

Astrofizikte Çözülmemiş Temel Problemlerden G ve Λ 'nın Değişimi

Özgür Akarsu¹, Can Battal Kılınç²

^{1,2}Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, 35100, İzmir
oakarsu@astronomy.sci.ege.edu.tr¹, battalc@astronomy.sci.ege.edu.tr²

Özet: Kozmolojik sabitin varlığı ve yapısı ile temel fiziksel sabitlerin zamana bağlılığı astrofizikte çözülmemiş temel problemlerden ikisidir. Küçük ölçeklerde, eğer G yavaşça değişiyorsa değişim fark edilemiyor olabilir, ancak büyük ölçeklerde G 'nin değişimi önemli olacaktır. Bu bakımdan G 'nin gerçekten sabit olup olmadığını araştırılması gerekir. İkinci problem de kozmolojik sabit problemidir. Kozmolojik sabit evrenin bugünkü yapısının elde edilebilmesi için gereklidir. Başta geometrik bir yorum olarak değerlendirilen bu sabit, sonradan evrenin fiziksel bir içeriği olarak yorumlanmıştır. Ancak, bunun için fiziksel bir kaynak henüz tanımlanmış değildir. Sıfır noktası alan enerjisi kaynak olarak gösterilmekle beraber öngörülen değer ile ölçülen değer 10^{118} oranında bir uyumsuzluk göstermektedir. Uyumsuzluğun giderilmesi için kozmolojik sabitin evrimleştiği, sabit değil *terim* olduğu düşünülmektedir. Biz de bu problemlere değindikten sonra anizotropik ve homojen olmayan iki evren modelini dikkate alarak G ve Λ terimlerinin değişimini inceledik.

Anahtar kelimeler: kozmolojik sabit, değişen Newton sabiti, değişen kozmolojik terim.

Abstract: Existence and characteristic of the cosmological constant and time dependence of the physical constants are unsolved problems in astrophysics. At small scales, if G is slowly varying we may not notice the variation; nevertheless at large scales variation of the G would be considerable. In this respect, it must be searched if G is really varying. Cosmological constant is necessary to construct today's universe. At first, presence of the cosmological constant interpreted geometrically, later it interpreted as a physical content of the universe. However, a physical source for this can not be identified yet. Zero point field energy is pointed to be a potential source for this, but its value shows discrepancy by the factor of 10^{118} with the observed value of the energy which referred to cosmological constant. To get rid of this discrepancy one can think that cosmological constant is evolving, that is, it is not a constant it is a *term*. We mentioned the problems and then by considering the universe models other than Friedmann universe searched the variations of the G and Λ .

Key words: cosmological constant, variable Newton constant, variable cosmological term

1. Giriş

Fizikte problemler karşımıza teknik ve kavramsal diyebileceğimiz iki ana kategori altında çıkmaktadır. Teknik problemler ilkesel olarak yeni teknikler ve/veya hesaplama yöntemleri ile çözülebilirken kavramsal problemler genelde elde bulunan kavramların yeniden formüle edilmesiyle çözülebilmektedir. Günümüz astrofizikinde de iki kategoriye ait oldukça çok problem bulunmaktadır. Bir çözüm geliştirebilmek için problemlerin iyi bir biçimde ortaya konulabilmesi oldukça önemlidir. Bu problemler bir ağ gibidir, birbirleri ile ilişkilidir. Dolayısıyla bunlardan biri ya da birkaçında geliştirilecek bir çözüm tüm diğer alanlara da yayınlan bir gelişmeye neden olabilir. Bu bağlamda, Wesson'un (2001) teorik ağırlıklı olarak verdiği bir liste şöyledir: Süper-Simetri ve Vakum

Alanları, Elektromanyetik Sıfır Noktası Alanı, Kozmolojik Sabit Problemi, Hiyerarşi Problemi, Büyük Birleşik Kuram, Kuantum Kütle Çekimi, Nötrinolar, Karanlık Madde Problemi, Parçacık Özellikleri ve Nedensellik, Mikrodalga Ardalın Çevren Problemi, Temel Sabitler (G , h , c), Büyük Patlama oldu mu?, Uzayın Topolojisi, Evrenin Kaç Boyutlu Olduğu, Mach İlkesi, Negatif Kütle, Gökadaların ve Diğer Yapıların Kökeni, Gökada dönmelerinin Kökeni, Açısız Momentum/Kütle İlişkisi, Yaşam ve Fermi-Hart Paradoksu.

