

## Katmerli Beta Bozunumu Yeni Fizik mi Vaadediyor?

Serbest nötronlar fazla kararlı parçacıklar değil. Yaklaşık 10 dakika içinde protona bozunuyorlar. Ancak, bir çekirdeğe girdiklerinde, hele de çekirdek kararlı biriyse, uzun bir memuriyet garantisi. Ama çekirdek kararsızsa iş biraz daha riskli. Elektrik yükü taşımayan nötron, cinsiyet değiştirerek + elektrik yüklü protona, küçük bir kısmı da bir elektrona ve bir elektron antinötrinosuna dönüşüyor. Arada bir de garip bir olay gerçekleşiyor ve çekirdek içindeki iki nötron birden aynı akıbete uğruyor. Çifte beta bozunumu” denen bu olayda iki nötron aynı anda iki proton, iki elektron ve iki elektron antinötrinosuna dönüşüyor. Kuramda öngörülen bu süreç ilk kez 1986 yılında deneysel olarak doğrulandığında epey yankı yapmış; çünkü bu sürecin yarılanma ömrü  $10^{20}$  yıl. Ancak, küçük ama inatçı bir grup fizikçinin hedefi, daha da zorlu: Hiçbir nötrino ya da antinötrino yayınlanmayan bir beta bozunma süreci. “Nötrinosuz çifte beta bozunması” denen bu süreç, Standart Model’e göre yasak. Dolayısıyla bu sürecin deneysel olarak gözlenmesinin, başta kozmoloji olmak üzere fizikte büyük çalkantılara yol açması kesin. Bir Alman fizikçi ekibi de bu bozunmayı gözlediği iddiasında. Heidelberg’deki Max Planck Nükleer Fizik Enstitüsü’nden Hans Klapdor-Kleingrothaus ve ekibi, İtalya’daki Grand Sasso Yeraltı Laboratuvarı’nda 13 yıl boyunca sürdürülen bir deneyin verilerini inceledikten sonra germanyum-76’nın bir nötrinosuz çifte beta bozunumu geçirerek selenyum-76’ya dönüşümünü belirlediğini açıkladı. Heidelberg ekibinin Grand Sasso’daki de-

neyi 1990’da başlamış. Deneyde toplam ağırlıkları 11,5 kg olan son derece saf, zenginleştirilmiş germanyum-76 kristalinden oluşmuş beş kütle kullanılmış. Germanyum hem bozunmanın kaynağı, hem de dedektör rolü oynuyor ve içine bir parçacık tarafından enerji salındığında bir elektrik akımı belirliyor. Deneyin geçmesi gereken zorlu sınav, dedektörün inşasında kullanılan malzemede doğal radyasyonla, deney seti henüz yeraltına indirilmemişken kozmik ışınların yol açtığı kısa ömürlü radyoaktif parçacıkların zaman içinde bozunmasıyla oluşan “gürültü” içinde aranan sinyali belirleyebilmek.

2001 yılında Heidelberg ekibi, 1990-2000 yılları arasında toplanan veriler arasında %97 olasılıkla bir nötrinosuz çifte beta bozunmasının varlığını gösteren bir tepe gözlediğini açıkladı. Açıklama, ekibin o zamanki Rus ortakları da dahil olmak üzere çeşitli ülkelerden 26 fizikçi tarafından, bazı hatalar içerdiği ve gerekli istatistiksel sağlamlıktan yoksun olduğu gerekçeyle reddedildi.

Ama deney üzerinde üç yıl daha çalışan Heidelberg’li araştırmacılar, bu kez germanyum-76’da nötrinosuz çifte beta bozunmasını bu kez %99,997 kesinlikle belirlediklerini, ve sürecin yarılanma ömrünün de  $1,19 \times 10^{25}$  yıl olduğunu açıkladılar.

Bu değer 0,44 elektronVolt (eV) düzeyinde bir nötrino kütlelerine karşılık geliyor. Söz konusu kütle, parçacıkların farklı çeşnilerinin kütleleri arasındaki farkların ölçüldüğü nötrino salınımı deneylerinde belirlenen değerin çok üzerinde.

