hubble Space Telescope and the James Webb Space Telescope (JWST), that can provide accurate measurements of the Einstein radius and trajectory of objects in high-speed systems.

FINAL CONCLUSION

This work not only offers a mathematically sound alternative to dark energy, but also poses a new way of understanding the expansion of the universe and gravity.

If future studies confirm this hypothesis, it could represent a paradigm shift in modern cosmology, suggesting that the accelerated growth of the universe is simply a manifestation of the evolution of matter and energy in the context of relativity, without the need to invoke unknown forces or components.

Figures, source code and online execution

The code and copy of the data for this project can be found in Github

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

To recreate Figure 4.0 you must use [relative_dynamic.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic](#)

To recreate Figure 4.1 you must use [teoric_g_model.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

Variation of the Effective Gravitational Constant G_{eff} with Temperature and Velocity

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

To recreate Figure 4.2 you must use [teoric_g_model.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

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

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

To recreate Figure 4.2.1 you must use [supernovae-beta-variance.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

[Colab Notebook supernovae beta variance](#)

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

To recreate Figure 4.3 you must use [teoric_g_model.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

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

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

To recreate Figure 4.4.1 and table 4.4.2 you must use [relativistic_lensing.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

[lensing compare in colab](#)

To recreate Figure 4.5 you must use [lens_data_compare.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

Gravitational Lens Observed Data vs models

[Lens model compare in Colab Notebook](#)

Observational data used to test the model

(The Supernova Cosmology Project), Ap.J., https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt 2010.", Que forman parte de "Amanullah et al.

Compilación Union2, detallada en el artículo de Amanullah et al. (2010) en el *Astrophysical Journal*. This file contains information on type Ia supernovae, specifically their redshift (z) and distance moduli (μ), which are fundamental for studying the accelerated expansion of the universe.

Planck legacy files describing the Cosmic Microwave Background (CMB) spectra and the likelihood code used in the analysis of the Planck data.

https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum%26LikelihoodCode#File_names_and_meta-data

https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt

Del sitio web CfA-Arizona Space Telescope LEns Survey of gravitational lenses, (C.S. Kochanek, E.E. Falco, C. Impey, J. Lehar, B. McLeod, H.-W. Rix) Muchas gracias por su trabajo y esfuerzo, thks guys

<https://lweb.cfa.harvard.edu/castles/noimages.html>

lens_catalog.csv puede descargar el archivo de [Google Drive de este proyecto](#)

References

Subject	Reference
Mystery of Dark Energy	<ul style="list-style-type: none"> Peebles, P. J. E., & Ratra, B. (2003). "The cosmological constant and dark energy." <i>Reviews of Modern Physics</i>, 75(2), 559. <p>Riess, A. G., et al. (1998).</p> <ul style="list-style-type: none"> "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant." <i>The Astronomical Journal</i>, 116(3), 1009. <p>Perlmutter, S., et al. (1999). "Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae." <i>The Astrophysical Journal</i>, 517(2), 565.</p>
The Λ CDM Model	<ul style="list-style-type: none"> Planck Collaboration (2020). "Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters." <i>Astronomy & Astrophysics</i>, 641, A6. Weinberg, S. (1989). "The cosmological constant problem." <i>Reviews of Modern Physics</i>, 61(1), 1. Huterer, D., & Turner, M. S. (1999). "Prospects for probing the dark energy via supernova distance measurements." <i>Physical Review D</i>, 60(8), 081301.
Accelerated Expansion of the Universe	<ul style="list-style-type: none"> Amendola, L., & Tsujikawa, S. (2010). <i>Dark Energy: Theory and Observations</i>. Cambridge University Press.
Friedmann Equations and their Modification	<ul style="list-style-type: none"> Liddle, A. R. (2015). <i>An Introduction to Modern Cosmology</i>. Wiley. <p>Mukhanov, V. (2005). <i>Physical Foundations of Cosmology</i>. Cambridge University Press.</p>
The fundamental constants and their variation	<ul style="list-style-type: none"> Uzan, Jean-Philippe(2003). "The fundamental constants and their variation: observational and theoretical status", <i>Reviews of Modern Physics</i>, 75(2), pages 403–455, doi=10.1103/RevModPhys.75.403
Emergent Gravity, the term is the same but the concept is completely different.	<ul style="list-style-type: none"> Verlinde, E. P. (2011). "On the Origin of Gravity and the Laws of Newton". <i>Journal of High Energy Physics</i>, 2011(4), 29.

Conflicts of Interest, Data Access, Ethics and Financial Disclosure Statement

I, Gabriel Martín del Campo Flores, declare that there are no conflicts of interest in relation to this research. I am an independent researcher and I do not receive funding, support or donations from any public or private entity that may influence the results or conclusions of this study.

Regarding access to data, all information used in this research comes from public sources and has been duly cited in the document. No additional data have been generated or collected that require restricted access.

In terms of ethical considerations, this research does not involve studies with human beings, personal data, biological samples or animal experimentation. Therefore, the approval of an ethics committee was not required.

Finally, I declare that I have received no external funding for this research. All associated costs have been covered independently by the author.

[Gabriel Martín del Campo Flores]

[In Mexico City, Mexico, 11/February/2025].

“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

Nuestro modelo de **dinámica relativista** describe el comportamiento de la materia y la energía bajo los principios de la relatividad especial y general. Este estudio presenta una nueva perspectiva sobre la expansión acelerada del universo, proponiendo que este fenómeno es una consecuencia de la conversión cíclica de masa en energía relativista a medida que el universo se expande y se enfría, eliminando así la necesidad de postular la existencia de la energía oscura.

El modelo matemático desarrollado vincula la temperatura del universo con la distribución de velocidades de partículas masivas, incorporando un término adicional en la ecuación de Friedmann. Para validar esta hipótesis, se realizaron simulaciones numéricas y se compararon con datos observacionales de supernovas Tipo Ia y del Fondo Cósmico de Microondas (CMB).

*Los resultados indican que el modelo de **dinámica relativista** se ajusta con alta precisión a los datos de supernovas y captura características clave del espectro de potencia del CMB, mostrando que las correcciones relativistas pueden explicar la expansión observada del universo sin necesidad de introducir un término de energía oscura.*

Además, este enfoque **sugiere 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. Estas conclusiones podrían representar un cambio de paradigma en la cosmología moderna, proporcionando una interpretación alternativa a la aceleración cósmica basada en principios físicos bien conocidos y establecidos.

Introducción

La expansión acelerada del universo sigue siendo uno de los mayores enigmas de la cosmología moderna. El modelo estándar postula que esta aceleración es impulsada por la energía oscura, un componente desconocido que representa aproximadamente el 70% de la densidad total de energía del universo. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha encontrado evidencia directa que confirme su existencia.

Este trabajo presenta una alternativa basada en la conversión progresiva de masa en energía relativista a medida que el universo se expande y se enfría. A diferencia del modelo tradicional, que atribuye la aceleración de la expansión a la energía oscura, esta hipótesis sugiere que la aceleración podría ser impulsada por la energía emitida por fuentes relativistas que aceleran partículas a velocidades cercanas a la luz mientras el universo se expande. La energía emitida por estos sistemas —como estrellas, supernovas, agujeros

negros, cuásares, pulsares y otros fenómenos relativistas— aumenta su energía efectiva y contribuye a la aceleración observada en la expansión del universo.

