

Yıldız Patlamaları Süpernovalar

Bu gece en hüzünlü şiirleri yazabilirim Şöyle diyebilirim: “Gece yıldızlardaydı Ve yıldızlar, maviydi, uzaklarda üşürler” Gökte gece yelinin söylediği türküler

Pablo Neruda / Çeviren: Hilmi Yavuz

Yeşil mavi muhteşem Dünyamız, oluşumunu ve üzerinde yaşam olmasına izin veren kimyasal içeriğini, en az 5 milyar yıl önce yani ömrünün son deminde sönüp de sessiz sakin bir çüce olmak yerine, kendini içten içe yakarak en ağır elementleri oluşturup sonunda patlayan büyük bir yıldız borçlu. O ölen yıldızın yerçekimi altında çöken merkezi, artık soğuk bir karadelik veya nötron yıldızı. Nerede olduğu bilinmez, ama hayatımızı artığı olduğumuz o yıldız borçluyuz.

Güneş'in kütlesi Dünyamızın kütlesinin 300.000 katı. Bu yüzden merkezindeki basınç ve dolayısıyla sıcaklık, dış katmanların da yükünü taşıdığı için, çok yüksek. İç katmanlardaki sıcaklık 15 milyon dereceye varıyor. Bu sıcaklık hidrojen çekirdeğini oluşturan protonların füzyona uğrayıp değişip birleşerek, helyum çekirdeğini oluşturmaya yetecek kadar yüksek. Güneş, yakıtı sayabileceğimiz hidrojenin yaklaşık yarısını 5 milyar yıllık yaşamında tüketip helyuma dönüştürmüş durumda. Ancak Güneş'in kütlesi ve bu kütlenin merkezde oluşturduğu basınç ve sıcaklık, karbon ötesindeki elementleri füzyonla oluşturmaya yetecek kadar yüksek değil. Bu nedenle Güneş yaklaşık 5 milyar yıl sonra karbon yakarken, iç çekirdeği 100 milyon dereceye varan kırmızı dev kategorisinde bir yıldız olacak ve sonrasında titreşimlere bağlı olarak dış kabuğunu uzay boşluğuna atıp milyarlarca yıl boyunca gittikçe soğuyarak, ölü ve sönük bir beyaz çüceye dönüşecek.

Peki Dünyamızda karbondan daha ağır elementler nasıl oluştu? İlk kez 1946 yılında İngiliz gökbilimci Fred Hoyle, daha ağır elementlerin daha kütleli bir yıldızın içinde oluşabileceğini ve bu elementlerin evrene ancak bu yıldızın patlamasıyla dağılabileceğini fark etti. 1960'larda Hoyle ve William Fowler çok hızlı nükleer füzyonun yıldızı nasıl patlatabileceği konusundaki ilk modeli yazdı.

Gökbilimsel gözlemler sayesinde süpernovalar hakkındaki bilgilerimiz o zamandan beri artmış durumda. Samanyolu'nda gözlenmiş olan son süpernova patlaması 1604'te gerçekleşmiş olsa da, hâlâ görülen süpernova kalıntılarından her 50 yılda bir gökadamızda bir süpernova patlamasının gerçekleştiğini tahmin ediyoruz. Gökbilimsel gözlemlerin çok yüksek çözünürlükte yapılabildiği günümüzde, bir süpernova patlamasını modern cihazlarla görebilme ihtimali, gökbilimcileri heyecandırıyor. Geçen sene 24 Ağustos 2011'de 21 milyon ışık yılı ötedeki M101 Fırıldak Gökadası'nda keşfedilen SN2011fe süpernovası, son 20 yılda Dünya'dan görülen en parlak süpernova unvanını da kazandı. Basit bir dürbünle gözlenebilen süpernova, 13 Eylül 2011'de en parlak halinde görüldü, o anda Güneş'ten 2,5 milyar kat daha parlaktı! Son 50 yılda keşfedilen süpernovaların hepsi başka gökadalarda. Dünyamızı oluşturan süpernova patlamasından arta kalan nötron yıldızının veya karadeliğin nerede olduğu ise hâlâ araştırılan bir konu.

