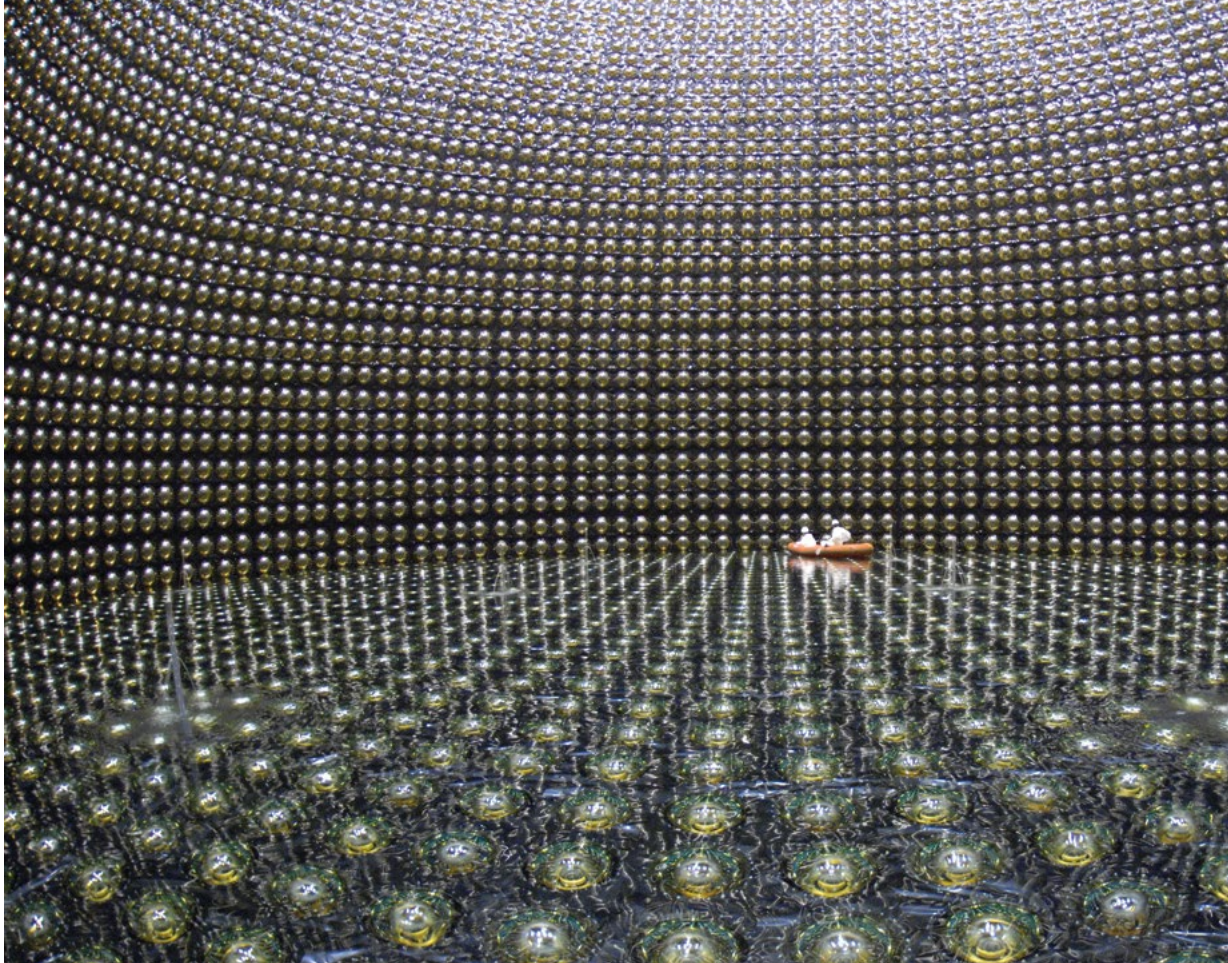


Nobel Ödülleri Kazandıran Parçacık Nötrino

2015 Fizik Nobel'i 1960'lı yıllardan 2000'li yıllara kadar askıda kalan önemli bir fizik probleminin çözümüne yaptıkları katkıdan dolayı Prof. Dr. Takaaki Kajita'ya ve Prof. Dr. Arthur B. McDonald'a verildi. Prof. Kajita Japonya'da yürütülen Super-Kamiokande deneyinin, Prof. McDonald ise Kanada'da yürütülen SNO (Sudbury Neutrino Observatory) deneyinin lideriydi. Farklı coğrafyalarda aynı fizik problemi üzerine tasarlanan bu iki deneyde, atomaltı bir parçacık olan ve bütün evreni dolduran nötrinoların adeta metamorfoza uğrayıp kimlik değiştirdiğini gözlemlediler. Bu keşif, Güneş'ten gelen elektron nötrinolarının sayısının neden beklenenden az olduğunu açıkladığı gibi nötrinoların kütesinin sıfırdan farklı olduğunun da bir ispatıydı.

Nötrino salınımlar yaparak kimlik değiştiriyor.

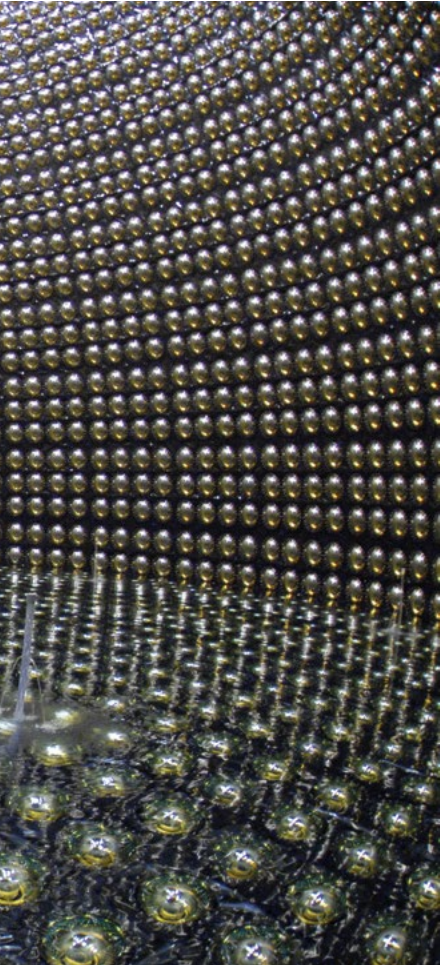




Prof. Dr. Takaaki Kajita 1959'da Higashimatsuyama'da doğdu. Doktora derecesini 1986'da Tokyo Üniversitesi'nden aldı. Institute for Cosmic Ray Research'ın direktörü.