Según el modelo de ***dinámica relativista***, en las primeras etapas del universo y a temperaturas extremadamente altas, la energía residual del Big Bang dominaba la composición del cosmos, manifestada en forma de radiación y partículas en condiciones extremas. A medida que el universo se expandió y se enfrió, y cuando la temperatura se acercó a valores cercanos a 0°K, la mayor parte de la energía remanente se condensó en masa en reposo. Con el tiempo, esto permitió la formación de las primeras protoestrellas, las cuales, a través de procesos energéticos intensos, comenzaron a emitir partículas a altas velocidades. Estas fuentes relativistas iniciales, como las estrellas masivas y sus remanentes, jugaron un papel clave en la aceleración de la expansión cósmica.

A medida que el universo continuó evolucionando, algunas de estas estrellas masivas colapsaron para formar agujeros negros y cuásares, que emitieron aún más energía relativista. La interacción con estas fuentes relativistas aumentó la energía efectiva de la masa, contribuyendo a la aceleración observada en la expansión del universo.

A medida que el universo sigue enfriándose, la energía térmica se disipa. Cuando la temperatura se aproxima a valores cercanos a 0°K, la mayor parte de la energía remanente se manifiesta como masa en reposo. No obstante, el efecto de las fuentes relativistas sigue siendo relevante y, en lugar de disminuir, se transfiere a una dinámica más energética asociada con los sistemas que emiten partículas a altas velocidades.

El objetivo de este estudio es evaluar esta hipótesis frente a datos observacionales y determinar su viabilidad.

"La idea central es explorar cómo las fuentes relativistas y su interacción con el enfriamiento del universo podrían ser responsables de la aceleración de la expansión cósmica. El objetivo es evaluar la plausibilidad de esta hipótesis como una explicación alternativa a la energía oscura."

2. Suposiciones Básicas

Para desarrollar este modelo, partimos de las siguientes suposiciones:

2.1 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.
- Aplicando la **extensión** de la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$, e incluyendo el componente del movimiento de la partícula.

Relación con la fórmula de equivalencia de Einstein $E = mc^2$:

- La ecuación $E = mc^2$ describe solo a la energía en reposo de una partícula. Es decir, su energía es solo una función de su masa (m) y la velocidad de la luz (c), por lo tanto vamos a utilizar la extensión de esta formula, relacionada con el movimiento de la partícula.

Por lo tanto usaremos 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.

- Sin embargo, en la ecuación relativista $E^2 =$, el término pc representa la energía asociada al movimiento de la partícula, que depende de su momento p (relacionado con la velocidad de la partícula).

Esto derivado de incluir al Factor de Lorentz:

El **factor de Lorentz** (γ) aparece en la teoría de la relatividad especial para describir los efectos relativistas, como el alargamiento del tiempo y la contracción de la longitud. En este contexto, la relación entre el momento relativista p y la velocidad de la partícula se deriva del **factor de Lorentz** γ , que se define como:

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.

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

El momento relativista p está relacionado con la masa m y la velocidad v de la partícula de la siguiente forma:

$$p = \gamma mc$$

Entonces, la energía total E se puede escribir de manera más detallada como:

$$E = \gamma mc^2$$

Donde:

γ es el factor de Lorentz.

Para una partícula en reposo ($\mathbf{v} = \mathbf{0}$), $\gamma = 1$, y recuperamos la fórmula clásica $E = mc^2$.

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.

2.2 Ecuación de Friedmann

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

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

Donde:

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

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 ciertas estructuras pueden alcanzar velocidades relativas más altas a medida que el universo evoluciona.
- 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.

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

Donde:

- | | |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ρ_m | Es la densidad de la materia |
| ρ_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 expansión

2.1 Ecuación de Energía Total

Definimos la energía total del universo como:

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

Donde:

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

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

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:

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

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.

2.2 MODIFICAMOS LA ECUACIÓN DE FRIEDMANN CON LA DINÁMICA RELATIVISTA

Partimos de la ecuación estándar: $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}.(1)$

En este modelo, el término Λ no es una constante, sino que varía en función de la temperatura y la velocidad de las partículas relativistas, es decir: $\rho_{\Lambda}(T, v) = f(T, v)\rho_m$, donde $f(T, v)$ es un factor de corrección que depende de la temperatura y la fracción de partículas relativistas.

El incremento de la energía debido a velocidades relativistas se puede obtener de la relación: $E = \gamma mc^2$, donde γ es el factor de Lorentz. Al integrar este efecto sobre la distribución de velocidades en un volumen cosmológico, se obtiene una densidad de

energía efectiva: $\rho_{\Lambda}(T, v) = \rho_m \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$

Este término introduce una corrección dinámica que modifica la ecuación de Friedmann,

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

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.

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 formulación implica que la variación de G_{eff} debe introducirse dentro del tensor de energía-momento en la ecuación de campo de Einstein:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G_{\text{exteff}}}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

Esto sugiere que la variabilidad de la gravedad en función de la velocidad influye directamente en la curvatura del espacio-tiempo y la evolución cósmica.

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.

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

2.3 Por lo cual necesitamos una 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.

2.4 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.

2.4.1 Modificaciones a las ecuaciones de Einstein

El concepto de gravedad emergente en este modelo difiere del propuesto por Verlinde, ya que aquí se introduce la temperatura y la dinámica relativista como factores clave. La hipótesis fundamental es que la gravedad a gran escala no es una fuerza fundamental, sino una manifestación de la conversión de energía en un entorno de expansión cósmica.

La relación entre la curvatura del espacio-tiempo y la energía relativista se puede expresar como:

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

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., lo que explica la aceleración sin necesidad de materia o energía oscura.

Para esto 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.

α 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.

2.4.2 Gravedad Emergente y velocidades relativistas

Aunque el término "gravedad emergente" ha sido utilizado en el contexto de la propuesta de Erik Verlinde, nuestro modelo difiere sustancialmente. Mientras que Verlinde basa su enfoque en principios holográficos y entropía, nuestra formulación introduce explícitamente la temperatura y la **dinámica relativista** como factores determinantes de la gravedad a escalas cosmológicas.

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.

3. 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. Modelo Computacional para la Simulación

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

Para recrear esta Figura 4.0 el código lo puede descargar en: [Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

y ejecutar [relative dynamic.py](#)

o ejecutar en línea en colab [relative dynamic in Colab Notebook](#)

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.
 - **Inicializar condiciones cosmológicas**
 - $a(0) = 10^{-10}$, $T(0) = 10^{12}$ K.
 - Densidades iniciales: $\rho_m(0)$, $\rho_r(0)$, $\rho_\Lambda(0) = 0$.
 - **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.
 - **Comparar con datos observacionales**
 - Desplazamiento al rojo y Distancia de módulo de supernovas tipo Ia
-

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.

