

Maddenin Geniş Ölçekli Dağılımı

- 2 Mpc yarıçapına sahip kümeler Evren'in tamamına kıyasla oldukça küçüktürler.
- Kümelerin gökyüzündeki **dağılımı tekdüze değildir.**
- Kümeler Evrendeki en büyük ölçekli yapılar değildir ancak **bir araya gelerek daha büyük ölçekli yapıları** oluştururlar.
- Galaksimiz ve yerel grup, **süper küme** olarak adlandırılan çok daha büyük bir yapının parçasıdır. Bu yapıyı **yerel süper küme** olarak adlandırmak yanlış olmaz (Şekil 4.19).
- Bu süper kümenin merkezi Virgo kümesinde bulunmakta olup yaklaşık 30 Mpc'tir.
- Galaksilerin hız ölçümlerine dayanarak yerel süper kümenin galaksi kümelerinin birbirine bağlı olduğu şekilde bir kütle çekim bağına sahip olmadığı ve tam olarak virialize bir sistem olmadığı söylenebilir.

Şekil 4.19: Yerel süper kümeler. Boş bölgeler küme sayısının oldukça düşük olduğu bölgeler.

- **Yerel süper küme eşsiz değildir.** Çevremizdeki diğer süper kümeler tipik olarak birkaç 10 Mpc genişliğe sahip olacak şekilde haritalandırılmıştır.
- Süper kümelerin ölçüsünde veya daha büyük ölçüde olan herhangi bir yapı genel olarak **geniş-ölçekli yapı** olarak adlandırılmaktadır.
- Süper kümeler gibi büyük ölçekli yapıların varlığı kesin olduğuna göre, bundan sonra akla gelecek soru **bu düzenin çok daha büyük yapılara doğru hiyerarşik olarak devam edip etmediğidir.**
- **Araştırmalar, uzaklık ölçeğinde üst basamaklara çıktıkça, süper kümelerin bir araya gelerek daha büyük ölçekte kümeler oluşturmadığını göstermektedir.**
- Bunun yerine süper kümeler, boş **voidler** tarafından sarılmış **sheet (katman) ve filamentlerle (iplikçik)** bağlı yüksek yoğunluk bölgelerinden oluşan çok büyük bir ağ içinde dağılmaktadırlar.

- Evrendeki maddenin büyük ölçekli dağılımına ilişkin bir izlenim **galaksilerin dağılımlarından** elde edilen ve Şekil 4.20'de verilen haritada gösterilmiştir.
- Harita iki boyutlu olmasına rağmen, **galaksilerin dağılımıyla ortaya çıkan ipliksi yapı** açıkça görülmektedir.
- Bu şekilde 2 boyutlu olarak yapılan haritalandırmalarda ortaya çıkan yapıların sadece farklı uzaklıklardaki galaksilerin izdüşümlerinden dolayı değil de gerçekten birbiriyle ilişki olan galaksilerden meydana gelip gelmediğine dikkat edilmesi gerekmektedir.
- Bu da ancak küme içindeki her bir galaksinin **kırmızıya kaymasının** ölçülmesiyle mümkündür.
- Eğer galaksiler birbiriyle ilişkiliyse bu onların benzer kırmızıya kayma değerlerine sahip olacağını göstermektedir.

Şekil 4.20: Galaksi pozisyonlarını gösteren harita. Harita 2 milyon galaksi ve 4000 derece karelik bir gökyüzü alanı kapsamaktadır. Evrendeki maddenin büyük ölçekli dağılımını açıkça görülmektedir