Prof. Dr. Arthur B. McDonald 1943'te Sydney'de doğdu. Doktora derecesini 1969'da California Institute of Technology Üniversitesi'nden aldı. Queen Üniversitesi'nde çalışıyor.



1930'da önemli bir fizik probleminin çözümü için ortaya atılan nötrino, keşfinden sonra birçok araştırmancının odak noktası olmuş, nötrino üzerine yapılan çalışmalar Nobel Ödülü ile ödüllendirilmişti. 2015 Nobel Fizik Ödülü nötrino çalışmalarına verilen dördüncü Nobel. Bu anlamda nötrino en fazla Nobel Ödülü kazandıran parçacık olma rekorunu elinde tutuyor.

Büyük Patlama'dan bugüne evreni yoğun bir şekilde dolduran bu parçacığın varlığına dair ilk ipucu radyoaktivite çalışmalarına dayanıyor. 1914'te James Chadwick'in beta bozunmasında (nötron bozunmasında) bozunum sonrası ortaya çıkan elektronun enerjisinin beklenen aksine sabit olmadığını, farklı değerler alarak bir dağılım gösterdiğini bulması, bu bozunumda enerjinin korunup korunmadığı tartışmasını beraberinde getirdi. Bu problemin çözümü için farklı fikirler ortaya atılmış olsa da problemin doğru çözümü, Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli'nin bir konferansa gönderdiği 4 Aralık 1930 tarihli mektupta yazıyordu. Pauli "Sevgili Radyoaktif Baylar ve Bayanlar" diye başladığı mektubunda,

beta bozunmasında proton ve elektronun yanında üçüncü bir parçacığın da olması gerektiğini, enerjinin bir kısmının bu yüksüz parçacık tarafından taşındığını, böylelikle bozunumda enerjinin korunabileceğini ileri sürdü. Çok küçük kütleli bu parçacığın madde ile çok ender etkileştiğini dolayısıyla onu gözlemlemenin çok zor olacağını da "tespit edilmesinin imkânsız bir parçacık ileri sürerek çok korkunç bir hata yaptım" sözleriyle vurgulayacaktır. Fakat Pauli bu öngörüsünde yanıldığını 1956'da aldığı bir telgraf-tan öğrenecekti. Cylede Cowan Pauli'ye gönderdiği telgrafta, ortaya attığı hayalet parçacığın keşfedildiğini müjdeliyordu. Nihayet Pauli'nin tezinden 26 yıl sonra, Frederick Reines ve Clyde Cowan ABD'deki Savannah River reaktöründe oluşan nötrinoların etkileşimlerini, içinde 200 kg su ve suda çözülmüş kadmiyum klorür ($CdCl_2$) olan su tankı ve tankın çeperlerine yerleştirilmiş sayaçlardan oluşan bir detektör yardımıyla gözlemledi. Bu keşif Frederic Reines'e 1995'te Nobel Ödülü kazandırdı (Clyde L. Cowan 1974'te hayatını kaybettiği için Nobel sadece Reines'e verildi).

Kaç Çeşit Nötrino Var?