Biz de, bu problemlerden Newton sabiti G 'nin zamana olası bağlılığını ve kozmolojik sabit problemini ele aldık. Problemlerin neler olduğunu ve bunlar üzerine yapılan çalışmaları ve çözümleri sunduk. En son olarak zamanla değişen G ve Λ 'lı ve konum ve zamanla değişen Λ 'lı iki evren modeli göz önüne alarak daha önce önerilmiş çözümler doğrultusunda elde ettiğimiz çözümleri sunduk.

Bildiri tam metni için : Özgür AKARSU
e-mektup: oakarsu@astronomy.sci.ege.edu.tr

2. Newton Sabiti

Referans	Sınırlama (yıl ⁻¹)	G.D.	Yöntem
Shapiro, 1990	$(-2\pm 10)\times 10^{-12}$	1 σ	Gezegen uzaklık ölçümleri
Goldman, 1990	$(2.25\pm 2.25)\times 10^{-11}$	1 σ	PSR 0655+64
Accetta ve ark., 1990	$(0\pm 9)\times 10^{-13}$	2 σ	Büyük Patlama Çekirdek Sentezlenmesi
Müller ve ark., 1991	$(0\pm 1.04)\times 10^{-11}$	1 σ	Ayın uzaklığının lazerle ölçülmesi
Anderson ve ark., 1992	$(0.0\pm 2.0)\times 10^{-12}$	1 σ	Gezegen uzaklık ölçümleri
Damour ve Taylor, 1991	$(1.10\pm 1.07)\times 10^{-11}$	1 σ	PSR 1913+16
Chandler ve ark., 1993	$(0\pm 1)\times 10^{-11}$	1 σ	Viking uzaklık ölçümleri
Dickey ve ark., 1994	$(0\pm 6)\times 10^{-12}$	1 σ	Ayın uzaklığının lazerle ölçülmesi
Kaspi ve ark., 1994	$(4\pm 5)\times 10^{-12}$	2 σ	PSR B1913+16
Kaspi ve ark., 1994	$(-9\pm 18)\times 10^{-12}$	2 σ	PSR B1855+09
Demarque ve ark., 1994	$(0\pm 2)\times 10^{-11}$	1 σ	Helyosismoloji
Guenther ve ark., 1995	$(0\pm 4.5)\times 10^{-12}$	1 σ	Helyosismoloji
Garcia-Berro ve ark., 1995)	$(2\pm 2)\times 10^{-11}$	1 σ	Beyaz Cüce
Williams ve ark., 1996	$(0\pm 8)\times 10^{-12}$	1 σ	Ayın uzaklığının lazerle ölçülmesi
Thorsett, 1996	$(-0.6\pm 4.2)\times 10^{-11}$	2 σ	Atarca istatistiklerinden
Del'Innocenti ve ark., 1996	$(-1.4\pm 2.1)\times 10^{-11}$	1 σ	Küresel kümeler
Guenther ve ark., 1998	$(0\pm 1.6)\times 10^{-12}$	1 σ	Helyosismoloji

Tablo 1. Newton sabitinin zamana bağlılığının sınırlarının bir özeti. (Uzan, 2003)

Fizikteki gelişmeler, bizlerin evrende özel bir yerde yaşamadığını ve fizik yasalarının uzay-zamanda bir noktadan bir başka noktaya farklılaşmadığını söyleyen Kopernik İlkesi üzerinde yapılmıştır. Bu ilke, yeryüzü yasaları ile gökyüzü yasalarının farklı olduğunu söyleyen Aristotelesçi İlke ile ters düşmektedir. Her iki bakış da tartışılabilir. Ancak, bizler için fizik yasalarının evrende bir noktadan bir başka noktaya farklılaşmasını düşünmek zor olsa da “fiziksel sabitlerin” uzay-zamanda yavaşça değiştiğini düşünmek oldukça kolaydır.

