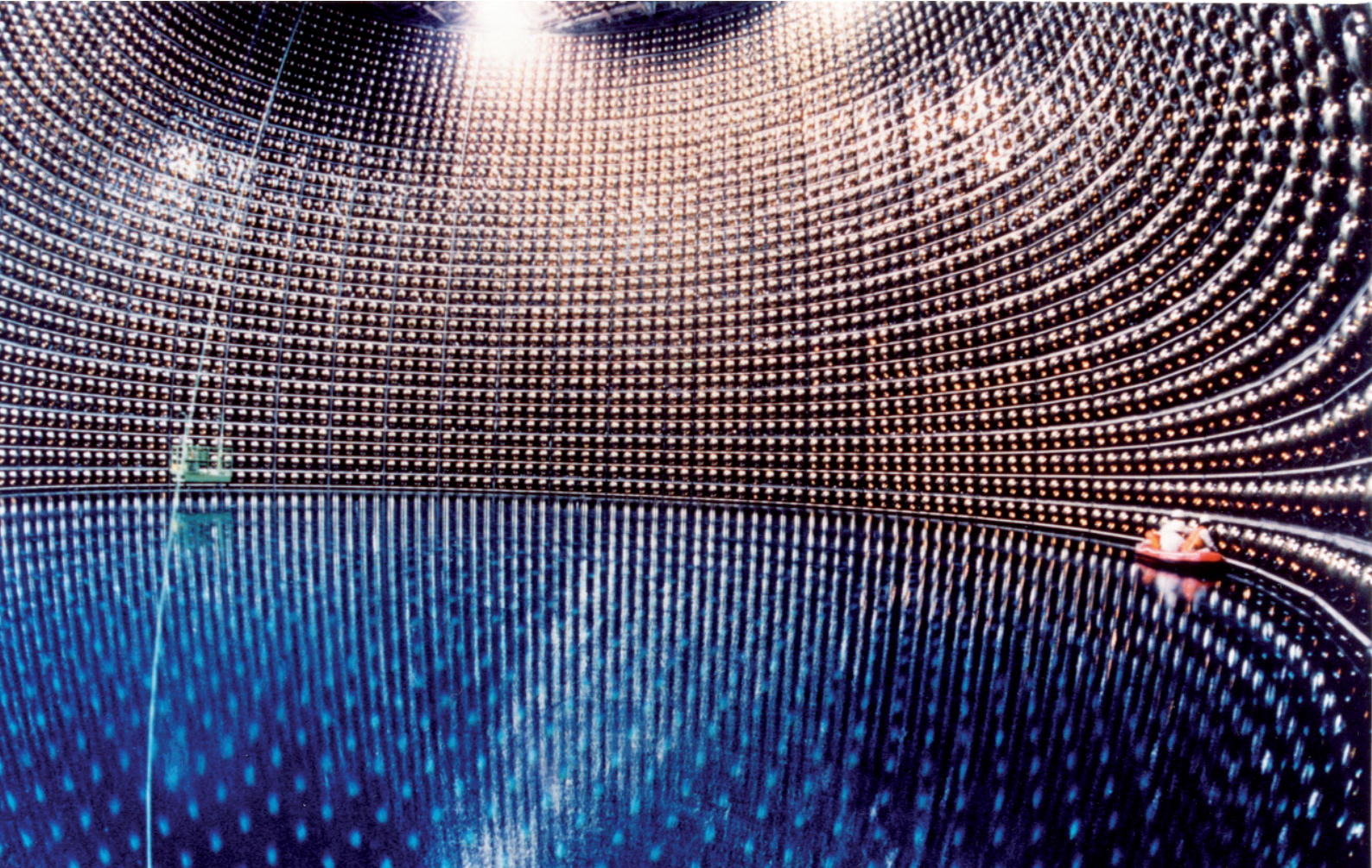
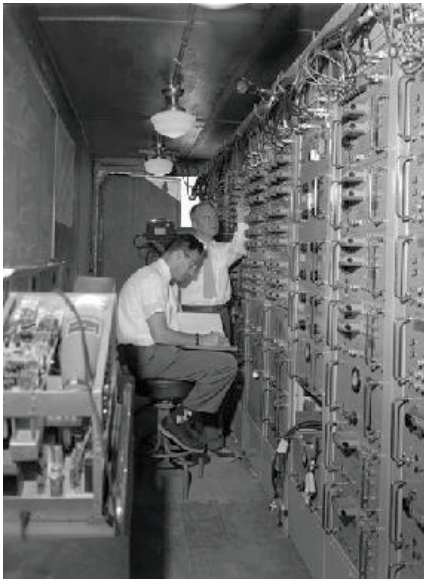


Ender Etkileşen Gizemli Parçacık Nötrino

Milyarlarca yıldır evreni dolduran atomaltı parçacıklar arasında en gizemli olanı kuşkusuz nötrino. Büyük çoğunlukla yıldızların içinde oluşan bu parçacık, içinden geçtiği cisimlerle neredeyse hiç etkileşime girmiyor. Öyle ki, Güneş'ten kaynaklanan nötrinoların yaklaşık 100 trilyon kadarı her saniye vücudumuzdan geçiyor ve biz bunun farkına bile varmıyoruz. Bu yazıda, nötrino adı verilen bu gizemli parçacığın ilginç özelliklerini ve fizikçilerin onun gizemini çözmek için yaptıkları çalışmaların öyküsünü bulacaksınız.

