

Yeraltında Karanlık Madde Avı

Karanlık madde varlığı pek çok kanıtla kabul edilen, ama deneysel olarak gözlemlenemeyen, evrenin bütününe sarmış olduğu tahmin edilen, gizemli bir maddedir. Bu madde "karanlık" ismini doğasının açıklanamayışından alır. Karanlık maddenin ne olduğunu anlamak için çeşitli yöntemler kullanılıyor. Bu yöntemlerden bir tanesi bazı yeraltı araştırma laboratuvarlarında kurulan parçacık detektörleri ile karanlık madde aday olabilecek yeni bir parçacık keşfetmeye çalışmak. Peki evrenin bütünü karanlık maddeyi araştırmak için açık bir şekilde dururken, neden bazı bilim insanları yeraltında karanlık madde arıyor?

Vera Rubin teleskobuyla
gökyüzünü incelerken

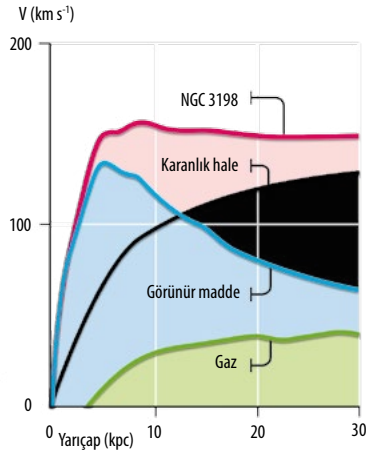
Astronomi ve kozmoloji alanlarında yapılan birtakım deneysel çalışmalar, baryonik olmayan yani elektromanyetik etkileşime girmeyen bir maddenin var olabileceğine dair güçlü kanıtlar ortaya koydu. İçinde yaşadığımız evrenin yapı taşlarını oluşturan temel parçacıkları ve bunların birbirleriyle etkileşimlerini uzun süre başarılı bir biçimde ifade eden Standart Model Kuramı, böyle bir maddenin temel parçacıkları hakkında bilgi içermez. Bugün karanlık madde aday olabilecek yeni bir parçacığın keşfi, birçok bilim insanını fazlasıyla heyecanlandıracak bir buluş olacağı gibi Standart Model ötesi yeni bir fiziğin kapısını da açacaktır.

Karanlık maddenin var olduğuna dair ilk kanıt, 1933 yılında Fritz Swicky'nin yeryüzünden 321 milyon ışık yılı uzaklıktaki Saç Kümesi üzerine yaptığı gözlemler sonucunda geldi. Fritz, Saç Kümesi içindeki galaksilerin ortalama hızlarını kırmızıya kayma metoduyla ölçerek, galaktik kümenin kütlelerinin tahmin edilenin çok üstünde olduğunu buldu. O yıllarda bunu ileri sürmek pek kolay olmasa da, bunun ancak gözlemlenemeyen yeni bir madde formunun varlığıyla açıklanabileceğini savundu. Fritz'den üç yıl önce, 1930 yılında Wolfgang Pauli de benzer bir durumla karşılaşmış, sadece zayıf etkileşimde bulunan nötrino parçacığının belki de hiçbir zaman keşfedilemeyeceğini düşünerek, Tübingen'de yapılan bir fizik konferansına fikirlerini ancak özet olarak, kısa bir mektupla ifade ederek katılmıştı. Oysa bugün artık nötrinoların gözlemlenmesinin ötesine geçilmiş, hayli hassas, büyük kütleli detektörler sayesinde başka kuramsal özellikleri de keşfedilmeye başlanmıştır.