- Kırmızıya kayma ve uzaklık arasındaki en basit ilişki $cz = H_0d$ olarak verilmektedir.
- Ancak bu ilişki $z = 0.2$ olan küçük kırmızıya kayma değerlerine kadar geçerli olup daha büyük z değerleri için bu ilişki sağlanmamaktadır.
- Kırmızıya kayma, bir kaynaktan ışık salındıktan sonra Evrenin genişleme miktarının bir ölçüsüdür.
- Büyük uzaklıklarda, kırmızıya kayma değeri uzaklığın artmasıyla birlikte yukardaki denklem ile elde edilenden daha hızlı artmaktadır. Örneğin, $z = 2.0$ olan bir cisim $z = 1.0$ olan bir cisimden 2 kat daha uzakta değildir.
- Şekil 4.21, astronomlar tarafından en çok kabul gören kırmızıya kayma-uzaklık ilişkisini göstermektedir.
- Şekilde verilen uzaklık, günümüzde z kırmızıya kaymasına sahip bir galaksinin uzaklığıdır.
- Bu uzaklık, ışığın salındığı andaki galaksi uzaklığından çok daha büyüktür. Çünkü Evren de arada geçen zaman zarfında genişlemiştir.

Şekil 4.21: En çok kabul gören kozmolojik model için kırmızıya kayma-uzaklık ilişkisi (eğri çizgi). $cz = H_0d$ basit ilişkisi ise düz çizgi ile verilmektedir ve sadece düşük kırmızıya kaymalar için sağlanmaktadır. Büyük kırmızıya kaymalarda z uzaklıkla orantılı değildir.

- Gökyüzündeki uzak cisimlerin kırmızıya kaymalarını ölçerek doğru uzaklık bilgileri elde edebilen birçok araştırma vardır.
- Örneğin, Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezinin yapmış olduğu araştırma (Şekil 4.22a) ve IRAS (Kırmızıöte Astronomi Teleskobu) nokta-kaynak kataloğu z araştırması (Şekil 4.22b) 200 Mpc yarıçaplı geniş bir hacim içinde bulunan galaksilerinin uzaklıklarının ölçülmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Şekil 4.22: (a) ve (b) Evrende 200 Mpc uzaklık içindeki yoğunluk dağılımını göstermektedir. (b) Shapley, S8, Hercules ve Horologium süper kümelerinin konumları gösterilmektedir. Yüksek ve düşük yoğunluklu bölgeler birbirinden ayrılmaktadır. Boş bölgeler galaksi yoğunluğunun düşük olduğu yerlerdir.

Şekil 4.23: 220 bin galaksinin konumunun gösterildiği 2dF galaksi kırmızıya kayma araştırmasının sonucu.

- Bununla birlikte, 2Df ve SDSS araştırmaları, büyük mesafelerde ađ veya sünger benzeri yapıların ortaya çıktığını ve bunların kozmik bir ađ oluşturduğunu ortaya koymaktadır.
- Bu ağdaki en yoğun noktalar yüzlerce veya binlerce galaksiden oluşan kümelerdir.

- Kümeler bir araya gelerek 30-50 Mpc boyutunda süper kümeleri oluşturmaktadır.
- Daha büyük ölçeklerde düşük yoğunluklu ve 60 Mpc çapına kadar ulaşan voidler vardır ve bunlar yüksek yoğunluklu küme topluluklarını ayırırlar.
- Bu voidler, uzun zincirler halinde uzanan galaksi filamentleri ve voidleri bir süngerdeki gözenekler gibi çevreleyen iki boyutlu katmanlarla ayrılırlar.
- Filamentlerdeki galaksi yoğunluğu, küme yoğunluğundan çok daha düşük ve boşlukların yoğunluğundan yalnızca iki veya üç kat daha büyüktür.
- En büyük yapının yaklaşık olarak 200 Mpc ölçeğinde olduğu görülmektedir.
- Bunun ötesinde, Evren her 200 Mpc'lik bölgenin birbirine benzediği tekdüze bir hal almaktadır.

Soru: Aşağıdaki farklı kozmik yapıların ölçeklerini belirterek tabloyu tamamlayınız. Değerler yaklaşık olarak verilebilir.

