

## KIRMIZIYA KAYMALAR VE EVRENİN GENİŞLEMESİ

Yılmaz Emrem

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Üniversite, İstanbul  
emremyilmaz@yahoo.com

**Özet:** Evrenin genişlediği sonucuna, Doppler etkisinden çıkarıyoruz. Gözlemciye göre, hareketli bir kaynağın spektrumundaki absorpsiyon çizgilerinde; kaynağın gözlemciye göre hızı nedeniyle, kaymalar meydana gelir. Bu olay Doppler etkisinden kaynaklanır. Çizgiler genellikle kırmızıya kayarlar. 1929 yılında E. P. Hubble kırmızıya kaymanın uzaklık ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doppler - kırmızıya kaymalar- – Hubble kanunu –

**Abstract:** Doppler effect is a result of the expanding universe. The wavelength of the radiation originated from a moving object is different than its laboratory value. This is doppler effect. In general, we find red shifted spectral lines. In 1929, E.P.Hubble showed that the redshift of spectral lines is related to distance.

**Key words:** Doppler – redshifts – Hubble Law –

### 1. Giriş

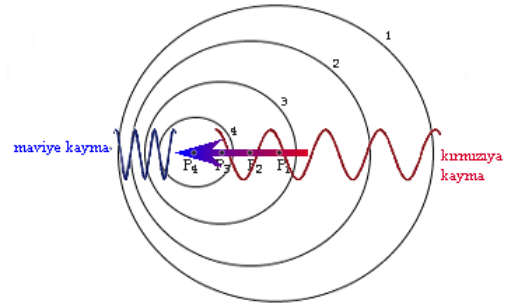
1920'lerin başlarında Hubble galaksilerin ne olduklarının tespit edilmesinde anahtar bir rol üstlenmiştir. Bazı spiral nebuların tekil yıldızlar içerdiği bilinmekteydi fakat bunların, rölatif olarak küçük yıldızların bir araya gelmesiyle oluşmuş ve galaksimiz içinde bulunan yapılar mı yoksa en az bizimki kadar büyük fakat çok daha uzak ayrı galaksiler veya “ada evrenler” mi oldukları konusunda bir mutabakat yoktu. 1924 yılında Hubble, Andromeda nebulasının uzaklığını ölçtü ve en yakın yıldızdan yüz bin kere daha uzak olduğunu tespit etti. Bu, büyüklük olarak Samanyolu ile karşılaştırılabilir olan fakat çok uzakta bulunan ayrı bir galaksi olmalıydı.

1929 yılında Hubble'ın elindeki veriler yetersizdi fakat bir sezgi olarak ya da büyük bir şans eseri veri noktaları arasından en uygun doğruyu geçirecek, kırmızıya kaymaların uzaklık ile doğru orantılı olduğunu göstermişti. Daha sonraları ise çok daha düzgün verilerle aynı sonuca varmak mümkün olabilmiştir: Galaksiler bizden uzaklaşmaktadır ve evren genişlemektedir.

### 2. Doppler Etkisi

Evrenin genişlemesi, Doppler etkisinin bir sonucu olarak keşfedildi. Basit olarak ilke şudur: Bir ışık ya da herhangi bir elektromanyetik ışınım kaynağı,

bir gözlemciye göre hareket halinde ise, ardışık dalga tepeleri arasındaki uzaklık ya da ışığın dalgaboyu, ışık kaynağı gözlemciye göre sabit durmakta iken ölçülen dalgaboyundan farklı olur. Yaklaşma hareketi sırasında dalgaboyu küçülür ve biz ışık maviye kaymıştır deriz; uzaklaşma hareketi sırasında ise dalgaboyu büyür ve bu kez de kırmızıya kaymadan söz edilir. Şekilde, ışık dalgaboyunun doppler etkisiyle değişimi gösteriliyor.