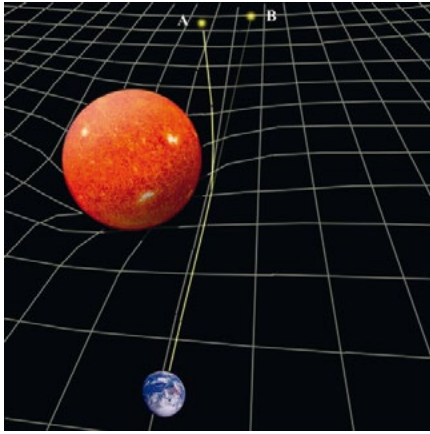


Fritz'den uzun bir süre sonra, 1970 yılında Vera Rubin karanlık maddenin doğasının ne olabileceğine dair ipuçları taşıyan birtakım gözlemlerde bulundu. Uzayın derinliklerine çevirdiği teleskobuyla yaptığı çalışmalar sayesinde, NGC 3198 galaksisinin hızının merkezden uzaklaştıkça değişmeden kalan düz bir eğri olduğunu gözlemledi. Oysa Newton mekaniği bize galaksilerin hızlarının merkezden uzaklaştıkça uzaklığın kareköküyle ters orantılı olarak azalması gerektiğini söylüyordu. Bu beklenmedik sonuç bilim insanlarını, kütlesi olan küresel bir karanlık madde halesinin galaksiyi içine alacak bir biçimde sarması gerektiği fikrine götürüyordu.

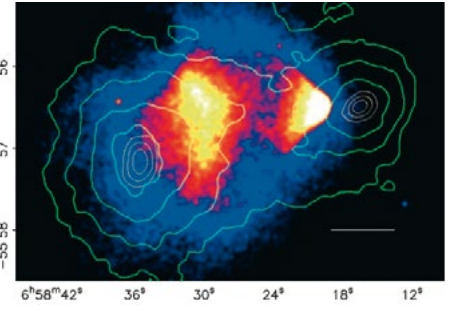
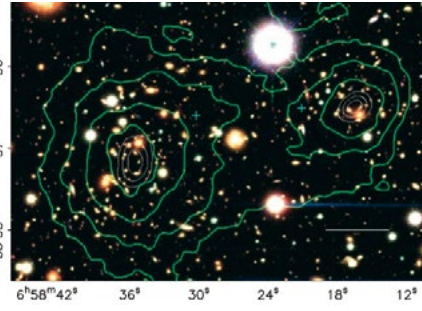
Daha sonraları kütleçekimsel mercekleme gözlemleri ile elde edilen veriler karanlık madde halesinin varlığına dair doğrudan kanıtlar sağladı. Deney Albert Einstein'ın 1916 yılında yayımladığı genel görelilik kuramına göre düşünülmüştü. Galaksilerin etrafını sardığı varsayılan karanlık madde halesinin, evrenin uzak bir noktasından yolculuğa başlayan ışığı (galaktik kümeler veya yıldız gibi) uzay-zamanda kütleçekimsel etki ile kendine doğru büküp ışığın kaynağını aslında olduğundan farklı bir noktada görmemize sebep olması gerekiyordu.



Hızın yarıçapa bağlı değişimini gösteren grafikte (üstte), NGC 3198 galaksisinin dönüş hızının merkezden uzaklaştıkça beklenenin aksine düz bir eğri olarak dağılım gösterdiği görülmüyor.



A noktasındaki kaynaktan hareket eden ışık, Güneş'in yakınından geçerken kütleçekimsel etki sayesinde bükülür ve Dünya'dan bakan gözlemciye göre kaymak B noktasındaymış gibi görünür.



Alt soldaki grafikte Kurşun Kümesi'nin kütle dağılımının iki boyutlu haritası görülmüyor. Kütle dağılımı kütleçekimsel merceklenme yöntemiyle elde edilmiştir. Sağdaki grafikte, plazmaların etrafında olması beklenen kütle merkezinin plazmaların dışında kaldığı açıkça görülmüyor.

Karanlık Madde Nasıl Gözlemlenebilir?

Bu kurama kanıt olması açısından, 1990'da Dünya'nın yörüngesine yerleştirilen Hubble Uzay Teleskobu ile araştırmalar yapan bilim insanları, galaksi kümelerinden yayılan ışığın, gerçekten de daha yakınımızdaki başka galaksi kümeleri tarafından büküldüğünü keşfetti. Başka bir çalışmada, 4 milyar ışık yılı uzaklıktaki Kurşun Kümesi'nin kütle dağılımının iki boyutlu haritası çıkarıldı. Plazmadan ve çarpışan iki galaksi kümesinden oluşan Kurşun Kümesi'nin kütle merkezinin, kütlesi daha fazla olan plazmanın etrafında olması bekleniyordu. Sonuçlar karanlık madde halesinin varlığını doğrudan destekler nitelikteydi ve kümenin kütle merkezinin plazmanın dışında olduğunu gösterdi.

