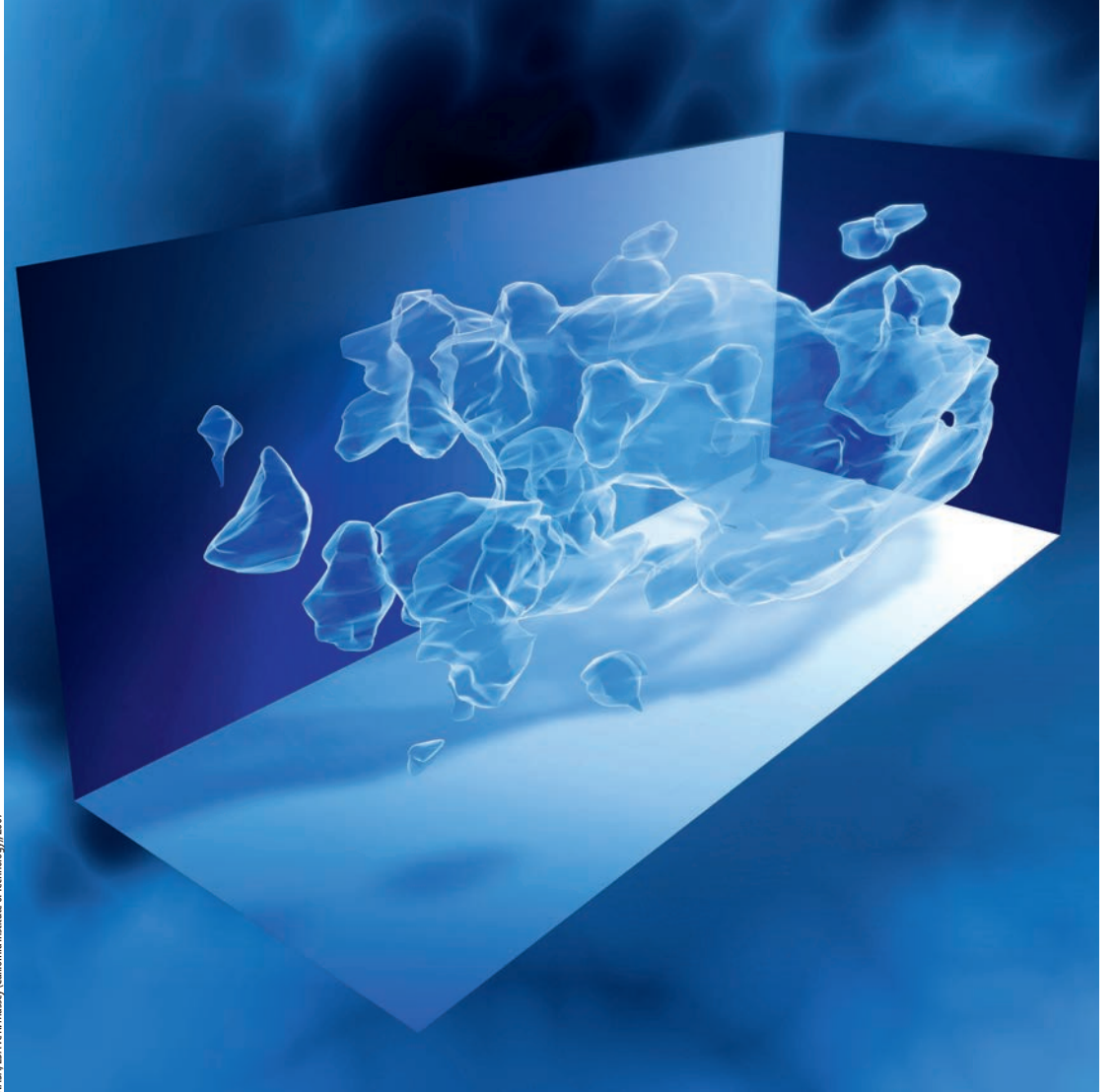


# Karanlık Madde

İnsanoğlunun gökyüzüne bakıp gördüklerini yorumlamaya çalışması tarih öncesi dönemlere kadar gidiyor. O zamandan günümüze kalan Mısır ve Sümer gibi uygarlıklara ait anıtlarda bu gözlemlerin ve çalışmaların izleri var. Bu toplumlar, gökyüzündeki cisimleri günümüzde olduğundan çok farklı yorumlamış, yeryüzünde yaşanan doğa olaylarını bu cisimlere ve onların hareketlerine bağlamış. Bu gelenek daha sonra modern anlamda bilimin doğuşuna öncülük edecek olsa da, bugünkü astrolojinin de temelini oluşturmuştur. Öte yandan bu çalışmalar sayesinde Güneş'in ve Ay'ın hareketleri takip edilebilmiş ve bu hareketler temel alınarak çeşitli takvimler geliştirilmiştir.



## Evrende Karanlık Madde Dağılımı

Gökteki konumuna göre (yatay eksen sağ açıklık ve dikey eksen dik açıklık olmak üzere) zaman içinde karanlık maddenin evrimi görülmektedir. Sayfanın derinliğine giden üçüncü eksen en uzak yerler (sağ) en eski zamanları, en yakın yerler (sol) ise en yeni zamanları göstermektedir. Resmin sol ve sağ başları karşılaştırıldığında, evrenin erken dönemlerinden bu yana karanlık maddenin bir araya gelerek öbeğlendiği görülebilir.

NASA, ESA ve R. Massey (California Institute of Technology), 2007

16. ve 17. yüzyıllarda Avrupa'da gerçekleşen bilim devriminin merkezinde gökyüzünü masalsi yaklaşımların dışında yorumlama isteği vardı. Kopernik'in 1543 yılında Güneş merkezli, Dünya'nın ve diğer gezegenlerin Güneş'in etrafında döndüğünü öne süren modeli, eski Yunan, Mısır ve Babil'den beri süregelen