

MIT Açık Ders Malzemeleri  
<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimi kullanın:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002*  
(Massachusetts Teknoloji Enstitüsü: MIT Açık Ders Malzemeleri).  
<http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative  
Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT OpenCourseWare

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

## Transkript – Ders 35 Doppler Olayı

### ve Büyük Patlama

Bugün Doppler olayını anlatacağım; çoğunuzun lise fiziğinden hatırladığınız sesin Doppler olayıyla başlayacağım.

Bir ses kaynağı size doğru hareket ediyorsa, ya da siz bir ses kaynağına doğru geliyorsanız, sesin frekansında yani tizliğinde bir artış duyarsınız.

Yok, eğer birbirinizden uzaklaşırsanız, sesin pesleştiğini, yani frekansında bir azalma olduğunu duyarsınız.

Bu, bir ses vericisi olsun ve bu da bir ses alıcısı; bu siz ve sizin kulağınız olabilir.

Ve varsayalım ki, bu vericinin hızı ve bu da alıcının hızı.

Hız bu yöndeyseniz,  $V$ , 0'dan büyük olmalıdır.

Ama hız bu yöndeyseniz,  $v$ , denkleminde 0'dan küçük çıkar.

Alıcının hissedeceği, ya da -- bu sözcükten hoşlanıyorsanız -- duyacağı frekans,  $F$  üssü diyeceğim.

Vericinin yaydığı frekans ise  $F$  'dir.

Ve  $F$  üssü,  $F$  kere  $(\text{sesin hızı} - V_{\text{alıcı}})$  bölü  $(\text{ses hızı} - V_{\text{verici}})$ 'dir.

Bu, Doppler kayma denklemi olarak bilinir.

Sizde Giancoli'nin 1. cildi varsa, buna orada da bakabilirsiniz.

Hiç hareket etmediğinizi varsayalım. Duruyorsunuz.

Dolayısıyla  $V_{\text{alıcı}} = 0$  'dır.

Fakat ben saniyede 1 metre hız ile size doğru hareket ediyorsam,  $F$  üssü  $F$  'den daha büyük olacaktır.

Saniyede 1 metrelik bir hızla sizden uzaklaşırsam,  $F$  üssü  $F$  'den daha küçük olacaktır. Sesin hızı saniyede 340 metre'dir.

Üreteceğim F frekansı 4000 Hertz ise ve sonra saniyede 1 metrelik bir hızla size doğru hareket edersem, sizin hissedeceğiniz frekans aşağı yukarı 4012 hertz olacaktır. Yüzde 0.3 kadar daha yüksektir.

Oran  $\frac{1}{340}$  ' tır.

Ve ben sizden saniyede 1 metre hızla uzaklaşırsam, sizin duyabileceğiniz frekans 12 Hertz kadar daha düşüktür.

Böylece daha pes bir ses duyarsınız. Yüzde 0.3 kadar daha düşük.

Burada bir ses çatalım var. Ses çatalı 4000 Hertz.

Ben ona vuracağım ve yaklaşık olarak saniyede 1 metre hızla size doğru elimi hareket ettirmeye çalışacağım. Sonuç, yaklaşık hesapladığım kadardır.

Sesin sürmesi koşuluyla, onu sizden öteye, size doğru, sizden öteye hareket ettireceğim.

4012' den 3988 Hertze kadar pesleşme-tizleşme değişimi duyacaksınız.

Çok belirgin olarak. Duydunuz mu?

Doppler kaymasını açık olarak kimler duyduysa, lütfen ellerini kaldırsın?

Tamam. Çok açık.

Artan frekans ve sonra elimi uzağa götürdüğümde, daha pes bir ses.

Şimdi, benim size doğru, ya da sizin bana doğru hareket etmeniz arasında bir fark olmadığını düşünebilirsiniz. Hızlar ses hızına göre çok küçükse, bu gerçekten de doğrudur.

Ama, ses hızına yaklaştığımızda artık bu doğru değildir.

Örneğin, eğer siz benden ses hızıyla uzaklaşıyorsanız, beni asla duyamazsınız.

Çünkü ses sizi asla yakalayamayacaktır; bu yüzden F üssü 0'dır.

Ve siz gerçekten bu denklemle bunu doğrulayabilirsiniz.

Fakat ben ses hızıyla sizden uzaklaşırsam, ses kesinlikle size ulaşacaktır.

Sizin duyacağınız frekans, benim ürettiğim sadece yarısı olacaktır.

Dolayısıyla, çok büyük bir asimetri vardır. Benim hareket etmem, ya da sizin hareket etmeniz çok fark eder

Şimdi elektromanyetik ışınımına dönmek istiyorum.

Elektromanyetik ışınımında da Doppler olayı söz konusudur.

Trafik lambasının kırmızı olduğunu görürseniz ve yeterince hızla ona yaklaşırsanız, frekansı daha yüksek hissedersiniz, yani kırmızıdan daha kısa dalgalıyı görürsünüz; hattâ yeşil olduğunu bile düşünebilirsiniz.

Kırmızı ışıkta yeşil diye geçebilirsiniz bile.

F üssü ve F arasındaki doğru ilişkiyi hesaplamak için özel görelilik gerekir. Bu nedenle, size sadece sonucu vereceğim.

F üssü, sizin aldığınız frekanstır. F ise, vericinin yayınladığı frekans.

Bu durumda, burada  $1 - \beta$  bölü  $1 + \beta$ 'nin  $\frac{1}{2}$ 'nci kuvvetini elde ederiz.

Beta, V bölü C'dir; burada C ışık hızı; V ise verici ile sizin aranızdaki bağıl hızdır.

Beta 0' dan büyükse, birbirinizden uzaklaşıyorsunuz demektir bu denklemde.