Karanlık maddenin varlığına dair kanıtların artmasıyla birlikte, doğasının ne olabileceği yönünde de çeşitli senaryolar ortaya atılmaya başlandı. Bir senaryoya göre karanlık madde kütlesi olan, göreceli olmayan -yani yavaş olan- hızlarda hareket eden, diğer maddelerle sadece zayıf ve kütleçekimsel etkileşimde bulunabilen, yüksüz bir parçacık olmalıydı. Bu parçacığa WIMP (*Weakly Interacting Massive Particle*) adı verilmektedir. WIMP parçacıklarından oluşan karanlık maddenin Samanyolu Galaksisi'ni de içine alacak bir biçimde küresel bir dağılım gösteren, galaksilerin etrafında durgun halde bulunan haleler formunda olduğu tahmin edilmektedir. Bu senaryoya göre Dünya'mız durgun haldeki Samanyolu'nu saran

karanlık madde halesinin içinden saniyede yaklaşık 245 km hızla geçmektedir. WIMP'i keşfedebilmek için üç deney tipi önerilmektedir: Doğrudan gözlem, dolaylı gözlem ve çarpıştırıcı kullanmak. 1985 yılında ilk olarak Googman ve Witten WIMP parçacığının çok hassas detektörler tarafından keşfedilebileceği fikrini ileri sürdü. Buna göre WIMP'in sıradan herhangi bir maddenin çekirdeğiyle zayıf etkileşimde bulunacağı ve elastik saçılmaya ve çekirdekte tepkimeye sebep olacağı varsayılmaktadır. Çekirdek tepkimesinin ortaya çıkaracağı birtakım sinyaller detektörlerin veri elde etme sistemleri tarafından kaydedilebilir. Bu tarz deneysel çalışmalara "doğrudan karanlık madde araştırması" adı verilir.

Şimdi en başta sorduğumuz soruya geri dönüp cevabını vermeye çalışalım. Neden bazı bilim insanları yeraltında karanlık madde arıyor? Bunun amacı, WIMP'ı keşfedebilecek detektörlerde meydana gelebilecek arka plan olaylarını en aza indirmektir. Gökyüzünden gelen bazı kozmik ışınlar -çoğunlukla müonlar- detektörün yakınında bulunan bazı maddelerin çekirdekleriyle etkileşime girip nötron parçacıkları koparabilir. Bu nötronlar da WIMP'in oluşturacağı sinyallere benzeyen sinyaller oluşturabilir. Bu tip arka plan olaylarını en aza indirmenin yolu, detektörlerin yüksekliği bir kaç kilometreyi bulan dağların altındaki yeraltı laboratuvarlarında çalıştırılmasından geçer. Bir başka yöntem de, atom numarası yüksek birtakım malzemelerin (örneğin bakır, kurşun, polietilen) detektörün etrafına kalkan olarak sarılması ve böylece nötronların oluşturabileceği arka plan sinyallerinin en aza indirilmesidir. Detektörlerin aktif malzeme olarak kullanılan kısmı WIMP ile etkileşime girdiği zaman oluşan tepkime enerjisi, fonon (ısı) sinyaline, iyonlaşma veya uyarılma sonucunda da sintilasyona (ışık) dönüşür. Şimdi buraya kadar anlatmış olduğumuz doğrudan karanlık madde gözlemlerini tek bir deney üzerinden bakarak somutlaştırmaya çalışalım.

ArDM (Argon Dark Matter) Deneyi

ArDM, İsviçre'den ETH Zürih ve CERN'ün, İspanya'dan Ciemat'ın (*Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*) bir araya gelip yürüttüğü, karanlık madde parçacıklarını doğrudan keşfetmek için tasarlanmış bir deney. ArDM detektörü ilk kez CERN'de inşa edilip İspanya'daki 2450 metrelik Canfranc Dağı'nın altında bulunan Canfranc Yeraltı Laboratuvarı'na (*Laboratorio Subterráneo de Canfranc, LSC*) Mart 2012'de başarıyla kuruldu.