**Şekil 1:** Doppler Kayması: Çemberler  $P_1$ ' den  $P_4$ ' e doğru hareket eden bir kaynağın yaydığı dalga yüzeylerini gösteriyor. Soldaki bir gözlemci dalga tepeleri arasındaki uzaklığı (dalgaboyunu) daha kısa olarak ölçerken, sağdaki bir gözlemci daha uzun olarak ölçer.

Poster tam metni için : Yılmaz EMREM  
e-mektup : emremyilmaz@yahoo.com

Saniyede  $v$  ışınım dalga tepesi yayan uzak bir galaksiyi göz önüne alalım. Bu galaksi bizden  $v$

hızıyla uzaklaşıyor olsun. Dalga tepeleri arasındaki zaman farkı  $1/v$  olup, galaksi bu zaman aralığında  $v/v$  kadar yol almıştır. Gözlemci, dalga tepeleri arasındaki zaman aralığını,  $1/v$  değil,  $1/v$  artı ışığın  $v/v$  uzaklığını kat etmesi için gereken zaman olarak ölçer. Bu zaman ise  $v/v$  uzaklığını  $c$  ile gösterilen ışığın hızına bölerek bulunur. Bu nedenle dalgaboyu  $v/c$  oranında artar ve biz bu artışın  $z$  kadar kırmızıya kaymaya eşit olduğu tanımını yaparız. Geleneksel olarak  $v$  gözlemciden uzaklaşma yönünde ölçülür. Bu nedenle de yaklaşma, eksi  $v$  ya da maviye kayma ışımın dalgaboyunun azalmasına karşılık gelir. Frekans ( $\nu$ ) ve dalgaboyu ( $\lambda$ ) arasındaki ilişki,

$$\nu = c / \lambda \quad (1)$$

biçiminde olduğundan, kırmızıya kayan dalgaboyu attıkça, frekansa da bununla orantılı olarak küçülür. Kırmızıya kaymayı veren ifade, ışık hızıyla karşılaştırıldığında küçük olmayan  $v$  hızları için

$$z = (v/c) (1 - v^2/c^2)^{-1/2} \text{ dir.} \quad (2)$$

Bu durumda  $v$  gittikçe artarak  $c$  ye yaklaştığında, kırmızıya ya da maviye kayma miktarı da sonsuza gider.

### 3. Hubble Sabiti ve Genişleyen Evren

1929 yılında Edwin Hubble, uzayda bizden daha uzak galaksilerin daha büyük hızlarla bizden uzaklaştığını göstererek, evrenin genişlemekte olduğunu ispatlamıştır. Bu hız – uzaklık bağıntısı Hubble kanunu olarak bilinir. Bu genişlemenin süratinin değeri, Hubble sabiti olarak bilinir ve günümüzdeki değeri  $H_0$  ile gösterilir. Günümüzde yapılabilen en iyi tespitler sonucu,  $H_0$ 'ın değeri olarak 65-79 km/sn/Mpc değerleri arası kabul edilebilir.  $H_0$ 'ın tam değeri belirleme çalışmaları halen devam etmektedir (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).

### 4. Evrenin Genişlemesi Görüşü

Galaksilerin spektrumlarındaki çizgilerin kırmızıya kaymış olduklarının tespit edilmiş olduğunu ve eğer nispeten yakın galaksilerin uzaklık değerleri için elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtıyorsa, bu kırmızıya kayma olaylarının kökeninde bir Doppler olayı bulunduğunu kabul etmek şartıyla, galaksilerin Arz'dan uzaklıklarıyla orantılı bir hızla uzaklaşmakta oldukları şeklinde bir sonuç çıktığını bilmekteyiz. Ayrıca bu sonucu, daha uzakta bulunan ve herhangi bir başka yöntemle uzaklıkları belirlenemeyen galaksilere de uygulayarak, bunların uzaklıklarının değerlendirilebileceği bir yöntem elde edilebilir.