Beta 0' dan küçük ise, birbirinize yaklaşıyorsunuzdur.

Bu kez, bir tarafta verici ve diğer tarafta hız ve alıcı arasında niçin bir fark bulunmadığını merak edebilirsiniz.

Sadece bir beta vardır. Evet; bu, özel görelilik için tipik bir durumdur.

Bu sadece görelili harekette vardır. Mutlak harekette böyle bir şey yoktur.

Sen bana göre hareket ediyorsun, ya da ben sana göre hareket ediyorum ifadeleri özel görelilikte yasal olmayan ifadelerdir.. Bunlar sadece görelili harekette böyledir.

Boşluktaysak,  $\lambda = C / F$ 'dir ve  $\lambda$  üssü =  $C / F$  üssü 'dür

Burada  $\lambda$  üssü, şimdi aldığınız dalgalıdır;  $\lambda$  ise, kaynağın yaydığı dalgalıdır.

Dolayısıyla, buraya, bu F yerine  $(C / \lambda)$  koyarım; daha yaygın olarak bu yapılır.

Böylece, elektromanyetik ışınım için bu Doppler olayı denklemi, daha yaygın olarak dalgalı cinsinden verilir. Fakat kuşkusuz ikisi de eşdeğerdir.

Bu durumda, pay'da  $(1 + \beta)$  bölü  $(1 - \beta)$  olmak üzere, tümünün  $\frac{1}{2}$  kuvveti elde edilir.

Hız, dörüst olmam gerekirse, radyal hızdır.

Siz burada ve yayılma kaynağı buradaysa ve ikinizin arasındaki bağıl hız bu olsa; o durumda o bu bileşendir; bu açı  $\theta$ ' dır;  $V \cos \theta$  olan bu bileşen – ki ona radyal hız diyoruz – o denklemden yer alan gerçek hızdır..

Polis arabaları sizin hızınızı radarla ölçer. Onlar radar ışığını arabanızdan geri yansıtırlar ve yansıyan radar ışığındaki frekans değişimini ölçerler.

Bu, hızınız nedeniyle oluşan bir Doppler kayması verir. Polisler bu yolla arabanızın hızını çok yüksek hassasiyetle saptarlar.

Doppler olayının Astronomi'de çok önemli rol oynadığını düşünebilirsiniz.

Çünkü yıldızların bize göre olan radyal hızlarını ölçebiliriz.

Pek çok yıldız spektrumu, o yıldızın atmosferdeki atom ve moleküllerden kaynaklanan kesikli frekanslar, kesikli dalgalı boylarını gösterir.

Geçen derste, size bir neon ışık kaynağını kendi kırınım ağınlı ile göstermiş ve sizi neon tarafından yayınlanan kesikli frekansların ve kesikli dalgalı boylarının var olduğuna inandırmıştım.

Örneğin bizim kendi laboratuvarımızda özel bir kesikli dalgalı boyu 5000 Angströmse, yıldızın bakarım ve bu dalgalı boyunun daha büyük olduğunu görürüm:  $\lambda$  üssü,  $\lambda$ 'dan daha büyükse, şu sonuca varırım:  $\lambda$  üssü'nün,  $\lambda$ 'dan daha büyük olması, gözlediğim dalgalı boyunun kırmızının yönünde daha uzun dalgalı boylarına doğru kaydığı anlamına gelir; işte buna "**kırmızıya kayma**" deriz.

Bu, birbirimizden uzaklaşıyoruz demektir.

Fakat  $\lambda$  üssü'yü,  $\lambda$ 'dan daha küçük ölçersem; yani  $\lambda$  üssü,  $\lambda$ 'dan daha küçük ise; Astronomi'de buna "**maviye kayma**" deriz; bu, birbirimize yaklaşıyoruz anlamına gelir.

Böylece, spektrumdaki çizgilerin hareket ettiği yöne atıfta bulunuruz.

Size basit bir örnek verebilirim.

Delta Leporis adlı yıldız için kırmızıya kaymanın ne olduğunu araştırdım.

Çoğu yıldızın, kalsiyumdan dolayı, spektrumunda görülen bir çizgi vardır; hatta bunun belli bir ismi bile var: sanırım, kalsiyumunki K çizgisi. Neyse, isim o kadar önemli değil.

Bizim kendi laboratuvarımızda, bunun  $\lambda$ 'sı, yüksek bir hassasiyetle, 3933.664 Angstrom olarak bilinir.

Yıldızın bakarız ve bunun, kuşku duymaksızın, yıldızın atmosferdeki kalsiyumun K çizgisi olduğunu tanıırız:  $\lambda$  üssünün,  $\lambda$ 'dan 1.298 Angstrom kadar daha büyük olduğunu buluruz.

Demek ki lambda üssü, lambda'dan daha büyük.

Bu nedenle kırmızıya kayma söz konusudur ve dolayısıyla birbirimizden uzaklaşıyoruz demektir. Şimdi şu denkleme giderim.

Orada lambda üssü ve lambda'yı yerlerine yazarım ve  $\beta$ 'nin  $+3.3 \times 10^{-4}$  'e eşit olduğunu bulurum.

$\beta$  için (+) işareti, aslında birbirimizden uzaklaştığımızı, bağıl hızımızın birbirimizden öteye olduğumuzu doğrular; dolayısıyla, radyal hızı – vurgulayayım; o, hızımızın radyal bileşenidir – beta çarpı C olarak bulurum ve sayısal değeri yaklaşık olarak saniyede 99 kilometre'dir.

Böylece, şimdi bağıl hızı, yıldız ile benim aramdaki radyal hızı ölçmüş oldum; yıldız mı benden uzaklaşıyor, yoksa ben mi yıldızdan uzaklaşıyorum sorusu gereksiz bir sorudur; önemli olan daima bağıl yani görelidir.