Daha önce de bahsettiğimiz gibi, WIMP parçacığının sadece zayıf kuvvet ve kütleçekimi kuvveti ile etkileşen bir parçacık olabileceği öngörüldüğünden gözlemlenebilmesi için çok hassas ve çok



İspanya'daki Canfranc Dağı'nın (üstte) altındaki Yeraltı Laboratuvarı'nda kurulmuş olan ArDM detektörü (altta)

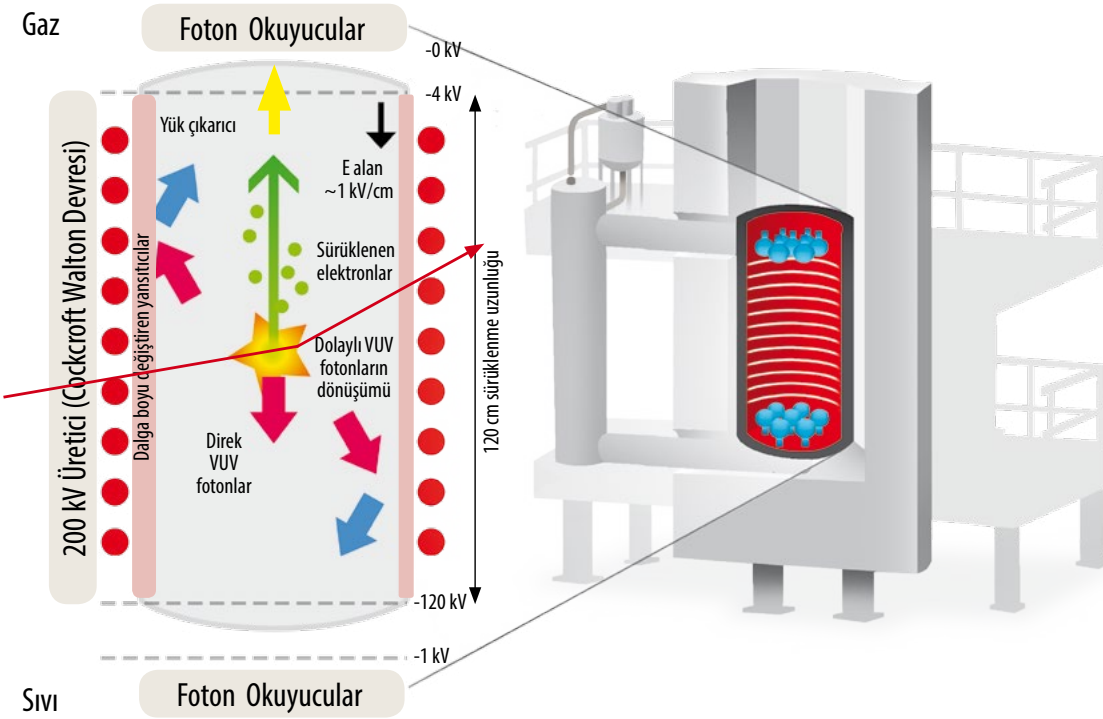


büyük kütleli detektörler gerekir. ArDM deneyi en son teknoloji kullanılarak, karanlık madde olmaya aday WIMP parçacığı sinyallerinin argon sıvısında doğrudan gözlemlenebilmesi için tasarlanmıştır. Sıvı argon detektörünün kullanılması en büyük katkısı, parçacığın etkileşme olasılığını artırabilmek için kademeli olarak kolaylıkla kütesinin yükseltilebilmesi ve diğer soy gazlara göre düşük enerjili parçacıkların meydana getireceği sinyallerle daha hassas olmasıdır.

ArDM detektörünün aktif malzemesi 850 kg sıvı argondan oluşur. 200 cm yüksekliğinde ve 100 cm çapında vakumlu paslanmaz çelik kap içinde tutulur. Saf kalması için sıvı argon düzenli olarak sirkülasyon sisteminden geçirilir. Detektörün çevresi arka plan olaylarından korunmak için polietilen kalkanla kaplanmıştır. Detektörün üst kısmında on iki ve alt kısmında on iki olmak üzere toplam yirmi dört foton okuyucu vardır.

