

Yeni Bir Kozmolojik Model: Yerel Nedensel Ufuklar ve Kırmızıya Kayma Enerjisi Yeniden Dağıtımı ile Radyasyon Destekli Enflasyon

Radyasyon basıncı tarafından desteklenen ve skaler inflaton alanı yerine geçen bir kozmolojik model öneriyorum. Planck çağında doğrusal genişleme ile başlayarak, evren $t \approx 10^{22} t_P$ zamanında uzay-zamanın nedensel ufukların ötesine genişlemesiyle üssel enflasyona geçiş yapar ve ışık hızı (c) yerel olarak sabit bir parametre olarak yeniden tanımlanır. Fotonların kırmızıya kayma nedeniyle kaybettiği enerjinin radyasyon basıncına yeniden dağıtıldığı, böylece enflasyonu beslediği ve genişleyen bir evrende enerji korunumu sağladığı varsayılır. Yerel Minkowski yamaları c 'nin değişmezliğini korur, ufuk ve düzlük sorunlarını çözer ve özel göreliliği kozmolojik süper ışık hızı gerilemesiyle uzlaştırır. CMB, kütleçekim dalgaları ve büyük ölçekli yapılarda beklenen işaretlerle sekiz gözlemsel test özetlenmiştir. Mevcut veriler Λ CDM ile uyumludur ancak bu modeli dışlamaz, gelecekteki yüksek hassasiyetli deneylerle doğrulama yolunu açık bırakır.

1. Giriş

Standart Λ CDM kozmolojisi, $t = 0$ 'da sıcak bir Büyük Patlama'yı tanımlar, bunu $t \approx 10^{-36}$ s ile 10^{-34} s arasında kısa bir enflasyon dönemi izler. Bu dönem, potansiyeli üssel genişleme ($a(t) \propto e^{Ht}$) üreten skaler bir "inflaton" alanı tarafından desteklenir [1, 2]. Bu, ufuk ve düzlük sorunlarını çözer ve kozmik mikrodalga arka planında (CMB) izler bırakır. Başarısına rağmen, Λ CDM spekülatif unsurlara dayanır: tespit edilmemiş bir inflaton parçacığı, ince ayar yapılmış potansiyel manzaralar ve fotonların kırmızıya kayması nedeniyle görünürde enerji korunumu eksikliğine tolerans.

Radyasyon destekli bir alternatif sunuyorum. Modelim doğrusal genişleme ile başlar, fotonlar hakim olduğunda ve ufuklar ayrıldığında doğal olarak üssel enflasyona geçiş yapar ve modern hızlanan çağda devam eder. Bu çerçeveyi ayırt eden üç temel ilke şunlardır:

- 1. Inflaton gerekmez.** Kırmızıya kayma enerjisiyle güçlendirilmiş radyasyon basıncı, enflasyonu destekler.
- 2. Enerji korunumu yeniden sağlanır.** Kırmızıya kayma ile kaybedilen enerji, termodinamik olarak radyasyon basıncına geri dönüştürülür ve genişleyen evrende iş yapar.
- 3. Yerel c değişmezliği.** Her nedensel bölgede gözlemciler aynı ışık hızını ölçer, Einstein'ın postulatlarıyla uyumludur. Küresel olarak, süper ışık hızı gerilemesi nedensel ayrışmadan doğal olarak ortaya çıkar.

2. Teorik Çerçeve

2.1 Erken Doğrusal Genişleme ($t = 0$ ila $t = 10^{20} t_P$)

Planck çağında ($t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44}$ s), evren ölçek faktörü $a(t) \propto t$ ile doğrusal olarak genişler. Kendi büyüklüğü $R(t) = ct$ 'dir ve enerji yoğunluğu Planck ölçeğindedir:

$$\rho \approx 5 \times 10^{96} \text{ kg m}^{-3}.$$

Friedmann denklemi genişlemeyi yönetir:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G \rho}{3} - \frac{kc^2}{a^2},$$

burada $H = 1/t$ ve eğrilik önemsizdir. Bu aşamada fotonlar yoktur, bu nedenle radyasyon basıncı henüz katkıda bulunmaz.