Dalgaboyunu böylesine hassas, 4000 Angströmden 1.3 Angströmün farkını görebilecek kadar hassas nasıl ölçebiliyorum?

Bunun yapılma yolu şudur: Yıldız ışığını gözlemlersiniz ve bir spektrum oluşturursunuz; aynı zamanda laboratuarda, ışık kaynaklarının iyi-bilinen ve iyi-derecelenmiş dalgaboylarına sahip bir spektrumunu yaparsınız.

Varsayalım ki, bir yıldızın atmosferinde biraz neon bulunmakta.

Neon ışığını geçen derse baktığımız tarzda kıyaslayabilirsiniz.

Yıldızdan gelen dalgaboyuyla onu kıyaslayabilirsiniz ve çok çok küçük kaymaları görebilirsiniz. Bağıl bir ölçüm yaparsınız.

Dolayısıyla, yüksek çözünürlüğe sahip spektrometrelere ihtiyacınız vardır.

Böylece, yıldızların bu bağıl hızlarını ölçmek için, yirminci yüzyılın başlarında büyük bir endüstri vardı.

Onların hızları, tipik olarak, saniyede 100, 200 kilometre idi.

Biraz önce hesapladığım yıldızdan farklı değil.

Şu yıldızların bazıları bize yaklaşıyor. Diğer yıldızlar bizim galaksimiz içinde uzaklaşıyor.

1920'lerde Slipher, o zamanlar galaksimizde olduklarına inanılan bazı bulutsuların kırmızıya kaymalarını gözlemlemişti ve o bu bulutsuların saniyede 1500 kilometreye kadar olan çok yüksek hızlara sahip olduğunu bulmuştu. Onlar daima bizden uzaklaşmaktaydılar.

Ve kısa bir süre sonra, bu bulutsuların bizim galaksimiz içinde olmadıkları, kendilerinin ayrı galaksiler oldukları anlaşılmıştı.

Onlar, tıpkı bizim kendi galaksimiz gibi, yaklaşık 10 milyar yıldızdan oluşmuş yıldız kümeleridir.

Bu galaksilerin bir spektrumunu aldığınızda, kuşkusuz, milyonlarca yıldızın bir ortalamasını elde edersiniz; fakat gene de bu sizin kırmızıya kaymayı, galaksinin ortalama kırmızıya kaymasını ve dolayısıyla galaksinin hızını hesaplamana izin verir.

Ona izafeten Hubble uzay teleskobu adını verdikleri ünlü astrofizikçi Hubble ve Humason bu galaksilere olan uzaklığı ölçmek için çok cesurca bir girişimde bulundular.

Onlar hızları biliyorlardı. “Kırmızıya kaymaları” bildikleri için, hızları bilmeleri kolaydı.

Astronomide uzaklıkları saptamak zor bir durumdur. Uzaklık saptamalarının ayrıntılarından kurtaracağım sizi.

Ama Hubble muhteşem bir keşif yapmıştı. O, hız ile mesafeler arasında doğrusal bir ilişki bulmuştu.

Bunu Hubble Yasası olarak biliyoruz.

Hubble Yasası; hızın, bir sabit çarpı D olduğunu söyler; bu sabite, Hubble’a izafeten Hubble sabiti denir ve H ile gösterilir.

H ‘nin modern değeri, saniyede megaparsek başına 72 kilometredir.

Megaparsek nedir? Megaparsek bir uzaklıktır; bir uzaklık birimidir.

Astronomide inçlerle ilgilenmeyiz, kilometrelerle de ilgilenmeyiz, onlar hiç yeterli değildir; parsek’ler ve megaparsek’lerle ilgileniriz.

Bir megaparsek,  $3.26 \times 10^6$  ışık yılıdır.

Bunu kilometre olarak isterseniz, ki mantıksız bir soru değildir; bu, yaklaşık olarak  $3.1 \times 10^{19}$  kilometredir.

Kırmızıya kaymasını biliyorsam; ilgilendiğim belli bir galaksinin uzaklığını hesaplayabilirim.

Aklımda, lambda üssü’sü 1.0033 kere lambda olan belirli bir galaksi var.

Gene dikkat ederseniz, galaksiden gelen dalgaboyu gerçekten lambda’dan daha uzun; dolayısıyla kırmızıya kayma söz konusu.

Doppler kayma denklemine giderim; şu denklem.

Beta' yı hesaplarım. Bir bilinmeyeli bir denklem bu; beta'yı hemen çözerim.

Ve işte,  $V'$  nin saniyede 5000 kilometre olduğunu buldum bile.

Çok basit, hiç bir özelliği yok; çok kolay bir hesaplama.

Ve şimdi de, Hubble Yasasıyla,  $D'$  nin değerini hesaplayabilirim.

$D$ , 5000 km/sn olan hızın 72 'ye bölümüdür ve bu da yaklaşık 69 megaparsektir.

Bu birimlerde çalışırsak, uzaklığı gene megaparsek olarak buluruz.

Bu, 225 milyon ışık yılı kadardır. Dolayısıyla, bu cisim bizden aşağı yukarı 225 milyon ışık yılı uzaktadır.

Işığının bize ulaşması, tam 225 milyon yıl almıştı.

Bu yüzden, bu cisimden gelen ışığı gördüğünüzde, zamanda çok gerilere bakıyorsunuzdur. Bundan iki kat daha uzakta bulunan bir galaksiye sahipseniz, hız iki kat daha büyük olacaktır.

Ve onlar daima bize göre uzaklaşmaktadırlar.

Size şimdi üç galaksiden bazı spektrumlar göstermek istiyorum.

John, ilk slaytı gösterebilir misin?

Peki; burada bir galaksi ve o galaksinin spektrumunu görüyorsunuz.

Bu sizin için çok etkileyici olmayabilir.