Süpernovalardan bahsederken, insanlık tarihinde yer bulmuş, gökadamızdaki en meşhur süpernova patlamasından bahsetmeden geçemeyiz. Yengeç Süpernovası'nın ışığı 4 Temmuz 1054 tarihinden itibaren 23 gün süreyle çıplak gözle Dünyamızdan görülebilmiş. Çinli gökbilimcilerin çok dikkatlice kaydettiği bu patlamanın 6500 ışık yılı uzakta

gerçekleştiği günümüzde belirlenmiş durumda. Gündüz bile görülebilen bu parlak yıldız hakkında o zaman insanlar kim bilir neler hayal etti. 1771 yılında bulutsu ve yıldız kümeleri kataloğunu çıkaran Messier'in kataloğunda 1 numarayla yerini bulan bir süpernova kalıntısı olan Yengeç Bulutsusu M1 ise, orta güçte bir arazi dürbünüyle Boğa Takımyıldızı'nda kolaylıkla seçilebiliyor. Patlamanın üzerinden 1000 yıl geçmiş olmasına rağmen, Yengeç Bulutsusu hâlâ X ve gama ışınlarında gökyüzünün en parlak cisimlerinden biri. Patlamanın etkisiyle genişlemeye devam eden üst katmanlarının çapı 11 ışık yılına ulaşmış durumda ve bulutsu hâlâ saniyede 1500 km'lik bir hızla genişlemeye devam ediyor; yeni dünyaları ve yeni hayatları mümkün kılacak elementleri de etrafına saçarak.

Yengeç Bulutsusu'nun merkezinde ise çapı yaklaşık 30 km olan ve kendi etrafında saniyede 30,2 kez dönen bir nötron yıldızı var. Bu nötron yıldızının kütlesinin Güneş'in kütlesine yakın olduğunu hatırlatalım.

Hassas gökbilimsel gözlemlerden, süpernova patlamalarının farklı mekanizmalarla gerçekleşebileceğini öğrendik. Patlamanın zaman içindeki parlaklık değişiminden, hangi tip bir süpernova olduğunu artık çözebiliyoruz. Örneğin 2011 yılında Fizik Nobel Ödülü, evrenin derinliklerindeki tip-1a çeşidi süpernova patlamalarını gözlemleyerek ev-