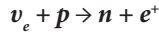


Nötrino atomaltı parçacıklar içinde en gizemli olanıdır. Yaklaşık 80 yıldır deneysel ve kuramsal alandaki yoğun çalışmalar, nötrinonun özelliklerini anlamamızı sağladı fakat ona ilişkin yine de bilmediğimiz çok şey var. Milyarlarca yıldır evreni dolduran bu parçacığın varlığını, ilk kez Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli, 1930'da kuramsal olarak ortaya attı. Bu parçacığa, İtalyanca'da çok küçük anlamına gelen "nötrino" adını da İtalyan fizikçi Enrico Fermi verdi. Wolfgang Pauli beta bozunmasında (nötron bozunması) enerjinin ve momentumun korunabilmesi için proton ve elektronla birlikte yüksüz ve çok küçük kütleli bir üçüncü parçacığın daha oluşması gerektiğini öngördü. Elektrik yükü olmadığı için yalnızca zayıf çekirdek etkileşimi yapabilen nötrino, tıpkı elektron gibi lepton ailesinin bir üyesidir. Yüksüz bir lepton olması nötrinonun gözlemlenmesini çok güçleştirir. Örneğin, enerjisi 1 GeV olan bir nötrino su içerisinde etkileşim yapmadan yaklaşık 20 trilyon metre (Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığın 1300 katı kadar) gidebilir. Bu uzaklık nötron için 4 m kadardır. Bu gerçek, nötrino-madde etkileşiminin ne kadar az olduğunu gösterir. Adeta bir hayaleti andıran nötrinonun etkileşimleri ancak çok büyük ve duyarlı detektörlerle gözlemlenebilir. Böyle bir detektör



Frederick Reines ve Clyde L. Cowan 1950'lilerde nötrino verilerini toplarken.

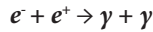
tör ilk kez 1956'da yapıldı. Clyde L. Cowan ve Frederic Reines, ABD'deki Savannah River reaktöründe oluşan nötrinoların etkileşimlerini, içinde 200 kg su ve su da çözünmüş kadmiyum klorür ($CdCl_2$) olan bir su tankı ve onun iç çeperlerine yerleştirilmiş sintilatör sayaçlardan oluşan bir detektör yardımıyla gözlemlədiler. Nötrinonun, sudaki protonla etkileşmesiyle, nötron ve pozitron oluşur:



Sudaki ^{108}Cd izotopu, nötronu yakalar, ^{109}Cd izotopuna dönüşür ve bir de foton salar:



Öte yandan pozitronun, elektronla birleşip yok olmasından da iki foton oluşur:



Detektördeki sintilatör sayaçlar öncelikle bu iki fotonu saptar ve kısa bir zaman aralığından (yaklaşık 5 mikrosaniye) sonra da kadmiyum izotopundan gelen fotonu algılar. Bu iki sinyalin detektörde sırayla oluşması nötrino etkileşiminin imzası anlamına gelir. Bu keşif Clyde L. Cowan ve Frederic Reines'a 1995'te Nobel ödülünü kazandırdı.

Detektörde kaydedilen etkileşimler; beta bozunmasında elektronla birlikte salınan nötrinonun etkileşimiymi. Akıllara hemen başka nötrinoların olup olmadığı geldi. Örneğin, pion bozunmasında salınan nötrino ile beta bozunmasında salınan nötrino aynı mıydı? Bu sorunun yanıtını Leon Lederman, Melvin Schwartz ve Jack Steinberger 1962'de buldular. ABD'deki Brookhaven Laboratuvarı'nda yaptıkları deneyde müon bozunmalarında oluşan nötrinonun beta bozunumda oluşanlardan farklı olduğunu ve bu nötrinonun müona eşlik ettiğini gözlemlədiler. Bu nötrinoya müon nötrino adı verildi. Bu keşif de çalışmayı yapanlara 1988 yılı Nobel Fizik Ödülünü kazandırdı. Böylece lepton ailesinin bir üyesi daha deneysel olarak saptanmış oldu. 1970'li yılların başlarında Martin L. Perl ve ekibinin Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde (SLAC) yaptığı bir deneyde, detektörün kaydettiği etkileşimler bilinen hiçbir atomaltı parçacıkla açıklanamama-



Pauli, 1930 yılında nötrinonun varlığını kuramsal olarak ortaya koydu.