ve o dönemde hem Batı hem de Doğu biliminde doğru kabul edilen Dünya merkezli modele tamamen tersti. Kopernik bu model ile gezegenlerin hareketlerini çok daha basit bir matematiksel denklemle açıklayabileceğini fark etti. Yeni bakış açısını Brahe'nin ve Kepler'in yaptığı hassas gözlemlerle birleştirince, gezegenlerin hareketini açıklayan ve günümüzde bile kabul gören yasalar ortaya çıktı. Galileo, Kopernik tarafından ortaya atılan gökyüzü modelinin önemli destekçilerinden biriydi. Hareketin evrensel, yani kaynağından bağımsız olduğunu ve matematiksel olarak açıklanabileceğini savunuyordu. Yaptığı deneylerin en ünlülerinden birinde, Pisa Kulesi'nden farklı ağırlıkta cisimler atarak serbest düşen cisimlerin hızlarının kütlelerinden bağımsız olduğunu gösterdi ve Aristodan beri süregelen, ağır cisimlerin daha çok ivmelendiği düşüncesini yıktı. Geliştirdiği teleskoplar sayesinde Venüs gezegeninin evrelerini gösterdi ve Güneş Sistemi'nin bilinen en büyük gezegeni olan Jüpiter'in uydularını keşfetti. Bunlar ve daha birçok gözlem ve buluş, Galileo'nun gözleme dayalı modern astronominin kurucusu, hatta modern fiziğin kurucusu olarak anılmasını sağladı.

17. yüzyılın sonları ve 18. yüzyılın başları ise modern bilimdeki en önemli gelişmelerden bazılarını sahne oldu. Newton mekaniğin üç yasasını ve kütleçekiminin temellerini ortaya koydu. Kütleçekimi yasalarının sadece gezegenlerin ve yıldızların değil aynı zamanda yeryüzündeki cisimlerin de hareketini açıklayabildiğini gösterdi. Yeryüzü yasaları ile gökyüzü yasalarını birleştirmiş oldu.