Bu sonuca varırken yapılan bütün kabullerin doğru olmaları halinde, sonuç olarak bütün galaksilerin bizden uzaklaştığı ve evrenin sanki bir genişleme halinde olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu genişleme ayrıca sanki merkezinde Arz'ın bulunduğu ve bütün galaksilerin ondan uzaklaştığı bir genişleme halini düşündürmektedir. Eğer galaksi spektrumlarındaki kırmızıya kaymaların sebebi gerçekten de bir Doppler olayı ise, bu genişlemenin merkezinde Arz'ın bulunmadığı, daha doğrusu bu genişlemenin bir merkezinin bulunmadığı, şu örnekle anlaşılabilir: Bir duman havada yayılırken, dumanı oluşturan parçacıklar, aralarından hiçbir parçacığı bu dağılmanın merkezi olarak kabul etmeden, ve bu dumanın her noktasının birbirinden uzaklaşması şeklinde bir genişleme gösterecektir. Aynı bir zaman dilimi içerisinde, bu bulut içerisindeki bütün parçacıklar, birbirlerinden aynı oranda uzaklaşmış ve bunun sonucunda da bulut sanki kendine benzer olarak kalmış fakat boyutunu artırmış olacaktır. Bu bulut içerisinde herhangi bir parçacıktan bakıldığında, diğer bütün parçacıkların, bu parçacıktan uzaklaştığı gözlenecektir. Halbuki bu uzaklaşma yalnızca bu noktada değil her noktada gözlenmektedir.

Galaksilerin kaçış hızlarının 1000 km/s ile 60 000 km/s aralığı içinde %15'lik bir dispersiyonla uzayda eş yönlü bir dağılım gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu büyüklükteki bir dispersiyonun, evrenin genişlemesinin eşyönlü olmadığı hususunda ciddi bir delil teşkil ettiğini iddia eden araştırmacılar da mevcuttur (Prof. Dr. Ahmed Yüksel Özemre, Kozmolojiye Giriş, 1981, sayfa 23).

Evrenin yaşı için genel ilişki  $t_0=1/H_0$  tanımıyla verilir (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>). Asıl hesaplamalarda, H birimleri (Mpc biriminde) cevabı milyar yıllarla verirken, formül şöyle olur: Yaş =  $977.8/H_0$  . 65 km/sn/mpc'lik bir  $H_0$  için, formül 15.04 milyar yılı gösterir(tahmin edilen belirsizlik +/- 2 milyar yıldır) Bugün 13,5 milyar yıl ( $H_0 = 72,5$  km/sn/Mpc) genel kabul edilmiş bir değerdir (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).

Bu, eğer galaksilerin uzaklaşma yönünü tersine çevirirsek hepsinin aynı bir noktada toplanmaları için geçmesi gereken süredir veya başka bir deyişle, büyük patlama anından itibaren galaksilerin bugünkü gözlenen hızları ile evrenin bugünkü büyüklüğüne erişebilmesi için gereken zamandır. Eğer evrenin genişlemesi gerçek ise,  $H_0^{-1}$  in bu değerinin Güneş'in, radyoaktif elementlerin yaşlarıyla da tutarlı olması gerekir. Nitekim başka düşüncelerden hareketle yapılmış olan değerlendirmelere göre Güneş'in yaşı  $4.5 \cdot 10^9$  yıl, radyoaktif elementlerin yaşı  $12 \cdot 10^9$  yıldır.

Görüldüğü gibi bunlar evrene yakıştırılan yaşla gelişik değıldirler.

Evrenin gerçekten de genişlemekte olduğunu gösterebilecek önemli bir olaya daha burada değınmek gerekir. 1964'te A. A. Penzias ve R. W. Wilson uzayın her yerinden aynı şiddette gelen bir radyo ışınımı varlığını tespit etmişlerdir ( Prof.