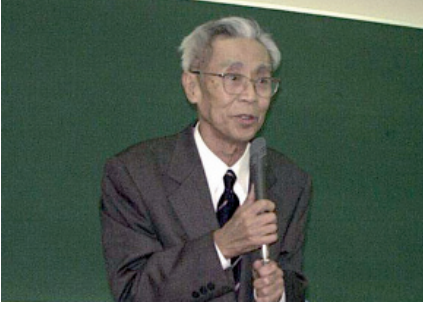
di. 1975'te bu parçacığın yeni bir lepton olduğuna emin oldular. Böylece tau leptonu keşfedilmiş oldu. Bu başarı Martin L. Perl'e 1995 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandırdı. Akıllara hemen tau leptona eşlik eden bir nötrinonun olması gerektiği geldi. Tam 25 yıl sonra, 2000'de, DONUT deneyinde tau nötrinonun etkileşimleri gözlemlendi. Lepton ailesinin bu son üyesinin de bulunmasıyla bugün, üç yüklü lepton (elektron, müon ve tau) ve zayıf etkileşimlerde onlarla birlikte salınan üç nötrino (elektron nötrino, müon nötrino ve tau nötrino) olduğunu biliyoruz.

Bu Kadar Çok Nötrino Nereden Geliyor?

Nötrinonun evrende çok miktarda olmasının nedeni nedir? Bunun yanıtı evrendeki birçok etkileşimin sonucunda nötrinoların açığa çıkmasında saklıdır.

	Çeşni	Kütle (GeV/c ²)	Elektrik yükü
ν_e	elektron-nötrino	$<2,2 \times 10^{-9}$	0
e	elektron	$5,11 \times 10^{-4}$	-1
ν_μ	müon-nötrino	$<1,7 \times 10^{-4}$	0
μ	müon	0,106	-1
ν_τ	tau-nötrino	$<1,55 \times 10^{-2}$	0
τ	tau	1,77	-1

Lepton ailesi



Jiro Maki, nötrino çeşni salınımlarını kuramsal olarak ilk kez ortaya koydu.

Yalnızca Güneş'ten, saniyede trilyonlarca nötrino evrene salınır. Güneş ve yıldızlardaki nükleer füzyondan dolayı her hidrojen yanması sonucunda iki nötrino açığa çıkar. Bu şekilde oluşan nötrinolar Güneş nötrinolu denir. Saniyede 100 trilyon Güneş nötrinolu, vücudumuzdan etkileşim yapmadan geçmektedir. Yine Dünya'ya sürekli çarpan kozmik parçacıkların atmosferdeki atomlarla etkileşimlerinin sonucunda oluşan kararsız parçacıkların (pion ve kaon gibi) bozunmasından da nötrino salınır. Bu şekilde oluşan nötrinolar atmosferik nötrino denir. Bir başka doğal nötrino kaynağı da süpernovalardır. Süpernova, enerjisi biten büyük kütleli yıldızların patlamasıdır ve bu sırada çok miktarda nötrino uzaya salınır. Bir süpernovanın söğürken yaydığı enerji Güneş'in milyarlarca yılda yayacağı enerjiden ve dolayısıyla nötrino miktarından daha büyüktür. İlk kez 1987'de bir süperno-

vadan yayılan nötrinolar deneysel olarak gözlemlenebildi. Doğal kaynakların dışında, parçacık hızlandırıcıları kullanılarak da nötrino demeti oluşturulmaktadır. Hızlandırıcı kontrol edilebilir bir kaynak olduğu için nötrino deneyleri için çokça tercih edilir. Nötrino demeti oluşturmak için protonlar, hızlandırıcıda belli bir enerjiye kadar çıkarılıp bir hedefe çarpıtılır. Etkileşim sonucunda oluşan parçacıklar manyetik mercekle odaklanır. Odaklanan kararsız parçacıklar vakum bir tüp içinde bozunarak nötrino demetini oluşturur. Nötrinolar için bir başka önemli kaynak da nükleer reaktörlerdir. Özellikle elektrik üretmek için kullanılan nükleer reaktörler, çok miktarda nötrino da üretir. Nötrinolar nükleer reaktörlerde, beta bozunması yoluyla oluşur.

Nötrinoyu İlginç ve Farklı Kılan Nedir?

Nötrinoyu öteki yüklü leptonlardan farklı kılan en önemli özellik kütlelerinin çok küçük olmasıdır. Şimdiye değin, nötrininin kütlelerini ölçmek için tasarlanan deneylerde kütle için yalnızca üst limit konabildi. Buna göre elektron nötrino, elektrondan en az 230.000 kez daha hafiftir. Bir elektronun kütlelerinin bir karınca kütlelerinin trilyonda birinin trilyonda biri olduğu düşünülürse, nötrininin ne kadar küçük olduğu daha net anlaşılır. Nötrininin kütlelerinin bu kadar küçük olmasının yanında onu ilginç kılan bir başka özelliği de salınım yapmasıdır. Nötrino salınımı, zayıf etkileşimler yoluyla oluşan nötrinoların belli bir yol kat ettikten sonra başka bir nötrinoya dönüşmesi olarak tanımlanabilir. Bu etkileşim ancak kuantum mekaniğiyle açıklanabilir. Bu garip olayı şu örnekle açıklamaya çalışalım: Elinizde sarı, kırmızı ve mavi olmak üzere üç renkte ve farklı ağırlıkta toplar olduğunu düşünün. Bunlardan birini, örneğin sarı olanını, çok yüksek bir hızla (ışık hızına yakın) Ankara'dan İzmir'e doğru fırlatalım. Bu top, İzmir'de yere düştüğünde renginin sarı olmadığını, kırmızı ya da mavi