Newton'un ortaya koyduğu klasik mekanik yasaları ne kadar başarılı olmuş olsa da, 19. yüzyılın sonları bu yasaların geliştirilmesi gerektiğini gösteren deneysel ve kuramsal gelişmelere sahne oldu. Newton mekaniğinin aslında çok küçük

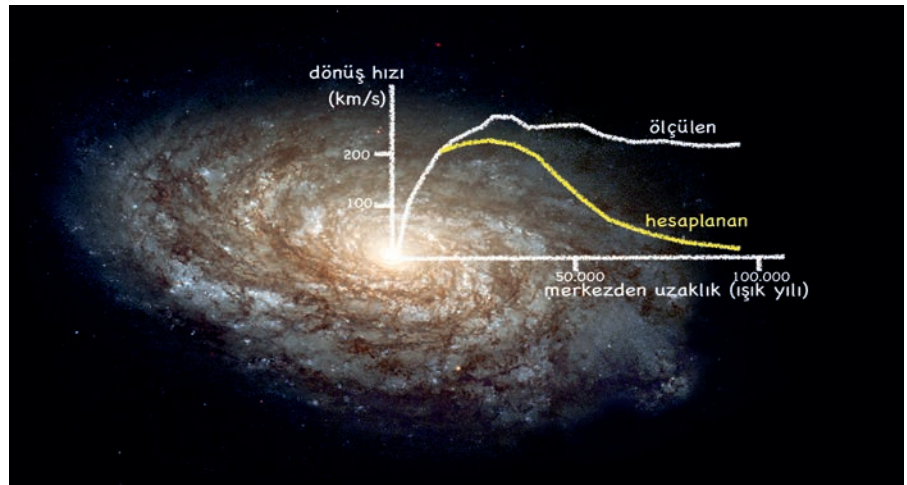
cisimlerin, örneğin atomların ve ışık hızına yakın hızlarda giden cisimlerin hareketini doğru olarak açıklayamayacağı ortaya koyuldu. 20. yüzyılın başında ortaya atılan özel görelilik ve kuantum kuramları, Newton mekaniğinin bu yeni kuramların birer özel durumu olduğunu anlamamızı sağladı. Einstein özel görelilik kuramı ile uzay ve zamanın bir bütün olduğunu göstermişti. Kütle ve enerjinin aynı olduğunu söyleyen  $E=mc^2$  denklemi de özel göreliliğin bir sonucuydu. Özel görelilik kütleçekimini açıklamıyor, kütleçekimini de içine alacak şekilde geliştirilmesi gerekiyordu. Einstein, on yıl içinde genel görelilik kuramını oluşturmayı başardı. Kütleçekimini, uzay-zaman dokusunun kütle ve enerji yoğunluğu yüzünden bükülmesi olarak açıklıyordu. Yeni yaklaşıma göre, parçacıklar bir kuvvet tarafından çekilmiyor, sadece uzay ve zamandaki bu bükülmeleri takip ediyordu. Genel görelilik kuramının deneysel olarak kısa sürede kanıtlanan ve o zamana kadar hiç beklenmeyen bir tahmini, ışığın da tıpkı cisimler gibi uzay-zamanın bükülmüş yapısını takip ettiğiydi. Bu yüzden gezegen ve yıldız gibi büyük cisimlerin etrafında doğrusal olmayan şekilde yayılması gerekiyordu. Işğın büyük kütleli cisimler etrafında doğrusal olmayan yörüngelerde gitmesinin mercekleme etkisi yarattığı anlaşıldı ve bu etki başka araştırmalarda da kullanılmaya başlandı. Genel görelilik aynı zamanda daha önce gözlemlenmemiş, daha sonra kara delik denecek yeni ve ilginç gök cisimleri öngörüyordu.

Bunların dışında genel göreliliğin, evrenin gelişim sürecini açıklayabilmek için de kullanılabileceği anlaşıldı.

## Görülen Madde

Alman gök bilimci Friedrich Wilhelm Bessel, 1844 yılında Akyıldız'ın (Sirius), Güneş Sistemi'nin ağırlık merkezine göre açılmal konumundaki devrimden yola çıkarak Akyıldız'ın kendisine eşlik eden bir yoldaşı olması gerektiğini fark etti. Bu yoldaş yıldız, yapılan gözlemlerin doğurduğu, kuramsal bir tahmindir; deneysel olarak ABD'li Alvan Graham Clark tarafından 1862 yılında varlığı doğrulandı. Bessel'in bu gözlemi, bir gökcisminin varlığının doğrudan ışğının gözlenmesi yolu ile değil de başka bir cismin hareketini kütleçekimsel olarak etkilemesi sayesinde yani dolaylı yoldan anlaşılmasının ilk örneği oldu.