Bilimin temelinde yer alan deney ve gözlemleri birbiriyle karşılaştırmak bugün yalnızca eğer fizik yasaları zamana ve uzaya bağlı değilse anlamlıdır. *Temel sabitlerin* sabit olduğu hipotezinin geçerliliği astronomi ve özellikle kozmolojide büyük ölçeklerde çalışıldığından dolayı önemli bir rol oynar. Küçük ölçeklerde bir olasılıkla fark edemediğimiz küçük değişimler büyük ölçeklerde önemli olabilir. Eğer varsa, değişimlerin yapısı belirlenebilir ve gözlemler üzerinde düzeltmelere gidilebilir.

Temel sabitler için verilen muhafazakâr bir tanım şöyledir: Var olan fizik bilginizle hesaplanamayan (tümdengilimsel olarak elde edemediğimiz) ölçmek durumunda olduğumuz parametrelerdir. Bu tanım çerçevesinde bugün yalnızca üç temel sabitin yeterli olduğu düşünülmektedir. Bunlar Planck sabiti, \hbar ; ışığın boşluktaki hızı, c ; Newton sabiti, G 'dir. Zamana bağlı olarak değişen temel sabitler düşüncesini ilk ortaya atan Dirac'tır (1937, 1938,

1979). Dirac, fizikteki boyutsuz evrensel sabitlerin arı matematiksel sayılar olmaması gerektiği düşüncesinden hareketle *Büyük Sayılar Hipotezi*'ni geliştirmiştir. Bu hipotezinde üç tane boyutsuz sayı tanımlar:

a) Bir proton ile elektronun arasındaki elektromanyetik kuvvetin bunlar arasındaki kütle çekimsel kuvvete oranı:

$$e^2 / Gm_p m_e \cong 10^{40}. \quad (1)$$

b) Evrenin yaşının, T , ışığın bir elektronun yarıçapı denli bir erimi geçmesi için gerekli olan süreye, t_e , oranı:

$$T / t_e \cong 10^{40}. \quad (2)$$

c) Evrendeki tüm parçacıkların sayısının, $N \square 10^{78}$, karekökü $\sqrt{N} \square 10^{39}$, yani 10^{40} , a çok yakın.

Dirac, bu denk gelişlerin yalnızca bir rastlantı olmayacağını, bunun doğanın temel yasalarıyla ilişkili olabileceğini düşünür.

Bu sayılardan ikincisi evrenin yaşıyla değişir. Buna göre, Dirac haklı ise, diğer iki sayının da değişmesi gerekir. N evrenin yaşının karesiyle orantılı ve e , m_e , m_p sabit ise G 'nin de evrenin yaşıyla ters orantılı olarak değişmelidir: $N \propto T^2$ ve $G \propto T^{-1}$. Böylece G 'nin zamana bağlılığı gündeme geldi. Biz burada Newton sabitinin zamana bağlılığı üzerinde duracağız. Newton'un evrensel çekim kanunu bir orantıya işaret eder, $F \propto -m_1 m_2 / d^2$. Bu

orantının bir denkleğe dönüştürülmesi için G gibi bir terim eklenmelidir:

$$\vec{F} = -Gm_1m_2 / d^2 \quad (3)$$

Ancak bu terimin değerini ölçmek gerekir. Cavendish deneyinde ölçülen değer, G_C , şöyledir:

$$G_C = (6.674 \pm 0.004) \times 10^{-8} \text{ cm}^3 / \text{g.s}^2. \quad (4)$$