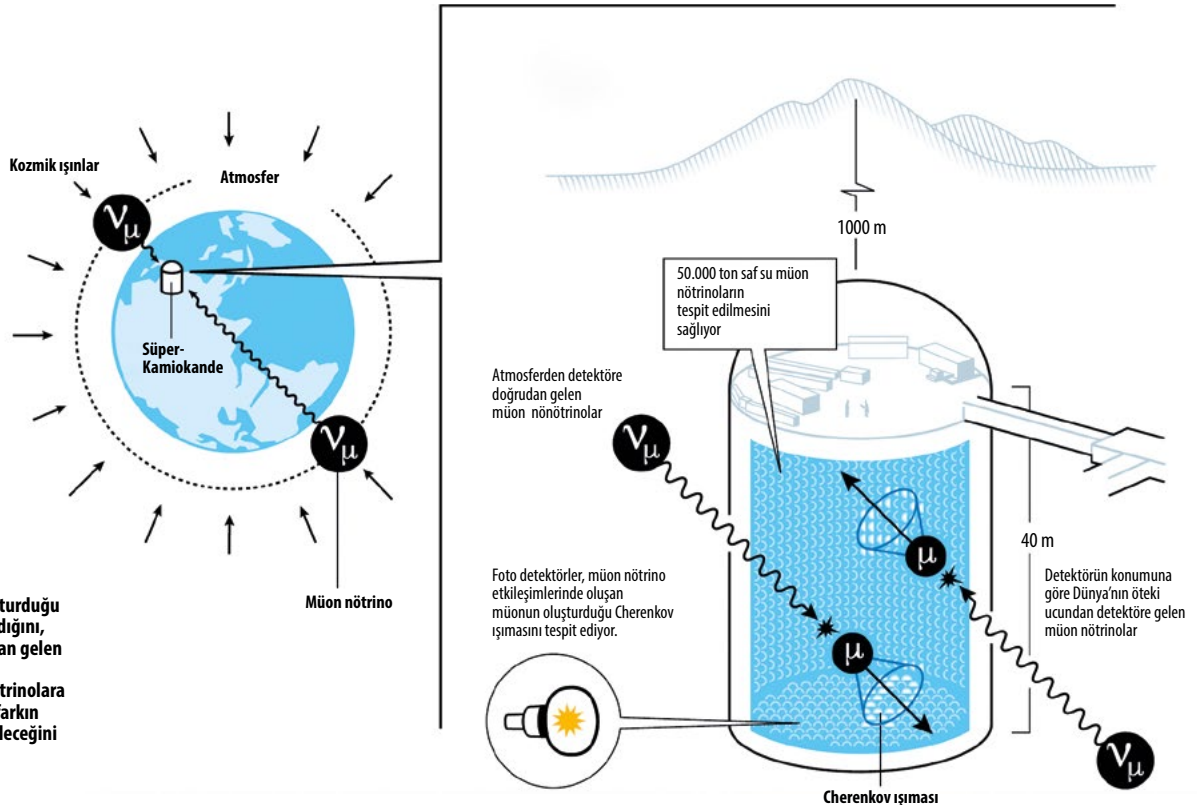
Nötrininin keşfinden sonra akıllara beta bozunması yoluyla oluşan nötrino dışında başka tür bir nötrino olup olmadığı sorusu geldi. Örneğin kısa ömürlü parçacıklardan biri olan pion (ortalama ömrü $2,6 \times 10^{-8}$ s) müon'a ve nötrino'ya bozunur. Pion bozunumunda müon'a eşlik eden nötrino ile beta bozunmasında elektron ile salınan nötrino aynı mıydı? Bu sorunun cevabını Leon Lederman, Melvin Schwartz ve Jack Steinberger 1962'de buldu. ABD'deki Brookhaven Laboratuvarında yaptıkları deneyde pion bozunumlarıyla oluşan nötrinoların madde ile etkileşmesinden müon oluştuğunu, asla elektron oluşmadığını dolayısıyla bu tür nötrinoların beta bozunumunda oluşan nötrinodan farklı olduğunu gösterdiler. Müon ile oluşan bu nötrinoya müon nötrino diyoruz. Müon nötrininin keşfi Leon Lederman, Melvin Schwartz ve Jack Steinberger'a 1988'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazandırdı.

Atomaltı parçacıklardan sadece elektromanyetik ve zayıf etkileşimlerde bulunanlara lepton diyoruz. Nötrinolar da lepton ailesinin üyesi. Lepton ailesinin en ağır ferdi olan tau leptonun kütlesi elektronun kütlesinin yaklaşık 3500 katıdır. Tau lepton 1975'te Martin L. Perl ve ekibi tarafından keşfedilince, akıllara tau leptona eşlik eden bir nötrininin de olması gerektiği geldi. Tau nötrininin keşfi ancak 25 yıl sonra 2000'de yapılabildi.

Tau nötrinoyu tespit etmek elektron nötrinolarına ve müon nötrinolarına göre daha zordur. Bunun başlıca sebebi tau nötrino-madde etkileşiminde oluşan tau leptonun kısa ömürlü (ortalama ömrü $2,6 \times 10^{-13}$ s) bir parçacık olması ve müon gibi daha hafif parçacıklara hemen bozunmasıdır. Tau leptonu ancak yüksek iz duyarlılığına sahip algıçlarla tespit edilebiliyor. Böyle bir algıç 1990'lı yılların sonunda Japon-Amerikan ortak çalışmasıyla geliştirildi. DONUT (Direct Observation of the NU Tau) diye adlandırılan bu deneyde, 8 tau nötrino etkileşimi gözlemlendi. Lepton ailesinin bu son üyesinin de bulunmasıyla bugün artık yüklü üç lepton (elektron, müon ve tau) ve zayıf etkileşimlerde onlara eşlik eden üç nötrino (elektron nötrino, müon nötrino ve tau nötrino) olduğunu biliyoruz.

Nötrinolar Güneş'in Parladığının Habercisi

Doğada nötrino üreten birçok tepkime var. Bunların en çarpıcısı Güneş'te gerçekleşen füzyon. Protonların Güneş'in çekirdeğinde çok yüksek basınç ve sıcaklıkta bir araya gelip daha ağır elementleri oluşturma sürecine füzyon diyoruz. Bu tepkime zinciri yaşam için gerekli enerjiyi üretirken muazzam miktarda da elektron nötrino açığa çıkarır.

