BİR "COASTİNG" UYUŞUK KOZMOLOJİDE QUASAR EVRİMİ

K.G. Akdeniz , S. Erbil , H. Mutuş , E. Rızaoğlu
İstanbul Üniversitesi , Fizik Bölümü

Quasarların gözlem verilerinin incelenmesinin ve yorumunun 1)radyo ve optik sayımlar , 2) Hubble diyagramları , 3) V/V_m testi aracılığıyla yapıldığı biliniyor. Bu üç test arasından, quasarların radyo ve optik verilerini birlikte kullanması dolayısıyla, en çok ilgi toplayan V/V_m testidir.

Bu testin uygulanabilmesi için quasarların parlaklık uzaklıklarına ve içinde gözlendikleri hacme ihtiyaç vardır. Bu ise bizi Evrenin kinematik ve dinamik tasvirinin bilinmesine götürür. Gözlemler Evrenin büyük ölçekte birbiçim ve eşyönsel olduğunu göstermektedir. Bu kabul altında Evrenin geometrisinin, eşhareketli bir koordinat sistemi aracılığıyla,

$$\sigma_k(\omega) = \begin{cases} \sin\omega & k = +1 \\ \omega & k = 0 \\ \operatorname{sh}\omega & k = -1 \end{cases} \qquad (1a)$$

olmak üzere

$$ds^2 = c^2dt^2 - R^2(t)\left[d\omega^2 + \sigma_k^2(\omega)\, d\Omega^2\right] \qquad (1b)$$

Robertson-Walker (RW) metriğiyle ifade edildiğini biliyoruz. Buradaki R(t) ölçek çarpanı Evrenin dinamiğini yansıtan

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

Einstein denkleminin, $T_{\mu\nu}$ enerji-momentum tansörü hakkında yapılacak olan kabul çerçevesi içindeki, çözümü ile belirlenecektir. $T_{\mu\nu}$ için

$$T_{\mu\nu} = \left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) U_\mu U_\nu - \frac{p}{c^2}\, g_{\mu\nu} \qquad (3)$$

mükemmel akışkan yaklaşımı yapılacak olursa, (1) ve (3) ifadeleri (2) de yerleştirilerek

$$\frac{3\,\dot{R}^2}{R^2} + \frac{3\,k\,c^2}{R^2} = 8\pi G\rho \quad , \tag{4a}$$

$$\frac{2\,\ddot{R}}{R} + \frac{\dot{R}^2}{R^2} + \frac{k\,c^2}{R^2} = -\,8\pi G\,\frac{p}{c^2} \tag{4b}$$

Friedmann denklemleri elde edilir. (4a),(4b) denklemleri R , ρ , p gibi 3 tane bilinmeyen fonksiyon içermektedir. Öyleyse, (4a) ve (4b) nin çözümünü mümkün kılacak bir bağıntıya ihtiyaç vardır. Bu, Evreni dolduran maddeyi karakterize eden bir bağıntı, maddenin $p = p(\rho)$ şeklindeki hal denklemi olacaktır. Bugüne kadar hal denklemi olarak

1) Evrenin radyasyonla dolu olması halinde : $p = (c^2/3)\rho$,

2) Evrenin madde ile dolu olması halinde : $p = 0$

alınmıştır. V/V_m testi kullanılarak quasarların evrimi bu halde incelenmiştir [1] .

3) Kolb [2] hal denklemi

$$p = -\frac{c^2}{3}\rho \tag{5}$$

olan maddeyi K-madde olarak isimlendirmiş ve Evrenin K-madde ile dolu olması halinde (4) ile verilen Friedmann denklemlerini çözmüştür. Kolb'un elde ettiği sonuç

$$K = \frac{8\pi G}{3\,H_o^2}\,\rho_{oK}\,R_o^2 \tag{6}$$

olmak ve "o" bu günkü değerleri göstermek üzere,

$$R(t) = c\,(K-k)^{1/2}\,t \tag{7}$$

dir. Hal denklemi (5) olan maddeye K-madde denilmesinin sebebi (6) ile tanımlanan K nın eğrilik gibi davranmasıdır. K ya etkin eğrilik denilebilir. (7) den kolayca (q = 0 olduğu yani)

Evrenin sabit bir hızla genişlediği görülür. Bundan dolayı Kolb bu kozmolojiye bir "Coasting" Uyuşuk Kozmoloji adını vermiştir. (4a) dan kolayca

$$\rho \sim R^{-2} \tag{8}$$

elde edilir.

$$\frac{1}{R^2} > \frac{1}{R^3} > \frac{1}{R^4} \tag{9}$$

olması, bize, büyük patlamadan az sonra Evrene radyasyonun, daha sonra maddenin ve en sonra da K-maddenin hakim olacağını gösterir. K-madde acaba ne olabilir?

