

“Süpernovaların Anlattıkları”

NGC 4526 adlı galakside patlayan ve 1994 yılında gözlenen 1994D Süpernovası

Süpernovalarla Yapılan Ölçüm

Hubble'ın 1925'teki gözlemlerinden beri bildiğimiz üzere, Büyük Patlama'nın doğal bir sonucu olarak evren genişliyor. Bu genişleme evrenin barındırdığı madde ve enerji ile doğrudan ilgili. Nedeni de patlamanın genişlettiği evrenin içinde barındırdığı kütlelerin birbirini çekerek bu genişlemeye direnmesi. Ancak buna ayrıntılı olarak baktığımızda, evrenin kaderinin içinde barındırdığı kütle kadar, kütlelerin türüne de bağlı olduğunu görüyoruz.

Evrendeki gökada kümelerinin ışık saçan kütlelerinden çok daha büyük, "karanlık" bir tür kütleyle sahip olduğunu biliyoruz. Bunu fark edebilmemizin nedeni, bize göre arkalarında bulunan ışığı, kütleçekimleri sayesinde bir merceğe gibi bükebilmeleri. Bu çalışmalar bize gökadalardan kütlelerinin % 90'ının "karanlık" olduğunu gösteriyor. Ancak bu iki kütle toplamının, evrenin düz olması için gerekli madde-enerji yoğunluğunun yaklaşık % 30'unu oluşturduğu ortaya çıkıyor.

Evrenin şeklini ölçmek ve bu karanlık maddenin evrenin baskın yapı taşı olup olmadığını anlamak için evrenin uzak noktalarına bakarak, evrenin gerçekten ivmelenip ivmelenmediğini ölçmek gerekiyordu. Güneş kütlelerinin yaklaşık onda biri kadar bir maddeyi enerjiye yani ışığa çevirebilen, evrenin en parlak havai fişekleri süpernovaların standart kandil özelliği taşıyan Ia tipinde olanları bunu sağladı.

Bu patlamalardan elde edilen verilerin nasıl incelendiğini ve patlama mekanizmalarının detaylarını anlatmadan önce Nobel Ödüllü çalışmada çıkan sonucu özetlemenin faydası var. Yapılan gözlemlerde tip Ia süpernovaların ışıklarının, beklenilenden % 25 daha soluk olduğu görüldü. Bu da geçmişten gelen ışığın daha uzun yol kat ettiğine, yani evrenin ivmelenerek genişlediğine işaret ediyordu. Bu önceden hayal ettiğimizden çok daha farklı bir evrende yaşadığımızı göstermekle beraber, cevaplanması gereken birçok soru daha doğrudu. Bunlardan en önemlisi kozmolojik sabit, lambda olarak da anılan ve ivmelenerek genişlemenin sorumlusu olan karanlık enerji. Gözlemlerimize göre bu karanlık enerji evrenin % 73'ünü oluşturuyor. Bu enerjinin ne olduğu fizikçilerin en çok ka-

fasını karıştıran sorulardan biri. Bu soruyu en doğrudan cevaplandırabilecek olan, yine bu enerjinin varlığını ortaya çıkaran tip Ia süpernova gözlemlerinin ta kendisi. Bu nedenle, süpernovaların nasıl patladığını ve süpernovalardan gelen bilginin nasıl kullanıldığını ayrıntılı olarak incelememiz gerekiyor.

Neden Standart Değil?