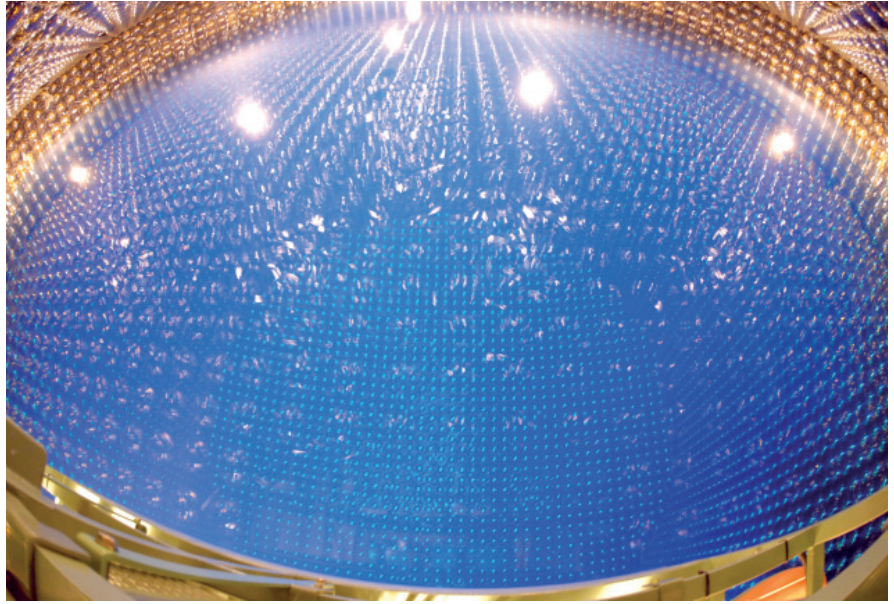
olduğunu göreceksiniz. İzmir'de yere düşen topun kırmızı mı yoksa mavi mi olacağı, Ankara ile İzmir arasındaki uzaklığa, topların hızına ve ağırlığına bağlıdır. Bu renkli topların yerine üç nötrinoyu (ν_e , ν_μ , ν_τ) koyar ve benzer bir deneyi laboratuvarında yaparsak, bunların bir birine dönüştüğünü gözlemleriz. Bu dönüşümlerin olabilmesi için nötrinoların kat etmesi gereken yol, enerjileriyle doğru orantılı, kütlelerinin karesinin farkı ile ters orantılıdır. Bu tür salınımlar ilk kez nötral kaonlarda gözlemlenmiştir. Kuvvetli çekirdek etkileşimi yoluyla oluşan fakat zayıf çekirdek kuvveti aracılığıyla bozulan ve nötrinodan çok ağır olan bu parçacığın karşıt nötral kaona dönüştüğü (salınım yaptığı) deneysel olarak ilk kez 1956'da gözlemlendi. Bir yıl sonra İtalyan fizikçi Bruno Pontecorvo benzer salınımların nötrino ve karşıt nötrino arasında da olabileceğini ortaya attı.

Öte yandan çeşni salınımlarıyla ilk kez 1962'de Japon fizikçi Jiro Maki tarafından öngörüldü. Çeşni salınımları iki farklı yöntemle gözlemlenebilir. Bunlar; *görünme* (appearance) ve *kaybolma* (disappearance) deneyleridir. Görünme tipi deneylerde, bir hızlandırıcıda oluşturulan saf nötrino çeşnisinin bir bölümü daha detektöre ulaşmadan önce salınım yaparak başka bir nötrino çeşnisine dönüşür. Dolayısıyla detektörde, saf nötrino çeşniyle birlikte bu yeni nötrino çeşnisinin de etkileşimleri gözlemlenir. Örneğin, CERN'deki hızlandırıcılarda beta bozunması yoluyla oluşturulan müon nötrininin bir bölümü uzunca bir yol **kat ettikten** sonra salınım yaparak tau nötrinoya dönüşür. Eğer kullanılan detektörler yeterince duyarlıysa tau nötrininin maddeyle yaptığı yüklü-akım etkileşimleri belirlenebilir. Öte yandan, salınımdan dolayı, saf nötrino akısında bir azalma olur. Saf nötrino sayısındaki azalma, yakın ve uzak detektörler kullanılarak ölçülebilir. Bu tip deneyler, *kaybolma* deneyleri olarak adlandırılır. *Görünme* deneylerinin yapılması, *kaybolma* deneylerine göre daha zordur ama nötrininin salınım yapıp yapmadığını araştırmada kesin sonuç verir.

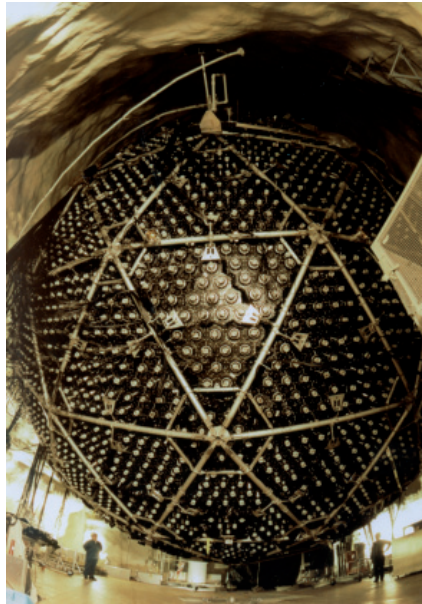


Bruno Pontecorvo, nötrino - karşıt nötrino salınımlarını kuramsal olarak ilk kez ortaya koydu.