Cisim	Uzaklık ya da genişlik/ Mpc
1- Bir voidin genişliği-----	60
2- Büyük Magellan Bulutsusunun uzaklığı-----	0.05
3- Evrenin tekdüze görüldüğü ölçek-----	200
4- Yerel Grubun genişliği -----	2
5- Bir kümenin tipik çapı-----	4
6- En yakın zengin küme olan Virgo kümesinin uzaklığı----	20
7- Samanyolu (yıldız diskinin çapı) -----	0.03
8- Andromeda Galaksisinin uzaklığı-----	0.8
9- Tipik bir süperkümenin genişliği-----	30-50

Soğuk Galaksilerarası Gaz: Kuazarlar ve Lyman α Yapıları

- Galaksilerin kırmızıya kayma araştırmaları Evrendeki görünen 3 boyutlu yapıları haritalandırmak için doğrudan bir yol sağlasa da, **Evrendeki normal maddenin çoğu galaksilerarası uzayda gaz formunda bulunmaktadır.**
- Bu gaz, galaksiler gibi aydınlık maddelerle ilişki içinde olmak zorunda değildir.
- Dolayısıyla, Evrendeki geniş ölçekli yapının bu gaz bileşeninin görünmez olması gerektiği sonucuna varılmaktadır ki bu da astronomlar tarafından erişilemez bir yapıdır.
- Ancak, bu gaz yine de ışığı soğurabilir. Böylece, Evrenin en büyük yapısının bağımsız bir yol kullanılarak ölçülmesi olası hale gelir.
- Bu yol, arkaplanda bulunan uzak bir galaksi ya da kuazarla aynı bakış doğrultusunda ve araya giren gaz bulutlarının neden olduğu soğurmanın ölçülmesidir.

Şekil 4.24: Bir kuazara bakış doğrultusunda araya giren bulutlar. Bulut 2, Dünyadan bakıldığında en küçük kırmızıya kaymaya sahiptir.

- Kuazarlar oldukça parlak ve yüksek kırmızıya kaymaya sahip nokta benzeri cisimlerdir.
- Kırmızıya kayma değerleri $z = 7$ 'ye kadar ulaşmaktadır.
- Bizden bu kadar uzak mesafelerde buldukları için birçok kuazar tarafından salınan elektromanyetik ışınım Dünyaya doğru seyahat ederken galaksilerarası ortamdaki oldukça geniş alanlardan geçmektedir.
- Elektromanyetik ışınım bu ortamdan geçerken belirli bir miktar soğurma meydana gelmesi ve belirli dalgaboylarında soğurma çizgilerinin oluşması beklenmektedir (Şekil 4.24).

- Evrende en bol bulunan element hidrojen ve galaksilerarası gazın dağılımı bu elementin tayfından faydalanarak haritalandırılabilir.
- Hidrojenin tayfı birkaç tayf çizgisi serisinden oluşmaktadır.
- Bunlardan **Lyman serisi** en çok enerjiye ve dolayısıyla en küçük dalgalılarına sahiptir.
- Bu seri içinde, hidrojen atomunun $n=2$ ile $n=1$ seviyeleri arasındaki geçişe karşılık gelen **Lyman α çizgisi** en belirgin tayfsal çizgidir.
- Bu çizgi ($Ly\alpha$), tayfın ultraviyole bölgesine denk gelen 121 nm dalgalıyunda oluşmaktadır ve kırmızıya kaysa bile kolaylıkla belirlenebilmektedir.
- En uzaktaki kuazarların tayflarında $Ly\alpha$ çizgisi, ultraviyolede kayarak tayfın görünen bölgesini geçmekte ve kırmızıöte bölgede oluşmaktadır (Şekil 4.25a).
- Kuazarların orijinal tayfında bu çizgi, AGN tarafından üretilen süreklilik tayfının üzerinde görünen parlak bir salma çizgisi olarak kendini göstermektedir (Şekil 4.25b).

Şekil 4.25: (a) En uzaktaki kuazarların tayflarında $Ly\alpha$ çizgisi, ultraviyolede kayarak tayfın görünen bölgesini geçmekte ve kırmızıöte bölgede oluşmaktadır. $z = 5.5$ olan RDJ 030117+002025 kuazarının tayfında büyük kırmızıya kaymadan dolayı $Ly\alpha$ emisyonu 121 nm ultraviyole bölgeden 786 nm kırmızıöte bölgeye kaymıştır. (b) Kuazarların orijinal tayfında $Ly\alpha$ çizgisi, AGN tarafından üretilen süreklilik tayfının üzerinde görünen parlak bir salma çizgisi olarak kendini göstermektedir.