Dr. Ahmed Yüksel Özemre, Kozmolojiye Giriş, 1981, sayfa 24). Yapılan ölçümler bu emisyonun 2,7 °K sıcaklığındaki bir kara cismin emisyonuna karşılık geldiğini göstermiştir. Bu keşif Dicke, Peebles, Roll, ve Wilkinson ekibi tarafından Gamow'n 1948'de "büyük patlama" teorisinde öngörmüş olduğu fosil parazit emisyon olarak yorumlanmıştır. Bu durum, genişleyen evren modelini destekleyen bir kanıt olarak kabul edilebilir.

## 5. Kırmızıya Kayma ve Kozmoloji İlkeleri

Çağdaş kozmolojinin en son gözlem bulgularını açıklayacak şekilde olması gerekliliği, en son gözlem bulgularına dayanarak kurulması esasını da içerir. Kozmolojik ilke, galaksi gözlemlerinden çıkarılan genel sonuçlardır ve büyük boyutta evren hakkında iki özelliği içerir:

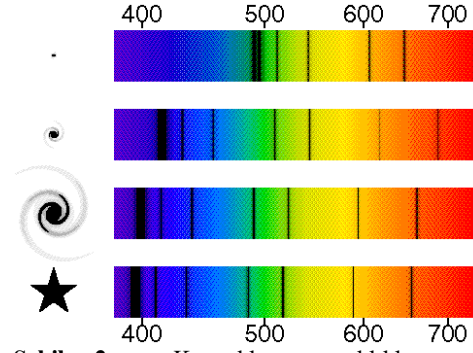
1. Evren uniformdur (Homojenlik ilkesi)
2. Evren eş yönseldir (İzotropluk ilkesi)

Uniform olması, hangi noktasında bulunursa bulunsun, bir gözlemciye belli bir zamanda uzayın aynı şekilde görünmesidir. Başka bir deyişle, belli bir zamanda, uzayın değişik noktalarındaki gözlemcilerin Dünyadan gözlenen uzayın benzeri olan uzayları gözlemeleridir.

Eş yönsel olması ise, bir gözlemciye her yönde uzayın aynı görünmesidir. Ancak kozmolojik ilke küçük boyutlu uzay bölgeleri ele alındığında doğru olmayabilir. Çünkü galaksilerin yerel dağılıma özellikleri ve galaksi kümeleri nedeni ile yerel düzensizlikler olabilir. Galaksi kümelerinin çaplarının birkaç Mpc olabileceği göz önünde tutulursa, 1000 Mpc çapında iki bölge karşılaştırıldığında, homojenlik sözkonusu iken, 10 Mpc çapında iki uzay bölgesi karşılaştırıldığında homojenlik ilkesi ortadan kalkar.

Evvelce de işaret etmiş olduğumuz gibi galaksilerin spektrumları, genel görünüşleri ile yıldızlarınkine benzerler. Bir galaksi spektrumu, o galaksiyi meydana getiren yıldızların ortak, entegre bir spektrumu şeklindedir. En önemlileri spektrumun mor bölgesindeki kalsiyumun H ve K çizgileri olmak üzere, bir miktar iyice belirgin absorpsiyon çizgisi vardır. Bu spektral çizgilerin en dikkate değer özellikleri, kırmızıya doğru büyük Doppler

kaymalarıdır ki, bu kaymalar, yakın birkaç galaksi hariç tutulursa; aşağıdaki şekilde örneklendirildiği gibi, uzaklıkla artan büyük uzaklaşma hızlarına işaret eder (Lloyd Motz, Annetta Duven, Astronomide Temel Bilgiler IV. Kısım, 1980, sayfa 608).



Şekil 2 : Kaynakların uzaklıklarına göre spektrumlarındaki absorpsiyon çizgileri.