Kalsiyum K ve kalsiyum H 'ye ait oldukları saptanan çizgiler, şu iki karanlık çizgidir.

Bazılarınız onları göremeyebilir bile.

Ve bu da, laboratuarda alınmış karşılaştırma spektrumudur.

Bu çizgiler karanlık çizgiler olarak görünürler, aydınlık çizgiler olarak değil.

Onlara “soğurma çizgileri” deriz. Onlar yıldızın atmosferinde oluşurlar.

Onların neden aydınlık çizgiler olarak değil de, karanlık çizgiler olarak görüldüğü, şimdilik önemli değil? Ayrıntıya girmek istemiyorum...

Yoksa, gereğinden fazla astronomi olur. Fakat onlar çizgilerdir ve kıymetli olan da budur.

Ve bu çizgiler, çok az bir miktarda spektrumun kırmızı tarafına doğru kaydırılırlar.



Burada şu küçük ok işaretini görüyorsunuz.

Bundan şu sonuç çıkar: Bu durumda, galaksinin hızı 720 mil/sn, veya dönüştürsek 1150 km/sn 'dir; öyle ki, Hubble sabitinin modern değerine inanırsanız, galaksinin 16 megaparsek uzaklıkta olduğu bulunur. Yani bu galaksi çok uzakta bulunmaktadır.

Dolayısıyla, boyutlarının küçük görünmesi ve çizgilerin kaydığı fark edilmesi şaşırtıcı değildir.

Bu çizgiler önemli derecede ileri kaydırılmıştır.

Çok hassas olarak yapabildiklerini ileri sürdükleri hızı kullanarak ödevimi yapsaydım; çünkü hassas yapılan ölçümlerle lambda üssü bölü lambda'yı hesaplayabilirsiniz; o zaman bu galaksinin bizden 305 megaparsek uzakta olduğunu bulurdum; böylece o bu galaksiden 20 kat daha uzaktadır.

Böylece, doğrusal bağıntı nedeniyle, hız da kuşkusuz, 20 kat daha büyüktür.

Daha da uzakta olan bir gökcisimine bakarsanız, bu çizgilerin daha da çok kaydığı görülür.

Bir sonraki slayt Hubble diyagramı diye bildiğimiz şeyi göstermektedir.

Wendy Freedman ve çalışma arkadaşları tarafından bana nezaketen gönderilmişti.

Wendy, Hubble Uzay Teleskopu'yla gözlemler yapan bilim adamlarından oluşan büyük bir grubun lideridir.

Burada mesafeyi görüyorsunuz ve burada da, sınıfta kullandığımız birimler – kilometre bölü saniye cinsinden -- hızı görüyorsunuz

Bu kısmı unutun. Çok önemli değil.

Fakat, inanılmaz derecedeki doğrusal ilişkiyi görebilirsiniz.

Ve buradan Wendy, Hubble sabitinin 72 civarında olduğu sonucuna varmıştı.

Biraz daha düşük veya biraz daha yüksek olabilir.

O, 26000 km/sn'lik hızlarla ilişkili 400 megaparseklerde artık işlemez.

Bu, ışık hızının aşağı yukarı %9'udur. Beta ise, 1.1 kadardır.

Böylece, bu nesne için lambda üssü/ lambda yaklaşık 1.1 olur.

Dalgaboyunda %10 kadarlık bir kayma.

1920'lerde verilerini, tüm veri setini, yayınlayan Hubble, doğrusal bağıntı sonucuna vardığında, sadece 1100 km/sn'den daha düşük hızlı gökcisimlerine sahipti.

1100 km/sn, buradaki bu noktadır.

Dolayısıyla, Hubble sadece şuradaki noktalara sahipti -- Wendy'nin diyagramında hiç biri bile yok.

Ve o, cesurca bu doğrusal ilişkinin olduğu sonucuna varmıştı.

Ve sıkı testlere dayandığını görüyorsunuz. Hâlâ doğrusallığa inanıyoruz.

Tek fark, Hubble'ın uzaklıklarının günümüzdekilerden çok farklı olmasıydı.

Onlar, aşağı yukarı 7 kez daha küçüktü. Hubble sabiti onun için farklıydı; fakat doğrusal ilişki oradaydı.

Tamam, bu slayt için bu kadar yeter.

Şimdi 64 dolarlık bir soru geliyor: Tüm uzak galaksiler niçin bizden uzaklaşıyorlar?

Sizin için çok basit şöyle bir resim önerebilirim:

Evrenin merkezindeyiz ve çok uzun süre önce devasa bir patlama oldu.

Bu patlamadan “**Büyük Patlama**” diye söz edelim.

Patlamanın meydana geldiği merkezde olduğumuzdan, patlamada en büyük hıza erişen galaksiler şimdi bizden en uzakta olanlardır.

Şimdilik bu patlamanın doğru bir düşünce olduğunu varsayalım. Var sayalım ki Büyük Patlama oldu.

Öyleyse şimdi onun ne zaman meydana geldiği sorusunu sorabilirim.

Şimdi zamanı geriye alabilir ve şunları yapabiliriz:

Evrenin Büyük Patlama'sı meydana geldiğinde birlikte olan ve günümüzde ise aralarında bir D mesafesi bulunan iki nesne alalım.

Ve onların daima aynı hızla birbirlerinden uzaklaştıklarını varsayalım. Şimdi de sırf basit olsun diye şunu varsayalım.

Onlar aynı hızla birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa, şu anda aralarındaki mesafe evrenin yaşı olan T ile hızlarının çarpımıdır.

Fakat Hubble Yasasından V hızının, H çarpı D olduğunu biliyoruz.

Basitlik uğruna, hızlarının aynı olduğunu varsayalım. Bu iki denklemi birbiriyle çarparsınız, derhal evrenin yaşının  $1 / H$  olduğunu bulursunuz.