Büyük patlama ile oluşan Evrenin ilk anlarında Evrendeki enerji yoğunluğu pek çok yüksektir. Bugün, enerji yoğunluğunun pek yüksek olması halinde temel parçacıkların ve aralarındaki etkileşmelerin GUT (Grand Unified Theory) Büyük Birleştirilmiş Alan Teorisi ile ifade edildiğini biliyoruz. Model bir G Ayar grubunu simetri grubu olarak kabul etmekte ve enerji düştükçe, belirli enerji değerlerinde simetri kırılması adı verilen olay meydana gelmektedir. Simetri kırılması, modelin simetri grubunun bir üst gruptan (onun) bir alt grubuna geçmesidir. Örneğin

$$G \rightarrow H \rightarrow \ldots\ SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)_{em} \tag{10}$$

gibi. Simetri kırılması doğal olarak faz geçişlerini doğurmaktadır.

Kirzhnits [3] 1972 de bugün kırık olarak gördüğümüz bütün simetrilerin Evrenin ilk anlarında sıcaklığın pek yüksek olması nedeniyle yeniden kurulduğunu söyleyerek GUT ile Kozmoloji arasındaki köprüyü kurmuştur. Evrenin ilk anlarındaki faz geçişleri nedeniyle topolojik kararlı, yani Evrendeki bütün sürekli dönüşümler altında bozulmayan, bir takım yapılaşmalar ortaya çıkar. Bunlar arasında kozmik açıdan önemtaşıyan kozmik

sicimlerdir [4] . Kozmik sicimleri kısaca tanımaya çalışalım.

Simetri kırılınca temel parçacıkları ve aralarındaki etkileşmeleri temsil eden modelde bulunan skaler kuvantum alanı ϕ nin vakum beklenen değeri VEV = $\langle 0|\phi|0\rangle = \langle\phi\rangle \neq 0$ olur. Alan teorisinde $|0\rangle$ vakum hali maddenin gözlenemeyen kısmını temsil eder. $\langle\phi\rangle = \eta e^{i\theta}$ deki η model tarafından belirlenir fakat θ tamemen keyfidir. Öte yandan $\langle\phi\rangle$ nin tek değerliliği uzaydaki bir kapalı eğri boyunca bir defa dolandığımız zaman θ daki $\Delta\theta$ değişiminin, k bir tam sayıyı göstermek üzere, $2k\pi$ ye eşit olmasını gerektirir. Basitlik amacıyla k = 1 kabul edelim. Söz konusu kapalı eğriyi bir noktaya büzebilirsek, bir nokta için $\Delta\theta = 0$ olduğundan, 1 = 0 gibi bir çelişki elde ederiz. Öyleyse kapalı eğrinin bir noktaya büzülememesi gerekir. Bu da her kapalı eğri içinde en az bir noktada $\langle\phi\rangle$ nin bir singülariteye sahip olmasıyla gerçekleşebilir. Singülarite noktalarının oluşturduğu eğrinin ya sonsuz veya kapalı olması lazımdır ki her kapalı eğri içinde en az bir singülarite noktası bulunabilsin. İşte bu sahte vakum eğrisine **kozmik sicim** adı verilir. İlk defa Nielsen ve Olesen [5] kozmik sicim çözümlerini elde etmişlerdir. Bunların çözümleri ortada lineer kütle yoğunluğunu haiz bir tüp ve onun etrafında da içinde magnetik alanın bulunduğu ikinci bir tüpten oluşmuştur. Kozmolojide uzunluğu kesit alanına nazaran büyük sicimlerle çalışıldığı için sicimin iç yapısı göz önüne alınmaz.

Evrende gözlediğimiz büyük ölçekteki yapılaşmaları gravitasyonel kararsızlıkla evrimleşen küçük flüktüasyonların oluşturduğunu biliyoruz. "Küçük flüktüasyonların oluşmasının sebebi nedir?" sorusuna, kozmik sicimlerin teorik olarak keşfinden önce, herhangi bir cevap verilemiyordu. Bugün büyük ölçekteki yapılaşmaların kozmik sicimlerle oluşumu teorisi gözlemlerle uyum içindedir.

1984 de Vilenkin [6] özel şartları sağlayan sicimlerin enerjisinin Evrene hakim olacağını göstermiştir. Bu Evrendeki sicim yoğunluğu

$$\rho \sim R^{-2} \tag{11}$$

özelliğine sahiptir. Buradan, kolayca, Vilenkin'in sicim dolu Evreninin Kolb'un K-madde dolu Evreninin bir özel hali olduğu görülmektedir.