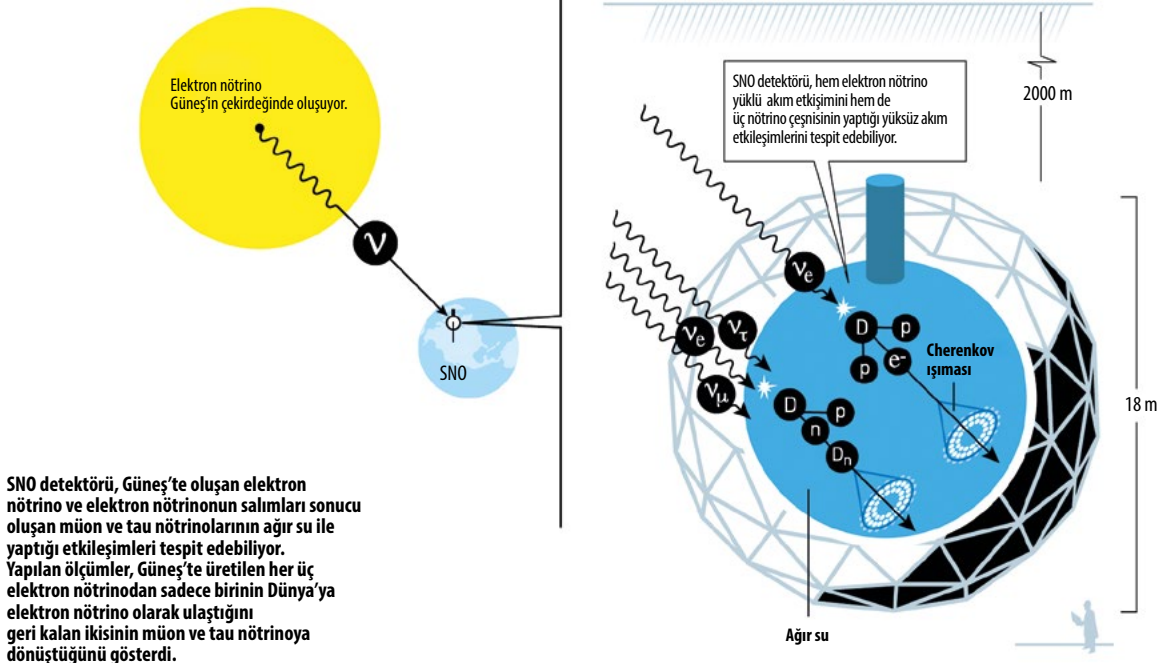


Süper-Kamiokande deneyi, kozmik ışınların atmosferde oluşturduğu müon nötrinoların eşyönlü olmadığını, Mozumi Madeni'nin üst kısmından gelen müon nötrinoların sayısının, madenin alt tarafından gelen nötrinolarla göre daha fazla olduğunu ve bu farkın nötrino salınımlarıyla açıklanabileceğini ilk kez 1998 yılında keşfetti.

Saniyede yaklaşık 100 milyar elektron nötrino vücudumuzdan geçip gidiyor. Fakat biz onları görmüyoruz, hissetmiyoruz çünkü nötrino madde ile çok ender etkileşen bir parçacık. Güneş'ten gelen nötrinolar madde içinde bir ışık yılı mesafeyi (ışığın boşlukta bir yılda kat ettiği mesafe: $\sim 10^{13}$ km) etkileşim yapmadan kat edebilir. Dolayısıyla değişik kaynaklardan Dünya'ya ulaşan bu nötrino sağnağının bizlere hiçbir zararı yoktur. Onlar maddenin içinden etkileşim yapmadan, hayalet gibi sadece gelip geçer. Bu kadar yoğun nötrino yağmuruna karşılık, insan hayatı boyunca sadece bir kez nötrino ile gerçek anlamda çarpışır. Yani nötrino, vücudumuzdaki elementlerle 80 yılda ortalama bir kez etkileşir.

Güneş'in çekirdeğinde oluşan nötrinolar madde ile son derece ender etkileştiği için oluşur oluşmaz Güneş'in içinden kaçıp evrene yayılır. Füzyonda oluşan gama ışınlarının çekirdekten çıkması milyon yıl almasına rağmen nötrino sadece 8,5 dakika içinde Dünya'ya ulaşır. Dolayısıyla Güneş'te işlerin yolunda gittiğini, yani Güneş'in enerji üretmeye devam ettiğini bize nötrinolar müjdelir. Nötrinoların ışıktan önce Dünya'ya ulaşmasının sebebi, ışığın Güneş'in içinde elektromanyetik etkileşim yaparak saçılmasıdır. Yani bize ulaşan Güneş ışınlarının Güneş'in milyon yıl önce ürettiği ışınlar olmasına rağmen, gama ışınlarıyla birlikte oluşan nötrinolar dakikalar içinde Dünya'ya ulaşır. Bu özelliği ile nötrino evrenin en hızlı habercisidir. Astrofiziksel birçok olayı ilk onlar müjdelir.

Nötrino keşfedildikten sonra Güneş'in bir nötrino kaynağı olduğu ve füzyon zincirinin farklı aşamalarında nötrino açığa çıktığı 1960'lı yıllarda geliştirilen Standart Güneş Modeli'nde öngörüldü. Bu modeli geliştiren John N. Bahcall'ın Güneş'ten gelen nötrinoların sayısını ölçmek üzere kimyacı Raymond (Ray) Davis ile yaptığı çalışmalar 1964'te uzun soluklu Homestake deneyini başlattı. Ray Davis ABD'nin güney Dakota eyaletinde bulunan eski bir altın madenine içi 380.000 litre kuru temizleme malzemesiyle (sıvı etilen C_2Cl_4) dolu devasa bir tank yerleştirip Güneş'ten gelen nötrinoları saymaya başladı. Elektron, nötrino sıvı etilen içindeki ^{37}Cl atomu ile etkileşime girerek ^{37}Ar izotopunu oluşturuyor, ^{37}Ar kararlı olmadığı için ortalama 35 gün sonra bir elektron salıp tekrar ^{37}Cl 'ya dönüşüyordu. Nötrino etkileşiminin imzası olan bu elektron, 380.000 litre sıvı içinden ayırt edilip algıçlarla sayılıyordu. Güneş'ten saniyede trilyonlarca nötrino gelmesine rağmen bu devasa tankın içinde ancak 10 günde bir nötrino etkileşimi gözlemlenebiliyordu. Yirmi yılı aşkın bir süre veri almaya devam eden Homestake deneyi, John N. Bahcall'ın öngördüğü nötrino sayısının sadece 1/3 kadarını tespit edebildi. Yani Güneş'te oluşan nötrinolardan sadece 1/3'ü Dünya'ya ulaşabiliyordu. Farklı deney ve tekniklerle tekrarlanan ölçümler Ray Davis'in sonuçlarını doğruladı ve bu durum literatüre Güneş nötrino problemi olarak kaydedildi.