Genel görelilikte G sabit alınsa da başka birçok teoride konum ve zamana bağlıdır. Örneğin, Dicke-Brans-Jordan teorisinde Cavendish deneyinin sonucu, deneyin nerede ve ne zaman yapıldığına, kullanılan m_1 ve m_2 kütlelerinin büyüklüğüne ve kütlelerin arasındaki uzaklığa, d , bağlıdır. Öyleyse, Dicke-Brans-Jordan teorisinde Cavendish sabiti evrende maddenin nasıl dağıldığına bağlıdır. Buna göre eğer evren genişliyorsa G_C değişiyor olmalıdır. G 'nin çok yavaş değişiyor olması küçük zaman

ölçeklerindeki değişim oranının ölçülebilmesini sınırlandırıyor olabilir. Ancak, büyük zaman ölçeklerinde, eğer değişim varsa, bu değişimin etkilerini araştırabiliriz. Örneğin, bu değişimin 4.5milyar yıllık bir zamanda dünya üzerinde saptanabilir etkilerinin olabileceğini düşünebiliriz. Bu anlayışla 1990–1998 yılları arasında yapılan gözlemsel ve ulaşılan teorik çalışmaların ve sonuçların bir listesi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1'den görebileceğimiz üzere G 'nin yıllık değişimi için belirlenen sınır değerler 10^{-11} - 10^{-12} gibi oldukça küçük mertebelerdedir. G 'nin bu sınırlar arasında değişmediğini söyleyemeyiz, ancak çok küçük olduğundan bu olasılık küçük ölçekli çalışmalarda göz ardı edilebilir. Diğer yandan, evrenin evrimi ile ilgilenen büyük ölçekli çalışmalarda G 'nin değişimi olasılığını göz ardı edemeyiz.

3. Kozmolojik Sabit mi, Kozmolojik Terim mi?

Kozmolojik sabit modern kozmolojide üç kez gündeme gelmiştir. İlk olarak durağan bir evren modeli elde etmek için Einstein tarafından başvurulmuş daha sonra Bondi ve Gold ile Hoyle tarafından yaş krizini çözmek ve *kusursuz kozmolojik ilkeyi* sağlamak için ikinci kez gündeme getirilmiştir. Günümüzde enflasyon modeli bağlamında standart evren modelinin evrenin yaşı, olay ufku, yapı oluşumu gibi problemlerini çözmek üzere bazen sabit olarak bazen de uzay-zamanın bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kozmolojik sabit ilk kez Einstein alan denklemlerinin, sol tarafına Einstein tarafından durağan bir evren modeli oluşturabilmek için eklenmiştir. Böylece Einstein alan denklemleri şu biçimi alır:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R - \Lambda g_{ik} = 8\pi G T_{ik}. \quad (5)$$

Burada Λ geometrik bir bileşen olarak yorumlanmış olur. Daha sonraki çalışmalarda ise kozmolojik sabit Einstein alan denklemlerinin sağ tarafında karşımıza çıkmaktadır.

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = 8\pi G T_{ik} + \Lambda g_{ik} \quad (6)$$

Burada ise Λ evrenin geometrisi ile ilgili bir bileşen olarak değil evrenin içerdiği maddenin bir biçimi olarak ele alınır. Bu durumda (6) denklemi şu biçimde yazılabilir:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = 8\pi G \tilde{T}_{ik}. \quad (7)$$