## 6 . Relativistik Doppler Kayması ve Hubble Kanunu

Bu kanunu ve galaksilere uygulanmasını daha ayrıntılı olarak incelemeden önce, Doppler kaymasının yukarıda kullandığımız şekliyle bu probleme uygulanıp uygulanamayacağı hakkında birkaç söz söylemeliyiz. Relativite teorisine göre ışık hızı bütün cisimler için bir mutlak maksimum olduğundan  $v = c (\Delta\lambda / \lambda)$  ifadesinden bir spektral çizgideki  $\Delta\lambda$  dalgaboyu kısalması,  $\lambda$  dan hiçbir zaman daha büyük olamayacak gibi görülür, çünkü o zaman  $v$  hızı  $c$  den daha büyük olur. Bununla beraber, bu sonuç doğru değildir ve sadece Doppler kayması için kullanmış olduğumuz şeklin, relativite göz önüne alındığı zaman, doğru olmamasından ileri gelmektedir. Göz önüne almış olduğumuz ışık kaynağı bize göre çok hızlı hareket etmediği sürece, bu basit şekil doğrudur. Fakat çok büyük hızlarla hareket eden cisimleri göz önüne aldığımız zaman relativistik Doppler formülü için,

$$v = \frac{v_0 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}{1 \pm \frac{V}{c}} \quad (3)$$

ifadesi kullanmamız gerekmektedir (Lloyd Motz, Annetta Duven, Astronomide Temel Bilgiler IV. Kısım, 1980, sayfa 610). Burada  $v_0$  kaynak gözlemciye göre hareket etmediği zaman yayınlanan radyasyonun frekansı, ve  $v$  de gözlemciye gelen radyasyonun frekansdır. Eğer kaynak bir  $v$  hızı ile hareket ediyorsa + işaretli kaynak gözlemciden uzaklaştığı zaman ve - işareti

de kaynak gözlemciye doğru hareket ettiği zaman konur.

Eğer frekans yerine dalgaboyu yazarsak

$$\lambda = \frac{\lambda_0 \left(1 \pm \frac{V}{c}\right)}{\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

elde ederiz (Lloyd Motz, Annetta Duven, Astronomide Temel Bilgiler IV. Kısım, 1980, sayfa 610). Bu formüle göre, bizden v hızı ile uzaklaşan (+ işareti kullanılmaktadır) bir kaynak için,

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\left(1 + \frac{V}{c}\right)}{\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} - 1 \quad (5)$$

olmalıdır (Lloyd Motz, Annetta Duven, Astronomide Temel Bilgiler IV. Kısım, 1980, sayfa 610).

Bu denklemden açıkça görülmektedir ki, uzaklaşan cismin hızı ışık hızına yaklaştıkça,  $\Delta \lambda$ 'nın değeri sonsuza kadar her değeri alabilir. Böylece bu formüle göre, galaksilerin öyle hızlarla uzaklaşması mümkündür ki, ışınlarının büyük bir kısmı spektrumun kırmızı ötesi veya radyo dalgaları bölgesine kaymış olsunlar. Her ne kadar uzaklıklar ve dolayısıyla uzaklaşma hızları çok büyük olduğu zaman, Hubble kanununun incelenmesinde kullanılacak olan uygun formül bu ise de, biz şimdiki incelememizde pedagojik nedenlerle önceki basit formülü kullanacağız.

### 7. Büyük Patlamanın Kanıtı

Büyük patlama modeli ile ilgili iki önemli kanıt tanımlanmaktadır: 1. Büyük patlamanın ilk bir dakikası içinde, temel parçacıkların sentezlenme süreçlerinin detaylı olarak hesaplanabilmesi, büyük patlama modeli ile uyum içerisindedir. Bu parçacıklar sadece Kuantum ve Yüksek Enerji Fiziğiyle tahmin edilip açıklanabilecek bir sürecin sonucudur. Bu parçacıkların teorik üretilme süreçleri ve gözlenen oranları, evrende gözlemlenen H, He ve Li atomlarının miktarları tarafından teyit edilmiş gözükmektedir ("Scientific American" Ekim 1998) 2. Özellikle Hubble Uzay Teleskobu'ndan yapılan En uzak galaksilere ait gözlemlerin, gelişmekte olan, ilkel görünümü yapılar göstermesi, genişleyen evren modelinden beklendiği şekilde gözlenmektedir. Büyük uzaklıklara baktıkça, zaman ekseninde daha gerileri gözleyeceğimiz düşünüldüğünde, bu durumun evrenin genişlemesine bir kanıt olduğu açıktır