Elimizdeki quasar verilerine Kolb'un Uyuşuk Kozmolojisinde V/V_m testini uygulayıp, quasarların evrimleşmesinin Standart Kozmolojideki evrimleşmesinden [1] farklı olup olmadığını araştırmak istedik. V/V_m testinin esas fikri tam, belirli bir limit akıya sahip bir örneklemedeki her quasar için hem cismin içinde gözlendiği V hacmini ve hem de quasarın ayni örneklemeye ait kalacak şekilde sahip olabileceği maksimum kızılakaymaya tekaabül eden V_m hacmini hesaplamaktır. Quasarların dağılımları eğer birbiçim ise $\langle V/V_m \rangle = 0.5$ olacağı kolayca gösterilebilir. Quasarların parlaklık uzaklıkları ve içinde gözlendikleri eşhareketli hacmin, sırasıyla,

$$D = R_o \sigma_k(\omega) \ (1+z) \ , \tag{12}$$

$$V \sim \int \sigma_k^2(\omega) \, d\omega \tag{13}$$

olduğunu biliyoruz. Uyuşuk Kozmolojide radyal koordinat

$$\omega = \frac{H_o R_o}{c} \ \ln \ (1+z) \tag{14}$$

ve K-madde yoğunluk parametresi de

$$\Omega_K - 1 = k \left(\frac{c}{H_o R_o} \right)^2 \tag{15}$$

ile verilmektedir. (12), (13), (14), (15) i kullanarak global özellikleri Tablo 1 de özetlenen quasar örneklemelerine V/V_m testini uyguladık. Bildiğimiz en büyük quasar kızılakayması 4.01 olduğundan z yi en çok 4 aldık. Elde ettiğimiz sonuçları Şekil 1 de göstermekteyiz. Buradan, quasarların Uyuşuk Kozmolojide

de evrimleştikleri açıkca görülmektedir. Mümkün evrim şemaları arasından, en basiti olması dolayısıyla, quasarların sayısal yoğunluğunun, n(0) quasarların bugünkü sayısal yoğunluğu olmak üzere,

$$n(z) = n(0)\ (1+z)^{\delta} \qquad (16)$$

şeklindeki bir kuvvet kaanunu uyarınca değişiminin doğurduğu evrimleşmeyi seçtik. δ evrimleşme parametresini, $V' = \int n\, dV$ olmak üzere, $\langle V'/V'_m \rangle$ yöntemini kullanarak belirledik. Değişik Ω_K değerleri ve örneklemeler için elde ettiğimiz sonuçlar Şekil 2 de gösterilmektedir. Şekil 3 de ise δ nın en iyi değerleri ile % 68 ve % 95 güveninirlik sınırları verilmektedir.

Yukarıdaki incelemelerimizden quasarların Uyuşuk Kozmolojideki sayısal yoğunluk evrimleşmesinin Standart Kozmolojideki sayısal yoğunluk evrimleşmesiyle kayda değer bir farklılık göstermediği sonucuna vardık.

REFERANSLAR

1 Mavrides,S. ve Mutuş,H., Astron. Astrophys. 131 , 81 (1984) , Mutuş,H., Doktora Tezi , İstanbul Üniversitesi, 1986.

2 Kolb,E.W., FERMILAB-Pub-89/13-A(1989).

3 Kirzhnits,D.A., JETP Lett. 15 , 745 (1972).

4 Linde,A.D., Rep. Prog. Phys. 42 , 389 (1979) , Vilenkin,A., Phys. Rep. 121 , 263 (1985).

5 Nielsen,H.B. ve Olesen, P., Nucl. Phys. B61 , 45 (1973).

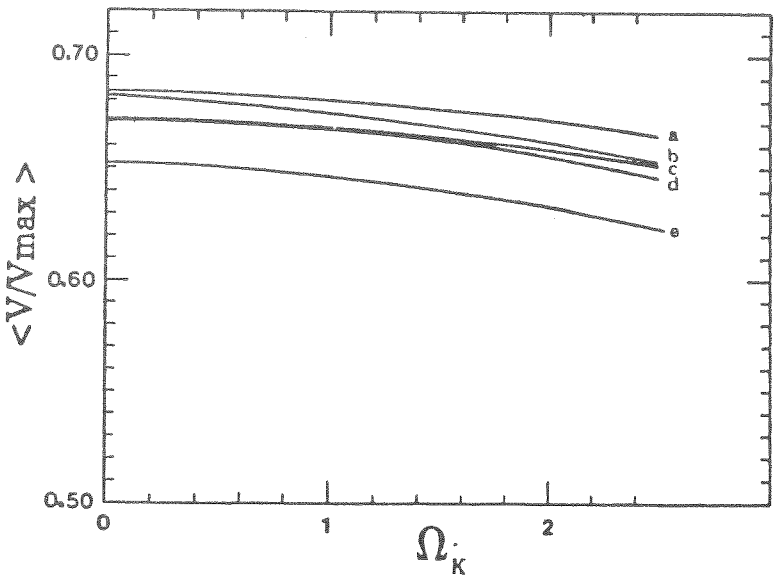
6 Vilenkin,A., Phys. Rev. Lett. 53 , 1016 (1984).