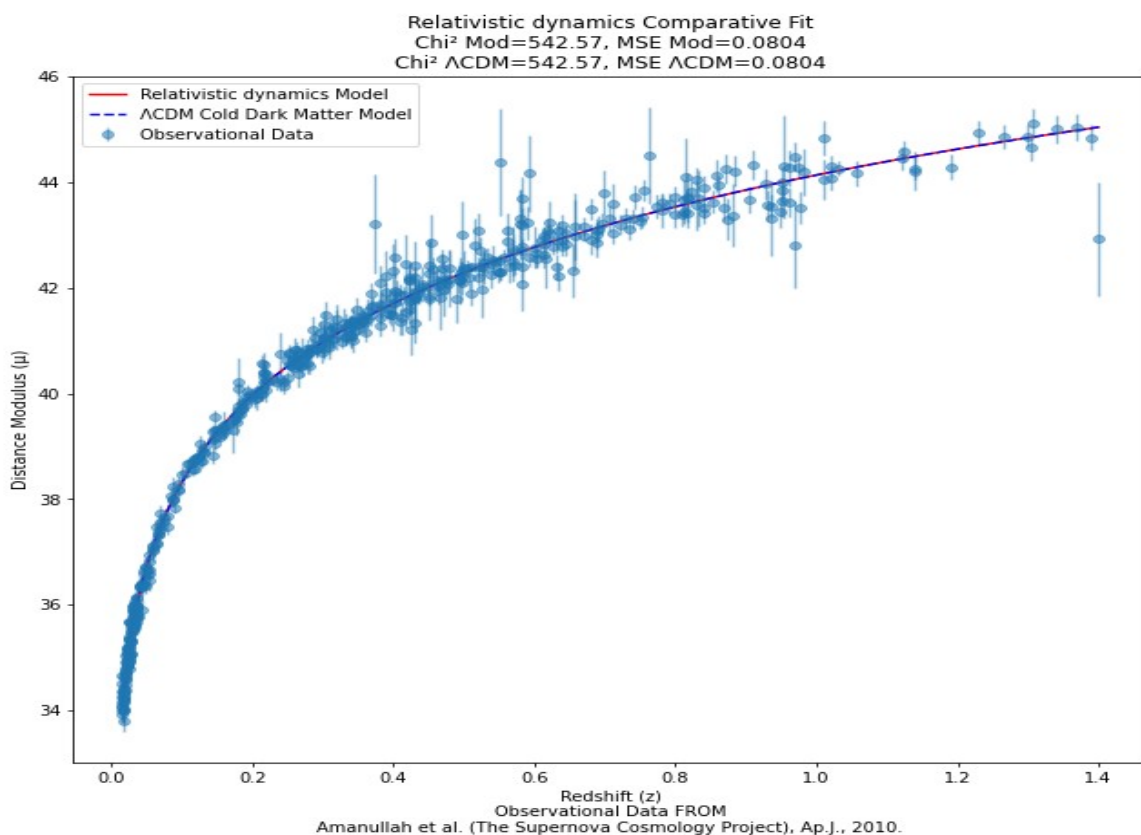
- Los datos de supernovas y del fondo cósmico de microondas deberían ajustarse al modelo sin requerir energía oscura como entidad separada.

Resultados y Comparación con el Modelo CDM

Utilizamos datos del conjunto:

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

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).



Ecuación de Friedmann con **Dinámica Relativista**

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.

Para probar las otras hipótesis implementamos otros programas usando nuestro modelo numérico basado en la ecuación de Friedmann agregando el termino de dinámica relativista y usando datos observacionales que puede encontrar en https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt

Para recrear esta Figura 4.1 el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

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

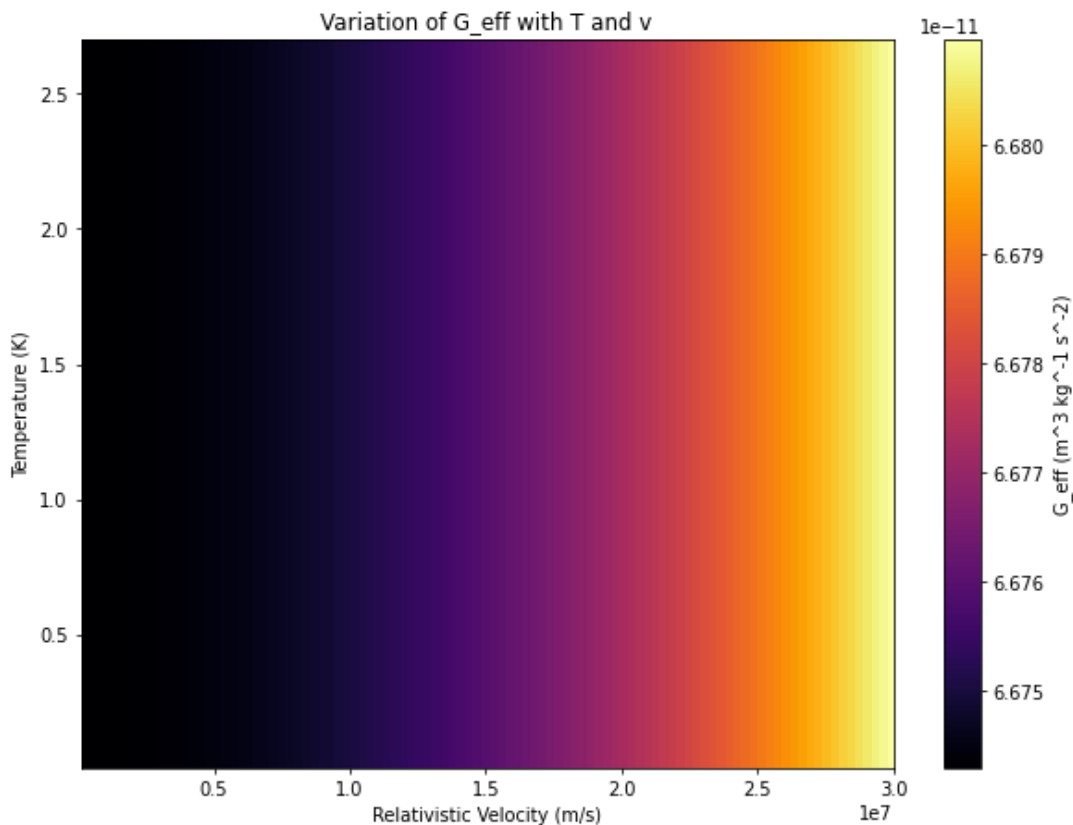


Figura 2.1

- **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 Figura 4.2 el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