Burada *etkin enerji-momentum tensörü*, \tilde{T}_{ik} ,

$$\tilde{T}_{ik} = T_{ik} + \frac{\Lambda}{8\pi G} g_{ik}, \quad (8)$$

Bozunma Yasası	Referans
$\Lambda \propto t^{-2}$	
$\Lambda \propto T^4$	
$\Lambda \propto T^\beta$	
$\Lambda \propto e^{-\beta t}$	
$d\Lambda/dt \propto \Lambda^\beta$	
$\Lambda \propto a^{-2}$	
$\Lambda \propto a^{-4(1+\epsilon)}$	
$\Lambda \propto a^{-m}$	
$d\Lambda/dt \propto aH^n \Lambda$	
$d\Lambda/dt \propto H^3$	
$\Lambda \propto C + \beta a^{-m}$	
$\Lambda \propto t^{l-2} + \beta t^{2(l-1)}$	
$\Lambda \propto \beta a^{-2} + H^2$	
$\Lambda \propto t^{-2} + \beta t^{-2/l}$	
$\Lambda \propto C + e^{-\beta t}$	
$\Lambda \propto C + \beta a^{-2} + H^2$	
$\Lambda \propto \beta a^{-m} + H^2$	
$\Lambda \propto H^2$	
$\Lambda \propto (1 + \beta H)(H^2 + k/a^2)$	
$\Lambda \propto t^{-1}(\beta + t)^{-1}$	
$d\Lambda/dt \propto \beta \Lambda - \Lambda^2$	
$\Lambda \propto a^{-3}$	
$\Lambda \propto a^{-2} + \beta a^{-4}$	
$\Lambda \propto H^2 + \beta aH(dH/da)$	

Tablo 2. Fenomonolojik Λ bozunmalarına örnekler. T , a , t , H sırasıyla sıcaklık, ölçek çarpanı, zaman ve Hubble parametresidir. β , ϵ , l , m ve C birer sabittir. (Overduin, 1998)

dır. Yaptığımız bu düzenlemenin önemli bir sonucu vardır. Etkin enerji-momentum tensörü, \tilde{T}_{ik} , enerjinin korunum yasasını, $\nabla^k \tilde{T}_{ik} = 0$, sağlamak koşulu ile Λ 'nın değişebileceğini ve değişmemesi için *a priori* bir nedenin olmadığını söyler.

Önce kozmolojik *sabitin* standart modeldeki yerine değinelim. Kozmik mikrodalga ardalın ışınımının gözlemlenen anizotropisinden elde edilen yoğunluk parametresi, Ω , şöyledir.

$$\Omega_{toplama} = 1.02 \pm 0.02 . \quad (9)$$

Burada, $\Omega_{top} = \rho_{top} / \rho_{kritik}$ 'dır. Bu değer, $\Omega_{toplama} = 1$ alınan ve büyük ölçeklerde (>100 Mpc) evrenin homojen ve izotropik olduğu varsayan Friedmann-Lemaitre evren modeli ile uyumludur. Bu modelde metrik Robertson-Walker (RW) metriği ile ifade edilebilir:

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 \left[\frac{dr^2}{1+Kr^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \right] \quad (10)$$

(7) denklemini kullanırsak, genel görelilikte, ölçek çarpanının ikinci türevi aşağıdaki gibi

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4}{3}\pi G(\rho + 3p) \quad (11)$$

elde edilir. Burada $\rho(t)$ evrenin ortalama yoğunluğu, $p(t)$ ortalama basıncıdır ve bunlar içerisinde kozmolojik sabite atfedilen katkılar da vardır. Yerel enerji korunum yasasından

$$\dot{\rho} = -3\frac{\dot{a}}{a}(\rho + p) \quad (12)$$

denklemini elde ederiz.

$$\dot{a}^2 = \frac{8}{3}\pi G\rho a^2 + K . \quad (13)$$

elde ederiz. Buradaki K sabiti RW metriğindeki uzayın eğriliği ile ilgili *bir* sabittir. Bu parametrelerin günümüz değerlerini belirtmek için '0' alt indisini kullanacağız. Buradaki yoğunluk şu biçimde ayrıştırılabilir:

$$\rho_{toplama0} = \rho_{m0} + \rho_{R0} + \rho_{\Lambda0} \quad (14)$$

Burada; ρ_{m0} , relativistik olmayan maddedeki şimdiki ortalama yoğunluktur. Ana olarak baryonlar ve baryonik olmayan maddenin katkısıdır. ρ_{R0} , yaklaşık 3-K'lik kozmik ardalın ışınımının ve düşük kütleli nötrinoların katkısı. $\rho_{\Lambda0}$ ise

kozmojik sabite atfedilen bileşendir. Böylece (13) denklemini, evrenin şimdiki zamanı $t=t_0$ için, daha kullanışlı bir biçimde ifade edilebilir:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)_0^2 = H_0^2 [\Omega_{m0} + \Omega_{R0} + \Omega_{\Lambda0} + \Omega_{K0}] \quad (15)$$