7 Schmidt,M., Ap.J, 151 , 393 (1968).

TABLO I

Örnekleme	Frekans	Radyo akı yoğunluğu limiti (Jy)(a)	Optik akı yoğunluğu limiti (log f(2500))(b)	kızılakayması bilinen cisimler	kızılakayması bilinmeyen(c) cisimler	Toplam quasar sayısı
3CR	178 MHz	S_o=9x1.08	-30.34	38	0	38
4C S 3	"	S_o=3.0	"	73	2	75
4C S 2	"	S_o=2.0	"	40	1	41
KOHERENT ÖRNEKLEME	"	Ref. 7 ye bakınız	"	117	3	120
KWPN(d)	5000 MHz	S_o=1.0	"	145	42	187

Tablo I: V/V_m analizinde kullanılan örneklemelerin global özellikleri. (a) 1 Jy = 10^{-26} $Wm^{-2}Hz^{-1}$, (b) f(2500) 2500 A^oda Schmidt tarafından tanımlanan 7 kaynakların sükunet sistemindeki akı yoğunluğudur , (c) kızılakayması bilinmeyen cisimler için z=1 olduğu varsayılmıştır , (d) kızılakayması bilinmeyen cisimler atıldığı zaman örnekleme KWPN* ile gösterilecektir.



Şekil 1 Gözönüne alınan bütün örneklemeler için $\langle V/V_m \rangle$ ortalama değerinin Ω_K parametrelerine göre değişimi ; a → e işaretli eğriler sırasıyla 3CR , KWPN , S ≥ 2 , S ≥ 3 ve KWPN* örneklemelerine aittir.

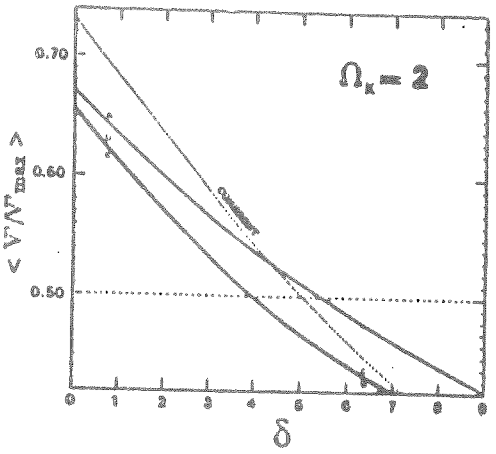


Fig. 2-a

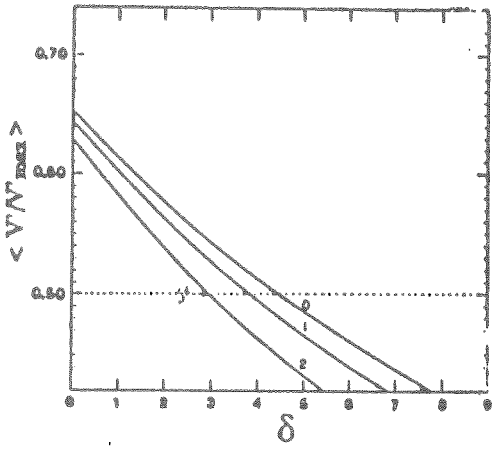


Fig. 2-b

Şekil 2 $\langle V'/V'_m \rangle$ değerlerinin $n(z) \sim (1+z)^{\delta}$ şeklinde tanımlanan yoğunluk evrimi parametresine göre değişimi. Şekil 2a da 178 MHz deki örneklemeler için olan $\langle V'/V'_m \rangle$ değerleri gösterilmektedir. a,b,c eğrileri $\Omega_K=2$ için sırasıyla 3CR , $S \geq 2$ ve $S \geq 3$ örneklemelerine aittir. Noktalı eğri koherent örneklemeye ait olup V'_e/V'_a testi ile elde edilmiştir. Şekil 2b ise Ω_K = 0,1,2 için 5000 MHz deki KWPN* örneklemesine aittir.