Nötrino salınımlarına ilişkin ilk ipuçları, Güneş'ten gelen nötrinoların gözlenmesinde ortaya çıktı. İlk kez Ray Davis ve grubu 1960'tan itibaren Güneş'ten gelen nötrinoları gözlemledi. Bu ölçümlerde, beklenenden daha az nötrino gözlemlenildi. Değişik deneyler ve farklı yöntemler kullanarak Güneş'ten gelen nötrino akısını ölçtüler. Bu deneylerin tamamında, Dünyada ölçülen elektron nötrino akısının, Güneş'te üretilenden daha az olduğu gözlemlendi. Bu durum, "Güneş nötrino problemi" olarak bilinir. Ray Davis'e bu öncü çalışmasından dolayı 2002'de Nobel Fizik Ödülü'ü verildi. Nötrino salınımları bu problemin çözümü olarak ortaya kondu. Fakat nötrino salınımlarının gözlemlenmesi yaklaşık 40 yıl sonra, 1998'de Süper-Kamiokande deneyinde gerçekleşti. Süper-Kamiokande detektörü, Japonya'daki Kamioka Mozumi madeninde kurulmuştur. 50.000 ton saf suyla doldurulan bu detektör, 39,3 m çapında ve 40 m yüksekliğindedir. Bu haliyle bir havuzu andıran Süper-Kamiokande, nötrino etkileşimlerini, iç çeperlerine yerleştirilmiş yaklaşık 12.000 foto çoğaltıcı tüple saptar. Nötrininun geliş yönü, etkileşim sonucunda oluşan yüklü parçacıkların yönünden yararlanılarak detektörde oluşturulur. Elde edilen sonuçlara göre Mozumi madeninin üst bölümünden gelen müon nötrinolarının sayısı alt bölümden, yani Dünya'nın öteki ucundan gelen nötrinoların sayısına göre çoktu. Atmosferik nötrinolar izotropik olduğu için beklenen aslında detektöre üstten ve alttan gelen müon nötrino sayılarının eşit olmasıydı. Güneş'ten gelen elektron nötrinolar için sağlanan bu durum atmosferik nötrinolar için sağlanmıyordu. Yapılan analizlerin sonucunda müon nötrininun salınım yaparak başka bir çeşniye dönüştüğü, dolayısıyla detektörde belirlenemediği ilk kez 1998'de ortaya kondu. Detektöre üstten ve alttan gelen nötrinolar arasındaki en önemli fark, alttan yani Dünya'nın öteki ucundan gelen nötrinoların detektöre ulaşmaya kadar daha çok yol almasıydı. Kuamsal olarak nötrino salınım olasılığı,



Süper-Kamiokande detektörünün saf suyla doldurulmuş hali.



SNO detektörü

alınan mesafeyle artar. Dolayısıyla alttan gelen nötrinolar salınım yapmaları için gerekli mesafeyi aldıktan sonra başka bir nötrino çeşnesine dönüşmektedir. Bu sonuç, 1999'da yine Japonya'da yapılan K2K (KEK to Kamioka) deneyinde test edildi. KEK hızlandırıcısında üretilen müon nötrino demetinin akısı ve enerji spektrumu, yakın ve uzak detektörde ölçülüp karşılaştırıldı. Nötrino demetinin 300 m uzağına yerleştirilen yakın detektörler, Çerenkov tipi detektörle onu destekleyen iz ve enerji belirleme detektörlerinden oluşuyordu. Süper-Kamikande'nin min-

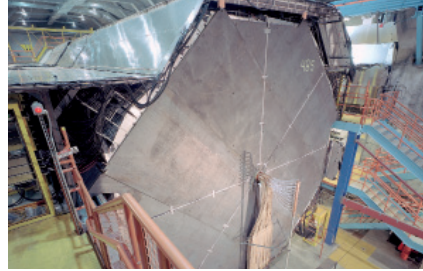
yatürü olan ve 1000 ton saf sudan oluşan Çerenkov detektörü, nötrino etkileşimi sonucunda oluşan yüklü parçacıkların saptanmasında kullanıldı. Eğer elektrik yüklü parçacığın hızı, ışığın su içindeki hızını geçerse ışımaya yapar. Çerenkov ışınması olarak adlandırılan bu ışımada detektörün iç çeperlerindeki foto çoğaltıcı tüpler sayesinde algılanır. K2K'nin uzak detektörü ise nötrino kaynağından 250 km uzaktaki Süper-Kamiokande detektörüydü. Süper-Kamiokande'ye ulaşan müon nötrinolarının akısı ölçülüp, yakın detektörde ölçülenle karşılaştırıldığında beklenenden daha az müon nötrininun Süper-Kamiokande'ye ulaştığı anlaşıldı. Yapılan analizlerin sonucunda müon nötrino sayısındaki azalmanın, salınımdan kaynaklandığı sonucuna varıldı. 1996'dan bugüne değin atmosferik ve Güneş nötrinolarını gözlemleyen Süper-Kamiokande deneyinde 2001'de gerçekleşen talihsiz bir kaza deneyin fizik programını sekteye uğrattı. Detektörün foto çoğaltıcı tüplerinin yarısı kırıldı. Bu tüplerin yeniden üretilip, detektöre monte edilmesi 2-3 yıllık bir süreci gerektirdi. Bu zaman içinde az sayıda foto çoğaltıcı tüp kullanarak veri toplayan Süper-Kamiokande, kazanın yaralarını tam anlamıyla 2008'de sarabilirdi. Süper-Kamiokande fizik programına şu an kaldığı yerden devam ediyor.