Kısaca ArDM detektörünün çalışma ilkesinden bahsedecek olursak, -187°C 'de sıvı halde bulunan argonun çekirdeğiyle WIMP parçacıklarının etkileşmesi sonucunda fotonlar meydana gelmesi beklenir. Oluşan ilk foton sinyalleri foton çoğaltıcılar tarafından okunup S1 sinyali olarak detektörün veri alma sistemi tarafından kaydedilir. Parçacığın etkileştiği çekirdekte iyonlaşmaya neden olup elektronlar meydana getireceği düşünülmektedir. Bu elektronlar, düzgün yüksek gerilim verilerek detektörün üst kısmındaki ikinci faza yani gaz argon kısmına çıkarılır. Gaz argon kısmına sürüklenen elektronlar, Yüksek Elektron Çoğaltıcı (LEM) içinden başka bir gerilim uygulayarak geçirilir ve orada da argon gazı ile etkileşime girmeleri sağlanır. Bu şekilde ikincil fotonların ortaya çıkması beklenmektedir. Bu sinyaller de S2 olarak detektörün veri alma sistemi tarafından kaydedilir. S1/S2 oranının, eğer WIMP parçacığının etkileşimi sonu-



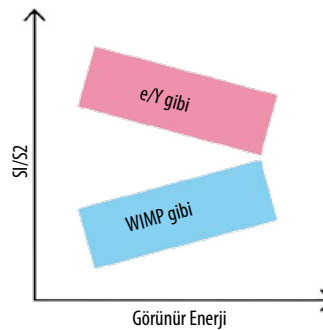


Sol tarafta çift fazlı ArDM detektörü alt sistemleri ve çalışma ilkesi, sağ tarafta detektörün sirkülasyon sistemleri, polietilen kalkanı ve sabitlendiği platformun çizimleri görülmüyor.

cu meydana gelen çekirdek tepkimesi sinyaline ait ise daha düşük değerde, eğer elektron/foton etkileşimleri sonucunda, yani WIMP'ten başka parçacıkların elektromanyetik etkileşimi sonucu meydana gelmişse daha yüksek değerde olacağı öngörülmektedir. Bu değer farklılığı, WIMP parçacığı sinyalinin başka etkileşimler sonucu meydana gelen sinyallerden ayırt edilmesine yarar.

WIMP için asıl arka plan olaylarını radyoaktif elementlerin yayımladığı nötronlar oluşturur. WIMP sinyalini nötronun oluşturduğu sinyallerden ayırmak için, algıcın kendi malzemesi de dahil olmak üzere, arka plan oluşturabilecek tüm radyoaktif malzemeler radyoaktif taramadan geçirilip ortamın Monte Carlo simülasyonu yapılır ve bir arka plan değeri belirlenir. Bu değer, elde edilecek olan WIMP sinyal değerlerinden çıkarılır ve beklenenin üzerinde bir fazlalık olup olmadığına bakılarak analiz sonuçlandırılır. Beklenen arka plan olaylarının üzerinde bir değer, doğrudan WIMP parçacığının keşfi anlamına gelecektir. Detektör içinde meydana gelen bir olayın okuyuculara iletilmesi ve veri olarak kaydedilmesi sadece 4 nanosaniye sürer. Bu görevi yerine getirebilecek elektronik devrelerin hem çok hızlı işlem yapması hem de -187°C'nin altında verimli bir şekilde çalışması gerekir.

ArDM deneyi geçtiğimiz Mayıs ayı sonunda İspanya'daki Canfranc Laboratuvarı'ndan sorumlu bilimsel komiteye sunuldu ve komiteden tam puan olarak çalıştırılması için onay alındı. Detektörün soğuk argon gazı doldurularak yapılan denemeleri başarıyla sonuçlandı. Çok kısa bir zaman içinde detektör -187°C'de sıvı argon aktif malzemesiyle doldurularak yerin altında karanlık madde adayı WIMP'i avlayabilmek için çalışmaya başlayacak.



S1/S2 oranının tespiti sayesinde, WIMP gibi parçacıkların meydana getireceği sinyaller başka elektromanyetik etkileşimler sonucunda meydana gelebilecek arka plan sinyallerinden kolaylıkla ayırt edilebiliyor.

Kaynaklar:

- Zwicky, F., *Helvetica Physics Acta* 6, 110, 1933.
- Rubin, V. C., *The Astrophysical Journal* 238, 471 1980.
- Clowe, D., *The Astrophysical Journal Letters* 648, L109 2006.
- Badertscher, A., Bay, F. ve ark., *Journal of Instrumentation*, Cilt 8, C09005, 2013.
- ArDM web sayfası: <http://darkmatter.ethz.ch>