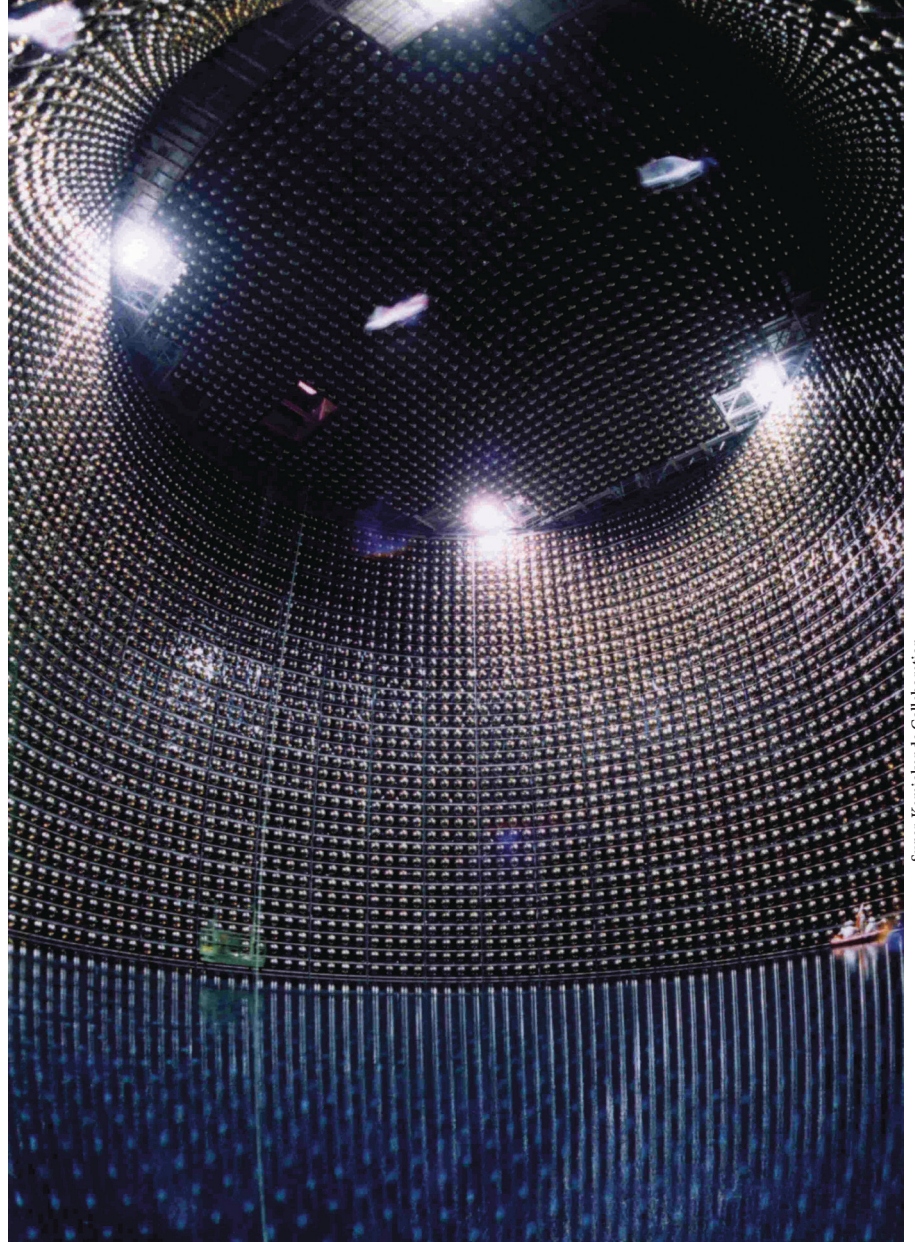
X-ışınları: NASA/CXCA/SU/J. Hester ve ark.;
Optik gözlem: NASA/ESA/ASU/J. Hester & A. Loll;
Kızılötesi: NASA/JPL-Caltech/Univ. Minn./R. Gehrz

Yengeç Bulutsusu. Açık mavi Chandra Teleskobu'nun X-ışını gözlemlerini, yeşil ve koyu mavi Hubble Teleskobu'nun optik gözlemlerini, kırmızı ise Spitzer Teleskobu'nun kızılötesi gözlemlerini gösteriyor. Ortadaki küçük beyaz nokta ise Yengeç Bulutsusu'nun merkezindeki, süpernova patlaması sonucu çıkmış olan nötron yıldızı.

renin genişlemesinin hızlandığını keşfeden iki ayrı takımdan Saul Perlmutter ile Brian Schmidt ve Adam Riess arasında paylaşıldı. Tip-1a süpernovaları, iki yıldızlı sistemlerde gerçekleşebiliyor. Yakıtının sonuna gelmiş bir beyaz cüce, komşu yıldızla çok yaklaşınca gelgitlere neden oluyor. Eğer aralarındaki mesafe daha da kısalsaydı, komşu yıldızdan beyaz cüceye kütle akışı gerçekleşebiliyor. Yeni malzemenin etkisiyle yeniden yanmaya başlayan beyaz cüce ise kritik kütleye aşıyor. Hesaplanabilir bu kritik kütlerde, yıldızın merkezindeki basınç hızlı füzyon tepkimelerine yol açıyor; kalsiyum, nikel, kobalt ve demir gibi ağır elementlerin üretilmesine neden oluyor. Bu hızlı tepkimelerden çıkan yüksek enerji ile yıldız süpernova olarak patlıyor. Tip-1a patlamaları, yıldız hep aynı kritik kütleye ulaştığı anda olduğundan, patlamanın yaydığı ışık miktarı da aynı oluyor ve evrenin derinliklerini anlamak için çok iyi bir gözlem fırsatını da beraberinde getiriyor. Evrenin genişlemesini araştıran ekip de bunun için Tip-1a süpernovalarını seçti ve 8 milyar ışık yılı uzaklıktaki süpernovalarından elde ettiği verilerle, evrenin genişlemesinin gittikçe hızlandığını kanıtladı. 31 Ekim 2012'de gözlenen ve şimdiye kadar gözlemlenmiş en uzak süpernovanın 12,1 milyar ışık yılı ötemizde bulunduğunu da söyleyelim.