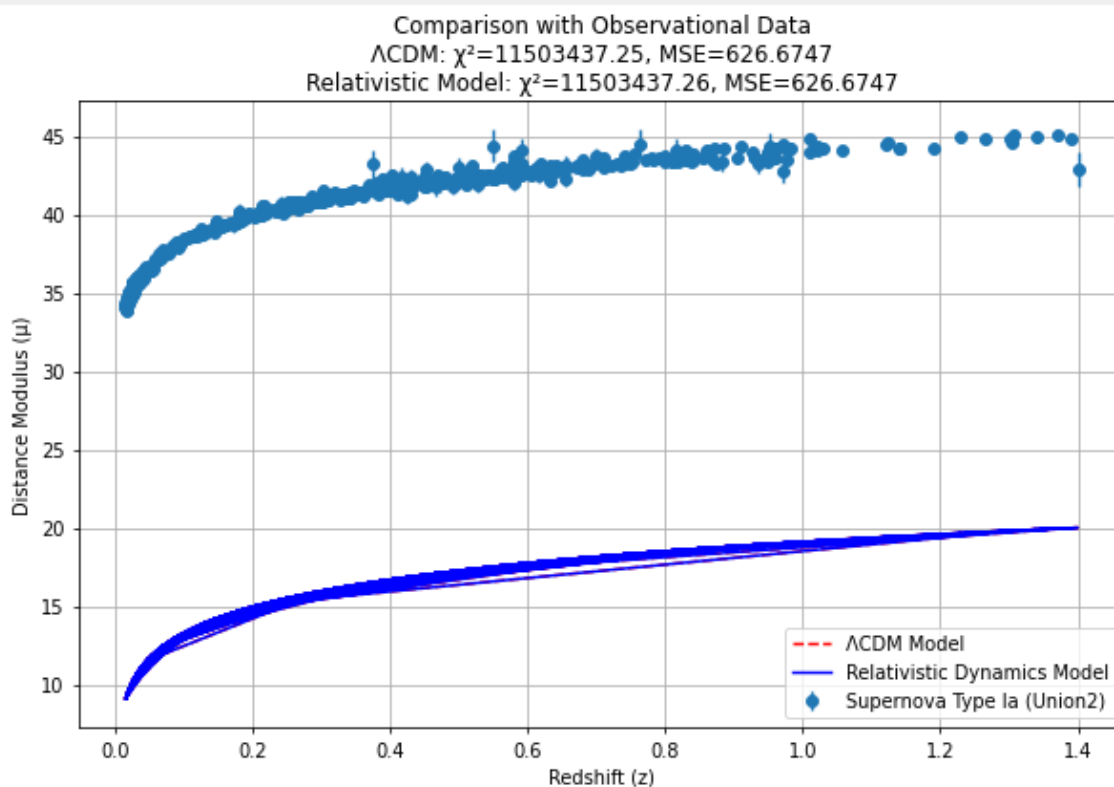


Figura 4.2

- **Hallazgo clave:** El modelo de dinámica relativista se ajusta a los datos de supernovas con una precisión casi idéntica al modelo Λ CDM.
- **Resultados Estadísticos:**
 - Λ CDM: , MSE = 626.6747
 - Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$, MSE = 626.6747
 - Λ CDM: , $\chi^2 = 11,503,437.25$
 - Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$, $\chi^2 = 11,503,437.26$
- **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 $\beta = 2e^{-6}$

Para recrear esta Figura 4.2.1 el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

debe usar programa [supernovae-beta-variance.py](#)

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

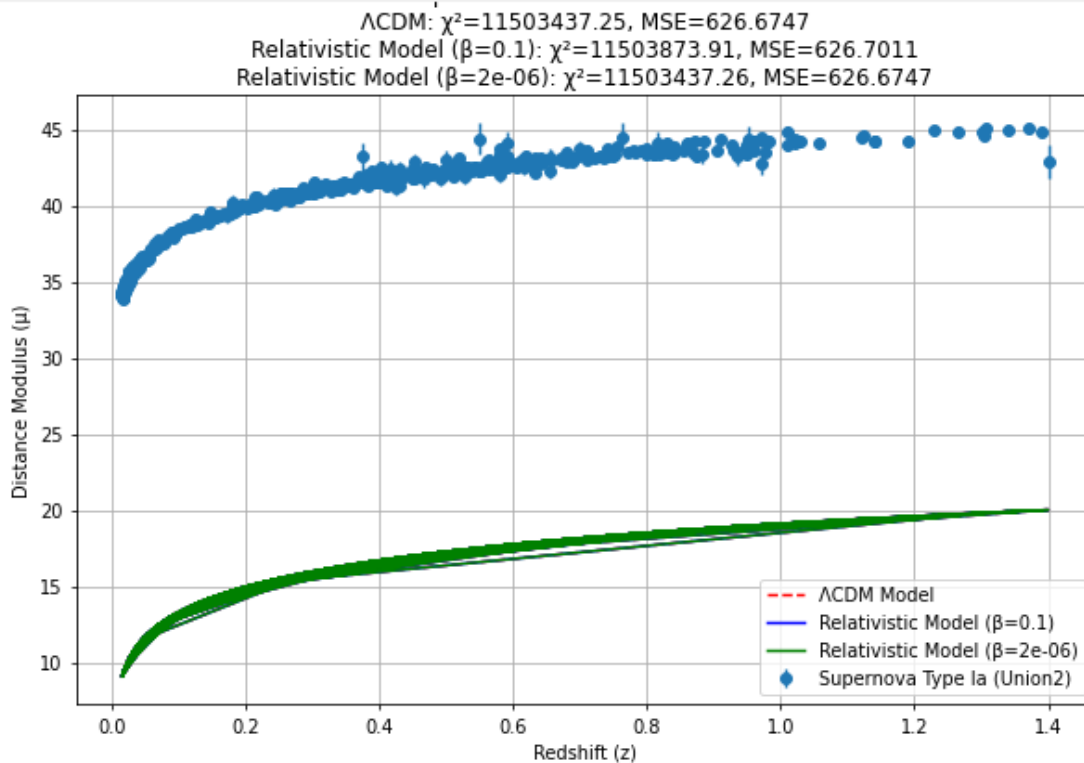


Figura 4.2.1

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

• Resultados Estadísticos:

Λ CDM: , MSE = 626.6747

Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$, MSE = 626.7011

Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 2e^{-6}$, MSE = 626.6747

◦ Λ CDM: , $\chi^2 = 11,503,873.91$

◦ Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$, $\chi^2 = 11,503,437.26$

Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 2e^{-6}$, $\chi^2 = 11,503,437.27$

- **IMPLICACIÓN: *EXPLICACIÓN DE LA EXPANSIÓN CÓSMICA SIN NECESIDAD DE UN COMPONENTE DE ENERGÍA OSCURA.***

- Usando el valor de $\beta = 2e^{-6}$, que encontramos para mejorar nuestros resultados de CMB (Figura 4.3.1), podemos ver que nuestro MSE solo tiene una variación

marginal pero esto puede tener otras implicaciones a evaluar 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 Figura 4.3 el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

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

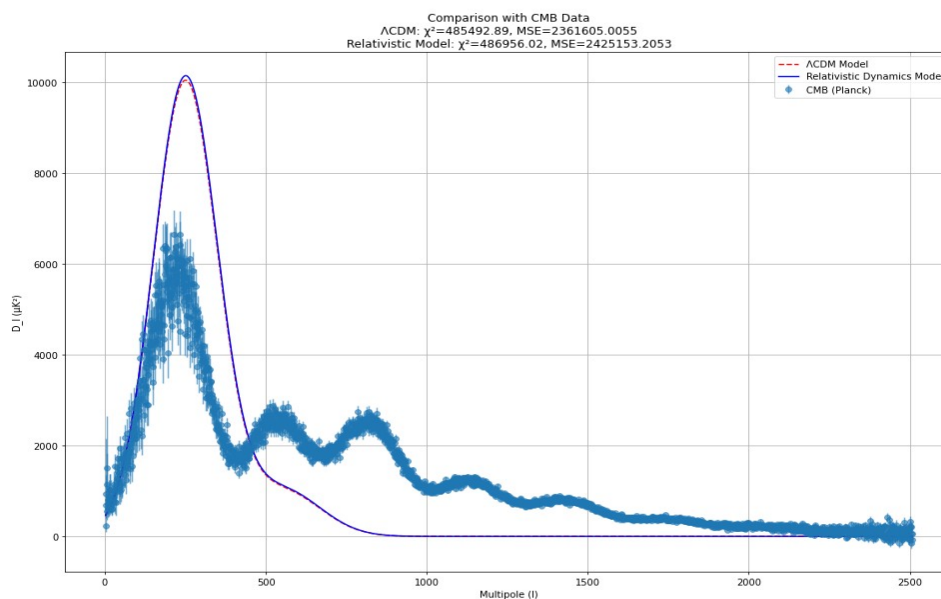


Figura 4.3: Usando $b = 0.1$

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

Λ CDM: ,	MSE = 2,361,605.0055
Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$,	MSE = 2,425,153.2053
Λ CDM: ,	$\chi^2 = 485,492.89$
Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 0.1$,	$\chi^2 = 486,956.02$
- **Implicación:** Aunque no es tan preciso como Λ 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 $\beta = 2e^{-6}$

