

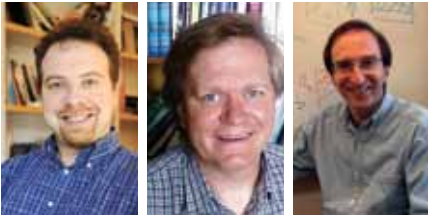
İvmelenen Evren:
Süpernovalardan Karanlık Enerjiye

2011 Nobel Fizik Ödülü



Edwin Hubble'ın 1920'lerde evrenin genişlediğini ortaya koyan gözlemleriyle statik bir evrende sabit bir konuma sahip olma güvencemizi yitirdik. Aslında Büyük Patlamadan beri genişleyerek yol alan evrenin genişleme hızının, frene basılmış bir araba gibi giderek azaldığı tahmin ediliyordu. Çünkü cisimleri bir arada tutan kütleçekimi evrende fren işlevi görüyordu. Evrenin genişleme hızındaki azalmayı tespit etmek kolay değildi. Sonunda 1a Tipi süpernovaların bu iş için kullanılabileceği ortaya çıktı. Saul Perlmutter başkanlığındaki Süpernova Kozmoloji Projesi ekibi ve Adam Riess'in kilit rol oynadığı Brian Schmidt başkanlığındaki Yüksek-z Süpernova araştırma ekibi, evrenin genişleme hızının azaldığını kanıtlamak için yola çıkmıştı. Ancak her iki ekibin de 1998 yılında birbirlerinden birkaç hafta arayla yaptıkları açıklama aynıydı: Evrenin genişleme hızı beklenenin aksine giderek artıyordu. Frene basılıyorsa evren yavaşlayacak ve sonunda duracaktı. Peki sürekli gaza basılıyorsa ne olacaktı? Evrenin kaderini beklenmedik bir şekilde değiştiren çalışmalarını nedeniyle Perlmutter, Schmidt ve Riess 2011 yılı Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü. Zira bu gözlemler, uzay-zamana gömülü ve evreni bir arada tutmaya çalışan kütleçekiminden daha etkili başka bir enerjinin varlığını da işaret ediyordu. Karanlık enerji denilen bu enerji evrenimizin halen çözemediğimiz en büyük bil-mecelerinden.

Edwin Hubble 1920'lerde Samanyolu dışındaki gökadalaları gözlüyor ve bir mumun bizden uzaklaştıkça sönükleşmesi

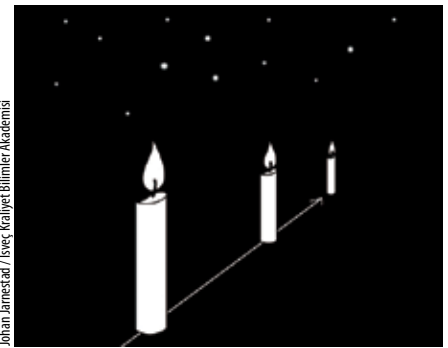
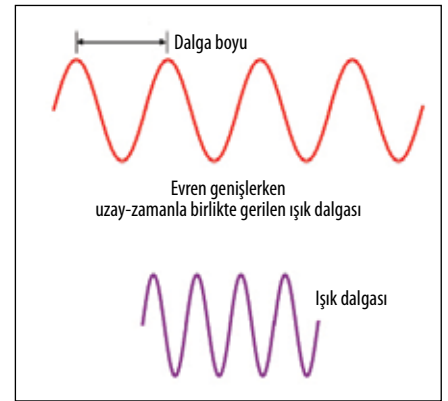


2011 Nobel Fizik ödülü 1990'lardaki süpernova gözlemleriyle evrenimizin genişleme hızının arttığını keşfeden bilim insanlarına verildi. Sağda ödülün yarısının sahibi olan Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'ndan Saul Perlmutter, Perlmutter Süpernova Kozmoloji Projesi ekibinin başkanıydı. Ödülün diğer yarısı ise Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden Yüksek-z süpernova araştırma ekibinin başkanı Brian P. Schmidt (ortada) ve araştırmada kilit rol oynayan Johns Hopkins Üniversitesi'nden Adam G. Riess (solda) arasında paylaşıldı.