SN1987a süpernovası da bilim tarihinde çok önemli bir yer tutuyor. Samanyolu'nun uydusu iki gökadasından biri olan Büyük Macellan Bulutu'nda 23 Şubat 1987'de patladığı görülen bu süpernova, Dünya'nın 168 bin ışık yılı ötesindeydi, gece güney yarımküreden parlak bir yıldız olarak, çıplak gözle görülebildi. Fakat bu süpernovayı asıl önemli kılan, patlamanın ışığı Dünya'ya ulaşmadan iki ve üç saat önce 24 nötrino parçacığının

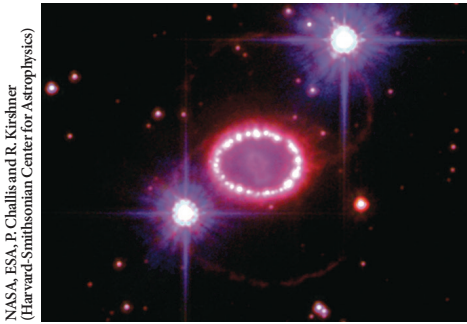
Dünya'nın farklı yerlerindeki nötrino dedektörleri tarafından gözlemlenmesiydi. Japonya'daki Super-Kamiokande deneyi 11, ABD'deki IMB deneyi 8 ve Rusya'daki Baksan deneyi 5 nötrinoyu aynı 13 saniyelik pencere içinde gözlemlemişti. Normalde bir gün içinde birkaç nötrino gören bu dedektörler, neden bu kadar kısa sürede, yüksek sayılabilecek bir nötrino akışı gözlemlemişti? Ayrıca nötrinolar nasıl ışıktan hızlı gelmişti?



Super-Kamiokande Collaboration

Japonya'nın Kamioka bölgesinde bulunan Super-Kamiokande dedektörü, 50 bin ton ultra-saf su ile doldurulduktan sonra, bir parçacık dedektörü haline alıyor. Suda ışık hızından hızlı giden parçacıklar, tıpkı ses hızından hızlı giden bir uçanın yarattığı şok dalgası gibi, suda Çerenkov ışınması adı verilen bir şok dalgası yaratıyor ve bu ışınma Super-Kamiokande'nin özel foto-dedektörleri tarafından kaydediliyor. Şunu da belirtelim: Boşluktaki ışığın hızını geçmek fizik kanunlarına göre mümkün değil. Işık suda ve malzemelerin içinde, boşluktaki hızından daha yavaş ilerliyor ve bu nedenden ötürü bir parçacığın, bir malzeme içindeki ışığın hızını geçmesi mümkün.

Nötrinolar bilinen atom altı parçacıklarının en küçük ve en anlaşılma- ları. Kütleleri var olduğu halde, yok de- necek kadar küçük. Daha da ilginç tüm nükleer tepkimelerin en vazgeçilmezle- ri: Nükleer tepkimelerdeki enerji koru- numunu sağlamak için matematiksel bir gereklilik olarak ilk kez Wolfgang Pauli tarafından 1930 yılında öngörülen nö- trinoların, dedektörlerde görülmesi tam 26 yıl aldı.



Prof. Kate Scholberg

B.D.: Bize süpernova nötrinolarına ilginizin ne zaman başladığını anlatır mısınız?