Karanlık maddenin varlığı ilk olarak, gök cisimlerinin kütleleri için kütleçekimsel etkiler kullanılarak bulunan değerler ile yıldız, gaz ve toz gibi ışıldayan parçalardan yola çıkılarak hesaplanan değerlerin birbirinden farklı olması üzerine öne sürüldü. 1932 yılında Danimarkalı astronom Jan Oort Samanyolu'nun merkezinden uzaklığına göre yıldızların sayılarını ve hızlarını analiz etti. Görünen yıldızların toplam kütlelerinin, yıldızların ölçülen hızlarını açıklayamadığı sonucuna vardı. Diğer bir deyişle, görünen bütün maddenin kütlesi hesaba katıldığında merkeze yakın yıldızlar hesapların gerektirdiğinden çok daha hızlı hareket ediyordu.



Bir yıl sonra İsviçreli Fritz Zwicky, eğer gökada gruplarında gözlemlenen hız dağılımları gerçekse, bu gökadalardan bağlı durumda kalabilmek için görünenden 10-100 kat daha fazla kütleyle sahip olması gerektiğini fark etti. Bu yüzden “eksik kütle” kavramını önerdi.

Karanlık maddenin varlığını destekleyen diğer bir gözlem, 1939 yılında Horace Babcock’tan geldi. Doktora tezi çalışmasında Andromeda Gökadası’ndaki yıldızların hızlarını gökada merkezinden uzaklıklarına göre ölçen Babcock, yıldızların hızlarından yola çıkarak hesapladığı toplam kütle için ölçülen ışımaya oranının, merkezden uzaklığa bağlı olarak arttığını keşfetti. Bu gözlemi gökadanın içinde görünenden daha fazla madde olduğu şeklinde yorumlamak yerine, ışığın gökadanın içinde soğrulduğu ya da gökadanın merkezden uzak köşelerinde farklı devinime sahip olabileceği varsayımları ile açıklamaya çalıştı.

1959 yılında M33 adlı spiral bir gökadanın Kepler dinamiği ile açıklanamayacak şekilde kendi etrafında döndüğü Louise Volders tarafından gösterildi. 1960’ların sonlarında ve 1970’lerin başlarında Vera Rubin ve meslektaşları kullandıkları daha hassas ölçüm yöntemleri ile spiral gökadalardaki yıldızların büyük bir çoğunluğunun aynı hızda hareket ettiğini anladi. Rubin 1980 yılında elde ettikleri

sonuçların sadece iki açıklaması olabileceğini savundu: Ya Newton mekaniği evrensel değildi (Değişmiş Newton Devinimi) ya da gökadanın kütlelerinin yüzde 50’sinden fazlasının karanlık bir halka içinde olması gerekiyordu.

Bugüne kadar karanlık maddenin varlığını destekleyen belki de en önemli gözlem Kurşun Kümesi’nden gelmiştir. Kurşun Kümesi çarpışan iki gökada kümesinden oluşur. İki kümenin de içinde yıldızlar, gezegenler ve bunların uyduları dışında toz ve gazlar vardır. Ancak bu çarpışmanın incelenmesi sonucunda, gökadalardan içinde bu sayılanlar dışında, daha önceden bilinmeyen yeni bir madde olduğu bulundu.