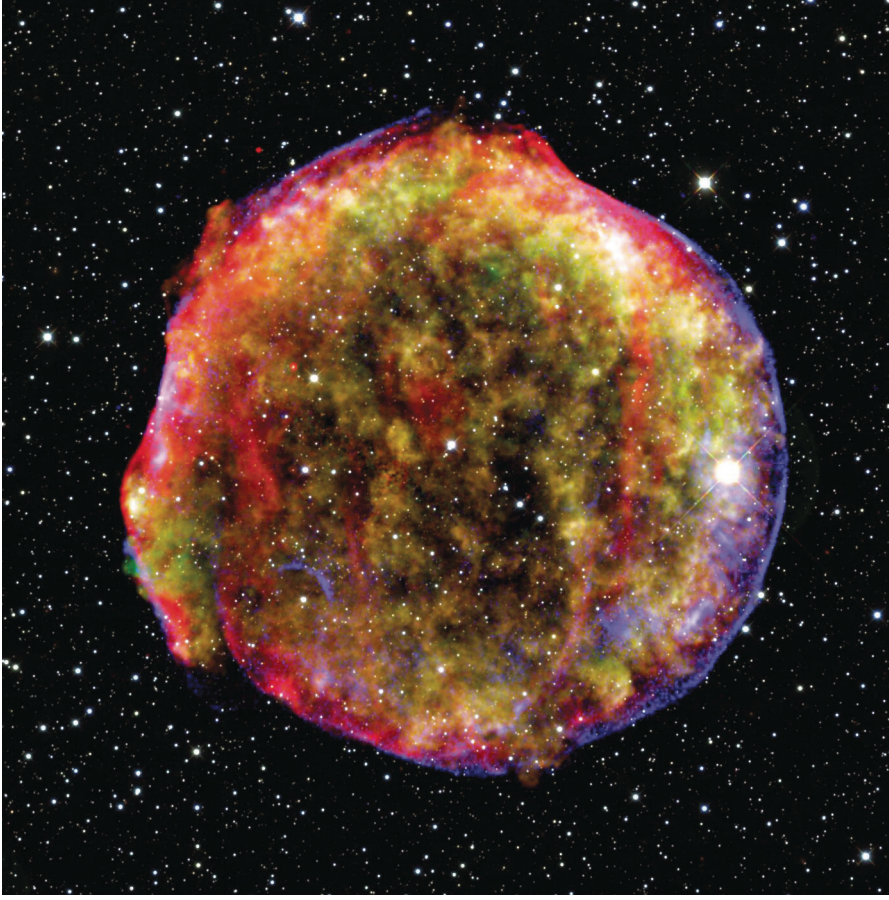
Tip Ia süpernovaların hep benzer şekilde, tahmin edilebilir gözlemsel özelliklerle patlamasını anlamak için bir diğer Nobel Ödüllü çalışmayı, Chandrasekhar'ın beyaz cücelerin azami kütlesi hesaplamalarını anmak gerekiyor. Chandrasekhar beyaz cücelerin kendi kütleçekimlerine normal yıldızların aksine gaz basıncı ile değil, Fermi tipi elektronların kuantum özellikleri sayesinde karşı koyduğunu göstermişti. Bu hesapların doğal bir sonucu olarak, beyaz cüceyi oluşturan madde sıkıştırıldıkça görelî özelliğe sahip bir madde haline geliyor ve bir süre sonra kütleçekimine karşı koyamayarak içine çöküyordu. İşte bu belirli kütleçekime karşılık gelen beyaz cüce azami kütlesine, Chandrasekhar kütlesi deniyor.

Tip Ia süpernova patlamalarının benzer şekilde gerçekleşmesinin nedeni olarak öne sürülen özellik de, tam olarak bu azami Chandrasekhar kütlesi idi. Elbette her Chandrasekhar kütlesine ulaşan beyaz cüce patlamıyor, çünkü aynı zamanda içinde barındırdığı karbonu kaynaştıracak sıcaklığa ulaşması da gerekli. Ancak bu temel fizik ile belirlenmiş kütle sınırı, patlama parlaklığının standart olması için yeterli.

Kuramsal olarak birbirinin aynı olan patlamaların parlaklığı, patlamanın gerçekleştiği uzaklık ile ilgili bilgi verirken, patlamanın tayfındaki kızıla kayma ise bize bu uzaklıktaki genişleme hızını veriyor.

Ancak detaylı gözlemler Ia tipi süpernovaların standart olmadığını, kandillerinin standardize edilebildiğini ortaya çıkardı. 1993'te Phillips'in ortaya çıkardığı ampirik ilişkiye göre, azami patlama parlaklığı ile ışığın sönümlenme süresi arasında bir ilişki var. Parlak patlamaların nispi olarak belli bir düzeye düşmesi daha uzun sürerken, güçsüz patlamaların ışınımları yine tepe parlaklığına nazaran çok çabuk yok oluyor.