(15) denklemini,

$$1+z = \lambda_{göz} / \lambda_{sal} = a(t_{göz}) / a(t_{sal}) \quad (16)$$

tanımından yararlanarak aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = H_0^2 [\Omega_{m0}(1+z)^3 + \Omega_{R0}(1+z)^4 + \Omega_{\Lambda0} + \Omega_{K0}(1+z)^2] \quad (17)$$

Bu denklemden evrenin evrimine ilişkin bilgi edinebiliriz. Benzer bir biçimde (11) denklemini de şöyle yazabiliriz:

$$\ddot{a}/a = -H_0^2 [\Omega_{m0}(1+z)^3/2 + \Omega_{R0}(1+z)^4 - \Omega_{\Lambda}] \quad (18)$$

Dikkat edersek burada Ω_{Λ} terimi ivmelenmeye pozitif bir katkı sağlamaktadır. Bu da tip Ia Süper Nova gözlemlerinin evrenin yavaşlamadığını hızlandığını gösteren gözlemler ile aynı türden bir davranış sergilemektedir. Toplam yoğunluk parametresinin

$$\Omega_{top} = 1 = \Omega_{m0} + \Omega_{R0} + \Omega_{\Lambda0} + \Omega_{K0} \quad (19)$$

olduğunu biliyoruz. Uzayın bugünkü eğriliğinden gelen katkı $\Omega_{K0} = 0$ alınabilir. Ayrıca, $\Omega_{R0} \cong 5 \times 10^{-5}$ 'tır. Ayrıca, kırmızıya kayma parlaklık ilişkisi, kütle çekimsel dinamikler ve zayıf mercekleme, gökada kümelerinde baryonik kütle oranı, kütlelerin ve kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak küme bollukları ve büyük ölçeklerde gökada dağılımları Ω_{m0} için $0.15 \leq \Omega_{m0} \leq 0.4$ aralığını vermektedir. Buradan şu sonucu elde ederiz:

$$0.85 \leq \Omega_{\Lambda0} \leq 0.6 \quad (20)$$

Ortada bir değeri alalım ve yoğunluk parametresini kritik yoğunluk cinsinden açıkça yazalım;

$$\Omega_{\Lambda0} = \rho_{\Lambda0} / \rho_{krit} \cong 0.75 \quad (21)$$

Hubble sabitinin değerini,

$$H_0 \cong 100 h kms^{-1} Mpc^{-1} = 67 \pm 7 kms^{-1} Mpc^{-1} = (15 \pm 2 Gyil)^{-1} \quad (22)$$

olarak elde edilen kritik yoğunluk aşağıdaki gibidir.

$$\rho_{krit} \cong 10^{-29} \text{ g/cm}^3 = 10^{-47} \text{ GeV}^4. \quad (23)$$

(21) ve (23) denklemlerinden boşluğun yoğunlunu

$$\rho_{\Lambda} \cong 10^{-47} \text{ GeV}^4 \quad (24)$$

olarak elde ederiz. Burada, enerji yoğunluğu kozmolojik olarak fenomenolojik düzeyde belirlenmiş oldu. Buna fiziksel bir kaynak belirlemek gerektiğinden ve bu kaynak da gözlemlenememiş olduğundan karanlık enerji olarak anılmıştır. Bugün bu "boşluğun enerji yoğunluğu olarak da anılmaktadır ve buna kaynak olarak "elektromanyetik sıfır-noktası-alanı" önerilmektedir. Ancak bir problemle karşılaşmaktayız. Kuantum elektrodinamiğinde Genel göreliliğin Planck ölçeğinde de geçerli olduğunu düşünerek hesaplanan sıfır noktasının yoğunluğu