- Kuazardan gelen elektromanyetik ışınım galaksilerarası uzaydan geçerken soğuk gaz bulutlarıyla karşılaşmaktadır.
- Gaz soğuk olduğu için soğurma meydana gelmekte ve bu olay kendini Ly α çizgisinin dalgaboyunda belirgin olarak göstermektedir.
- Bu bulutlardan birinin içindeki gözlemciye göre Kuazarın tayfı kırmızıya kaymış görünecektir.
- Yani, orijinal Ly α emisyon çizgisi 121 nm'den daha uzun bir dalgaboyuna sahip olacaktır.
- Buluta ulaşan 121 nm dalgaboyuna sahip ultraviyole ışık, kuazardan Ly α çizgisinden daha kısa dalgaboylarında salınmış olacaktır.
- Bulut, 121 nm dalgaboyundaki ışınım soğuracaktır ve böylece bir soğurma çizgisi meydana gelecektir.
- Bu soğurma süreci kuazardan gelen ışığın her bir buluttan geçişi sırasında tekrar meydana gelecektir.

- Ancak, bu bulutlar kuazardan farklı uzaklıklarda bulunmaktadır.
- Dolayısıyla, bu bulutlarda bulunan gözlemcilere göre kuazarın gözlenen emisyonu uzaklık kadar kırmızıya kaymış olacaktır.
- Sonuç olarak, kuazardan gelen elektro manyetik ışınım Dünyaya kadar bir dizi buluttan geçerken aşamalı olarak daha kısa dalga boylarında bir dizi tayfsal çizgi üretir.
- Bulutlara olan uzaklıklar bu soğurma çizgilerinin kırmızıya kaymasından bulunabilir. Bu tür soğurma özellikleri gösteren kuazar Q 0149+336'nın tayfı örnek olarak Şekil 4.26'da verilmiştir.

Şekil 4.26: $z = 2.431$ olan kuazar Q 0149+336'nın tayfı. Üstteki panel 325 ile 415 nm dalgaboyu arasındaki tayfı, alttaki panel ise 410 ile 500 nm arasındaki tayfı göstermektedir. Kırmızıya kaymış Ly α çizgisi 417 nm dalgaboyunda gözlenmektedir. Kırmızıya kaymış Ly α çizgisinden daha kısa dalgaboylarında temel olarak kuazardan daha küçük kırmızıya kaymaya sahip galaksilerarası gaz bulutlarının Ly α soğurmasından dolayı oluşan çok sayıda soğurma çizgisi bulunmaktadır. Kırmızıya kaymış Ly α çizgisinden daha uzun dalgaboylarında az sayıda soğurma çizgisi vardır. Bunlar galaksilerarası ortamda bulunan hidrojen veya helyumdan ağır elementlerin neden olduğu soğurmalarıdır.

- Birbirine yakın çok sayıda sıkışık soğurma çizgilerinden dolayı, tayftaki bu yapı sıklıkla **Lyman α ormanı** olarak adlandırılır.
- Uzak bir kuazarın tayfında çok sayıda Lyman α soğurma çizgisinin olması, galaksilerarası ortamın düzgün bir şekilde dağılmadığını aksine kümeler veya bulutlar şeklinde yapılandığını göstermektedir.
- Örneğin, Q 0149+336'nın tayfında metal elementlerinin oluşturduğu soğurma çizgilerinin analizi, bakış doğrultusunda 7 bulutun bulunduğunu göstermektedir.
- Bu bulutlardan her biri 0.5 ile 2.2 arasında belirli bir kırmızıya kaymaya sahiptir.
- Bunun dışında tayfta, bakış doğrultusunda araya giren bulutların soğurmalarının neden olduğu başka çizgiler de bulunmaktadır.
- Ancak tayfta çizgilerden oluşan belirli bir model fark edilmedikçe tek bir bulutun varlığını teyit etmek mümkün değildir.