2.2 Radyasyon Basıncının Başlangıcı ($t = 10^{20} t_P$)

$t \sim 10^{20} t_P$ ($\sim 10^{-36}$ s) zamanında, parçacık oluşumu $T \approx 10^{28}$ K sıcaklıkta bir kuark-gluon plazmasında fotonlar üretir. Radyasyon basıncı ortaya çıkar:

$$P = \frac{1}{3} \rho c^2, \quad \rho = \frac{aT^4}{c^2},$$

burada $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$. Bu, $P \sim 10^{92} \text{ Pa}$ sonucunu verir. Muazzam olmasına rağmen, yerçekimi hâlâ baskındır ve genişleme yavaşlamaya devam eder.

2.3 Nedensel Ayrışma ve Yerel Değişmez c ($t = 10^{22} t_P$)

$t \approx 10^{22} t_P$ ($\sim 10^{-34}$ s) zamanında, evrenin yarıçapı Schwarzschild benzeri ufku aşar:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \quad M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \quad R = ct.$$

Parçacık ufku $d_p \approx ct$, r_s 'yi aştığında, bölgeler nedensel olarak ayrılır.

Her ufuk bölgesinde, gözlemciler $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ölçer, bu Einstein'ın tren ve roket düşünce deneyleriyle uyumludur. Ancak küresel olarak, gerileme hızları c 'yi aşar, standart kozmolojide olduğu gibi. Bunu şu şekilde parametreleştiriyorum:

$$c_{\text{eff}} = c_0 \left(\frac{a_0}{a} \right)^\beta, \quad \beta > 0,$$

bu, c 'nin gerçek bir değişimini ima etmez, aksine onun yerelliğini kodlar. Böylece, c her gözlemci için kendi nedensel ufku içinde değişmez kalır, küresel süper ışık hızı genişlemesi ise ayrışmayı yansıtır, göreliliğin ihlali değildir.

2.4 Kırmızıya Kayma Enerjisinin Yeniden Dağıtımı

Λ CDM’de, dalga boyları uzadıkça foton enerjisi azalır:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad \lambda \propto a, \quad E \propto a^{-1}.$$

Görünürdeki enerji kaybı genişlemeye atfedilir, küresel bir korunum yasası olmadan.

Modelim bu paradoksu çözer: Kırmızıya kayma ile kaybedilen enerji, nedensel ufuklarda emilir ve radyasyon basıncına yeniden dağıtılır, metrik üzerinde etkili bir şekilde iş yapar:

$$\Delta E_{\text{kırmızıya kayma}} \rightarrow \Delta P_{\text{radyasyon}} \cdot V.$$

2.4.1 Kırmızıya Kayma, Metrik Üzerinde İş Olarak

Einstein’ın eşdeğerlik ilkesi, yerçekimini ivme ile özdeşleştirir. Bu, kırmızıya kaymayı enerjinin yok edilmesi olarak değil, kinetik işe dönüşmesi olarak görmenin somut bir yolunu sağlar.

Düşünce Deneyi: Bir gezegenin yüzeyinden yukarıya doğru ateşlenen mavi bir lazer düşünün. Fotonlar yerçekimi potansiyelinden çıkar ve uzak bir gözlemciye kırmızıya kaymış olarak ulaşır. Gözlemci için her foton daha az enerji taşıyor gibi görünür. Ancak kaynaktaki lazer, yayılan fotonların tam kütle-enerjisini deneyimlemiştir: kırmızıya kaymamış enerjileri ve radyasyon basıncıyla tutarlı bir momentum transfer etmiştir.

“Kaybolan” enerji nereye gitti? Yerçekimi alanına yatırıldı, fotonları potansiyel kuyudan çıkarmak için gerekli işi yaptı.

Benzer şekilde, kozmolojide, erken zamanlarda yayılan fotonlar kozmolojik kırmızıya kayma yoluyla enerji kaybeder. Yerel olarak, yayılan bölge onların tam radyasyon basıncını deneyimler. Ancak küresel olarak, görünürdeki eksiklik kaybolmaz; **metrik üzerinde işe** dönüştürülür – özellikle, hızlandırılmış genişlemeye.

$$\Delta E_{\text{foton}} = W_{\text{genişleme}}.$$

2.4.2 Ufuk Termodinamiği ve Yeniden Dağıtım Mekanizması

Bu analojiye dayanarak, nedensel ufukların kırmızıya kayma enerjisinin aracıları olarak işlev gördüğünü öneriyorum:

1. **Enerji Transferi.** Foton enerjisi $E \propto a^{-1}$ olarak azalır. Kaybolmak yerine, bu enerji parçacık ufuklarında veya Schwarzschild benzeri nedensel sınırlarda emilir.
2. **Yerçekimi Kırmızıya Kayma Haritalaması.** Yerçekimi kırmızıya kayması enerjiyi alana aktardığı gibi, kozmolojik kırmızıya kayma enerjiyi metrik genişlemeye aktarır.
3. **Ufuk Termodinamiği.** Ufuklar entropiye ($S \propto A/4$) ve sıcaklığa (Gibbons–Hawking) sahiptir. Kırmızıya kaymış enerji, ufuk entropisine katkıda bulunur ve Padmanabhan’ın termodinamik yerçekimi çerçevesi [3] aracılığıyla, genişleme üzerinde iş yapan basınç olarak yeniden ortaya çıkar.
4. **Basınç Artışı.**

$$P = \frac{1}{3}\rho c_{\text{eff}}^2 + \Delta P_{\text{kırmızıya kayma}},$$

ivme denklemini değiştirir:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3P}{c^2} \right).$$

$\Delta P_{\text{kırmızıya kayma}} > 0$ ile genişleme, inflaton çağırmadan hızlanır.

2.4.3 Resmi Düşünceler

Bu mekanizmayı resmileştirmek için şunlar gereklidir:

- Eğri uzay-zamanda kuantum alan teorisi, foton-ufuk etkileşimlerini tarif etmek için.
- Ufuk termodinamiği (Padmanabhan'ın ortaya çıkan yerçekimi, Bekenstein–Hawking entropisi), enerji emilimini ve yeniden emisyonunu modellemek için.
- $\Delta P_{\text{kırmızıya kayma}}$ ile modifiye edilmiş Friedmann dinamiklerinin sayısal simülasyonları.

2.5 Modern Çağ

$t \approx 2.6 \times 10^{11} t_P$ (13.8 milyar yıl) zamanında, CMB sıcaklığı $T = 2.7 \text{ K}$ 'dir ve radyasyon basıncı $P \sim 10^{-31} \text{ Pa}$ 'ya düşmüştür. Bununla birlikte, aynı ufuk aracılığıyla işleyen mekanizma devam eder: kırmızıya kayma enerjisi kozmik ivmeyi beslemeye devam eder, genellikle karanlık enerjiye atfedilen geç zaman dinamiklerine katkıda bulunur ($\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

3. Kavramsal İlerlemeler

1. **Inflaton gerekmez.** Enflasyon, kırmızıya kayma enerjisiyle güçlendirilmiş radyasyon basıncından doğal olarak ortaya çıkar, tespit edilmemiş bir skaler alana olan ihtiyacı ortadan kaldırır.
2. **Enerji korunumu yeniden sağlanır.** Kırmızıya kayma enerjisi radyasyon basıncına geri dönüştürülür, genişlemeyi termodinamik ilkelerle hizalar.
3. **Yerel c değişmezliği.** Einstein'ın postulatı nedensel bölgelerde geçerlidir, süper ışık hızı gerilemesi ise ufuk ayrışmasıyla açıklanır.

4. Gözlemsel Testler ve Beklenen İşaretler

Sekiz gözlemsel test öneriyorum, her biri bu modeli ΛCDM 'den ayırabilecek farklı işaretlerle:

4.1 CMB Anizotropileri

- **Test:** CMB güç spektrumunu ve B-modu polarizasyonunu yüksek hassasiyetle ölçün.
- **Beklenen İşaret:** Küçük ölçekli dalgalanmalarda $l > 1000$ multipollerde artış, $l < 100$ 'de tespit edilebilir B-modu polarizasyonu ile ($r \approx 0.05\text{--}0.1$).

4.2 Kırmızıya Kayma Bağımlı Radyasyon Enerji Yoğunluğu

- **Test:** Radyasyon enerji yoğunluğunun $\rho_{\text{radyasyon}}$ kırmızıya kayma ile ölçeklenmesini gözlemleyin.
- **Beklenen İşaret:** $z > 1100$ 'de, $\rho_{\text{radyasyon}}$ standart $\propto a^{-4}$ ölçeklenmesinden sapmalıdır.

4.3 Kütleçekim Dalgası Arka Planı (GWB)

- **Test:** Enflasyon çağından stokastik GWB'yi arayın.
- **Beklenen İşaret:** $\sim 10^{-9}$ Hz'de bir tepe, karakteristik gerilim $h_c \approx 10^{-15}$.