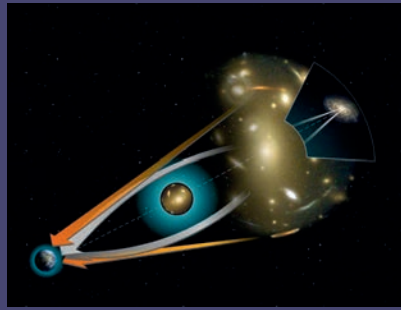
Kümeler birbirlerinin içinden çok büyük hızlarda geçerken, içlerindeki farklı cisimler farklı şekilde etkileşir. Örneğin yıldızlar ve gezegenler yollarına hemen hemen hiç etkileşmeden devam eder. Ancak kütleçekimsel etkileştikleri için hızlarının azaldığı gözlenir. Kümelerin içindeki baryonik (yani 3 kuarktan oluşan ve proton gibi ağır olan) maddenin çoğunluğunu oluşturan sıcak gazlar ise elektromanyetik kuvvet sayesinde etkileşir yani doğrudan çarpışır. Bu yüzden gazlar, yıldızlara ve gezegenlere göre çok daha fazla yavaşlar. Bu bilgiler ve yapılan gözlemler ile bir küme çarpışması incelenip açıklanabilir.

Kütleçekimsel mercekleme kullanılarak Kurşun Kümesi’nde yapılan ölçümlerde, çarpışmanın kütle merkezinin beklenildiği gibi gazlar ve yıldızlar etrafında değil, çarpışma bölgesinin daha ötesinde olduğu tespit edildi. Bu son gözlem daha önceki kanıtlardan bağımsız ve önceki varsayımlarla uyumlu olarak, gökadalardan kütlelerinin büyük kısmının, çarpışmayan (yani elektromanyetik olarak etkileşmeyen, yani ışımayan) karanlık maddeden geldiğini göstermiş oldu.

## Karanlık Madde Ne Olabilir?

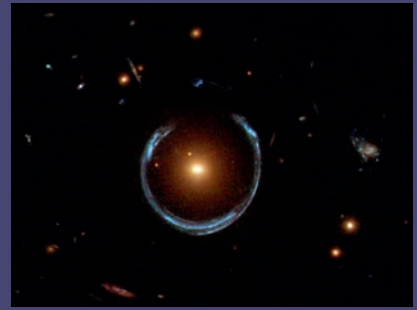
Karanlık maddenin ne olduğunu anlamamanın yolu bizim bildiğimiz madde ile nasıl etkileştiğini anlamaktan geçer. Bugün evrende dört çeşit etkileşme olduğunu biliyoruz: Kütleçekimsel, elektromanyetik, şiddetli ve zayıf etkileşmeler. Karanlık maddenin sıradan madde ile kütleçekimsel yolla etkileştiğini ancak elektromanyetik ve şiddetli çekirdek kuvveti ile etkileşmediğini gördük. Geriye kalan zayıf çekirdek kuvveti ile etkileşip etkileşmediğini ise henüz bilmiyoruz. Bu konuda deneyler yapılıyor, ancak karanlık maddenin doğasını anlamak için ortaya atılan modellerin birçoğu bu etkileşmenin olacağını öne sürüyor. Yani karanlık maddenin zayıf etkileşen kütleli parçacıklardan (ZEKüP) oluşacağını öngörüyor.

Değişmiş Newton Devinimi (*Modified Newton Dynamics*, MOND) gökadalarda gözlemlenen dönüş hızı sorununu açıklamak için öne sürülmüş bir varsayımdır. 1983 yılında Mordehai Milgrom tarafından önerilen bu varsayım göre ivme ve kütleçekimi arasındaki ilişki doğrusal değildir. Bu modelde, çok uzak mesafelerde ve çok küçük ivme değerleri için, Newton’un bilindik kuvvet, kütle ve ivmeyi birbirine bağlayan  $F=ma$  denkleminin değiştirilmesi ve  $F=ma^2/a_0$  olarak yazılması önerilir. Karanlık madde kuramı ile ters düşen bu modele göre,  $a_0 \approx 10^{-10} m/s^2$  adı verilen yeni bir değişmez önerilir.