Süper-Kamiokande ve K2K sonuçlarından sonra, nötrino salınımlarını araştırmak amacıyla yeni kuşak nötrino deneyleri tasarlandı. Bu deneylerin öncekilerine göre en önemli farkı detektörle nötrino kaynağı arasındaki mesafenin daha uzun olmasıdır. Bu nedenle bu tür deneylere uzun-menzilli nötrino deneyi adı veriliyor. Bunlardan ilki OPERA (Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus) deneyidir. Öteki uzun-menzilli nötrino deneyi ise MINOS'tur (Main Injector Neutron Oscillation Search). K2K deneyi gibi yakın ve uzak iki detektör kullanılarak nötrino akısını ve enerji spektrumunu ölçen MINOS'ta elde edilen ilk sonuçlar Süper-Kamiokande ve K2K'nin sonuçlarıyla tutarlıdır. MINOS'un yakın detektörü Fermilab'daki nötrino kaynağının 300 m yakınına, uzak detektör de Fermilab'tan 735 km uzaktaki Soudan yeraltı madenine yerleştirildi. Yakın detektör 5400 ton ağırlığındaki uzak detektörün bir minyatürü gibidir. Her iki detektör de manyetize edilmiş çelikten ve sintilator liften yapılmıştır. MINOS'ta, beklenenden daha az müon nötrininin uzak detektöre çarptığını gözlemlendi. Nötrino sayısındaki bu azalmanın, en doğru şekilde salınım varsayımıyla açıklanabileceğini gösterdiler. Atmosferik nötrinoların salınım yaptıkları anlaşıldıktan sonra, Güneş nötrinolarının da salınım yapıp yapmadığını sınamak için 1999'da Kanada'nın Toronto kentinin 300 km kuzeyindeki, Creighton madenine, SNO (Sudbury Neutrino Observatory) detektörü kuruldu. Detektör Süper-Kamiokande ve K2K detektörleri gibi bir Çerenkov detektörüydü. İçi su dolu devasa bir futbol topunu andıran SNO'da, 1000 ton ağır su bulunur. Ayrıca bu topun çevresini saran 7000 tonluk ultra saf, hafif su, dışarıdan gelebilecek fotonlara ve nötronlara karşı kalkan görevi yapar. Detektörde yaklaşık 9500 foto çoğaltıcı tüp, Çerenkov ışınımını gözlemlemek amacıyla kürenin iç çeperlerine yerleştirilmiştir. SNO, öteki detektörlerden farklı olarak yüksüz akım etkileşimleri yoluyla üç nötrino çeşnisinin de etkileşimlerini saptayabilir. Bu sayede Güneş'teki tep-

kimelerden ortaya çıkması gereken elektron, müon ve tau nötrinolarının, kuramsal miktarıyla, detektöre yakalananların oranları karşılaştırılabilir. Detektörde oluşan yüklü ve yüksüz akım tepkimelerinin analizlerinin sonucunda Güneş nötrinolarının üçte ikisinin detektöre ulaşmaya kadar salınım yapıp başka bir nötrino çeşnisine (müon veya tau) dönüştüğü gözlemlendi. Elde edilen sonuçlar ışığında, Güneş'ten gelen nötrinoların ortalama 35.000 km yol katlettikten sonra salınım yaptığı anlaşıldı.

Gelecek Kuşak Nötrino Deneyleri: Detektörler Büyüyor, Uzaklıklar Artıyor

Bu sonuçlar nötrino fiziği açısından çok önemli olmasına karşın, nötrininin gizemini tümüyle çözmek için hâlâ yeterli değildir. Salınım parametrelerinin daha duyarlı ölçülebilmesi için