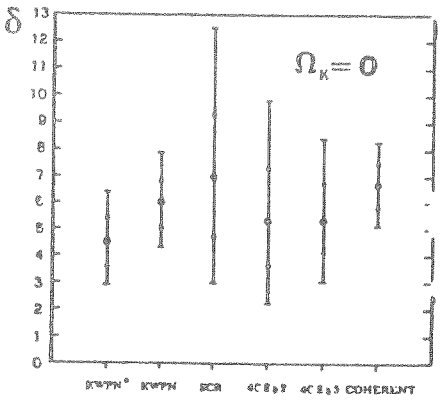


Fig 3.a

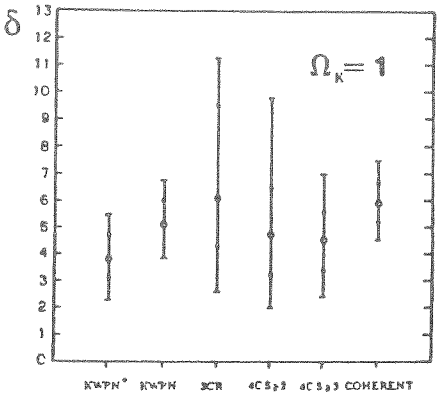


Fig. 3-b

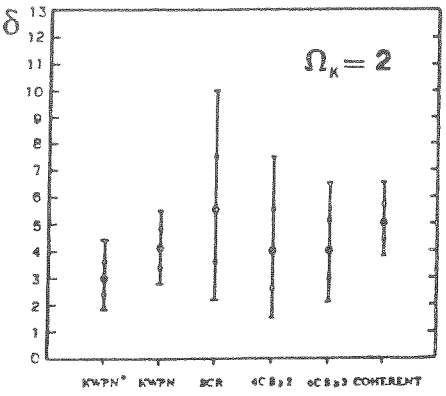


Fig. 3-c

Şekil 3 Ω_K = 0,1,2 modelleri için gözönüne alınan örneklemeler için evrim parametresinin en iyi değerleri (boş yuvarlaklar) , 1σ (dolu yuvarlaklar) ve 2σ (çizgiler) kabuledilebilirlik sınırları.

O.DEMİRCAN: Sicim'i oluşturan madde nedir? Kuazarlar mı? (Bu soruya yanıt veren açıklama bildirinin içine sonradan eklenmiştir.)
O.DEMİRCAN: Bu yapılar evrende gerçekten görülüyor mu?
E.RIZA: Asıl problem şu anda bu sicimleri evrende gözlemektir. Sicimler eğer flüktüasyonların sebebi ise bunlar bir yerde vardır deniyor ama dolaylı veya direkt olarak bu sicimleri gözlemek lâzım.
N.KIZILOĞLU: Bir ay kadar önce dinlediğimiz bir konuşmada, böyle bir gözlem olduğunu iddia eden biri, çift görünen galaksilerin nerede olduğunu saptamış ve görünüşü gerçekten eğriler üzerindeydi. İşte onların sicim olduğunu iddia ediyordu.
E.RIZA: Sicimleri gözlemek için düz bir sicim alırsak, ilk defa Vilenkin bunu yaparak sicimlerin etrafında yarattığı gravitasyon alanının metriğini hesaplamış. Evrenin küçük bir kısmını alırsak, sicimin varlığı enerji momentumu dolayısıyla Minkovski metriğini bozacak, yeni bir metrik meydana gelecek. Vilenkin bu metriği ilk defa hesaplamış ve görmüş ki, silindirik koordinatlarda, ρ'ya bağlı olan kısım aynı, ϕ'ye bağlı olan kısım aynı, z'ye bağlı olan kısım Minkovski metriğinden değişik ve şöyle bir durum ortaya çıkıyor: bu sicimin etrafındaki metrik, düz uzayda bir ϕ açısını haiz olan bir koniyi kesip koninin iki kenarını birbirine yapıştıracak olursak, elde ettiğimiz uzayın metriği gibi davranıyor. İşte bu metrik de kuazarların çift görünmesine sebep oluyor. İkinci olarak, bu senenin başında Amerikalı iki araştırmacı arka arkaya iki makale yayınladı. Bunlar pulsarları kullanıyorlar. Bazı pulsarların periyotlarının birdenbire değiştiği gözlenmiş. Bu pulsarların periyotlarının değişmesinin sebebi, sicimlerin onların önünden geçmesidir diyorlar.