Problemin Çözümü Nobel Ödülleri Getirdi

1990'lı yılların sonuna kadar bu durumun kuiramsal veya deneysel bir hatadan doğmuş olabileceği tartışıldı. Yani John N. Bahcall'ın modeli yanlış olabiliyordu. Dolısıyla hesaplanan nötrino akısı doğru değildi. Diğer bir olasılık ise yapılan deneyde bilinmeyen bir hata olmasıydı. Sonuçta bu tip deneyler hayli karmaşıktı. Kontrol edilebilir, temiz bir ortamı sürekli kılmak dönemin teknolojiyle kolay değildi. Her ne kadar Ray Davis ve John N. Bahcall kendi çalışmalarına güvenseler de, bu sonuçları doğrulayacak yeni çalışmalar olmadığı sürece yapabilecekleri pek bir şey yoktu. Onlar da İtalyan fizikçi Bruno Pontecorvo gibi, nötrinoların Güneş'te oluşuktan sonra bir farklılaşım geçirip kimlik değiştirdiğini düşünüyordu. Nötrino salınımı olarak adlandırılan bu olay ilk kez Bruno Pontecorvo tarafından ortaya atıldı. Henüz Güneş nötrino problemi bilinmezken 1957'de Pontecorvo, nötrinonun salınım yaparak karşıt nötrinoya (nötrinonun karşıt parçacığı) dönüşebileceğini ileri sürdü. 1962'de ise Japon fizikçi Ziro Maki bu dönüşümün nötrino türleri (ya da çeşnileri) arasında da olabileceğini ortaya attı. Maki'ye göre örneğin elektron nötrino salınım yaparak müon veya tau nötrinoya dönüşebilirdi. Bunun gerçekleşmesi için nötrino çeşnilerinin farklı kütlelere sahip olması gerekiyordu. Şayet nötrino salınım yapıyorsa Güneş'ten gelen elektron nötrinoların bir kısmı doğduğu noktadan Dünya'ya gelene kadar metamorfoza uğrayıp başka tür bir nötrinoya dönüşüyor, bu farklılaşmadan dolayı elektron nötrino sayısı azalıyordu. Dolısıyla nötrino salınımlarının gözlenmesi Güneş nötrino probleminin çözümü olacaktır.

İtalya'daki Gran Sasso yeraltı laboratuvarına yerleştirilen OPERA detektörü.

OPERA deneyi, CERN'den gelen müon nötrinoların 730 km'lik yolculukları boyunca salınımlar yaparak tau nötrinolara dönüşüğünü gözlemledi.



2000'li yıllara yani Japonya'da ve Kanada'da yapılan iki büyük deneyde nötrinonun diğer parçacıklardan farklı bir özelliğinin daha olduğu keşfedilene kadar nötrino salınımı sadece bir spekülasyon olarak kaldı. İsmi bulunduğru Kamioka bölgesinden alan Super-Kamiokande deneyi, Tokyo'nun 250 km kuzeybatısındaki eski bir çinko madeninde yapılıyor. 1996'da veri almaya başlayan deney halen aktif. Diğer taraftan SNO deneyi Kanada'nın Ontario eyaletindeki eski bir nikel madeninde kuruldu ve veri almaya 1999'da başladı. Binlerce optik gözle donatılmış bu iki detektör, nötrinonun bir bukalemun gibi davrandığını gözlemledi. Bu keşif, Güneş nötrino problemini çözerken Güneş nötrino çalışmalarının öncüsü olan Ray Davis'e 2002'de Nobel kazandırdı. Tam on üç yıl sonra yani 2015'te nötrino çalışmaları dördüncü Nobel Fizik Ödülü'nü Prof. Dr. Takaaki Kajita ve Prof. Dr. Arthur B. McDonald'a kazandırdı.

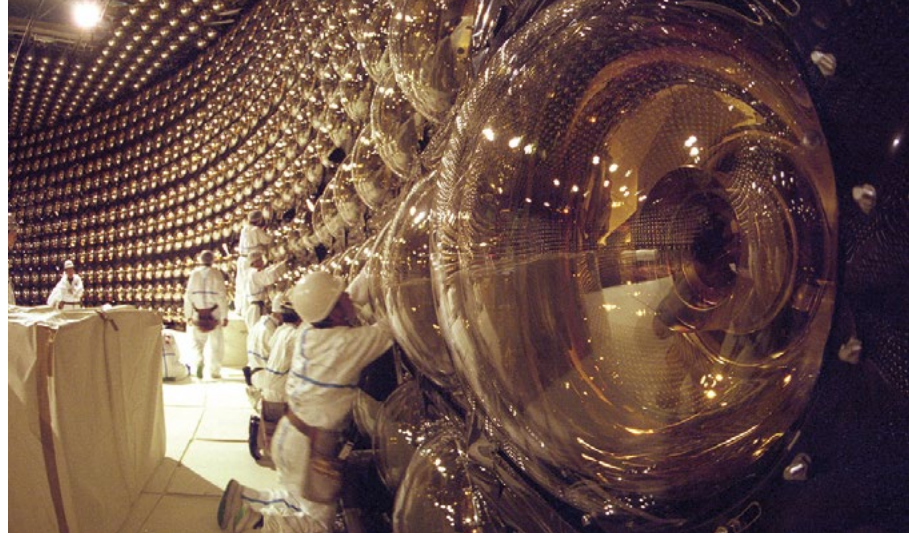
Super-Kamiokande Deneyi

Nötrinoların salınım yaparak birbirlerine dönüştüğüne dair ilk ipucu 1998'de Süper-Kamiokande deneyinde bulundu. Sonraki yıllarda farklı teknik ve nötrino kaynaklarıyla yapılan deneyler Süper-Kamiokande deneyinin sonuçlarını doğruladı. Yerin 1000 m altına, Mozumi Madeni'nde inşa edilen Super-Kamiokande 41,4 m yüksekliği, 39,3 m genişliği ve içini dolduran 50.000 ton saf su ile devasa bir su tankına benziyor. Saf su nötrino etkileşimleri için hedef kütleli oluştururken, çeperlerine yerleştirilen 11.146 optik algılayıcı (fototüp) nötrino etkileşimleri sonucu oluşan anlık parıltının tespit edilmesini sağlıyor.