Soru: Lyman α ormanındaki belirli soğurma çizgilerinin varlığı ışığın içinden geçtiği maddenin dağılımıyla ilgili hangi özelliği ortaya koymaktadır? Eğer soğurucu madde bakış doğrultusu boyunca homojen olarak dağılsaydı tayfta nasıl bir yapı görülürdü?

Cevap: Belirli bir dalgaboyunda belirli bir soğurma çizgisinin üretilmesi için belirli bir uzaklıkta bulunan bir madde yığınının geçmelidir. Eğer madde homojen olarak dağılmışsa, ışık bakış doğrultusu boyunca değişen kırmızıya kaymayla birlikte kademe kademe soğurulacaktır. Dolayısıyla, bireysel çizgilerden oluşan bir orman yerine tüm dalgaboylarında sabit bir soğurma görülecektir.

Soru: Şekil 4.26'da tayf 372 nm dalgaboyunda güçlü bir soğurma çizgisi göstermektedir. Bu çizginin kırmızıya kaymış Lyman α çizgisi olduğu varsayılarak, kırmızıya kayma değerini ve bu soğurma çizgisine sebep olan bulutun uzaklığını hesaplayın?

- Galaksiler arasındaki gazın bu dağılımı, galaksiler tarafından oluşturulan madde dağılımıyla nasıl uyum göstermektedir?
- Bu konu her ne kadar araştırılmaya devam etse de, Lyman α soğurma bulutları ışık yayan maddeye göre uzayda daha homojen bir dağılım gösteriyor gibi durmaktadır.
- Örneğin, galaksi dağılımında boşluklar ya da voidler bulunurken, soğurma gaz bulutları bu voidlerin içinde de bulunmaktadır.
- Burada herhangi bir tutarsızlık yoktur, çünkü birçok Lyman α soğurma bulutu çok düşük yoğunluğa sahiptir.
- Öyle ki, bu yoğunluk yıldız bölgeleri ve galaksi oluşumu için çok düşüktür.
- Dolayısıyla, galaksilerarası gaz dağılımı tam olarak galaksi dağılımını takip etmemektedir.
- **Lyman α ormanı şeklinde görülen soğurma beklenenden daha düşüktür.**
- Bu durum temel olarak iki nedene dayandırılmaktadır.
- **Ya ortamda olması gereken hidrojen bulunmamaktadır** ya da daha olası bir seçenek olarak **ortamda hidrojen vardır fakat nötr formda değil iyonize durumdadır.** Dolayısıyla da ışınımı soğurması engellenmektedir.

- Uzak kuazarlardan bize ulaşan ışık için, ışığın salındığı zamanda galaksilerarası hidrojen iyonize olmuştur.
- Evrendeki çoğu nötr hidrojenin iyonize olmasına neden olan olay **yeniden iyonlaşma (reionization)** olarak adlandırılmaktadır.
- Bu olayın meydana geldiği zaman ise **yeniden iyonlaşma çağı olarak** adlandırılır ve yüksek kırmızıya kaymaya sahip kuazarların gözlemleriyle uyuşmaktadır.
- Bu dönem, Evrenin şimdiki yaşının %10'undan daha küçük olduğu bir zamandır.
- **Peki, Evrenin tamamını kapsayan bu değişime neden olan nedir?**
- Bunun için en mantıklı açıklama bu dönemde **ultraviöle ışınım kaynaklarının aniden harekete geçmesi** şeklinde yapılmaktadır.

Soru: Bu ultraviöle ışınım için olası iki kaynak öneriniz?

Cevap: Yıldız oluşum bölgeleri ve aktif galaksi çekirdekleri

- Yüksek kırmızıya kaymaya sahip galaksiler, enerjik yıldız oluşum patlamalarının meydana geldiği yerlerdir.
- Bu yapılar, Evren şimdiki yaşının %10'u kadarken meydana gelmiştir ve sonuç olarak galaksilerarası hidrojeni iyonlaştırmak için gerekli enerjiyi sağlamış olabilirler.
- Alternatif olarak, günümüze kıyasla geçmişte kuazarların sayı yoğunluğu çok daha fazlaydı.
- Dolayısıyla, aktif galaksilerin Evrendeki nötr hidrojeni iyonize eden bir ultraviyole ışınım kaynağı sağlamış olması da olasıdır.