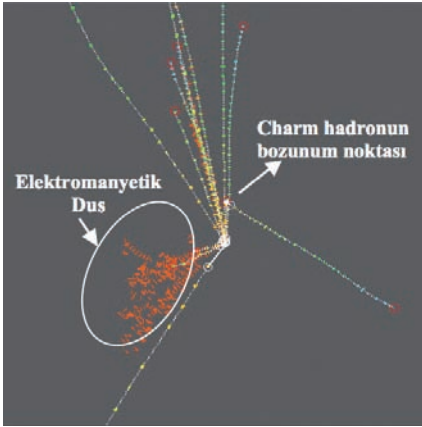


MINOS detektörü

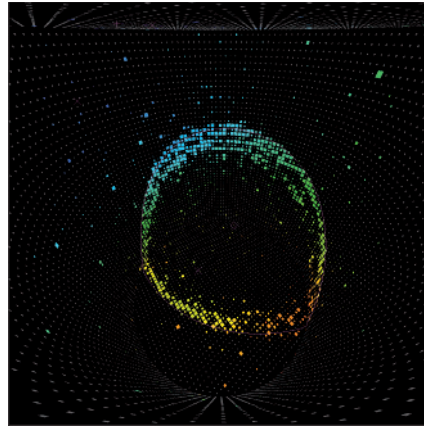


Süper-Kamiokande detektöründe kullanılan foto çoğaltıcı tüp. Bu tüplerden yaklaşık 12.000 adet üretilip detektöre yerleştirildi.

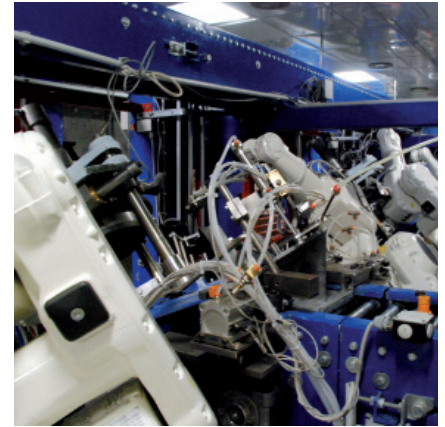
ikinci kuşak nötrino deneyleri tasarlandı. Bu deneylerden biri olan T2K (Tokai To Kamioka) deneyi, 2009'da veri toplamaya başlayacak. Japonya'nın Tokai kentindeki hızlandırıcı kompleksi JPARC'da oluşturulan yoğun nötrino demeti 295 km yol aldıktan sonra Kamiokadaki Süper-Kamiokande detektörüne çarpacak. T2K deneyi, müon nötrininin tau ve elektron nötrinoya yapacağı salınımları gözlemleyerek, salınım parametrelerini yüksek duyarlılıkla ölçmeyi planlıyor. T2K ulaşmayı planladığı duyarlılık K2K'ninkinden yaklaşık 100 kat daha büyük olacak. Japonya'da T2K deneyinin hazırlıkları yapılırken ABD'de de NOVA (NuMI Off-Axis Neutrino Appearance) deneyinin hazırlıklarına başlandı. Atmosferde henüz gözlenemeyen müon nötrininin elektron nötrinoya olan salınımlarını araştırmak için tasarlanan NOVA deneyinde de tıpkı MINOS'ta olduğu gibi, yakın ve uzak iki detektör kullanılacak. Yakın detektör Fermilab'a yerleştirilirken, uzak detektör nötrino kaynağından 810 km uzaktaki Ash ırmağının yakınına kurulacak. 15.000 ton sıvı sintilatorlardan oluşan uzak detektör, elektron nötrinoları için hem bir hedef hem de bir detektör görevini yerine getirecek. MINOS'a göre daha yoğun ve güçlü bir nötrino demeti kullanacak olan NOVA detektörüne çarpan nötrinolar 2014'ten itibaren saptanmaya başlayacak. MINOS'dan 10 kat daha duyarlı olan NOVA, nötrino salınımlarının daha duyarlı ölçümlerini yapabilecek. NOVA ve T2K'de elde edilecek sonuçlar nötrino fiziği açısından çok önemli. Özellikle müon nötrininin elektron nötrinoya yapacağı salınımların gözlenmesi ve salınım parametrelerinin ölçülmesi, nötrino kütlelerinin büyüklük sırasını ortaya çıkaracak. Ayrıca salınımlarda bazı simetriklerin, “yük” ve “parite” gibi (CP), korunup korunmadığı da sınanacak. Benzer fizik programı olan iki başka nötrino deneyi (Daya Bay ve Double CHOOZ gibi) daha var. 2010 yılının sonuna doğru veri toplamaya başlayacak bu iki deney nötrino kaynağı olarak T2K ve NOVA'dan farklı olarak nükleer santralleri kullanacaklar.



OPERA deneyinde bulunan elektromanyetik duş ve bozunum içeren bir nötrino etkileşimi.



Müon nötrininin Süper-Kamiokande detektöründe bıraktığı izma.



OPERA deneyinde kullanılan antropomorfik robot.

Türkiye Nötrino Fizığının Neresinde?