$$\langle \rho_{AKED} \rangle \cong \frac{[(8\pi G)^{1/2}]^4}{16\pi^2} \cong 2 \times 10^{71} \text{ GeV}^4, \quad (25)$$

ile kozmolojiden elde edilen yoğunluk, ρ_{AK} , arasında çok büyük bir uyumsuzluk ortaya çıkar:

$$\frac{\rho_{AKED}}{\rho_{AK}} \cong \frac{10^{71} \text{ GeV}^4}{10^{-47} \text{ GeV}^4} = 10^{118}. \quad (26)$$

En başta parçacık fizikçileri ρ_{AKED} 'in bilinmeyen bir nedenle sıfır olduğunu varsaydılar. Ancak, kozmologlar kozmolojik verileri kozmolojik sabitin yok sayılmadığı modellerle çözümlerler. Bugün, bu uyumsuzluğun çözümü için kuantum alan teorileri kozmolojik sabitin gerçekte dinamik bir nicelik olduğunu öne sürmektedir. Bu görüşe göre; boşluğun enerji yoğunluğu ρ_{Λ} 'ye katkıda bulunan ve $\Lambda_{boşluk} = 8\pi G \rho_{boşluk}$ aracılığıyla kozmolojik sabit gibi davranan kaynak arayışına girdiler. Böylece salınım yapan boşluk enerjisi için birçok potansiyel kaynak tanımlanmıştır. Bunlar; skaler alanlar, tensör alanları, yerel olmayan etkiler, kurt delikleri, enflasyon mekanizması ve kozmolojik tedirginliklerdir (Weinberg, 1987). Bunların her biri zamanla büyüyen bir negatif enerji yoğunluğunun oluşmasına neden olur. Böylece sıfır-noktası-enerjisinden kaynaklanan pozitif ρ_{AKED} azalır ve net etki evrende bugün gözlemlenen ρ_{AK} değerine kadar küçülebilir. Bu düşünce uzun zamandır bilinmekte olan kozmolojik *sabit* problemini çözmeye en güçlü aday olarak gözükmektedir.

Öyleyse *kozmojik sabit* bundan sonra **kozmojik terim** olarak anılırsa daha doğru bir ifade kullanılmış olacaktır. Λ 'nın Einstein alan denklemlerinin sağ tarafına alınması Λ 'nın değişebilir olduğunu söylüyordu. Diğer yandan 10^{118} katlık uyumsuzluğun çözümünde de etkin ρ_{Λ} bileşenin zamanla değiştiği öne sürülmektedir. Bu problem henüz kesin bir çözüme ulaşmamış olsa da bugüne kadar Λ 'nın, dolayısıyla ρ_{Λ} 'nın değişimine yer veren modeller için bir tablo sunacak olursak, Λ 'nın kozmolojik parametrelerle nasıl ilişkilendirildiğini görebiliriz (Tablo 2).

Dikkat edersek tüm bu modellerde Λ zamanla ya da evrenin evrimine bağlı olarak azalmaktadır. Bu bağlamda (13) denkleminde geri dönersek ve ρ_{top} yerine madde, enerji, eğrilik ve kozmolojik terimden gelen katkıları yerleştirirsek (13) denklemin şu biçimi alır.

$$(\dot{a})^2 = \frac{8}{3} \pi G a^2 \left[\rho_m + \rho_r + \frac{\Lambda}{8\pi G} + \frac{3K}{8\pi G} \frac{1}{a^2} \right]. \quad (27)$$

Bu denkleme göre, Λ 'nın geçmişte büyük değerlerinin olması evrenin evriminde Λ 'nın bir dönem hâkim bir rol oynadığını göstermektedir.