K.S.: İlk kez lisansüstü eğitimim sırasında nötrinolarla ilgilenmeye başladım. İtalya'da, birincil amacı tek manyetik kutuplu parçacıkların varlığını araştırmak olan MACRO (Monopole, Astrophysics and Cosmic Ray Observatory - Tek Kutup, Astrofizik ve Kozmik Işın Gözlemevi) isimli bir deneyde çalışıyordum. Tek manyetik kutuplu parçacıkları bulmadık, ama MACRO galakside süpernova patlamasından gelen nötrinolarla da hassastı ve doktora tezimin konusu dedektöre varan bu süpernova nötrinolarıydı. O yıllarda süpernova patlaması görülmedi, bu yüzden ben de nötrino bulamadım. Fakat çok şey öğrendim ve bu konuya olan ilgim hâlâ devam ediyor. Doktora sonrası araştırmacı olarak süpernova nötrinolarına hassas olan Super-K'de çalışmaya başladım. Süpernova nötrinolarını gözlemeleme imkânları MACRO'dan beri çok arttı, şimdi süpernova patlamalarına hassas bir sürekli dedektör var.

B.D.: SNEWS fikri nasıl oluştu?

K.S.: Aslında benim fikrim değildi, kimin fikri olduğundan da emin değilim. Nötrinoların bir süpernova alarmı olabileceği fikri büyük bir ihtimale 1980'lerden beri ortalarda dolaşıyordu. Süpernova 1987A'nın nötrinoları gözlemlendi; ama sadece süpernovanın görünür ışıktaki belirmesinden sonra nötrino dedektörlerinin önceden kayıt ettiği verilerde bulundu. Analizi yapan fizikçiler, süpernovadan çıkan nötrinoların patlamanın ışığından önce geldiğini fark etti. SNEWS ekibi, çalışmaya devam eden MACRO ve yeni çalışmaya başlamış olan Super-K dedektörleri arasında resmi olmayan bağlantıları benim başlatmam ile 1997 yılında oluşmaya başladı. 1998'de Takayama'daki nötrino konferansında ilgili kişilerle ilk toplantıyı yaptık. 1998 yılının daha sonraki aylarında Boston Üniversitesi'nde SNEWS ekibinin gerçek başlangıcı olan çalışmayı düzenledim.

B.D.: Böyle bir fikrin etrafında uluslararası bir ekip bir araya getirmenin en büyük zorluğu neydi?

K.S.: Bazen verileri ne zaman ve nasıl paylaşacağımız konusunda fikir birliğine varmakta zorlanıyorduk da, yine de gereken kararları alabiliyoruz. Nötrino dedektörlerini kuran uluslararası ekiplerin, verilerini paylaşmakta tutucu olmaya meyilli olduğunu fark ettim. Veri-

leri herkese açmadan önce her şeyi dikkatlice kontrol etmeyi tercih ediyorlar. Halbuki gökbilimciler verileri paylaşmakta daha serbest davranıyor. Bu eğilimler muhtemelen farklı alanlardaki ekiplerin tarihsel kültürlerinden kaynaklanıyor.

B.D.: Nötrinoların hangi özelliklerini ölçebiliyorsunuz? Hangisinin daha kütleli olduğunu ölçebiliyor musunuz?

K.S.: Süpernovalardan gelen nötrinoların çeşnilerinin ve enerjilerinin ölçümleri bize nötrinoların kütlelerini anlatacak. Güncel durumda, üç nötrino kütleli var. Şu anda ikisinin ağır birinin hafif mi, yoksa ikisinin hafif diğ- gerinin ağır mı olduğu bilinmiyor. Süpernovalardan gelen nötrino akısı, nötrino spektrumunda etkisi görülen kütle deseni hakkında işaretler içerecek.

B.D.: Süpernova nötrinoları konusunda en iyi ve en kötü senaryonuz nedir?