Türkiye 1966'dan bugüne kadar önemli nötrino deneylerine katılıyor. Türkiye'deki birkaç grup, CERN'de yapılan WA17, CHARMII ve CHORUS deneylerine katkıda bulunmuş ve bu sayede nötrino fiziği alanında bir birikimin oluşmasını sağlamıştır. Bu deneyler nötrino etkileşimlerini ya da salınımlarını gözlemek amacıyla tasarlanmıştır; birçok ülkeden çok sayıda fizikçinin çalıştığı uluslararası büyük projelerdir. Türkiye özellikle, CHORUS deneyinin analiz çalışmalarına önemli ve özgün katkılar sağlamıştır. Şu an Avrupadaki tek nötrino salınım projesi olan OPERA deneyinde, Türkiye'yi ODTÜ nötrino grubu temsil ediyor. OPERA deneyi müon nötrininin tau nötrinoya salınımlarını gözlemek amacıyla tasarlandı. Detektör, CERN'e 730 km uzakta, İtalya'nın Gran Sasso laboratuvarında kuruldu. CERN'deki hızlandırıcılarda oluşturulan müon nötrino demeti uzunca bir yolculuktan sonra OPERA detektörüne ulaşıyor. Eğer müon nötrinoların bir bölümü yolculuğu sırasında salınım yaparak tau nötrinoya dönüşürse, OPERA detektöründe tau nötrininin da etkileşimleri gözlemlenecek. Bu özelliği, yani tau nötrino etkileşimlerini doğrudan gözlemleyebilecek olması OPERA'yı öteki salınım deneylerinden farklı kılıyor. OPERA deneyi 13 ülkeden 200 kadar fizikçinin oluşturduğu uluslararası bir çalışmadır. Detektörün yapımına 2002'de başlandı ve yoğun çalış-

maların sonucunda 2008'in yazında detektör tamamlandı. Detektör, ECC (Emulsion Cloud Chamber) olarak adlandırılan, nükleer emülsiyon ile kurşun plakaların oluşturduğu sandviç yapıdadır ve elektronik detektörlerden oluşmaktadır. Nükleer emülsiyon, nötrino etkileşimlerinde oluşan yüklü parçacıkların izlediği yolun fotoğrafının çekilmesini sağlayarak, etkileşimlerin üç boyutlu görüntüsünü mikrometre duyarlılığında elde edilmesini sağlar. Bu özelliğiyle nükleer emülsiyon, tau lepton gibi çok kısa ömürlü parçacıkların saptanması için çok kullanışlı bir detektördür. Öte yandan ECC'nin içindeki kurşun plakalar, nötrino etkileşimleri için gereken ağır kütleli oluşturur. Aynı zamanda yüklü parçacıkların momentumlarını, elektron ve foton gibi parçacıkların oluşturduğu elektromanyetik duşların ölçülmesine olanak sağlayan ECC, çok fonksiyonlu bir detektördür. Yüzey alanı 10,2x12,7 cm² ve kalınlığı 7,5 cm olan ECC, 8,3 kg ağırlığındadır. Bu şekliyle ağır bir tuğlaya benzeyen ECC'den yaklaşık 150.000 adet üretilip, duvarlar oluşturulacak şekilde detektöre yerleştirildi. Bu kadar ECC'yi bir yılda üretebilmek için antropomorfik robotlar kullanıldı. Fakat ECC tek başına zaman bilgisini veremediği için elektronik detektörlerle de desteklenmek zorundadır. Bu tür detektör yapılarına hibrit detektör denir. Her ECC duvarının arkasına fiberden oluşturulmuş bir iz detektörü yerleştirilerek nötrino etkileşiminde ortaya çıkan elektrik yüklü parçacıkların izleri oluşturulur. Bu izler kullanılarak etkileşimin gerçekleş-

tiği ECC saptanır, otomatik manipülatör yardımıyla detektörden çıkarılır. Bundan sonraki aşamada fotoğraf makinesinden çıkarılan negatif filmin banyo edilip fotoğraf baskısının oluşturulmasına benzer. ECC'nin içindeki emülsiyon filmler, karanlık odada birtakım kimyasal işlemlerden geçirilip elektrik yüklü parçacıkların izleri oluşturulur. Fakat bu izler gözle görülecek kadar büyük olmadığından, izlerin görüntülenmesi, bilgisayar kontrollü optik mikroskoplar yardımıyla yapılır. Bu işlem için hem Avrupada hem de Japonyada geliştirilen otomatik tarama sistemleri kullanılır. Bu hızlı tarama sistemiyle bir emülsiyon film beş saat gibi bir sürede taranabilir. OPERA deneyinde, beş yıllık bir veri toplama sürecinden sonra yaklaşık 10-15 tau nötrino etkileşiminin bulunması bekleniyor. 2008'in ikinci yarısında toplanan verilerin analizi sürüyor. Yaklaşık 1700 kadar nötrino etkileşimi elektronik detektörler yardımıyla saptandı. Bu etkileşimlerin ECC'lerin içinde bulunup analiz edilmesine devam ediliyor. Belki bu ECC'lerin birinde ortaya çıkan tau nötrino etkileşimi hâlâ keşfedilmeyi bekliyor. Bu etkileşimin bulunması bu gizemli parçacığın doğasına ilişkin bir önemli gerçeğin, gün ışığına çıkmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

Süper-Kamiokande deneyi http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index_e.html
K2K deneyi <http://neutrino.kek.jp/>
SNO deneyi <http://www.sno.phy.queensu.ca/>
MINOS deneyi <http://www-numi.fnal.gov/>
OPERA deneyi <http://www.opera.cern.ch>
T2K deneyi <http://jnsrv01.kek.jp/public/t2k/>
NOVA deneyi <http://www-nova.fnal.gov/>