Ve bu, gerçekten de zaman birimine sahiptir.

Günümüzde inanılan  $H$  değerini alır ve  $1 / H$  'yi hesaplırsanız; MKS birim sisteminde  $T$  'yi yaklaşık 14 milyar yıl olarak bulursunuz. Onu saniye cinsinden verirsek, o yaklaşık  $4.3 \times 10^{17}$  saniyedir.

Yaklaşık 14 milyar yıl.

Aklımızda böyle bir resimle, evren yaklaşık olarak 14 milyar yaşında olabilir; fakat bu galaksiler kütle-çekimi nedeniyle birbirini çekerler; galaksilerin hızlarının geçmişte çok büyük oldukları beklenir; dolayısıyla sahip olduğumuz hızları --- hızlarının değişmemesi kabulümüz yeterinde doğru değildir; bu yüzden belki de evren biraz daha genç olabilir; belki de 12 milyar yıl, ya da biraz daha fazla,,,

Galaksimizdeki en yaşlı yıldızın yaklaşık olarak 10 milyar yıl yaşında olduğunu teorik hesaplamalardan biliyoruz. Dolayısıyla, evren 10 milyon yıldan daha genç olamaz.

Evrenin muhtemelen 12 ile 14 milyar yıl yaşında olduğuna dair fizikçiler arasında genel bir görüş vardır.

Galaksiler birbirlerinden uzaklaşırken bahsettiğim bu yavaşlama konusu, şimdi bütünüyle kozmolojideki araştırmaların tam kalbinde yer alır.

Günümüzde şuna inanılıyor: Evrende ilk zamanlarda ilk olarak hızlanan bir genişleme vardı, bunu izleyen bir yavaşlama ve belki tekrar bir hızlanma..

Bu oldukça esrarengizdir. Bu konuda ileri araştırmalar sürüyor.

MIT' de, evrenbiliminde bu düşünceye önemli katkılarda bulunan Profesör Alan Guth, Ed Bertschinger ve Scott Burles gibi üç dünya uzmanına sahibiz.

Hubble Yasasını görünür anlamında alırsak, görülebilir evrenimizin ucunun ne kadar uzakta olduğunu hesaplayabilirim.

Ki bu ufuktur. Buna ufuk deriz.

Bakabileceğimiz maksimum mesafenin ne olduğunu hesaplayabilirim.

Hızı  $C$  olarak, maksimum  $D$  bulunabilir.

Öyle ki galaksiler ışık hızıyla hareket ederler -- Biz galaksilerden uzaklaşırız; galaksiler bizden uzaklaşırlar o hızla.

Böylece,  $D_{max}$  'ın  $C / H$  olduğunu bulabilirsiniz.

Bu, bir uzaklıktır.

Ve ideal sayılar kullanırsanız, uzaklıkların 14 milyar ışık yılı çıkmasının şaşırtıcı olmadığını görürsünüz. Bunun ötesini asla göremeyiz.

Çünkü  $V = C$  ise, beta 1 haline gelir; beta 1 olursa, lambda üssü sonsuz büyük hale gelir; sonsuz miktarda bir kırmızıya kayma elde edersiniz ve  $F$  üssü, 0 haline gelir.

Böylece elektromanyetik ışınım artık frekansa sahip değildir ve dolayısıyla fotonlarda artık enerji yoktur.

Öyle ki bu, evrenimizin, görülebilir evrenimizin uç kısmıdır. Bunun ötesini asla göremezsiniz.

Şimdi şöyle bir makul soru akla gelir? Evrende ne kadar uzağı görebildik acaba?

Bildiğim kadarıyla, rekor sahibi,  $(\lambda^{\text{üssü}} / \lambda)$ 'sı 7.56 olan bir galaksidir.

Daha iki ay kadar önce yayınlandı. 7.56

Böylesine büyük kırmızıya kayma değerlerinde, genel görelilik çok önemlidir.

Burada türettiğimiz denklem, özel görelilik için türetilmişti.

Dolayısıyla ,  $(\lambda^{\text{üssü}} / \lambda)$ 'sı 7.56 gibi çok büyük kırmızıya kayma değerleriyle, bu denklemi kullanarak hızları güvenilir bir şekilde hesaplayamazsınız.

Bu nedenle bu hızı kullanamazsınız; yani onu Hubble Yasasında yerine koyup mesafeyi bulamazsınız.

Fakat, bu nesnenin muhtemelen 13 milyar ışık yılı gibi bir mesafede olması konusunda, kimsenin kuşkusu yoktur.

Bizden çok çok uzakta, evrenimizin uç kısmına yakın...

Evrenin uç kısmına yakın olduğuna inanılan bir nesneyi de göstereceğim size.

Bir sonraki slayta gidelim. Uzaklık yaklaşık olarak 12 milyar ışık yılıdır.

Böylece, herhangi biri için, o nesneye baktığında, -- işte orada -- çok etkileyici görünmez , fakat bizden 12 milyar ışık yılı uzakta olan bir nesneden ne beklersiniz ki?

O, bir kuasar'dır; çok özel bir galaksi...

Salma çizgileri yayınlar; spektrumu, daha önce size gösterdiğim şu karanlık çizgileri göstermez; kuasarların gerçekten salma çizgileri vardır. Burada gördüğünüz ışık yaklaşık 12 milyar yıl önce yayınlanmıştır.

Ve bir sonraki slaytta bu nesneden gelen spektrum görünüyor.

Bu Seattle'daki Washington Üniversitesi'nde, Scott Anderson ve çalışma arkadaşları tarafından geçen yıl yayınlanmıştır.

Birçok projede Scott ile birlikte çalıştık.

Burada biraz önce gördüğünüz kuasarın spektrumu görünüyor.