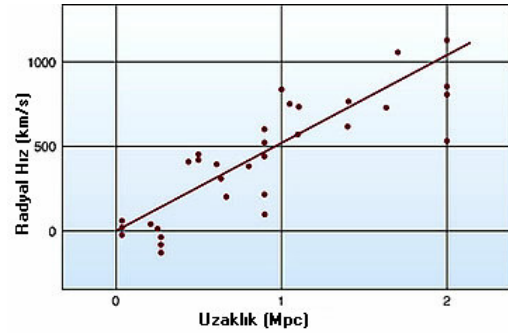
("Scientific American" Ekim 1998 ). Ayrıca daha önce bahsedilen iki fiziksel gözlem vardır: Galaksi spektrumlarındaki kırmızıya kaymalar ve kozmik zemin ışınlama.

### 8. Kırmızıya Kaymalar ve Hubble Kanunu

Işınlama ait daha uzun dalgalılarına doğru meydana gelen kırmızıya kayma ölçümleri öncelikle rölatif bir hızın varlığına işaret etmektedir. Bu durum 1912'de Slipher tarafından ortaya konulmuş, Robertson ise, uzak galaksilerin daha büyük kırmızıya kaymalar gösterdiğini belirtmiştir

(<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>). Edwin Hubble ise, 1924'e kadar bu hız - uzaklık - kırmızı kayma bağıntısına pek çok yeni gözlemsel kanıtlar getirerek, bugün Hubble Kanunu olarak bildiğimiz son şeklini almasını sağlamıştır. Bundan dolayı Hubble, daha sonra Büyük patlama modelinin en önemli basamağı olan genişleyen evren modelinin arkasındaki kişi olarak tanınır. Hubble'ın keşfettiği kırmızıya kaymaların, ışık hızının 1/10'u olan, 100 milyon km/saat hızında galaksiler tarafından meydana getirilebileceği tahmin edilmekteydi. Aşağıda, daha sonra Büyük patlama modelini oluşturacak, genişleyen evren kavramının ortaya atılmasını sağlayan orijinal bilgi taslağı bulunmaktadır

(<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).



**Şekil 3** : Edwin Hubble'ın "genişleyen evren" kuramını ortaya koymasını sağlayan orijinal gözlem verileri (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).

Hubble, uzaklaşma hızı  $V$ 'nin çok büyük bir  $D$  astronomik uzaklığında bulunan yıldızsal kaynaklara ait olduğunu belirtmiş ve  $V/D$  oranının doğrusal bir ilişki ile ifade edilebileceğini yani bir  $H$  sabiti ile bu ilişkinin bir eşitlik haline dönüştürülebileceğini ifade etmiştir. Bu değer, Mpc başına, 550km/sn'dir (Lloyd Motz, Annetta Duven, Astronomide Temel Bilgiler IV. Kısım, 1980, sayfa 611). Hubble kanunu olarak bilinen bu temel kanun, büyük patlama modelinin en temel

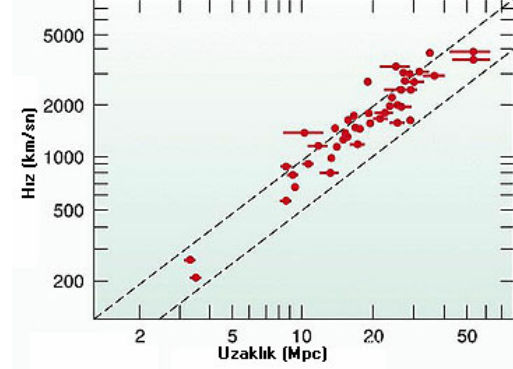
yasalarından biri halini almıştır. Ortaya çıkan doğrusal ilişki, matematiksel olarak kolayca bir denklem haline getirilebilir:

$$V \text{ (uzaklaşma hızı)} = H_0 \text{ (eğimi belirleyen sabit)} \times d \text{ (gözlemciye olan uzaklık)}$$