K.S.: En kötü senaryo, bir süpernova patlamasını kaçırmak ya da verileri bir şekilde kaybetmek! Süpernovalar nadirdir ve eğer bir süpernova patlaması sırasında dedektör çalışmıyorsa, bu bir felaket olur. Aslında bu yüzden, eğer mümkünse bir dedektörün çalışmadığı sü- renin diğer dedektörlerin çalışmadığı sürelerle çakış- mamasını sağlamaya çalışıyoruz. En iyi senaryo ise süpernova patlamasının yakında olması, tüm dedektörlerin gelen nötrinoları görmesi. Böylece SNEWS için hızlı bir uyarı alınacak ve biz de gökbilimcileri bir süpernova- nın gözlenebileceği konusunda uyarabileceğiz. En iyi durumda mevcut dedektörlerle, Super-K gökbilimcilerin görünür olayı bulmasına yardımcı olacak yöni birkaç derece hassasiyetle belirleyecek. Toplanan nötrino verileri çok değerli bilgiler sağlayacak. Nötrinolar yıldızın derinliklerinden geliyor ve çekirdeğin inanılmaz derecede yoğun ve egzotik ortamında neler olduğunu bize anlatabilecek; süpernovanın nasıl patladığını anlamamıza yardımcı olacak ve ayrıca nötrinoların özelliklerini anlatabilecek. Şimdiye kadar nötrinolarla gözlemlenen tek süpernova 1987A'ydı, o zaman sadece birkaç düzine nötrino görüldü. Bugünlerde kullanılan dedektörler muazzam bir bilgi kaynağı olacak, binlerce ya da belki de on binlerce nötrino görecekler. Bu son derece heyecanlı olacak.

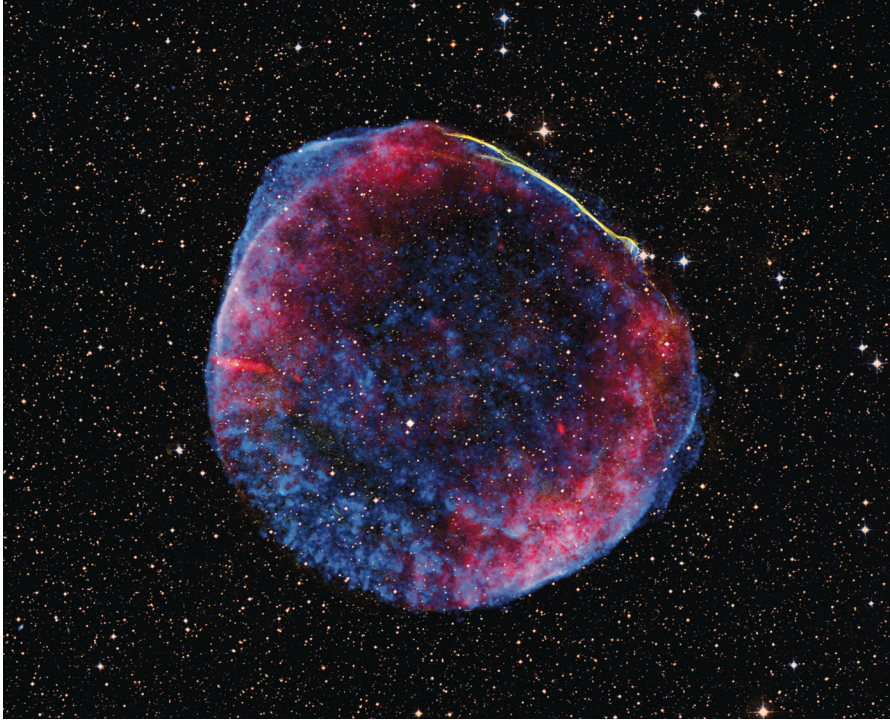
Henüz planlanma aşamasındaki geleceğin nötrino dedektörleri, şimdikilerden daha büyük ve süpernova nötrinolarının gözlenmesinde daha değerli olacak. Ayrıca farklı dedektörler süpernovalardan gelen farklı nötrino çeşnilerini "tadıp" bize daha fazla bilgi verebilecek. Hemen yarı bir süpernova olmasını mı, yoksa yeni nesil dedektörler yapıldıktan sonra olmasını mı tercih ederdim? Kararsızım!