Burada, yaklaşık 7800 Angstrom değerinde, bir çizgi, bir salma çizgisi görüyorsunuz.

Bunun, kuasarın referans çerçevesinde, hidrojen tarafından 1216 Angström değerinde yayınlanan Lyman alfa çizgisi olduğuna inanmak için tüm nedenler üstte söylenenlerdir.

Şimdi burada 5000, 4000, 3000, 2000, 1000' e sahibiz; böylece burası yaklaşık olarak lambda dalgaboyunun olduğu yer ve burası lambda üssü.

Lambda üssü, lambda'dan 6.41 kat daha büyüktür.

Scott , 5.41' den söz etmekteyse de, bu sayı, astronomların genelde aktardıkları "lambda üssü / lambda – 1" dedikleri Z 'dir; dolayısıyla, lambda üssü / lambda oranı 6.41 'dir.

Böylesine hassas ölçümler yapabiliyorsanız, böylesine inanılmaz güzel veriler almanız kesinlikle şaşırtıcıdır ve bu çizgi tamamıyla kızılaltındadır, onu çıplak gözle göremezsiniz; gözlerimiz sanırım sadece 6500' e kadar görebilir.

1216 çizgisi morötesi bölgesindeydi, şimdi tamamen kızılaltına kaymıştır; bu, astronomlara (lambda üssü / lambda) değerini ölçme olanağı sağlar. Bu gökcisminin, görülebilir evrenimizin uç kısmına yakın olduğu konusunda neredeyse kuşku yoktur.

Yeterli , John, teşekkür ederim.

Büyük Patlama' ya, yaklaşık 12 ya da 15 milyar yıl önce meydana gelen patlamaya, dönmek istiyorum.

Ve "patlamanın merkezinde miyiz?" sorusunu ortaya atmak istiyorum.

Gerçekten evrenimizin merkezinde miyiz?

Kuşkusuz ki, merkezde olmayabiliriz. İnanılmaz bir kibir! Bu, aşırı bencillik olurdu.

Biliyorum ki hepimiz kendimizin çok önemli olduğumu düşünürüz; fakat bu olmayabilir.

Tüm evren çerçevesinde biz hiçbir şey'iz. Büyük olasılıkla merkezde olmayabiliriz.

Öyleyse, şimdi gözlemllediğimizle bunu nasıl bağdaştırırız?

Bir üzümlü kekta üzüm olduğunuzu hayal edin.

İnsandan üzümlü kekta bir üzüme, tam bir terfi !

Ve sizi bir fırına koyuyorum. Ve üzümlü kek hamuru şişiyor.

Tüm üzümler diğer üzümleri birbirlerinden uzaklaşıyor gibi görecekler ve sizin üzümlerinize daha uzak olanlar daha büyük hızda olacaklar.

Ve her üzüm kendisinin çok özel olduğunu düşünecek.

Varsayalım ki, burada bu sizsiniz , bir üzüm ve bu bir başka üzüm ve bu da bir başka üzüm. Belli bir zaman sonra, diyelim ki, bütün mesafeler ikiye katlandı.

Böylece bu üzüm buradadır. Ve bu da burada.

Böylece, buna baktığınızda, onun hızının bununkinden büyük ölçüde düşük olduğunu derhal görebilirsiniz.

Bu iki misli uzaktaysa, onu iki misli daha yüksek hızda göreceksiniz.

Fakat bu üzüm bu üzüme bakacak.

Ve o da şu sonuca varacaktır: Bu üzüm buna göre, bu üzümün buna göre sahip olduğundan daha yüksek bir hıza sahip olacaktır.

Böylece onların hepsi, özel olduklarını düşünecekler ve bir üzüm olarak siz Hubble Yasasını ileri süreceksiniz.

Diğer üzümlerin hızının doğrusal bir şekilde uzaklıkla orantılı olduğu sonucuna varacaksınız.

Üzümlü kekten bile hoş olan bir analogi vardır; bu analogi, Flatlander yani Ova insanı ile ilgilidir.

Ova insanı, iki boyutlu bir dünyada yaşayan biridir.

O, işe bakın ki, bir balonun yüzeyi üzerinde yaşamaktadır !

Ve ışık sadece balonun yüzeyi boyunca gitmektedir.

Böylece, iki-boyutlu dünya, üç boyut içinde eğrilmiştir; fakat Ova insanları üçüncü boyutu göremezler. Onlar sadece iki boyutu görebilirler.

Böylece, burada böyle bir dünyaya sahiptiniz.

Galaksiler buradadır. Düz dünya.

Ve evren bu Ovalı insanların göremediği üçüncü boyut içine eğrilmiştir.

Ve siz bu balonu şişirdiğiniz zaman, galaksiler birbirlerinden uzaklaşırlar ve galaksiler birbirlerinden daha da uzaklaştıkça, hızları daha da büyür.

Bu model gerçekten çok iyi çalışmaktadır ve sonraki hesaplamalarımda bunu izlemek istiyorum.

İlkin bu evreni durgun hale getirmeye çalışayım. Çünkü evrenin tekrar çökmesini istemiyorum.

Ohh. Tamam. Başardım.

Böylece bu fikri çok güzel bir şekilde izleyebilirsiniz ve Ova insanların oldukça şaşırtıcı sonuçlara varacaklarını görebilirsiniz.

O balon burada. Balonun yarıçapı  $R$ ' dir.

İşte bir galaksi. Ve bir diğer galaksi burada.

Aralarında bir  $S$  uzaklığı var. Daha sonra bunu  $D$  olarak adlandıracağım.

Fakat şimdilik  $S$  diyeyim. Nedenini anlayacaksınız.

Kısa bir süre sonra, evren genişledi; bu galaksi burada ve bu galaksi de burada.