1752'de Tycho Brahe tarafından gözlemlendiğinde, antik ve değişmeyen evren anlayışına önemli bir darbe vuran ve bugün SN 1572 olarak adlandırılan süpernova, işte tam da bu yazının konusu olan tip Ia süpernova patlamalarından biriydi. Nasıl ki bu patlamalar 18. yüzyılda gözlemlendiklerinde evren anlayışımızda paradigmatik bir değişime neden oldularsa, aynı şekilde 1990'lardan beri de evren anlayışımızda bir kaymaya neden oldular. Yüksek enerjilerinin sonucunda oluşan parlak ışıklarının patlamadan patlamaya değişmemesi sayesinde, evrenin uzak köşelerinin bizden uzaklaşma hızını ölçmemize yardımcı olan Ia tipi süpernovalar üç astofizikçiye, Adam G. Riess, Brian P. Schmidt ve Saul Perlmutter'a 2011 Nobel Ödülü'nü getirdi.



1752'de Tycho Brahe tarafından gözlemlenen SN 1572'nin bugünkü görünüşü

Bu ilişki basitçe bakıldığında patlamaya neden olan kimyasal element yoğunluğuyla ilgili. Termonükleer tepkimeye maruz kalan madde yani kısacası patlama yakıtı ne kadar fazla ise ortaya çıkan enerji de o kadar fazla olduğu için, patlamanın parlaklığı da o kadar fazla oluyor. Yine aynı şekilde, bu patlama sonucunda ortaya çıkan radyoaktif izotoplar da o kadar fazla oluyor ve radyoaktif maddelerin radyoaktif ışması da uzun sürüyor.

Kısaca tip Ia süpernovaların patlama mekanizmaları benzerken, patlayan her yıldız kendi özel şartları nedeniyle farklı oranlarda radyoaktif nikel, kobalt ve silikon üretiyor ve bu nedenle her yıldız belli sınırlar içerisinde farklı patlıyor.

Her ne kadar yakınımızdaki süpernovalara bakarak, süpernova ışık eğrilerini standardize edebiliyorsak da, şu an merak edilen şey patlama ışığının kuramsal olarak yıldızdan yıldıza neden değiştiği. Gözlemleri daha iyi anlayabilmek ve evrenin yapısını, maddeyi ve enerji miktarını daha

iyi anlayabilmek için kuramsal astofizikçiler patlamaların farklı aşamalarını detaylı olarak inceliyor.

Yakın zamanda bu tartışmaları tekrar alevlendiren bir gözlem gerçekleşti. Detaylı incelemeler, beklenilenden çok parlak patlayan Ia tipi bir süpernova olan SN 2003fg'nin yaydığı ışığın, ancak Chandrasekhar kütesinden daha yüksek miktarda bir maddenin ışığa çevrilmesi ile oluşabileceğini ortaya çıkardı.

Azami bir kütle limiti olan Chandrasekhar kütesinin aşılabildiğini gösteren bu şaşırtıcı gözlemin açıklaması, yıldız yapısını inceleyen astofizikçilerin eski çalışmalarında yatıyordu. Chandrasekhar hesaplarında, beyaz cücenin yapısını kendi kütleçekimine karşı dengeleyen şey barındırdığı maddenin Fermi özelliği iken, bunun dışında mekanik bazı etkilerin de kütleçekimini dengelemesi mümkün. Örneğin yıldızın katmanları hızla dönüyor ise, merkezkaç kuvveti de beyaz cücenin güçlü merkezi çekimine karşı koyabilir. Bu du-

rumda basit Chandrasekhar çözümleri yetersiz kalıyor ve yıldızın dönen yüzeylerinin de hesaba eklenmesi gerekiyor. İşte bu nedenle beyaz cüce evriminin bitiş noktasını belirleyen bu kütle limiti de beklenenin üstünde bir değer alabiliyor. Bu da tek bir Chandrasekhar kütle değeri değil, yıldızdan yıldıza değişen Chandrasekhar kütleleri olduğuna işaret ediyor.

Yıldızın, hızla dönen katmanlarının kütleçekimine karşı koyarak patlama için beklenilenden fazla yakıt biriktirebilmesini, çalkalanan şampanya şişesinin şiddetle patlamasına benzeten astronomlar, yüksek parlaklıktaki bu süpernovaya şampanya süpernovası adını verdi. Benzer şekilde çok az patlama yakıtı kullanarak silik (güçsüz) patlayan süpernovalar da var.