### Kütleçekimsel Mercekleme

Gözlemci ile çok uzaktaki bir ışık kaynağı arasında bulunan büyük kütleli bir cisim (karadelik veya karanlık madde kümesi) uzay-zamanı bükerek olağan şartlarda Dünya’ya ulaşmaması beklenen ışığın gö-



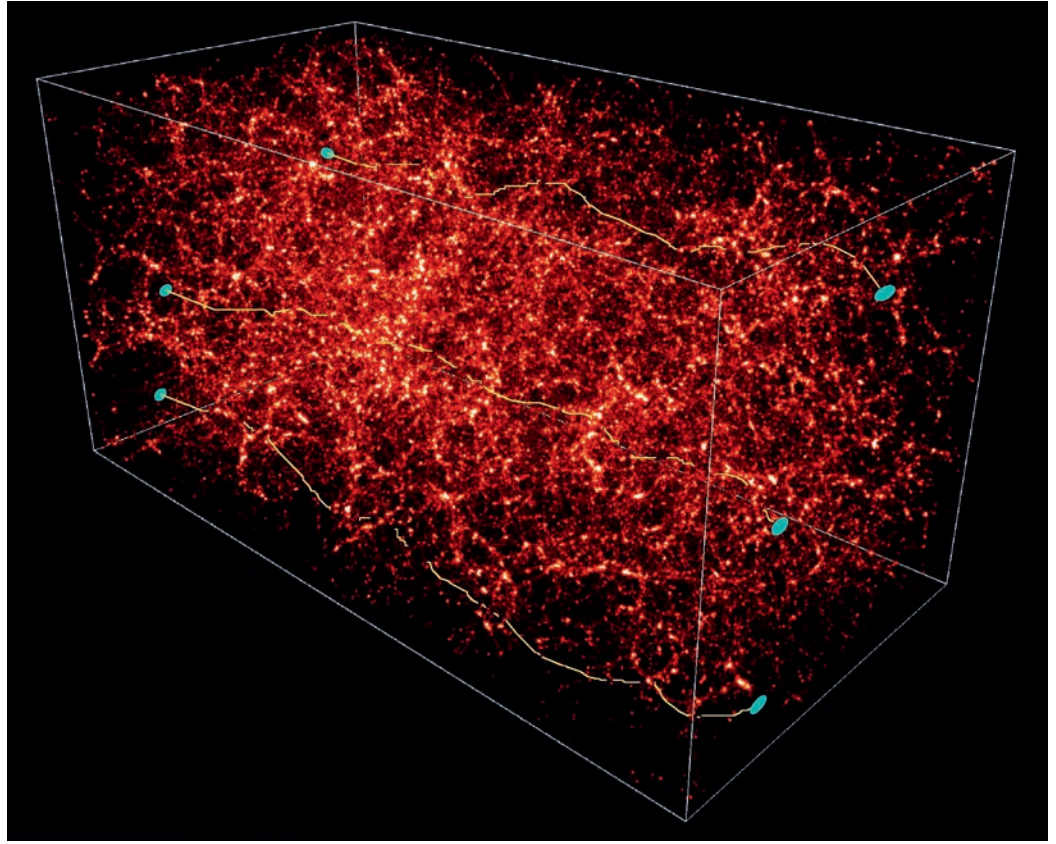
rülmesini sağlar. Genel görelikten kaynaklanan bu olgunun doğal bir sonucu olarak, uzaktaki ışık kaynakları dağılmış ve neredeyse bir daire şeklinde görünür. Bu etki sayesinde ışık saçmayan büyük kütleçekimi kaynakları gözlemlenebilir.



Bu tür parçacıklar şimdiye kadar deneysel olarak gözlemlenmedi ve parçacık fizikinin anayasası olan Standart Model içinde de yer almıyorlar. Ancak Standart Model'in ötesindeki süper bakışım (simetri) kuramı gibi kuramlar tarafından öngörülüyorlar. Diğer olasık da karanlık maddenin zayıf etkileşmemesi, yani sıradan madde ile sadece kütleçekimsel yolla etkileşmesi. Bu varsayımı sınamak için karanlık maddenin kendisiyle etkileşmesi sonucu ortaya çıkan bozunma ürünleri ölçülmeye çalışılıyor. Örneğin Uluslararası Uzay İstasyonu'nda çalışmakta olan AMS deneyi, olası karanlık madde adaylarından nötralinoların birbirleriyle etkileşmesinden ortaya çıkması beklenen pozitron fazlalığını ölçmeye çalışıyor.