NASA, ESA, P. Challis and R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

SN1987A'nın patlamasının 20. yıldönümünde Hubble Uzay Teleskobu tarafından gözlenmesi. Etrafındaki bulutsu genişlemeye devam ediyor. Astrofizikçiler hâlâ bulutsunun içinde oluşan hareketleri modellemek için uğraşıyor.

Bu keşfi yapan Clyde Cowan ve Frederick Reines'in doğrulanması ve sonunda Nobel ile ödüllendirilmeleri ise 1995'i buldu. Belki daha da inanılmazı içinizden şu anda santimetrekare başına saniyede 65 milyar nötrino geçiyor olması! Hızlarının ışık hızından farkı ölçülemeyen bu nötrinoların çoğu, Güneş'teki nükleer tepkimelerde üretiliyor. Ama korkulacak birşey yok: 80 yıl yaşasanız (ki umarız daha uzun ve sağlıklı yaşarsınız) hayatınız boyunca vücudunuzdan geçen bütün bu nötrinolardan bir tanesinin vücudunuzla etkileşme ihtimali toplam % 50. İşte bu yüzden nötrinoları gözlemek için geliştirilen dedektörler çok büyük olmak zorunda. Örneğin Super-Kamiokande 50 bin ton su içerdiği halde günde sadece birkaç nötrino gözlemleyebiliyor.

Süpernova patlamalarında ise, tam iç çekirdek çöküp bir nötron yıldızına veya karadeliğe dönüşürken, nükleer tepkimeler o kadar hızlı ve sık gerçekleşiyor ki, 168 bin ışık yılı ötemizden bize ulaşan nötrino akısı, hemen yanı başımızdaki Güneş'in nötrino akısını aşabiliyor!



X-ray: NASA/CXC/Rutgers/C. Cassam-Chenaï, J. Hughes et al.; Radio: NRAO/AUI/NSF, GB7/VA/Dyer, Madalena & Cornwell; Optical: Middlebury College, F. Winkler, NOAO/AURA/NSF; CTIO Schmidt & DSS

SN 1006 süpernovasının patlaması Dünya'dan MS 1006'da, Nisan sonunda gözlemlenmiş olsa da, bundan yaklaşık 7200 yıl önce gerçekleşmiş.

Ayrıca çöken yıldızın merkezindeki yoğunluk çok yüksek olduğundan, ışık hemen merkezden kaçamıyor, bu en azından birkaç saat alıyor. Ama çökme anında ortaya çıkan nötrinolar, maddeyle çok az etkileştiklerinden hemen süpernovanın merkezinden kaçabiliyorlar ve bu sayede patlamanın ışığından önce Dünyamızdan gözlenebiliyorlar. Bu da bize gelecekteki süpernovaları erkenden haber verecek bir nötrino gözleminin kapısını açıyor.

SNEWS projesinde, Dünya üzerindeki dört nötrino dedektöründen (Super-K, LVD, IceCube, Borexino) gelen sinyallerin analiziyle, Dünya'ya varan nötrino sayısındaki artış çok hızlı bir şekilde

fark edilebilecek. Yöne hassas nötrino dedektörlerinden ve GPS'te olduğu gibi varış zamanları arasındaki farktan, nötrinoların geldikleri yön de belirlenebilecek ve SNEWS ağına bağlı tüm gökbilimciler, bir süpernovanın gözlemlenebileceği koordinatlar yollanacak.