Son yirmi yılda tip Ia süpernovalara ilginin artmasıyla beraber, bu gibi “ilginç” patlamalar gözlemlendi, ancak bu astofizikçilerin işini kolaylaştırmanın aksine zorlaştırmış gibi görünüyor. Artan gözlemsel veri, farklı özelliklere sahip farklı tip Ia süpernovalar olduğunu ortaya koydu. Bu nedenle pratik olarak, tip Ia süpernovaların ışık tayflarındaki özellikler sayesinde hangi alt gruba mensup olduğu tespit edilerek, kozmolojik incelemelerde kanonik yani “normal” tip Ia’lar kullanılıyor.

Kısacası her ne kadar tip Ia süpernovaların ampirik özelliklerinin kullanımı Nobel Ödülü getirdiyse de, temelde bu patlamaların mekanizmalarının nasıl işlediğini halen ayrıntılı olarak bilmiyoruz. Bütün bu kuramsal bilinmezlikler, kozmolojik incelemelerde de hata paylarının büyümesine yol açıyor. Ancak bunlara rağmen tip Ia süpernovalar daha önce de anlattığımız gibi, evrenimizin en uzak noktalarından bizlere doğrudan bilgi taşıdıkları için, evrenin şeklini belirleyen genişleme ivmesinin ölçümünde hâlâ en önemli araç.

Karanlık Enerji Nedir, Nasıl Ölçülür?

Karanlık maddenin aksine karanlık enerjinin, bir parçacık değil kozmolojik sabit ya da kütleçekimi tarzında bir etkiye yol açan uzay-zamanın kendinde bulunan bir tür özellik olduğu düşünülüyor.

Karanlık enerjinin ne olduğunu anlama arayışımızda, genel görelilik denklemleri bize bir kuramsal olasılık daha sunuyor. Evrenin ivmelenmesinden yola çıkarak ön gördüğümüz bu karanlık enerji, aslında kütleçekimi yasalarımızın -yani genel göreliliğin- farklı uzaklıklarda farklı işlediğine de işaret ediyor olabilir. Yani uzayın şu an gözlemediğimiz bu beklenmedik ivmesinin nedeni, kütleçekimi gibi davranan karanlık bir enerji değil de kütleçekimi yasalarımızın ta kendisi olabilir.

Bu olasılıkla heyecanlanan kuramsal fizikçiler, olası alternatif kütleçekim kuramlarını basit parametrelere indirgedi ve bu kuramların varlığını kanıtlamak için yine iyi anlaşılmalı süpernova gözlemlerine ihtiyaç duyulduğu sonucu ortaya çıktı. Bu ise evrenin “durum denklemlerini” tanımlayan w parametresinin hassas olarak ölçülmesi ile gerçekleştirilebilir. Basitçe anlatmak gerekirse, bu parametre evrenin içinde bulunan maddenin -bir bütün olarak alındığında- basınca nasıl tepki verdiğini ölçüyor. Nasıl ki bir gazı rahatça sıkıştırırken, bir sıvının ancak şekil değiştirmesini sağlayabiliyorsak, evren de içinde barındırdığı maddeye bağlı olarak bu genişlemeye tepki veriyor, gökadarlar da yine buna bağlı olarak topaklaşıyor.

Eğer evrenimiz, Dünyada da görmeye alışkın olduğumuz “yavaş ve ağır” atomlardan değil de basıkın olarak foton ve nötrino gibi “hızlı ve hafif” parçacıklarından oluşsaydı, gökadarların birbirlerine nazaran konumlanması yani bir anlamda evrenin belirli bölgelerinde topaklaşmaları çok farklı olacaktı.

Georges Lemaitre'den beri bilindiği üzere, kozmolojik sabit w parametresinin -1 değerinde olmasına karşılık geliyor. Şu anki gözlemler ise bunu destekler durumda, ancak karanlık enerjinin özüne dair başka olasılıklar olması hâlâ mümkün. Eğer karanlık enerjinin ne olduğu anlaşılacak isteniyorsa, süpernovalarından gelen verilerin daha iyi anlaşılacak ölçüm hassasiyetlerinin artırılması şart.