Dünyamız yüksek enerjili proton ve helyum çekirdeğinden oluşan kozmik ışınların bombardımanına maruz kalıyor. Nötrino deneylerinin çoğunlukla yeraltı madenlerinde yapılmasının en önemli nedeni, detektörü bu kozmik bombardımandan korumaktır. Evrenden gelen bu ışınlar nötrinolar kadar masum değil. Atmosferimiz bizleri bunların zararlı etkilerinden korurken, bu ışınların atmosferde yaptığı etkileşimler sonucunda nötrinolar oluşur. (Kozmik ışınların atmosferdeki atomların çekirdeği ile yaptığı etkileşimlerde pion ve kaon dediğimiz kararsız parçacıklar oluşur, bunların bozunmasıyla nötrino ortaya çıkar.) Çoğunlukla müon nötrinolardan oluşan bu kaynak atmosferik nötrino diye adlandırılır. Super-Kamiokande, eşyönlü gelmesi beklenen atmosferik nötrinoları da tespit edebiliyor.

Güneş'ten gelen elektron nötrinoların ve atmosferde oluşan müon nötrinoların detektörde bıraktığı izler farklıdır. Elektron nötrino etkileşiminde elektron oluşurken, müon nötrino etkileşiminde müon oluşur. Bu iki yüklü lepton madde içinde ışıktan daha hızlı gittiğinde ışınım yapar. Bu durum Einstein'ın özel görelilik teorisi ile çelişmez. Boşlukta hiçbir cisim ışıktan hızlı gidemez, fakat madde içinde ışık boşluktaki hızının ancak %75 (ışığın madde içindeki hızı = boşluktaki hızı/ortamın kırılma indisi) kadarına ulaşabilir. Bu olay bir uçağın ses duvarını aştığında oluşturduğu sonar patlamaya benzer. Dolayısıyla atomaltı parçacıklar madde içinde ışığı geçebilir. Işık hızını geçtiklerinde de ışınım yaparlar. Cherenkov ışınması diye adlandırılan bu ışınım, çapları 50 cm olan fototipler üzerinde ışık halkaları oluşturur. Işık halkalarının şekli, büyüklüğü ve parlaklığı bize nötrino etkileşiminin türünü, enerjisini ve etkileşim yapan nötrinonun geliş yönünü verir. Super-Kamiokande, bütün çeperleri optik gözlerle donatıldığı için, her yönden gelen nötrinoları tespit etme yetisine sahip bir dedektör.

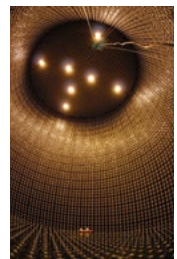
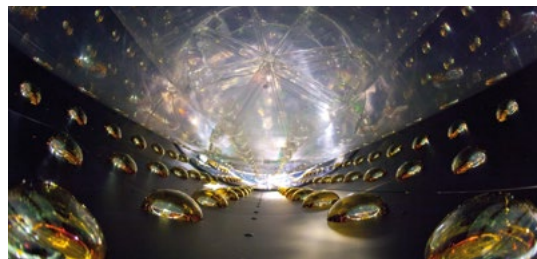
masıydı. Yukarıdan gelen nötrinolar sadece 15-20 km'lik koşudan sonra detektörde etkileşim yaparken, Super-Kamiokande'ye alttan gelen nötrinolar ise ultra maraton koşup yaklaşık 12.000 km yol kat ettikten sonra detektöre ulaşabiliyor.