Princeton Üniversitesi İleri Araştırmalar Enstitüsü’nden sicim kuramcısı Edward Witten, Heidelberg değerinin evrendeki karanlık madde- nin büyük bir bölümünün nötrinolardan oluştuğu anlamına geleceğini söylüyor. Yine Witten’e göre sonuç, nötrininin her üç çeşnisinin kütlelerinin birbirlerine çok yakın olmasını gerektiriyor ki, bu da kuarklar ve leptonlar gibi öteki temel parçacıklarda gözlenen büyük kütle farklılıkları tablosuyla örtüşmüyor.

Nötrinosuz çifte beta bozunumunun deneysel olarak belirlenmesi, parçacık fiziğinde önemli açılımları tetikleyecek. Çünkü, Standart Model’in daima korunduğunu varsaydığı “lepton numarası”nın korunmadığı ilk örnek olacak. Elektron ve nötrinolar gibi leptonların lepton numarası “1”. Pozitron ve antinötrinoların lepton numarasıysa “-1”. Protonlar ve nötronlar ya da bunları oluşturan kuarklar gibi tüm öteki parçacıkların lepton numaralarıysa “0”.

Normal bir beta bozunmasında, bir nötron bir protona, bir elektrona ve bir elektron antinötrinosuna bozunuyor. Bu bozunma sürecinde hem tepkime öncesi ve sonrası sıfır olan elektrik yükü, hem de lepton numarası korunmuş oluyor. Nötrinosuz çifte beta bozunmasındaysa iki nötron aynı anda iki protona ve iki elektrona bozunuyor, ama bozunmada nötrino çıkmıyor. Tepkimede elektrik yükü korunurken, tepkime öncesinde “0”, sonrasındaysa “2” olan lepton numarası korunmamış oluyor.

Nötrinosuz çifte beta bozunmasının varlığı, nötrininin aynı zamanda kendi antiparçacığı olduğunu ortaya koyacak. Buna bir “majorana parçacığı” deniyor. Maddeyi oluşturan kuark ve elektrik yüklü leptonların kendi antiparçacıklarından ayrı (ters elektrik yüklü) olduklarından, bu açıdan nötrinolar benzersiz olacak. Nötrinoların bu özelliği, nötrinosuz çifte beta bozunmasının, birinci nötronun ikinciden bir elektron antinötrinosu çalması nedeniyle meydana geldiğini açıklamak için gerekli. Eğer bu antinötrino bir nötrinoya eşdeğerdeyse, iki nötronun ikincisinin bozunması, lepton numarası ile elektrik yükünün korunmasını sağlıyor. Nötrinoya antinötrininin eşdeğerli olmaması halindeyse bu büyüklüklerden biri ya da öteki korunamayacak.

Standart Model’in ötesinde yeni bir fiziğin habercisi olmanın yanı sıra, nötrinosuz çifte beta bozunması, Büyük Patlama’da eşit miktarda yaratılmış olmalarına karşın, hemen ardından maddeyle antimaddenin birbirlerini yok ettikten sonra neden tüm evreni meydana getirecek olan küçük bir madde fazlasını kaldığı sorusunun yanıtlanmasına da yardımcı olabilir. Lepton numarasının korunmuyor olması, madde ile antimaddenin neden tümüyle eşit ve ters yüklü olmadıklarını açıklayacak bir mekanizma sunabilir.

Nötrinosuz çifte beta bozunmasının ölçümleri

ayrıca nötrinin mutlak kütlelerinin hesaplanmasına da olanak tanıyacak. Çünkü bu kütle, bozunmanın yarı ömrüyle ilintili. Japonya ve Kanada'da yapılan nötrino deneyleri, bu parçacığın üç çeşni olan elektron, müon ve tau nötrinolarının "birbirlerine dönüştüğünü" ve dolayısıyla da kütleyle sahip olduklarını göstermişti. Ancak, bu deneyler nötrino çeşnilerinin kütleleri arasındaki farklar için bir değer sunmalarına karşın, mutlak kütle için bir büyüklük vermiyorlardı.

Heidelberg ekibinin iddiasının fizikçiler arasında bir dalgalanma yarattığı kesin. Ancak, şimdiye kadar yükselen sesler alkış sesleri değil. Gerçi bir çok araştırmacı, Klapdor-Kleingrothaus ve ekibinin yeni bulgularının, eskisine göre daha güvenli olduğunu teslim ediyor; ama yine de fizik topluluğunun ortak görüşü Standart Modeli kaldırıp atmadan önce iddianın yeni deneylerle doğrulanması gerektiği merkezinde.