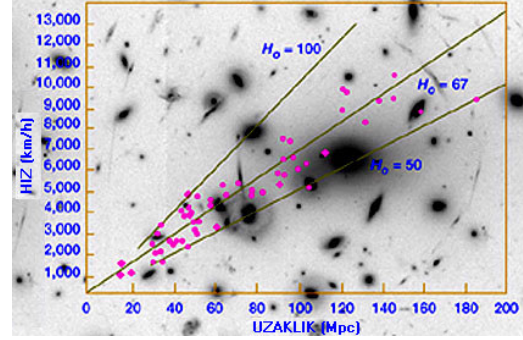
Buradaki sabit  $H_0$  harfi ile gösterilir ve Hubble Sabiti olarak bilinir. Normal olarak Km/sn/Megaparsek (alternatif şekli ise km/sn/milyon ışık yılı) cinsinden verilir. Bu denklemden elde edilen en temel bilgi, galaksiler gibi nesnelerin gözlemciden uzaklıkları ne kadar büyük olursa, uzaklaşma hızlarının da o kadar büyük olacağıdır. Genişleme hızının üst sınırı, ışık hızıdır. Genişleme hakkında bazı yorumlar ise boyutsal büyümenin ışık hızından daha da büyük olabileceği şeklindedir. Mevcut genişleme hızı, bir dünya yılı başına bir ışık yılı şeklindedir. Basit olarak genişleme hızı için üst sınır olan ışık hızı kullanıldığında bu sonuç kolayca bulunabilir. Edwin Hubble'ın bu keşiften birkaç yıl sonra ortaya çıkan ilk sorun, ölçülen Hubble sabiti için evrenin yaşı hesaplanıldığında, Dünyanın yaşı olarak kabul edilen 4 milyar yıl ile çelişmekte olan 2 milyar yıl sonucunun elde edilmesi olmuştur. Bu hatanın sebebi, hesaplanan ilk Hubble sabiti için kullanılan verilerin, küçük, yakın galaksilerden elde edilen ve pek de doğru olmayan veriler oluşudur. Daha uzak galaksiler için daha kesin ölçümler yapılabildiğinde, bu çelişki ortadan kalkmıştır (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>). Aşağıda bu sonuçların bazı örneklerini görmekteyiz:

Aşağıdaki diyagram, her bir galaksinin dünyadan uzaklığına (Megaparsek olarak) karşılık gelen güncel bir galaksi hızı tablosudur. (km/sn 3600 ile çarpılarak km/saate çevrilmiştir.) Bu diyagramdaki verilerin çoğu, 5 milyar ışık yılı uzaklıktaki veya daha yakın galaksilerden elde edilmiştir.  $H_0$ 'ın buradaki değeri günümüzde de kullanılan Hubble Sabiti değeridir ve bu sabitin kesin olarak tespit edilmesi, modern kozmoloji için hâla önemli bir hedefdir. Bu konudaki tahminlerin kesinleşmemesi hem kırmızıya kaymaların belirlenmesindeki hem

de şu an ışığını aldığımız galaksilerin uzaklığının ölçülmesindeki belirsizliklerle ilişkilidir.



Şekil 4 : Düzeltilmiş Hubble diyagramı (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).



Şekil 5:Farklı Hubble sabiti değerlerine karşılık gelen farklı Hubble diyagramları (<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>).

## 9. Kaynaklar

(<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A9.html>)

("Scientific American" Ekim 1998 ).

(Prof. Dr. Ahmed Yüksel Özemre, Kozmolojiye Giriş, 1981).