4. Değişen G ve Λ ve Değişen Λ 'lı İki Evren Modeli

G ve Λ 'nın uzay-zamana bağlı birer terim olarak alınmaması için a priori bir neden yoktur. Biz de, ilk olarak Bianchi I tip evreninde (En basit anizotropik evren modeline karşılık gelir.) G ve Λ terimlerinin değişimini inceledik.

Bianchi I evreninin metriği şöyle verilir:

$$ds^2 = A^2(t)(dx^2 - dt^2) + B^2(t)dy^2 + C^2(t)dz^2 \quad (28)$$

Enerji-momentum tensörü T_{ik} 'yi,

$$T_{ik} = (\rho + p)u_i u_k - p g_{ik}, \quad (29)$$

olarak Einstein alan denklemlerini çözdüğümüzde G ve Λ 'nın zamanla değişimini şu şekilde bulduk (Kılınç, 2004):

$$\begin{aligned} G &= (at + b)^{-2(1+w)(w-1)/3-w} \\ \Lambda &= 4\pi(1-w)(mt + n)^{-4(1+w)/3-w} \end{aligned} \quad (30)$$

Burada a, b, m, n sabitler w ise $p = w\rho$ durum denklemindeki diğer bir sabite karşılık gelmektedir.

İkinci olarak da,

$$ds^2 = A^2(x,t)(dx^2 - dt^2) + B^2(x,t)dy^2 + C^2(x,t)dz^2 \quad (31)$$

biçiminde verilen metrik ile tanımlanan homojen olmayan evrende yalnızca Λ 'nın hem konuma hem de zamana bağıllığını inceledik. Bu incelemede elde edilen çözümlerden birinde kozmolojik terimin konuma, x , ve zamana, t , bağıllığı aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\Lambda = \frac{b}{ae^{cx} \cdot e^{ur^2 + rs}} \left(\frac{1}{2} \frac{c_1 e^{\frac{\lambda}{2}} - c_2 e^{-\frac{\lambda}{2}}}{c_1 e^{\frac{\lambda}{2}} + c_2 e^{-\frac{\lambda}{2}}} - 1 \right) \quad (32)$$

Burada a , b , c , u , r , s , n sabitlere w ise durum denklemindeki diğer bir sabite karşılık gelmektedir. Bu sonuçlar tablodaki çalışmalar ile çakışmakta ve bazıları için daha genel çözüm sunmaktadır.

Sonuç olarak bu iki evren modelinde G ve Λ 'nın değişim modellerini vermiş olduk.

5. Kaynaklar

- Bachall, J. N. vd., 1997, *Unsolved Problems in Astrophysics* (Princeton University Press).
Ellis, G. F. R., 2000, *Gen. Rel. Grav.* Vol. 32, 1135.
Ellis, G. F. R., 2002, *Int.J.Mod.Phys. A* 17, 2667.
Ellis, J., 2000, *Gen. Rel. Grav.* Vol. 32, 1159.
Kalligas, D., Wesson, P., Everitt, C. W. F., 1992, *Vol 24*, 351.
Kılınç, C. B., 2004, *Ap&SS* 289, 103.
Krauss, L. M., Turner, M. S., 1995, *Gen. Rel. Grav.* Vol. 27, 1137.
Martins, C. J. A. P., 2002, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 360.
Misner, C. W., Thorne, K. S., Wheeler, J. A., 1973, *Gravitation* (Printed in the USA)
Pasini, A., 1988, *Eur. J. Phys.* 9, 289.
Peebles, P. J. E., 2003, *Rev. Mod. Phys.* 75, 559.
Uzan, J-P., 2003, *Rev. Mod. Phys.* 75, 403.
Weinberg, S., 1987, *Phys. Rev. Lett.* 59, 2607
Wesson, P. S., 2001, *Space Sci. Rev.* 98, 329.
Overduin, J. M., 1998, *Phys. Rev. D* 58.