Evrenin Büyük Patlamadan bugün gördüğümüz şekline gelme sürecini açıklamaya çalışmak da karanlık maddenin doğası hakkında ipuçları veriyor. Kabul gören modellere göre, karanlık madde ilk başta bağdaşık olarak evrene yayılmıştı. Oluşan rastgele dalgalanmalar yüzünden bazı bölgelerde yoğunluk artmış olmalıydı. Yoğunluğun artması, bu bölgelere daha fazla karanlık madde toplanmasını ve daha sonra da kütleçekimi ile olağan maddenin toplanmasını sağlamalıydı. Yapılan gözlemler bu modeli desteklemekle birlikte karanlık maddenin "soğuk" (yani ortalama hızının ışık hızından çok düşük) olması gerektiği söylüyor. "Sıcak" (yani ortalama hızının yüksek) olması dalgalanmaların gruplaşmasını, bugün gördüğümüz gökadalara gibi büyük ölçekli yapıların oluşmasını engellerdi. Gökadalar var olduğuna göre, karanlık maddenin "soğuk" olması gözlemlerle daha uyumlu.

Bu kuramların önerilerini gözlemlemek için kullanılan yöntem, evrenin ilk anlarından kalma fotonların aranmasıdır. Evrenin Büyük Patlamadan sonra hızla genişlemesi sonucunda madde yoğunluğu azaldığı için, belli bir eşikten sonra ortaya çıkan fotonların bulunduğu ortam artık saydam hale gelmişti. Bu fotonları hâlâ gözlemleyebilmemizin nedeni, evrenin ilk anlarındaki genişleme hızı (enflasyon kuramına göre) ışık hızından yüksek olduğu için bu fotonların hâlâ yollarına devam etmesidir.



Kozmik mikrodalga artalan ışınımı adı verilen bu ışınmayı yeterince hassas bir şekilde ölçmek, bize evrenin o zamanki yapısı hakkında ayrıntılı bilgi verir.

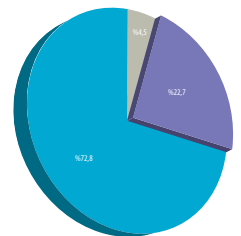
Bu ölçümü en son ve en hassas şekilde yapan Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 2009 yılında uzaya yolladığı *Planck* uydusunun elde ettiği sonuçları Mart 2013'te açıkladığı zaman karanlık madde ile ilgili önemli bir değişiklik oldu. *Planck*'tan önceki ölçümlere göre evrendeki karanlık madde oranı %22,7 olarak verilirken, yeni ölçümlerle bu oran %26,8'e çıktı. Evrenin dörtte birinden daha çoğunu oluşturan bu gizemi çözmek için sadece uydularla değil parçacık hızlandırıcılarıyla da araştırmalar devam ediyor. Laboratuvarında biraz karanlık madde üretip onu inceleyebilme olasılığı hem uzay hem de parçacık fizikçilerini heyecanlandırıyor. Bugün, adları daha çok Higgs bozonu sonuçlarıyla anılan ATLAS ve CMS gibi deneyler, kim bilir belki bir gün karanlık maddenin de keşfedecek.

#### Kaynaklar

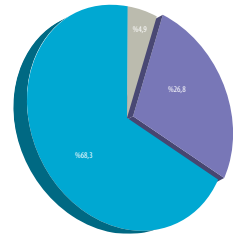
- [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Planck\\_overview](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck_overview)
- [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Planck/Planck\\_reveals\\_an\\_almost\\_perfect\\_Universe](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck/Planck_reveals_an_almost_perfect_Universe)
- <http://arxiv.org/abs/1303.5076>
- [http://tr.wikipedia.org/wiki/Karanlık\\_madde](http://tr.wikipedia.org/wiki/Karanlık_madde)

Bir milyar yıl boyunca evrendeki karanlık maddenin bilgisayarla elde edilmiş haritası. Karanlık madde kırmızı, gökadalara ise mavi olarak gösterilmiştir. Işık parçacıkları olan fotonlar düz bir çizgide ilerlemek yerine, karanlık maddenin çekimi yüzünden sarı renkle gösterilen eğri yolları takip eder.

Planck Gözlemlerinden Önce



Planck Gözlemlerinden Sonra



■ Olağan Madde  
■ Karanlık Madde  
■ Karanlık Enerji