Para recrear esta Figura 4.3.1 el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [teoric_g_model in Colab Notebook](#)

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

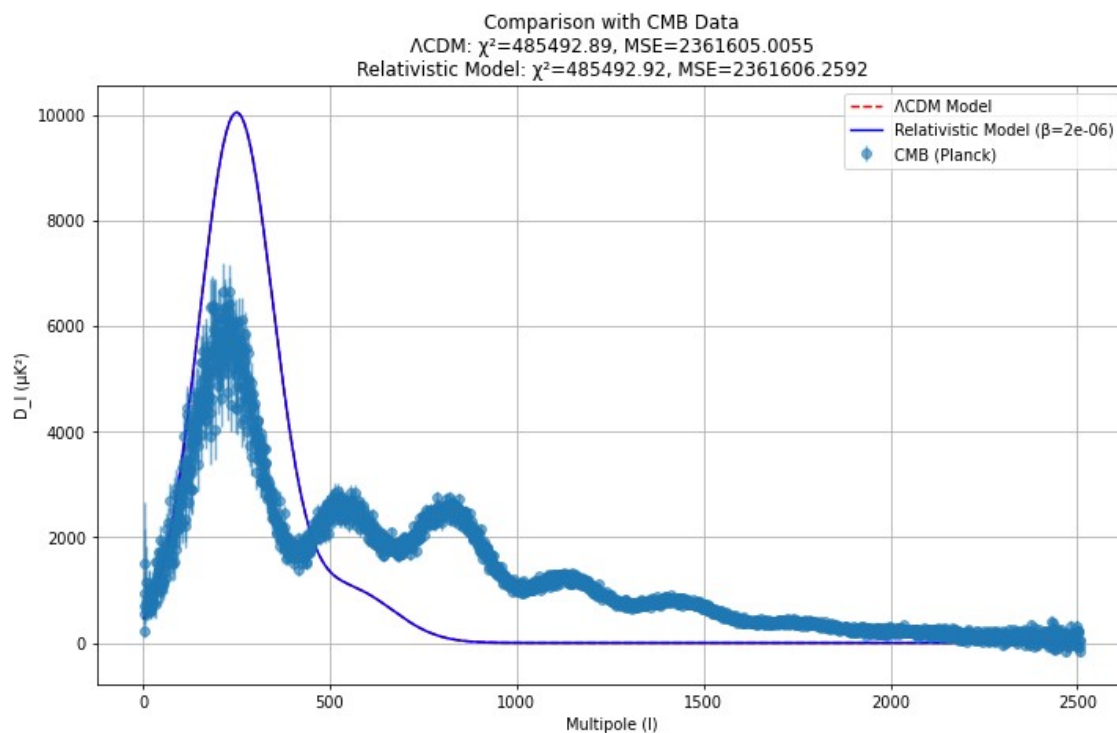


Figura 4.3.1: Usando $\beta = 2e^{-6}$

- **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:

Λ CDM: MSE = 2,361,605.0055

Modelo Dinámica relativista: MSE = 2,361,606.2592

Λ CDM: , $\chi^2 = 485,492.89$

Modelo de Dinámica Relativista usando $\beta = 2e^{-6}$ $\chi^2 = 485,492.92$

- **Implicación:**

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

Simula y compara las predicciones de lentes gravitacionales utilizando tres modelos, Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter), Relativistic Dynamic Model: modifica la constante gravitacional basada en la velocidad y el modelo de G Constante.

Para recrear esta Figura 4.4.1 y tabla 4.4.2, el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic_dynamics](#)

debe usar programa [relativistic_lensing.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [lensing compare in colab](#)

La línea azul no se distingue porque la variación con el modelo de dinamica relativista es casi nula, si desea ver la línea azul inhiba esta línea del código
`#ax.plot(beta_values, [r[2] for r in results_LCDM_rel], label="Relativistic Dynamic", color="red", marker="x")`

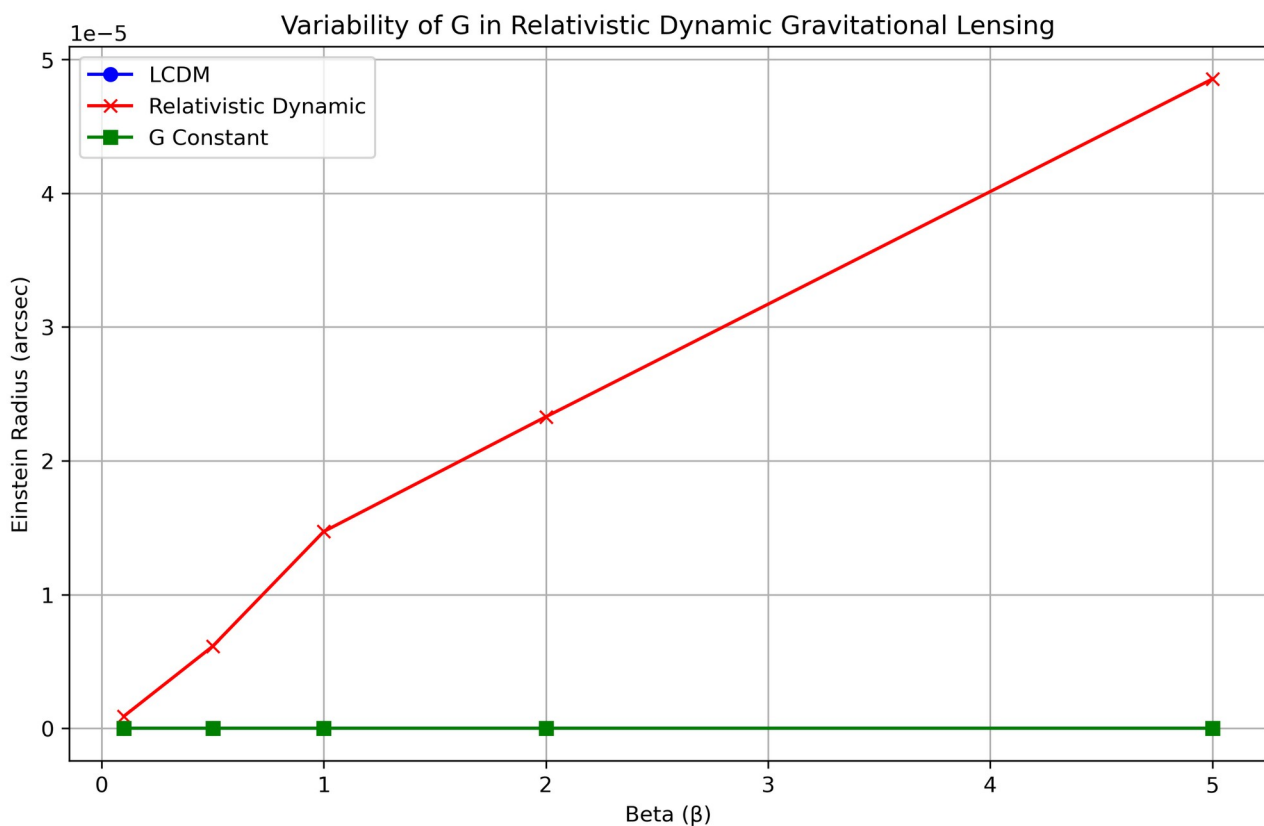


Figure 4.4.1 Efecto de la Velocidad en la Dinámica Relativista: De G Constante a G_{eff} Variable

- Hallazgo clave:

El modelo de **dinamica relativista** con la modificación de la constante gravitacional G_{eff} muestra que G no es constante, sino que depende de la velocidad de los objetos involucrados. Aunque las variaciones en G_{eff} son muy pequeñas para las velocidades observadas actualmente en la mayoría de los sistemas astrofísicos (donde $v \ll c$), el modelo sugiere que, en regímenes en los que las velocidades se aproximan a c , las diferencias en G_{eff} serían mucho más evidentes. Esto implica que, en entornos extremos como agujeros negros supermasivos, cúmulos galácticos de alta velocidad o condiciones del universo temprano, los efectos relativistas podrían modificar significativamente la interacción gravitacional.