Bundan Sonrası

Gökada dağılımlarının *Dark Energy Survey* gibi gözlemsel projeler ile tespit edilmesi ve bu vesileyle karanlık enerji ile ilgili bilgi edinilmesi planlanıyor. Her ne kadar gözlemlenen süpernova sayısının artması ölçüm hassasiyetlerini artıracak olsa da, bu ölçüm hassasiyetlerinin limiti tip Ia süpernovaların kuramsal bilgisi ile sınırlı. Bunun da açık nedeni, süpernova verilerini standardize edebilmemiz için ihtiyaç duyduğumuz ampirik ilişkiler.

Bu ampirik ilişkilerin nedenini çözmek ve kuramsal olarak süpernovaları anlamak için kuramsal astrofizikçiler çok çekirdekli süper bilgisayarlarda, farklı simülasyonlar gerçekleştirerek bu patlamaların iç yapısını ve ayrıntılarını anlamaya çalışıyor.

Patlamanın ilk anlarında beyaz cücenin sıcaklık ve basınç özelliklerinin incelenmesi sayısal hidrodinamik simülasyonlar ile yapılıyor. Tip Ia süpernovaların patlama öncesi Chandrasekhar kütlesine ulaşması, yakınındaki bir diğer yıldızdan madde aktararak gerçekleşiyor. Bu dinamik parçacık alışverişi de akışkan fiziği kullanılarak, hidrodinamik simülasyonlar ile inceleniyor. Patlamaların nasıl ateşlendiği bilinmiyor ve madde aktarımından patlama şartlarına giden tatmin edici bir rota hâlâ bulunabilmiş değil.

Benzer şekilde, patlayan yıldızın yapısından yola çıkarak, hızla genişleyen süpernova kalıntısında ışığın kat ettiği yol takip edilerek ve sonuçta ortaya çıkan ışık eğrileri ve tayflar hesaplanabiliyor. Nihai amacı ampirik Phillips ilişkisini açıklamak olan bu çalışmalar, şu an buna tamamen tatmin edici bir cevap verebilmiş değil. Önerilerden biri olan asimetric patlamalar, kısmen kabul görmüş durumda. Ancak hâlâ süper parlak ve az parlak patlamaların nedeni anlaşılabilmiş değil.

Sonuç olarak, yıldız fiziğine duyulan ihtiyaç hiç de azalmış değil. Evrenin yapısı ve içinde barındırdıklarını anlamamız, yıldız patlamalarının kapsamlı olarak anlaşılmasına bağlı. Tip Ia süpernovaları üzerine kuramsal çalışmalar devam ettikçe, evrenin çoğunluğunu oluşturan ancak hakkındaki bilgimiz çok kısıtlı olan karanlık enerjinin ne olduğunu anlamaya da yaklaşacağız.

Kaynaklar

Nobel Ödülleri web sitesi, 2011 Fizik Nobel Ödülü http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/advanced.html
Hubble uzay teleskopu basın açıklaması, “Hubble finds ring of dark matter,” 2007 <http://www.spacetelescope.org/news/heic0709/>
Riess, A. G., Filippenko, A. V., Challis, P ve diğerleri, “Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant”, *The Astronomical Journal*, Cilt 116, s. 1009, 1998.
Chandrasekhar, S., Nobel Ödülü Dersleri, 1983. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1983/chandrasekhar-lecture.html
Phillips, M. M., “The absolute magnitudes of Type Ia supernovae,” *Astrophysical Journal Letters*, Cilt 413, s. L105, 1993.

Howell, D. A., “The type Ia supernova SNLS-03D3bb from a super-Chandrasekhar-mass white dwarf star,” *Nature*, Cilt 443, s. 308-311, arXiv:astro-ph/0609616, 2006.
Branch, D., “Astronomy: Champagne supernova,” *Nature*, Cilt 443, s. 7109, 2006.
Carroll, M., Duvvuri, V., Trodden, M. ve Turner, M. S., “Is Cosmic Speed-Up Due to New Gravitational Physics?,” *Phys. Rev. D* 70, 043528, arXiv:astro-ph/0306438, 2004.
“The Dark Energy Survey” web sitesi <http://www.darkenergysurvey.org/science/SN1a.shtml>