4.4 Hubble Gerilimi ve Geç Zaman İvmesi

- **Test:** Hubble sabiti H_0 ve karanlık enerji durum denklemleri w 'yi ölçün.
- **Beklenen İşaret:** $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc, $z < 1$ 'de w -0.8 ile 0 arasında.

4.5 Ufuk Ölçeği Yapısı

- **Test:** 10–100 Mpc'de büyük ölçekli yapıyı haritalayın.
- **Beklenen İşaret:** Artırılmış kümelenme ve anormal derecede büyük boşluklar.

4.6 Spektral Çizgi Kaymaları

- **Test:** Yüksek kırmızıya kayma spektralarını analiz edin.
- **Beklenen İşaret:** $z > 5$ 'te %0.1–1 genişleme veya enerji kaymaları.

4.7 Ufuk Termodinamik İşaretleri

- **Test:** Kozmik ufuklarda entropi ve akıyı araştırın.
- **Beklenen İşaret:** Ufuk entropisi artışı $\Delta S \sim 10^{120} k_B$.

4.8 İlksel Nükleosentez

- **Test:** Hafif elementlerin bolluğunu ölçün.
- **Beklenen İşaret:** ^4He 'de %1–5 artış ve döteryumda azalma.

5. Λ CDM ile Karşılaştırma

Özellik	CDM	Radyasyon Destekli Model
Enflasyon Sürücüsü	Skaler inflaton alanı	Radyasyon basıncı + kırmızıya kayma enerjisi
Enerji Korunumu	Küresel olarak tanımlı değil	Termodinamik olarak ufuklar aracılığıyla uygulanır
Işık Hızı	Küresel olarak sabit	Yerel olarak ufuklar içinde sabit
Ufuk/Düzlük Sorunları	Inflaton tarafından çözülür	Radyasyon + ufuklar tarafından çözülür

Özellik	Λ CDM	Radyasyon Destekli Model
Karanlık Enerji	Kozmolojik sabit (Λ)	Kırmızıya kayma-radyasyon mekanizmasının devamı
CMB Öngörülleri	Standart spektrum	Küçük ölçekte iyileştirmeler, B-modunda olası farklılıklar
Hubble Gerilimi	Çözülmemiş	Doğal ara H_0
Gözlemsel Durum	Destekleniyor ancak eksik	Verilerle uyumlu, henüz çürütülmedi

6. Tartışma

Bu çerçeve, enflasyonu radyasyona özgü bir termodinamik süreç olarak yeniden formüle eder, spekülasyon bir inflaton gerektirmez. Genişleyen uzay-zamanda enerji korunumu için bir mekanizma sağlar ve göreliliğin yerel postulatlarını kozmolojik ufuklarla uzlaştırır.

Hâlâ zorluklar var. Kırmızıya kayma enerjisinin yeniden dağıtımının kesin dinamikleri daha fazla matematiksel geliştirme gerektirir ve modifiye edilmiş Friedmann denklemlerinin sayısal simülasyonları esastır. Gözlemsel ayırım, gelecekteki görevlere bağlı olacaktır (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

7. Sonuç

Radyasyon basıncının, nedensel ufuklar ve kırmızıya kayma enerjisi tarafından modüle edildiği, hem enflasyonu hem de mevcut genişlemeyi desteklediği bir kozmoloji sunuyorum. Bu model, varsayımsal bir inflaton ihtiyacını ortadan kaldırır, termodinamik tutarlılığı yeniden sağlar ve Einstein'ın yerel c değişmezliğini kozmolojik süper ışık hızıyla uzlaştırır. Mevcut veriler Λ CDM ile uyumludur, ancak önerilen gözlemsel testler doğrulama veya çürütme için bir yol sunar.

Kaynaklar

[1] Planck Collaboration, *Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters*, Astron. Astrophys. 641, A6 (2020). [2] Guth, A. H., *Inflationary Universe*, Phys. Rev. D 23, 347 (1981). [3] Padmanabhan, T., *Thermodynamical Aspects of Gravity: New Insights*, Rep. Prog. Phys. 73, 046901 (2010). [4] BICEP2/Keck Collaboration, *Improved Constraints on Primordial Gravitational Waves*, Phys. Rev. Lett. 121, 221301 (2018).