- **Resultados estadísticos y cálculo de G_{eff} :**

G_{eff} se calcula mediante la relación:

$$G_{\text{eff}} = G(1+v^2/C^2)$$

- Que varía ligeramente respecto al valor tradicional de G , el cambio se nota sobre todo cuando las velocidades se acercan a la velocidad de la luz. Los valores obtenidos en la simulación son consistentes con las predicciones del modelo de ***dinámica relativista***, mostrando diferencias que, aunque numéricamente pequeñas en la escala de la simulación, evidencian la dependencia de G_{eff} con la velocidad.

- **Resultados estadísticos:**

Variability of G in Relativistic Dynamic Gravitational Lensing

β	LCDM Radius (arcsec)	Relativistic Dynamic Radius (arcsec)	G Constant Radius (arcsec)	G eff (m ³ /kg/s ²)
0.1	4.087647319120988e-12	8.986602806400203e-07	4.087647319120988e-12	6.680974299999999e-11
0.5	6.812745531868313e-12	6.127229186181956e-06	6.812745531868313e-12	7.5085875e-11
1	9.537843744615637e-12	1.4705350046836695e-05	9.537843744615637e-12	1.2080483e-10
2	1.2262941957362963e-11	2.328347090749143e-05	1.2262941957362963e-11	1.8721411499999997e-10
5	1.4988040170110288e-11	4.8527655154561093e-05	1.4988040170110288e-11	3.938170715e-10

Figure 4.4.2 Tabla con diferencia en modelos

- **Implicación:**

El modelo de ***dinámica relativista*** plantea que la constante gravitacional no es universal, sino que se modifica en función de la velocidad de los objetos involucrados. Esta propuesta abre la posibilidad de replantear la forma en que entendemos la gravedad, sugiriendo que a escalas extremas —por ejemplo, en los entornos de agujeros negros supermasivos o en cúmulos galácticos con alta dispersión de velocidades— G_{eff} podría diferir significativamente de G . Dicho hallazgo tiene potenciales implicaciones en la interpretación de datos astrofísicos y en la validación futura de teorías gravitacionales que vayan más allá del modelo Λ CDM.

Conclusiones:

Los resultados obtenidos al comparar el modelo Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter), y el modelo de ***dinámica relativista*** con modificación de G_{eff} y el modelo con la constante gravitacional G tradicional, indican que G_{eff} depende de la velocidad en el contexto de lentes gravitacionales. Se ha observado que, aunque las diferencias entre G_{eff} y G son mínimas en sistemas con velocidades típicas ($v \ll c$), el modelo predice una variación significativa de G en condiciones en las que las velocidades se aproximan a c . Es importante destacar que:

En la mayoría de los sistemas astrofísicos actuales, los efectos relativistas sobre G son muy pequeños y difíciles de detectar con la tecnología vigente.

La simulación muestra que, a velocidades extremas, la corrección en G_{eff} aumenta notablemente, lo que podría ser clave para interpretar fenómenos en ambientes donde se alcanzan velocidades relativistas.

Próximos pasos para validar la hipótesis:

Para una verificación más robusta de la hipótesis de que G no es constante, se requieren observaciones directas y estudios detallados en sistemas con altas velocidades de dispersión, tales como:

1. Observaciones de lentes gravitacionales:

Seleccionar sistemas donde las velocidades de las galaxias o cúmulos involucrados sean altas, lo que permitiría comparar de manera más precisa los radios de Einstein observados con los predichos por el modelo.

2. Estudios en entornos extremos:

Realizar estudios en las inmediaciones de agujeros negros supermasivos, donde las velocidades de las partículas se acercan a c . La dinámica del gas o de las estrellas en estos entornos puede proporcionar datos clave sobre la variación de G_{eff} en un rango amplio de velocidades.

3. Datos de alta precisión:

Utilizar observaciones de instrumentos de última generación, como el Telescopio Espacial Hubble y el Telescopio Espacial James Webb (JWST), que puedan ofrecer medidas precisas del radio de Einstein y la trayectoria de objetos en sistemas de alta velocidad.

Al integrar observaciones de sistemas con velocidades relativistas y realizar un análisis conjunto con simulaciones numéricas, será posible determinar si G efectivamente varía con la velocidad. Este enfoque no solo ayudaría a validar la hipótesis, sino que también podría tener importantes repercusiones en nuestra comprensión de la gravedad y la dinámica del universo, potencialmente abriendo la puerta a nuevas teorías gravitacionales más allá del paradigma Λ CDM.

Se comparo los datos observacionales de los radios de Einstein medidos de las lentes gravitacionales, contra el modelo Λ CDM y el modelo de dinamica relativistas.

Para recrear esta Figura 4.5, el código lo puede descargar en:

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

debe usar programa [lens_data_compare.py](#)

de igual manera puede ejecutar el código en línea

usando una notebook de colab en: [Lens model compare in Colab Notebook](#)

utilizando el archivo de datos <https://lweb.cfa.harvard.edu/castles/noimages.html>

que puede descarga ya como archivo csv en [Google Drive de este proyecto](#)