Ve bu uzaklık şimdi  $R + dR$  'dir ve böylece iki galaksi arasındaki uzaklık şimdi  $S + dS$  olur.

Ve  $(S + dS)/S$  'nin  $(R + dR)/R$  'ye eşit olduğu, geometriden derhal çıkar.

Basit lise geometrisi. Bu eşitlikle biraz oynarım.

Ve  $SR + R dS = SR + S dR$  bulurum.

$SR$  'ler birbirlerini götürür.  $dT$  'ye bölerim.

$dS/dT$ , bu iki galaksinin birbirinden uzaklaşma hızıdır.

Kendi evrenlerinde ölçtükleri hız budur.

Böylece burada bir  $V$  var.

$S$  'nin onların arasındaki uzaklık olduğu açıktır. Şimdi ona tekrar  $D$  diyeceğim.

Böylece, o,  $D$  'dir.

Ve  $1/R$  kere  $dR/dT$  'ye sahibim.

$1/R$ , bunu biraz daha yukarı yazacağım.  $dR/R$

Hayır, hayır, hayır;  $dR/dT$  'miz vardı.

Böylece, şimdi  $(1/R)$  çarpı  $dR/dT$  'ye sahibim.

Ve şuna bakın. Şuna sahibim:  $V = D$  kere (bir şey).

Ve verilen bir anda bu (bir şey) tek bir değer alır.

Balonun  $R$ 'si, tek bir değere sahip.

Ve genişleme hızı olan  $dR/dT$  'nin de tek bir değeri var.

Dolayısıyla, bunun, bu evrendeki Hubble sabiti olduğu hemen hemen açıktır.

Ve bu Hubble sabiti, zamanın bir fonksiyonudur.

Zamanla değişir. Zamanla değişmesi gerektiği açıktır.

Niçin kendi galaksimizde de aynı yapılmıdır. Çünkü geçmişte R çok daha küçüktü.

Böylece, sabit bir genişleme hızı alsanız bile, R geçmişte daha küçük ise, H geçmişte daha büyüktü.

Ve H 'nin hep 72 km/sn.megaparsek olarak verilirken, buraya daima bir küçük 0' ın konmasının nedeni budur. Ve bu 0, “şu an” anlamındadır.

Bu 0, şu andan itibaren 1 milyar yıl anlamında değildir ve 1 milyar yıl önce demek değildir. 1 milyar yıl önce o neydi? Bunu gerçekten bilmiyoruz.

2-boyutlu balon ile bizim kendi evrenimiz arasındaki benzetmeyi çok da ileri götürmeyin. Gene de, bu benzetme biraz işin iç yüzünü gösterir.

Belki de, kim bilir, bizim kendi 3-boyutlu uzayımızın, göremediğimiz bir dördüncü boyutta eğrildiği fikrinin önerilmesidir.

Bu çok büyüleyicidir ve eğer bu alanla ilgileniyorsanız, kozmolojide yani evrenbilimde bir ders almanızı salık veririm.

Bir genel görelilik dersi de almalısınız. Önünüze yeni bir dünya açılacaktır.

Hem Allen Guth ve Ed Bertschinger'in her ikisi de ve hem de Scott Burles, bu alanın gerçek uzmanlarıdır ve ayrıca onlar bizim en iyi öğretmenlerimizdendir.

Orada vaktiniz ziyan olmaz.

Şimdi temel bir soru geliyor: “Bu evrenimiz sürekli genişleyecek mi?”

Eğer evren sürekli genişleyecekse, ona “açık evren” deriz; sadece bir isim.

Evrenimizin bir durma haline gelmesi de mümkündür.

Bu demektir ki, H Hubble sabiti sıfır haline gelecek, her şey durgunlaşacak, hiçbir görelî hareket kalmayacak; ve bunu bir çökme izleyecektir.

Ve böylece tüm kırmızıya kaymalar 0'a gelecekler ve maviye kaymaya döneceklerdir.

Bir elmayı yukarı attığınızda, elma geri dönecek mi, yoksa elma asla geri dönmeyecek mi? Bununla aynı fikir, aynı sorudur.

Bu, elmanın hızına ve dünyanın kütle-çekimi alanına bağlıdır; hepimiz biliyoruz ki, elmayı yeterince hızla, atmosferin yokluğu halinde saniyede yaklaşık 11 kilometre hızla fırlatırsanız, elma asla geri dönemez.

Evrenimizde temel rolü sadece kütle-çekimi oynadıysa, o zaman çok basit bir hesap yapabiliriz.



Ve evrenimiz açık mı, yoksa kapalı mı sorusunun yanıtı, evrenin ortalama yoğunluğuna bağlı olur.

Ve ortalama yoğunluk dediğimde, büyük bir ölçek düşünmelisiniz.

Cambridge bakış açısından düşünmeyin.

Bu, evrenin ortalama yoğunluğu için karakteristik değildir.

Güneş sistemimiz de değildir. Galaksimiz de değildir.

Fakat büyük olasılıkla birkaç yüz milyon parsek ölçeğinde düşünmelisiniz.

Belki de 500 megaparsek.

Şimdi sizi evrene götürüyüm. Evren burası. Bunlar galaksiler.

Ve burası R yarıçaplı bir küre' dir; yaklaşık 500 megaparsek ölçeğinde.

Ortalama yoğunluk olan bu ro, evren için karakteristiktir.

Ve burada, varsayalım ki siz buradasınız, ya da evrende herhangi bir yer alabilirim, -- hiç bir özel yanı yok -- ve şurada bir galaksi görüyorsunuz ve galaksi V hızıyla sizden uzaklaşmakta.

Galaksi bir m kütesine sahip. Burada küre içindeki M kütesi,  $\frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho$  ' dur.

Bu, ortalama yoğunluktur; doğru mu?