Karanlık Maddenin Geniş Ölçekli Dağılımı

- Galaksiler ve kümelerle ilgili çalışmalardan bilindiği üzere **geniş ölçekte kütle yapılan ana katkı karanlık maddeden gelmektedir.**
- Dolayısıyla, gözlenen galaksiler tarafından ortaya konan geniş ölçekli yapının karanlık maddenin temel dağılımını temsil edip etmediği bilinmelidir.

Soru: Kümelerdeki karanlık madde yoğunluğunu haritalamak için hangi teknikler kullanılmaktadır?

Cevap: Zayıf kütle çekim kırılması ve kozmik budama

- Karanlık maddenin varlığını anlamının bilinen bir yolu kütle çekimini kullanmaktır.
- Arkaplan galaksilerindeki bozulmalara kütle çekim alanları sebep olduğu için kozmik shear karanlık madde dağılımını haritalamak için gereken en doğrudan araçlardan birini sağlamaktadır.
- Zayıf kırılma tekniğinin temelini anlatmak için Şekil 4.27'de bir dizi düzenli ve uzak dairesel galaksinin bir karanlık madde ağı boyunca görüldüğü hayali bir durum gösterilmektedir.

Şekil 4.27: Kozmik shear: (a) Uzak bir galaksi alanından gelen ışık karanlık madde ağından geçer. (b) Işık yol boyunca ilerlerken her galaksinin görüntüsü tekdüze olmayan kütle çekim alanı tarafından bir miktar bozulur. (c) Her galaksideki bozulma küçük olmasına rağmen, görüntünün bir bölgesindeki ortalama bozulma karanlık maddenin dağılımını haritalamak için kullanılabilir.

- Burada, bozulmalar araya giren yüksek yoğunluklu karanlık maddenin varlığını göstermektedir.
- Görüntünün diğer bölgelerinde galaksiler göreceli olarak bozulmamıştır.
- Bu ise ışığın az yoğunluk değişimine sahip bir bölgeden geçtiğini ortaya koymaktadır.
- Aslında bozulmalar %1-2 oranında oldukça küçüktür ve gerçek galaksilerin sınırları dairesel değildir.
- Bu yüzden her bir galaksideki bozulmayı ölçmek zordur.
- Ancak birbirine yakın olan galaksilerin görüntüleri aynı doğrultuda esneme eğiliminde olacaktır ve gökyüzündeki her alan birçok galaksi içermektedir.
- Yani bozulmalar küçük olsa bile birçok komşu galaksinin ortalaması alınarak ölçülebilir.
- Galaksilerin bu ortalama bozulması araya giren karanlık maddenin bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

- Karanlık madde dağılımını haritalamak için zayıf kırılma yönteminin uygulanması oldukça zordur.
- Çünkü gözlenmesi gereken çok sayıda arkaplan galaksisine ihtiyaç vardır ve gözlemsel hatalar ölçülen kozmik shear'ın sinyalinde kolaylıkla bozulmaya sebep olabilir.
- Buna rağmen, zayıf kırılma yöntemine dayanarak 72 derece karelik bir alanda $z = 0.7$ olan galaksilerin bir iz düşüm kütle haritası yapılmış ve Şekil 4.28'de verilmiştir.
- Zayıf kırılmadan elde edilen bu harita ile galaksi dağılımından beklenen kütle dağılımı oldukça iyi bir uyum göstermektedir.
- Ayrıca, kütle haritası geniş voidlerin varlığını da ortaya çıkartmaktadır.
- Bu, geniş ölçekli yapıya kozmik bir karanlık madde filament ağının hakim olduğunun ve galaksilerin az çok bu temel dağılımı izlediğinin kanıtıdır.

Şekil 4.28: Kesintisiz harita, zayıf kütle çekim kırılmasıyla elde edilen kütle haritası ve beyaz daireler ise galaksilerden elde edilen kütle haritasıdır.