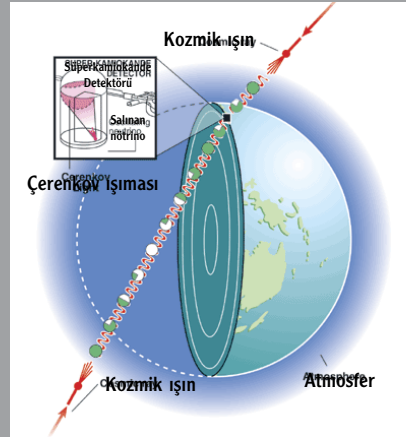
Bu deneylerden birisi halen Amerikalı, Hollandalı, İspanyol ve İtalyan fizikçilerce yine Gran Sasso'da yürütülüyor ve birkaç yıl içinde sonuç alınması bekleniyor. Deneyde 40 kg teluryum oksit kullanılıyor ve teluryum-130'un yaydığı termal atımların duyarlı ölçümü yapılıyor. Cuoricino adlı deneyin sözcüsü, birkaç yıl sonra alınacak sonucun Heidelberg ekibinin bulgularını doğrulayabileceğini belirtiyor. Fransa'da yürütülmekte olan NEMO3 adlı deneyin de üç yıl içinde Heidelberg sonuçlarını doğrulaması ya da yadsıması bekleniyor. Ama California Teknoloji Enstitüsü'nden Petr Vogel'e göre kesin yargı için 3-5 yıl içinde başlatılacak ve 10 kg yerine 100 kg düzeyinde detektörler kullanacak olan deneylerin beklenmesi gerekecek. Bunlar arasında Cuoricino'nun gelişmiş versiyonuolan Cuore, Majorana adlı yeni bir germanyum deneyi, yeni bir Heidelberg-Moskova ortaklığını öngören GENIUS projesi ve NEMO3'ün daha güçlü modeli olan SüperNEMO sayılıyor.

Eğer bunlardan da bir sonuç çıkmayacak olursa, sıra devlere gelecek. Vogel, 1 tonluk radyoaktif madde kullanılacak detektörlerin ancak 2010 yılından sonra devreye girebileceğini söylüyor. Bu büyük detektörler  $10^{27}$  ya da  $10^{28}$  yıl yarılanma ömrü düzeylerini araştırarak. Bu değerler,  $0.01$  eV düzeyine karşılık geliyor ki, bu da Heidelberg deneyinin bulgusundan 40 kat küçük ve nötrino salınımı deneylerinin nötrino kütlesi için koyduğu alt değerle örtüşüyor.

Fizikçilerin, var olduğu bile kesin olmayan bir bozunma modeli üzerinde böylesine durmalarının elbette bir başka nedeni daha var. Uzmanlar, nötrinolar çift beta bozunması bilmesini çözenin, Nobel Ödülü'nü alacağına kesin gözle bakıyorlar.

## Super-K, Nötrino Salınımını Netleştirdi

Japonya'nın ortalarında bir madende 50.000 ton suyla doldurulmuş bir havuz çevresinde o tarihe kadar sessiz sedasız çalışan çeşitli uluslardan biliminsanları, 1998 yılında fiziki temellerinden sarsacak bulgularını açıkladılar. Bilinen madde envanterinin en gizemli üyeleri olan nötrinolar bir çeşniden, kendi detektörlerinin belirleyemediği başka bir çeşniye salınıyorlardı. Super-Kamiokande Nötrino Gözlemevi'ndeki araştırmacıların bulgusu, parçacık fiziği'nin anayasası sayılan ve atomaltı düzeydeki parçacık ve kuvvetlerin etkileşimini açıklayan Standart Model'de bir delik daha açmıştı. Çünkü, kuantum mekaniği kurallarına göre ancak kütlesi olan bir parçacık salınım yapabiliirdi. Oysa nötrinoların külesiz olması gerekiyordu. Yine de, Super-K deneyi, nötrinoların davranışıyla ilgili resmin yalnızca yarısını göstermişti. Çünkü deneyde



bir nötrino çeşnisinin kılık değiştirdiği belirlenmiş, ancak hangi kılığa girdiği ortaya çıkarılamamıştı.