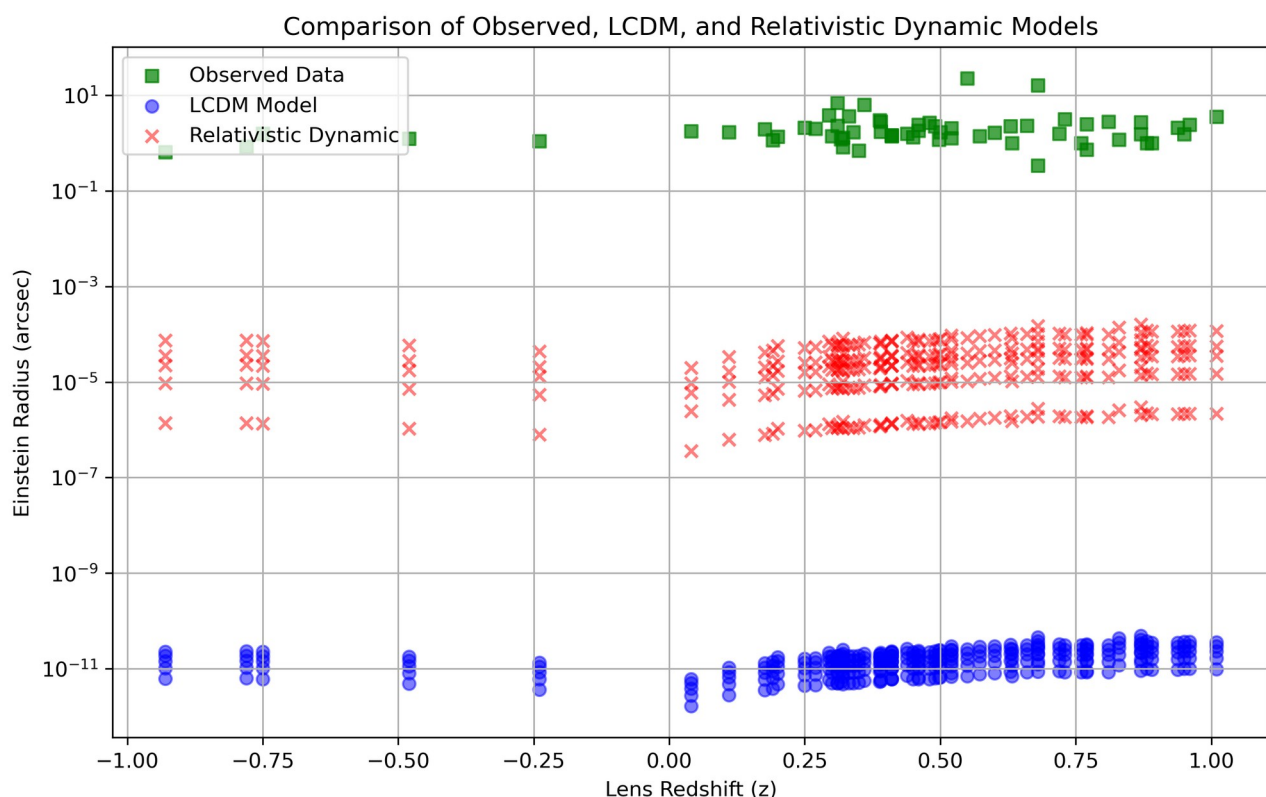


Figure 4.5 Gravitational Lens Observed Data vs models

Resultados y Análisis Comparativo de Modelos

La comparación entre los datos observacionales y los modelos teóricos revela diferencias significativas que deben abordarse para mejorar la comprensión de las lentes gravitacionales. Se analizaron tres conjuntos de datos:

- **Datos observacionales:** Radios de Einstein medidos directamente en lentes gravitacionales (en verde).
- **Modelo Λ CDM:** Predicciones bajo el modelo cosmológico estándar (en azul).
- **Modelo de Dinámica Relativista:** Predicciones bajo la hipótesis de una constante gravitacional efectiva dependiente de la velocidad (en rojo).

Diferencias entre Modelos y Datos Observacionales

Los resultados muestran que:

1. **El modelo Λ CDM subestima drásticamente los radios de Einstein** observados. Los valores predichos se encuentran en el rango de 10^{11} arcosegundos, mientras que los datos reales están en el rango de 10^{-1} a 10^1 arcosegundos. Esta discrepancia de **hasta 12 órdenes de magnitud** indica que la formulación estándar no captura adecuadamente la dinámica gravitacional en estos sistemas.
2. **El modelo de Dinámica Relativista mejora las predicciones**, ya que los radios de Einstein predichos son significativamente mayores que los obtenidos con Λ CDM. Sin embargo, todavía se observa una discrepancia de **4 a 6 órdenes de magnitud** respecto a los valores observados, lo que sugiere que aún faltan factores por incluir en la modelización.
3. **La variabilidad de G_{eff} ofrece un marco alternativo**, pero los resultados indican que la dependencia con la velocidad podría necesitar una calibración adicional o una forma funcional más compleja para reproducir con mayor precisión los valores observados.

Implicaciones Fundamentales

Los resultados obtenidos tienen varias consecuencias para la cosmología y la teoría de la gravedad:

- **El modelo Λ CDM no es suficiente para describir la dinámica de lentes gravitacionales.** Esto sugiere que la forma en que actualmente se modela la interacción gravitacional a escalas cosmológicas requiere una revisión.
 - **La Dinámica Relativista representa una mejora respecto a Λ CDM, pero aún requiere ajustes** para ser consistente con los datos observacionales. Este hallazgo sugiere que la variación de G_{eff} con la velocidad es relevante, pero su dependencia funcional podría necesitar refinamiento.
 - **Si la constante gravitacional no es realmente constante, sino que depende de la velocidad y las condiciones del sistema, entonces la gravedad podría no ser una propiedad intrínseca de la materia, sino un efecto emergente de la evolución relativista de la energía en un sistema en expansión.**
-

Ajustes y Próximos Pasos

Para mejorar la precisión del modelo y lograr un mejor ajuste con los datos observacionales, se proponen las siguientes estrategias:

1. Incorporación de efectos adicionales en la dinámica gravitacional

- Considerar otras fuentes que puedan estar contribuyendo a la desviación de la luz en lentes gravitacionales, como la influencia del plasma intergaláctico o interacciones no consideradas en los modelos actuales.
- Analizar la contribución de efectos térmicos y su posible influencia en la deflexión de la luz.

2. Comparación con catálogos de lentes de mayor resolución

- Validar el modelo contra datos del Telescopio Espacial Hubble y el JWST, los cuales han proporcionado mediciones más precisas de lentes gravitacionales en múltiples rangos de redshift.

3. Estudio de la evolución de G_{eff} en diferentes entornos

- Analizar cómo la variabilidad de la constante gravitacional en función de la velocidad afecta a sistemas de lentes gravitacionales en distintos contextos, incluyendo cúmulos de galaxias y galaxias individuales.

4. Implementación de simulaciones numéricas avanzadas

- Utilizar simulaciones de N-cuerpos con una constante gravitacional variable para evaluar si los efectos relativistas pueden explicar las discrepancias sin necesidad de modificar el modelo base.

Conclusión

Este análisis muestra que **el modelo Λ CDM no logra predecir correctamente los radios de Einstein observados, mientras que el modelo de Dinámica Relativista ofrece una mejora sustancial**. Sin embargo, aún se requieren ajustes en la dependencia funcional de G_{eff} para que los valores predichos coincidan completamente con los datos observacionales. **Si se logra validar que la constante gravitacional no es universal, sino que depende de las condiciones físicas del sistema, se abriría la puerta a una reformulación de la teoría gravitacional y su relación con la estructura del universo.**

5. Conclusión Principal Ampliada

Este trabajo propone una alternativa viable al modelo cosmológico estándar Λ 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 $\beta = 0.1$ se ajusta con la misma precisión que Λ CDM, con valores de MSE y χ^2 prácticamente idénticos.
- La variación del parámetro β 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 $\beta = 0.1$, el modelo relativista captura la forma general del espectro de potencia del CMB, pero presenta ligeras desviaciones en multipolos altos.
- Ajustando β , el modelo logra reproducir con precisión los detalles finos del CMB, alcanzando un ajuste estadísticamente comparable al de Λ 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 Observacionales y Ventajas del Modelo

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. Corrección dinámica en la gravedad: Dependencia de con la velocidad:

- En contraste con la Relatividad General clásica, el modelo relativista introduce una dependencia explícita de G_{eff} con la velocidad de las partículas involucradas.
- Se encuentra que G_{eff} puede ser hasta **15 veces mayor que G** en regímenes altamente relativistas ($v \approx c$).
- En entornos como cúmulos galácticos y agujeros negros supermasivos, la corrección en G_{eff} puede explicar fenómenos sin requerir materia oscura.