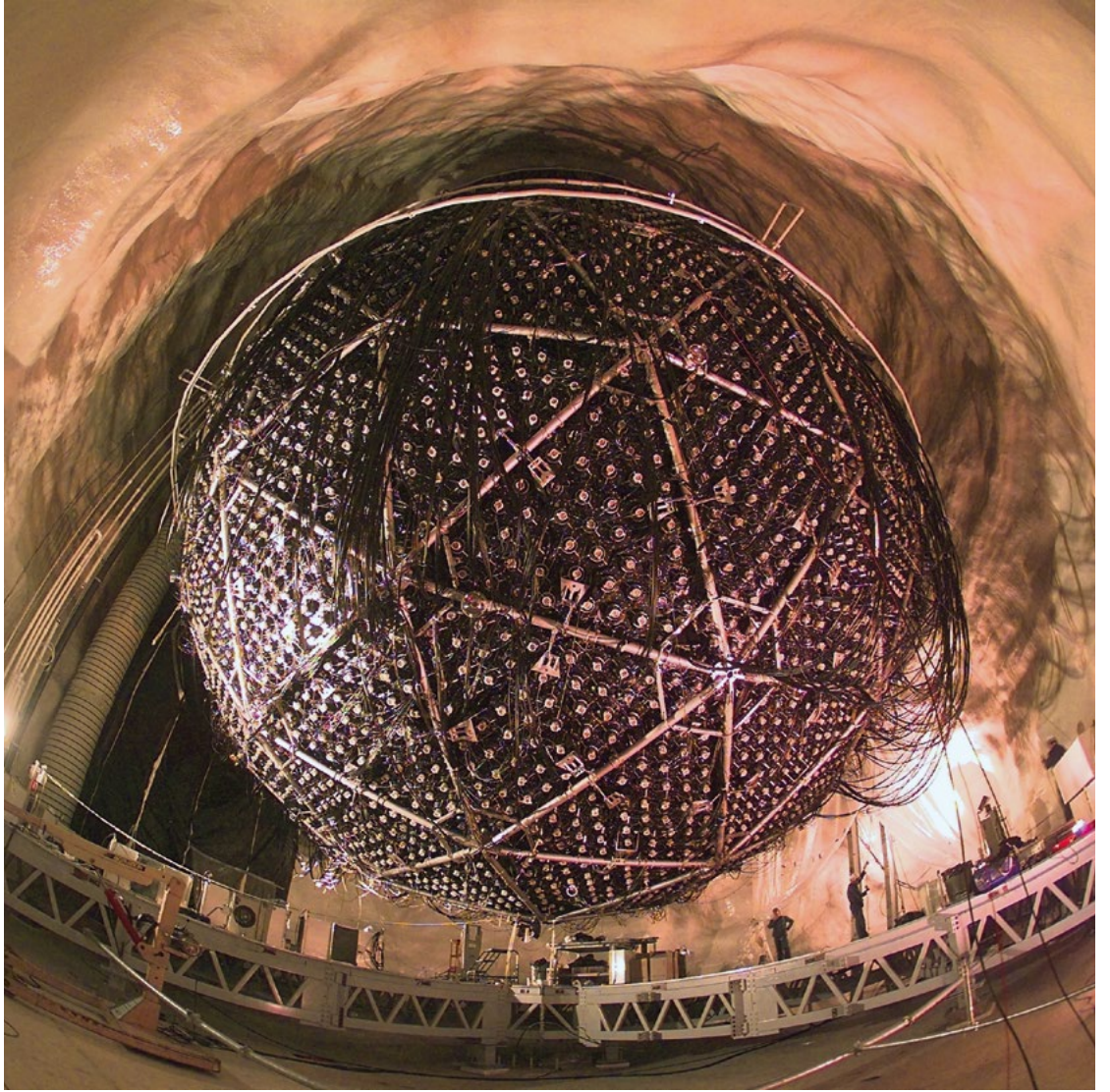


Ultra-Maraton Koşan Nötrinolar Kimlik Değiştirebiliyor

Farklı yönlerden Super-Kamiokande'ye gelen nötrinoların sayısındaki farklılık, "uzun mesafe kat eden nötrinolar kimlik mi değiştiriyor" sorusunu tekrar akla getirdi. Yapılan detaylı analizler detektöre alttan gelen müon nötrinolarının 1/3'lük kısmının bu ultra maraton sırasında kimlik değiştirip tau nötrinoya dönüştüğünü gösterdi. Super-Kamiokande tau nötrino etkileşimlerini tespit etmeye uygun bir detektör olmadığı için sadece müon nötrino sayısındaki azalmayı ölçerek salınımın gerçekleştiğini ispatladı. Prof. Kajita'nın 1998'de Neutrino '98 konferansında sunduğu bu sonuç büyük ilgi ile karşılandı ve birçok yeni nötrino projesini tetikledi. Bu çarpıcı sonucun genel kabul görebilmesi için farklı gruplarca doğrulanması gerekiyordu. Sonraki yıllarda yapılan birçok deney Super-Kamiokande deneyini doğruladı. Bu deneylerden biri de SNO deneyidir.

Super-Kamiokande deneyinin 1996-1998 arasında kaydettiği nötrino etkileşimlerinin analizi, eşyönlü olması beklenen atmosferik nötrinoların eşyönlü olmadığını, Mozumi Madeni'nin üst kısmından gelen müon nötrinolarının sayısının alt kısımdan yani Dünya'nın öteki ucundan gelen nötrinoların sayısına göre fazla olduğunu gösterdi. Bu fazlalık atmosferik nötrinonun detektöre geliş açısına göre de farklılık gösteriyordu. Dünya, nötrinolar için önemli bir engel teşkil etmediği için aslında detektöre üstten ve alttan gelen müon nötrino sayısının eşit olması bekleniyordu. Güneş'ten gelen elektron nötrinolar için sağlanan bu durum atmosferik nötrinolar için sağlanmıyordu. Super-Kamiokande'ye alttan gelen müon nötrinoların üstten gelenlere göre en belirgin farklılığı, kat ettikleri mesafenin daha uzun ol-





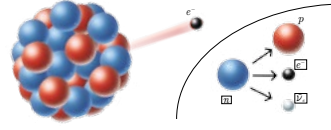
SNO Deneyi: Güneş'ten Gelen Nötrinolar da Kimlik Değiştiriyor

Güneş bir nötrino fabrikası gibi saniyede trilyonlarca nötrinoyu Dünya'ya gönderirken, bunlardan bir kısmının Güneş'in çekirdeğinde salınım yaparak kimlik değiştirmesi kırk yıllık Güneş nötrino probleminin çözümü anlamına geliyordu. Bu keşif, Prof. McDonald liderliğindeki SNO grubunca 2001'de yapıldı.



SNO detektörü, Super-Kamiokande'ye benzemekle birlikte büyüklüğü, şekli ve saf su yerine ağır su kullanması açısından Super-Kamiokande deneyinden farklı. Yerin 2000 m altına kurulan ve büyük bir futbol topunu andıran SNO'da kullanılan 1000 ton ağır su nötrino etkileşimleri için hedef kütleyi oluştururken çeperlerini dolduran 9500 optik göz de Super-Kamiokande de olduğu gibi nötrino etkileşimlerini tespit ediyordu.

SNO'nun Güneş nötrino salınımlarını keşfetmesindeki en önemli etken ağır su kullanmasıdır. Su molekülü iki hidrojen ve oksijen atomundan oluşurken, ağır su iki döteryum ve bir oksijen atomundan oluşur. Çekirdeği bir proton, bir de nötron içeren döteryum, hidrojen atomunun bir izotopudur.



Döteryumun çekirdeğinde nötron olması, Super-Kamiokande deneyinde gözlenemeyen nötrino nötral (yüksüz) akım etkileşimlerinin de oluşmasını sağlar. Bu etkileşim üç nötrino türü için de olasıdır. Örneğin elektron, müon veya tau nötrino döteryum'la etkileştiğinde bir proton ve bir nötron oluşuyorsa, bu etkileşime yüksüz akım nötrino etkileşimi denir. Diğer taraftan elektron nötrino-döteryum etkileşiminde bir elektron ve iki proton oluşuyorsa bu yüklü-akım etkileşimi olarak adlandırılır. SNO'da yüklü-akım etkileşimi sadece elektron nötrino için olasıdır.