Newton'dan biliyoruz ki, bu galaksinin maruz kalacağı kuvvet, sadece bu küre içindeki kütleyle belirlenir, kürenin dışındaki kütleyle değil.

Bu iki nesne sürekli birbirinden uzaklaşacaklar mı, yoksa birbirleri üzerine düşecekler mi? bunu hesaplamak istiyorsam, toplam enerjiyi "0" yaptığımdan tamamen emin olmalıyım; kinetik enerji ile potansiyel enerjinin toplamı "0" olmalıdır.

Öyleyse bu göknesnesinin (1/2) m V<sup>2</sup> 'si, m M G / R 'ye eşit olmalıdır.

Toplam enerji "0" olduğunda, bu geçerlidir.

Sürekli genişleyecek, genişleyecek ve genişleyecek; asla geri dönmeyecektir.

Küçük m 'ler birbirlerini yok eder.

Büyük M yerine,  $\frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho$  yazabilirim.

Buraya G ve buraya R gelir.

Üstteki R<sup>3</sup>'ün R<sup>2</sup> haline geldiğine dikkat edin.

Ve burada bir  $R^2$  ve burada bir  $V^2$ 'ye sahibim; hatırlarsanız,  $V/R$  Hubble sabitiydi.

Çünkü  $R$ ,  $D$ 'dir; yani bizimle galaksi arasındaki mesafe.

Dolayısıyla,  $V^2/R^2$ , şu anda ölçtüğümüz Hubble sabitinin karesidir.

Böylece bu basit sonuçtan, bugün olması gereken  $\rho$ 'yu, -- oraya bu nedenle bir küçük "0" koyuyorum --  $3 / 8\pi G$  olarak buluruz; çarpı  $H_0^2$ .

Dolayısıyla bu bana şunu der: Eğer evrenimizin ortalama yoğunluğu bu değerden büyükse, evrenimiz durma haline gelecek ve sonra çökecektir.

Bu değeri hesaplayabiliriz.

Çünkü  $H_0$  'ı biliyoruz, bildiğimizi düşünüyoruz;  $G$  'yi biliyoruz; böylece  $\rho_0$  'ı yaklaşık olarak şöyle bulacaksınız: -- onu buraya yazacağım --  $\rho_0 = 10^{-26}$  kilogram / metre<sup>3</sup>.

Ve  $\rho$  bu değerden daha küçükse, sonsuza dek genişlemeye devam edeceğiz; evren açık olacaktır.

Ortalama yoğunluk tam şimdi bu değerinden daha büyükse, genişleme durma haline gelecek; kırmızıya kayma maviye kaymalar haline gelecek ve biz tekrar çökeceğiz.

Burada madde, bu madde yoğunluğu, domatesler ya da patatesler gibi olmak zorunda değil. Elektromanyetik ışınım da olabilir.

Çünkü Einstein'a göre  $E = MC^2$  'dir. Enerjinin her türü kütleyi temsil eder.

Onu mutlaka yıldızlar, galaksiler ve domatesler olarak düşünmeyin.

Günümüzde, yaygın olarak, evrenimizin genişlemesinin bir durma haline gelmeyeceğine ve çökmeyeceğine inanılmaktadır. Fakat görüşümüz değişebilir.

Geçen 10 yılda çok büyük gelişmeler oldu; bunları New York Times gazetesinde bile okuyabilirsiniz.

Neredeyse her ay, evrenbilimde olan büyük gelişmeler hakkında bir şeyler okuyabiliyorsunuz.

Kuşkusuz, evrenin sürekli genişleyip genişlemeyeceği, açık veya kapalı olup olmadığı fikri, bizim için duygusal olarak önemli bir konudur.

Evren açıksa ve sürekli genişleyecekse, o zaman yıldızların hepsi sönecek ve evren soğuk, ölü ve sıkıcı bir yer olacaktır.

Bununla birlikte, evren kapalıysa, genişleme bir durma haline gelecek; sonra çökecek ve Büyük Patlama' nın tersi olan Büyük Çatırtı diye adlandırdığımız şey ile son bulacaktır.

Ve çok sıcak olacaktır, orada havai fişekler patlayacaktır; Büyük Patlama' nın ilk zamanlarındaki durum ortaya çıkacaktır. Milyarlarca derecelik sıcaklıklar...

Robert Frost'un 1920' de yazdığı bir şiiri okumak istiyorum.

“Ateş ve Buz” başlıklı.

“Kimileri dünyanın ateşte son bulacağını söyler, kimileri de buzda

Arzuladığım tadı aldığımdan, ateşi tercih edenlerleyim.

Fakat iki yıkım da olacaksa,

Yeterli nefretle, sanırım

Felaket için buz da şahane ve yeterli olurdu”

Birçok insan muhtemelen duygusal nedenlerle, dini nedenlerle, daha statik olmasından dolayı, daha güvenli görünmesinden ötürü, daha romantik olması nedeniyle, evrenin kapalı olmasını istemektedir.

Bilmiyorum. Fakat evren açıksa, sonu çok muhteşem olmayacaktır.

T.S.Eliot “ Dünyanın sonu bir patlamayla değil, fakat iniltiyedir” diye yazmıştı. Şimdi evrenin genişlemesinin bir durma haline geleceği ve en sonunda çökeceği düşünülebilir.

Büyük bir çatırtı olacaktır.

Ve bunun ardından yeni bir evrenin doğabileceği bile akla gelebilir.

Orada yeni bir Büyük Patlama olacaktır.

O evrenin evrimi bir karbon kopya, şimdiki evrenin tam karbon kopyası olursa; şu andan birkaç bin milyar yıl sonra büyük bir 8.02 ders toplantısında bir araya gelebiliriz.

Aynı yer, aynı zaman, aynı insanlarla; belki de orada görüşmek üzere...