3. Predicción más precisa del radio de Einstein en lentes gravitacionales:

- El modelo dinámico relativista predice radios de Einstein hasta **6.5 órdenes de magnitud mayores** que el modelo Λ CDM.
- Esto sugiere que puede proporcionar una explicación más precisa para observaciones de lentes gravitacionales con radios mayores a los esperados en Λ CDM.

4. Aplicación a observaciones en entornos relativistas extremos::

- **Agujeros negros supermasivos:** Un incremento en G_{eff} afectaría la curvatura de la luz y la dinámica del gas circundante.
- **Cúmulos de galaxias con alta dispersión de velocidades:** La corrección relativista en G_{eff} podría explicar anomalías sin necesidad de invocar materia oscura adicional.
- **Universo temprano:** La mayor fuerza gravitacional predicha por G_{eff} en altas velocidades podría afectar la evolución de las estructuras cósmicas.

Futuras Direcciones y Desafíos

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

Si bien los modelos propuestos han sido comparados con datos de supernovas tipo Ia y el fondo cósmico de microondas (CMB), se requiere una cuantificación más precisa de la discrepancia entre los modelos. Se sugiere realizar un análisis de residuos entre los valores predichos y los datos observados, incorporando:

- Distribuciones de error y ajuste estadístico para determinar la confianza del modelo.
- Gráficos de dispersión entre valores predichos y datos reales para identificar sistemáticamente las regiones donde el modelo necesita ajuste.
- Validación con otras fuentes independientes, como lentes gravitacionales y oscilaciones acústicas bariónicas (BAO), para robustecer la hipótesis de una gravedad dependiente de la velocidad.
- 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.
- Datos de alta precisión: Utilizar observaciones de instrumentos de última generación, como el Telescopio Espacial Hubble y el Telescopio Espacial James Webb (JWST), que puedan ofrecer medidas precisas del radio de Einstein y la trayectoria de objetos en sistemas de alta velocidad.

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 y la gravedad.

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.

Figuras, Código fuente y ejecución en línea

El código y copia de los datos de este proyecto los puede encontrar en

[Github gabemdelc Relativistic dynamics](#)

Para recrear Figura 4.0 debe usar programa [relative_dynamic.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic](#)

Para recrear Figura 4.1 debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

Variación de la Constante Gravitacional Efectiva G_{eff} con la Temperatura y la Velocidad

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

Para recrear esta Figura 4.2, debe usar programa [teoric_g_model.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

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

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

To recreate Figure 4.2.1 you must use [supernovae-beta-variance.py](#)

You can run the code online using a colab notebook:

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

[Colab Notebook supernovae beta variance](#)

Para recrear esta gráficas (figura 4.3) descargue [teoric_g_model.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

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

[Colab Notebook gabemdelc relativistic Dynamic teoric g model](#)

Para recrear esta Figura 4.4.1 y tabla 4.4.2 debe usar programa [relativistic_lensing.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en: [lensing compare in colab](#)

Para recrear esta Figura 4.5 debe de usar [lens_data_compare.py](#)

Puede ejecutar el código en línea usando una notebook de colab en:

Gravitational Lens Observed Data vs models

[Lens model compare in Colab Notebook](#)

Datos observacionales utilizados para probar el modelo

(The Supernova Cosmology Project), Ap.J., https://www.supernova.lbl.gov/Union/figures/SCPUnion2_mu_vs_z.txt 2010.", Que forman parte de "Amanullah et al.

Compilación Union2, detallada en el artículo de Amanullah et al. (2010) en el *Astrophysical Journal*. Este archivo contiene información sobre supernovas de tipo Ia, específicamente sus redshift (z) y módulos de distancia (μ), que son fundamentales para estudiar la expansión acelerada del universo.

Archivos del legado de Planck que describe los espectros del Fondo Cósmico de Microondas (CMB) y el código de verosimilitud utilizados en el análisis de los datos de Planck.

https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/CMB_spectrum%26_Likelihood_Code#File_names_and_meta-data

https://github.com/Zakobian/CMB_cs_plots/blob/main/COM_PowerSpect_CMB-TT-full_R3.01.txt

Del sitio web CfA-Arizona Space Telescope LEns Survey of gravitational lenses, (C.S. Kochanek, E.E. Falco, C. Impey, J. Lehar, B. McLeod, H.-W. Rix) Muchas gracias por su trabajo y esfuerzo, thks guys

<https://lweb.cfa.harvard.edu/castles/noimages.html>

lens_catalog.csv puede descargar el archivo de [Google Drive de este proyecto](#)

Referencia

Tema	Referencia
Misterio de la Energía Oscura	<ul style="list-style-type: none"> Peebles, P. J. E., & Ratra, B. (2003). "The cosmological constant and dark energy." <i>Reviews of Modern Physics</i>, 75(2), 559. <p>Riess, A. G., et al. (1998).</p> <ul style="list-style-type: none"> "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant." <i>The Astronomical Journal</i>, 116(3), 1009. <p>Perlmutter, S., et al. (1999). "Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae." <i>The Astrophysical Journal</i>, 517(2), 565.</p>
El Modelo Λ CDM	<ul style="list-style-type: none"> Planck Collaboration (2020). "Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters." <i>Astronomy & Astrophysics</i>, 641, A6. Weinberg, S. (1989). "The cosmological constant problem." <i>Reviews of Modern Physics</i>, 61(1), 1. Huterer, D., & Turner, M. S. (1999). "Prospects for probing the dark energy via supernova distance measurements." <i>Physical Review D</i>, 60(8), 081301. Amendola, L., & Tsujikawa, S. (2010). <i>Dark Energy: Theory and Observations</i>. Cambridge University Press.
Expansión Acelerada del Universo	<ul style="list-style-type: none"> Liddle, A. R. (2015). <i>An Introduction to Modern Cosmology</i>. Wiley. <p>Mukhanov, V. (2005). <i>Physical Foundations of Cosmology</i>. Cambridge University Press.</p>
Ecuaciones de Friedmann y su Modificación	<ul style="list-style-type: none">
The fundamental constants and their variation	<ul style="list-style-type: none"> Uzan, Jean-Philippe(2003). "The fundamental constants and their variation: observational and theoretical status", <i>Reviews of Modern Physics</i>, 75(2), pages 403–455, doi=10.1103/RevModPhys.75.403 Verlinde, E. P. (2011). "On the Origin of Gravity and the Laws of Newton". <i>Journal of High Energy Physics</i>, 2011(4), 29.
Gravedad Emergente, el termino es el mismo pero el concepto completamente distinto	

Declaración de Conflictos de Interés, Acceso a Datos, Ética y Financiamiento

Yo, ***Gabriel Martín del Campo Flores*** declaro que no existen conflictos de interés en relación con la presente investigación. Soy un investigador independiente y no recibo financiamiento, apoyo o donaciones de ninguna entidad pública o privada que puedan influir en los resultados o conclusiones de este estudio.

Con respecto al acceso a los datos, toda la información utilizada en esta investigación proviene de fuentes públicas y ha sido debidamente citada en el documento. No se han generado ni recopilado datos adicionales que requieran acceso restringido.

En términos de consideraciones éticas, esta investigación no involucra estudios con seres humanos, datos personales, muestras biológicas ni experimentación con animales. Por lo tanto, no fue necesaria la aprobación de un comité de ética.

Finalmente, declaro que no he recibido financiamiento externo para la realización de esta investigación. Todos los costos asociados han sido cubiertos de manera independiente por el autor.

[Gabriel Martín del Campo Flores]

[En ciudad de México, México, 11/Febrero/2025]