Güneş'te sadece elektron nötrino oluştuğunu biliyoruz. Şayet elektron nötrino bu uzun yolculukta salınım yaparak müon veya tau nötrinoya dönüşüyorsa, ölçülen elektron nötrino sayısı azalırken toplam nötrino sayısı aynı kalacaktır. SNO deneyi yüklü ve yüksüz akım nötrino-madde etkileşimlerini ölçerek Güneş'ten gelen elektron nötrino sayısının beklenenden az olduğunu doğrularken, toplam nötrino sayısının Standart Güneş modeli ile tutarlı olduğunu keşfetti. Yani Güneş'te üretilen her üç elektron nötrinodan sadece biri Dünya'ya elektron nötrino olarak ulaşırken geri kalan ikisi müon ve tau nötrinoya dönüşüyor.

Her ne kadar tırnaklarımız kadar küçük bir alandan saniyede 60 milyar nötrino geçse de, SNO deneyi günde sadece üç nötrino etkileşimi gözlemledi. İki yıl süren bu sabırlı veri toplama çalışması bu önemli keşfi beraberinde getirdi.

Türkiye-Nötrino Etkileşimi

Türkiye 1980'li yıllardan beri önemli nötrino deneylerinde temsil ediliyor. 27 Mayıs 2013'te kaybetmiş değerli hocamız Prof. Dr. Perihan Tolun'un başlattığı çalışmalar, maddi desteklerin kısıtlı olmasına rağmen başarıyla yürütülüyor. Geçmişte CHARMII ve CHORUS (CERN Hybrid Oscillation Reach apparatus) deneyleriyle başlayan nötrino çalışmaları OPERA (Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus) deneyi ile devam ediyor. OPERA deneyinde Türkiye'yi ODTÜ nötrino grubu temsil ediyor. 2000'li yılların başlarında tasarlanan bu deneyin temel amacı 1998'de Super-Kamiokande'nin gözlemlediği nötrino salınımlarını, CERN'deki (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) hızlandırıcılarda oluşturulan müon nötrino demeti ile test etmektir. Hızlandırıcılarda nötrino demeti, hızlandırılan protonların bir hedefe çarpmasıyla oluşan pion ve kaonların bozunmasıyla oluşur. Kozmik ışınların milyarlarca yıldır atmosferimizde yaptığı etkileşimlerin benzerlerini, kontrol edilebilir laboratuvar ortamında gerçekleştirerek yüksek yoğunlukta nötrino

demeti oluşturabiliyoruz. Müon nötrinolardan oluşan bu demet, 730 km yol kat ettikten sonra İtalya'nın Gran Sasso Laboratuvarı'ndaki OPERA detektörüne ulaşıyor. Bu yolculuk sırasında müon nötrino kimlik değiştirip tau nötrinoya dönüşürse, OPERA detektöründe müon nötrino etkileşimlerinin yanında tau nötrino etkileşimleri de oluşur. Kullandığı nükleer emülsiyon tekniği ile tau nötrino etkileşimlerini gözlemleyebilecek duyarlılıktaki OPERA bu özelliği ile Super-Kamiokande ve SNO deneylerinden farklıdır.

2015'te OPERA deneyinin $5,1\sigma$ 'lık (bulunan tau nötrino olaylarının salınım kaynaklı olmama olasılığı 3.500.000'de 1'dir) yüksek güvenilirlik düzeyinde müon nötrino-tau nötrino salınımlarını gözlemlediğinin ilan edilmesi, nötrinoların kimlik değiştirerek birbirlerine dönüştüklerinin kesin ispatı anlamını geliyor. Bu sonuç ve diğerleri nötrininin bir sırrını daha çözerken, dördüncü kez bir nötrino çalışması Nobel ile ödüllendirildi.

Nötrino Salınımlarının Fizik Üzerine Etkileri

Doğadaki işleyişi anlamamıza yardımcı olan Standart Model maddenin temel yapı taşlarını ve bunlar arasındaki etkileşimleri başarılı bir şekilde açıklar. Hızlandırıcı deneylerinde yapılan birçok testten yüzünün aklıyla çıkan Standart Model, 2012'de CERN'de Higgs bozonunun bulunmasıyla, kendi içinde tutarlı bir model olma yolunda önemli aşama kaydetti. Fakat bu modelin yetersiz kaldığı, açıklayamadığı birçok problem olduğunu da biliyoruz.

Standart Model'in ötesine geçmeyi gerektiren problemlerden biri nötrininin kütesidir. Nötrino Standart Model'de kütesiz bir parçacık olarak tanımlanmıştır. Oysa nötrino salınımlarının gözlenmesi nötrininin küçük ama sıfırdan farklı bir kütleyle sahip olduğunu gösteriyor. Dolayısıyla Standart Model'in ötesine açılan ilk pencere, nötrininin kütesinin sıfırdan farklı olduğu gerçeğidir.

Nötrininin gizemini çözmeye yönelik çalışmalar artarak devam ederken, elde edilecek yeni bilgiler yaşadığımız evreni daha iyi anlamamızı sağlayacak. Bu çalışmalara Türk bilim insanlarının önemli katkıları yapması ülkemizde fiziğin evrensel boyutlarda gelişmesine katkı yapacağı gibi otuz yılı aşkın bir süredir Türkiye'de devam eden nötrino çalışmalarının da devamlılığını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/
- Super-Kamiokande deneyi http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index_e.html
- SNO deneyi <http://www.sno.phy.queensu.ca/>
- OPERA deneyi <http://www.opera.cern.ch>