Nötrinolar elektron nötrinosu, müon nötrinosu ve tau nötrinosu olmak üzere üç ayrı "çeşni"ye sahip parçacıklar. Kamiokande gözleminde gözlenenler, kozmik ışınların (uzaydan gelen ışığa yakın hızda proton ve başka bazı parçacıklar) atmosferdeki atomlara çarpması sonucu ortaya çıkan müon nötrinolarının salınımıydı. Fotonlar nasıl bir camdan geçip gidiyorlarsa, elektrik yükü olmayan ve şiddetli çekirdek kuvvetini duymayan, temel doğa kuvvetlerinden yalnızca bozunmadan sorumlu zayıf çekirdek kuvvetini duyan nötrinolar da maddenin içinden rahatlıkla geçip gidiyorlar. Ancak, nötrinolar öylesine çok ki, her saniye dünyanın bir santimetrekarelik yüzeyinden geçip giden 60 milyar nötrinodan bir ikisi bir atomla etkileşiyor. Bu etkileşme, çarpışmanın ortaya çıkardığı bazı elektrik yüklü parçacıklar sayesinde belirlenebiliyor. Eğer elektrik yüklü bir parçacığın su içindeki

hızı, ışığın su içindeki hızını geçerse, ortaya "çerenkov ışıması" denen ve içi saf su dolu dedektörün çeperlerine yerleştirilmiş duyarlı ışık algılayıcılarınca belirlenip bilgisayara iletilen bir ışık çıkıyor. Bu ışığın izlediği yol da, sudaki parçacıkla etkileşen nötrinin geldiği yönü ortaya koyuyor. Süper-K'daki araştırmacılar, madenin üst yanından daha çok müon nötrinosu gelmesine karşın, madenin altından gelen, yani Dünya'nın öteki ucundan girip de madene ulaşan müon nötrinolarının sayısında dikkat çekici bir eksiklik belirlemişler. Bu da müon nötrinolarının, detektörün belirleme aralığının dışında kalan tau nötrinolarına dönüştüğünün kanıtı.

O tarihten bu yana geçen altı yıllık süre içinde deneyi sürdüren araştırmacılar, artık resmin eksik yüzünü de gördüklerini bildiriyorlar. Bunun anlamı, Süper-Kamiokande detektörlerinin tau nötrinolarını da görmeye başladığı değil. Araştırmacılar, yolculuklarındaki salınma süreci içinde yeniden eski kılıklarına dönen müon nötrinolarını belirlemişler.

Bir nötrininonun çeşni değiştirme olasılığı, nötrininonun katettiği mesafenin (L), enerjisine olan oranının fonksiyonu. Bir nötrino ne kadar uzun yol alırsa, salınma uğrama olasılığı da o ölçüde artıyor. Kurama göre parçacıklar, katettikleri mesafeye bağlı olarak çeşni değiştirdikçe, bir detektöre ulaşan parçacıkların sayısı da klasik bir sinus eğrisinin tepe ve çukurlarına uyum sağlamalı. 1998'den beri, nötrino etkileşim "olayları"nın sayısındaki birikme, araştırmacılara üzerlerinde en sağlıklı ölçümlerin yapıldığı etkileşimleri seçme olanağı sağlamış. Sobel "Belirlenen 14.000 nötrino etkileşiminden en üstteki (en iyi ölçülmüş) %20'ye baktığımızda önce bir azalma görüyoruz, daha sonra eğri (olması gerektiği gibi) yeniden yukarı tırmanıyor diyor.

İtalya'nın Ulusal Nükleer Fizik Enstitüsü'nden fizikçi Eligio Lisi, sonuçların daha kesin istatistiklerle desteklenmesi gerektiği uyarısında bulunmakla birlikte, önemli olduğunu teslim ediyor. Lisi'ye göre müon nötrinolarının yeniden ortaya çıkışı, sayılarındaki önceki eksiklik için getirilmiş, örneğin nötrinoların kendi ailelerini terk edip daha başka parçacıklara dönüştükleri gibisinden rakip açıklamalara da darbe indiriyor. İtalyan araştırmacı ayrıca, sonuçların fizikçilere iki nötrino çeşnisinin kütlelerinin karelerini karşılaştırabilecekleri daha kesin bir değer sunuyor. Yine de öyle görünüyor ki, sağlanan başarılarla karşın bu gizemli parçacıklarla ilgili tüm parametreleri kesin olarak belirlemek, Süper-K araştırmacılarını ve öteki deneylere katılan fizikçileri daha yıllar boyu meşgul edecek.

Science, 16 Temmuz 2004