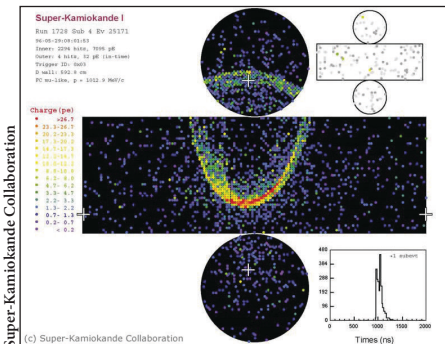
Amatör gökbilimcilerin de katkısıyla, ilk ışığın geldiği nokta gözlemsel olarak daha iyi belirlendiğinde tüm dünyaya duyurulacak ve çözünürlüğü daha yüksek olan tüm teleskoplar, bu süpernova patlamasını takip etmeye çalışacak. Siz de ilk ışığı yakalamak isteyen gökbilimcilerden olmak istiyorsanız, SNEWS projesine, <http://snews.bnl.gov/> adresinden kayıt olarak, nötrinolardan süpernovanın haberini alabilirsiniz! Nötrino dedektörleri, tüm yönlerde hassas oldukları ve içlerinde etkileşen tüm nötrinoları kaydettikleri için süpernova patlamasını tüm detaylarıyla kaydedecekler. Ancak ilk ışığın görülmesi ve hassas olarak kaydedilmesi çok önemli. Bu bize hem süpernovalar hem de nötrinolar hakkında çok şey öğretebilir. Örneğin aradaki zaman farkı patlamanın mekanizması hakkında bilgi verirken, nötrinoların ışık hızından ne kadar yavaş gittiğine bir sınır koyabilir.

Bu sınır, nötrininin kütlesini ölçmemize yardımcı olabilir. Üç çeşni bulunan nötrinolar farklı zamanlarda Dünyamıza varırsa, bu zaman farklarından kütle aralıkları hakkında bilgi edinebiliriz. Nötrinoların elektron, müon ve tau olarak adlandırılan üç çeşni var. Çeşni kelimesi parçacık fizikinde bu üç çeşidi belirtmek için kullanılıyor.

Süpernova patlamalarının bilime faydasından bahsettik. Peki hiç zararı yok mu? Dünyamıza yeterince yakında, yani 3000 ışık yılı yakında patlayacak bir süpernovanın etkileri Dünya'ya zarar da verebilir. Böyle bir süpernovadan gelecek gama ışınları, atmosferimizin üst katmanlarındaki ozon tabakasına zarar verip zararlı ultraviyole ve kozmik ışınların Dünya yüzeyine kadar inmesine yol açabilir. Zarar mekanizması hakkında tartışmalar sürerken, bu konuda çalışan bilim insanlarının birçoğu yaklaşık 5 milyon yıl önce Dünyamızın bu tip bir süpernova patlamasının ışınlarına maruz kaldığı konusunda uzlaşıyor. Okyanusun derinlerinden çıkan ferromanganez kabuk örneklerinde görülen demir-60 yoğunluğu, Dünyamızın diğer katmanlarındaki demir-60 yoğunluğundan fazla, bunun 5 milyon yıl önce artan radyasyon sonucu oluşmuş olma ihtimali var. Orta Miyosen veya Pliyosen çağlarındaki bir toplu yok oluşun, aynı zamanda demir-60'ın da artmasına neden olan bir süpernova patlaması nedeniyle gerçekleşmiş olma ihtimali de var. Hatta bazı bilim insanları bu patlamanın, 815 ışık yılı ötemizde bulunan, İkizler Takımyıldızı'ndaki Geminga pulsarını ortaya çıkaran patlama olabileceğini düşünüyor. Kim bilir Dünya'dan ne kadar parlak görünmüştür.

Kaynaklar

- Shappee, B., Stanek, K., "A New Cepheid Distance to the Giant Spiral M101 Based on Image Subtraction of Hubble Space Telescope/Advanced Camera for Surveys Observations", *Astrophysics Journal*, Sayı 311, s. 124-149, 2011.
- Gehrels, N. ve ark., "Ozone Depletion from Nearby Supernovae", *Astrophysics Journal*, Sayı 585, s. 1169-1176, 2003.
- Fieds, B., Ellis, J., "On deep-ocean 60Fe as a fossil of a near-earth supernova", *New Astronomy*, Sayı 4, s. 419-430, 1999.
- Melott, A., ve ark., "Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?", *International Journal of Astrobiology*, Sayı 3, s. 55, 2004.



Super-Kamiokande'nin gözlemlediği bir müon-nötrinosunun dedektörün içinde neden olduğu şok dalgasının (Çerenkov Işınması) fotoğrafı.