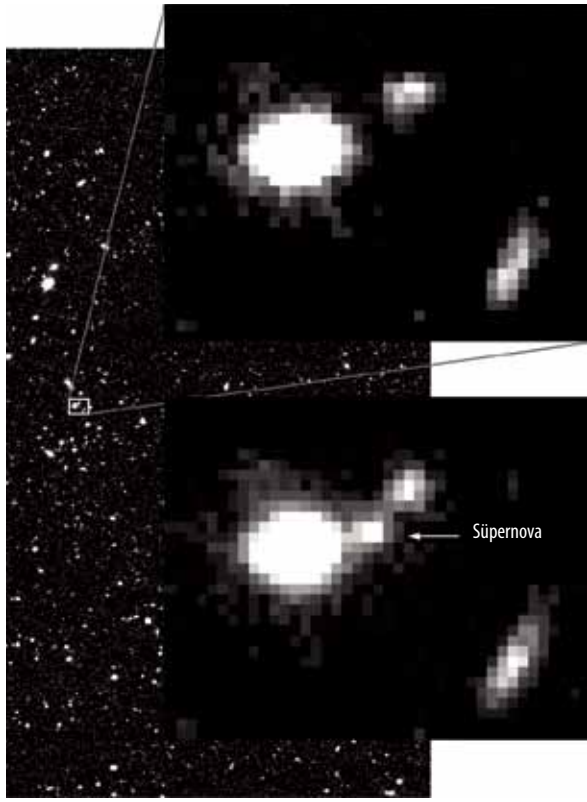
gibi, gökadalaların da bizden uzaklaştıkça sönükleşecekleri olgusundan yola çıkarak ne kadar uzak olduklarını tespit etmeye çalışıyordu. Ancak değişik şekilde ve büyüklükte oldukları için, gökadalaları standart mumlar gibi düşünüp parlaklıklarından yola çıkarak hesap yapmak kolay değildi. Hubble, Henrietta Leavitt'in sefeit denen, kalp gibi atan yıldızlar için kullandığı hesapları kullandı. Daha parlak yıldızların kalp atışlarının daha uzun sürdüğünü bulan Leavitt bu bilgiden hareketle sefeitlerin parlaklıklarını hesaplayabiliyordu. Parlaklık ve periyot arasındaki ilişkiyi 46 gökadaya uygulayan Hubble gökadalaların uzaklıklarını hesapladı. Bu sırada gökadalardan gelen ışığı incelediğinde ışığın frekansının düştüğünü -kırmızıya kaydığını- gözlemledi. Üstelik kırmızıya kayma miktarı gökadanın uzaklıkla doğru orantılı idi. Bu gözlem Hubble ve bir çok kuramcıya göre evrenin genişlediğine kanıttı. Bizim ile diğer gökadalardaki uzay-zaman genişlerken, arada seyahat eden ışığın dalga boyu da geriliyor ve kırmızıya kayıyordu. Dalga ne kadar çok gerilirse o kadar çok kırmızıya kayıyordu. Daha uzaktaki gökadalardan gelen ışığın kırmızıya daha çok kayması ise daha uzak gökadalaların bizden daha hızlı uzaklaştığının göstergesi olarak kabul edildi. Hubble'ın deneysel olarak bulduğu bu sonucu 1927'de George Lemaitre de kuramsal olarak öngörmüştü.

Ancak kütleçekimin sadece çekici bir kuvvet olarak yer aldığı genel görelilik kuramına göre, genişleme evrendeki madde ve enerji yoğunluğuna bağlı olarak azalmalı idi. Yani evren genişliyor olsa da, genişleme ivmesi zamanla azalmalıydı. Bu seneki Nobel Fizik Ödülü'nün sahipleri 1990'larda projelerine evrenin genişleme hızındaki yavaşlamayı tespit etmek için başlamışlardı. Ancak söz konusu evrenin büyüklüğü olunca, gökbilimcilerin milyarlarca ışık yılı ötesine ulaşması gerekiyordu ve kozmik ölçüt olarak sefeitler kullanılamazdı. Zira bu uzaklıkta artık görülemiyorlardı. Birbirinden çok farklı gökadalalarla kalibrasyon yapmak zor olduğu için gökadalaları

ölçüt olarak kullanmak da imkânsızdı. Fritz Zwicky ile yaptığı çalışmalarla bilinen Walter Baade ilk defa 1938'de süpernova patlamalarının kozmik genişlemenin miktarını tespit etmek için kullanılabileceğini söyledi. O zamana kadar en parlak oldukları anda gözlenen süpernovalar karşılaştırıldığında, parlaklıklarının aynı olduğu görüldü. Üstelik süpernova patlamaları çok çok uzakta olsalar da dünyamızdaki ve uzaydaki güçlü teleskoplarla görülebiliyordu. Bir tek süpernova bir gökada kadar ışık yayabiliyordu. Gözlemlenen süpernova sayısı arttıkça, aralarında farklılıkların olduğu görüldü ve 1980'lerde sınıflandırmaya gidildi. Hidrojen içermeyen süpernovalar 1. Tip süpernovalar olarak adlandırıldı. Kendi içerisinde ikiye ayrılan 1. Tip



süpernovalarından tayfında iyonize olmuş silikon elementine rastlananlar 1a Tipi, rastlanmayanlar ise 1b Tipi olarak tanımlanıyor. Görünür evrende her dakikada bir tane 1. Tip süpernova patlaması olurken, her bir gökada da her bin yılda birkaç süpernova patlaması meydana geliyor. Gökbilimciler de standart mum olarak kullanabilecekleri 1a Tipi süpernovaların peşine düşüyor.



Nobel Ödülü sahiplerinden Saul Perlmutter *Physiscs World* dergisinde yayımlanan 2003 tarihli makalesinde, süpernova gözlemlenmesindeki zorluklara da değiniyor. Her şeyden önce süpernova patlamaları rastgele, bir orada bir burada gerçekleştiği için gökbilimciler teleskoplarıyla gökyüzünün hangi bölgesini taramaları gerektiğini bilmiyor. Perlmutter, başlangıçta neyin ve nerenin inceleneceği bilinmeyen bir araştırma projesi için mali fon sağlamak amacıyla araştırma teklifi yazmanın ne kadar zor olduğunu belirtiyor. İkinci olarak da süpernovayı kozmik genişlemenin ölçütü olarak kullanabilmek için süpernovayı, patlamasının hemen ardından, parlaklığın doruğa ulaştığı anda yakalamak gerektiğini söylüyor. Tabii bir de en az bunlar kadar önemli olan veri analizinde karşılaşılan teknik zorluklar var. Biz teknik detayları bir kenara bırakıp kısaca analiz yöntem ve aşamalarından bahsedelim.

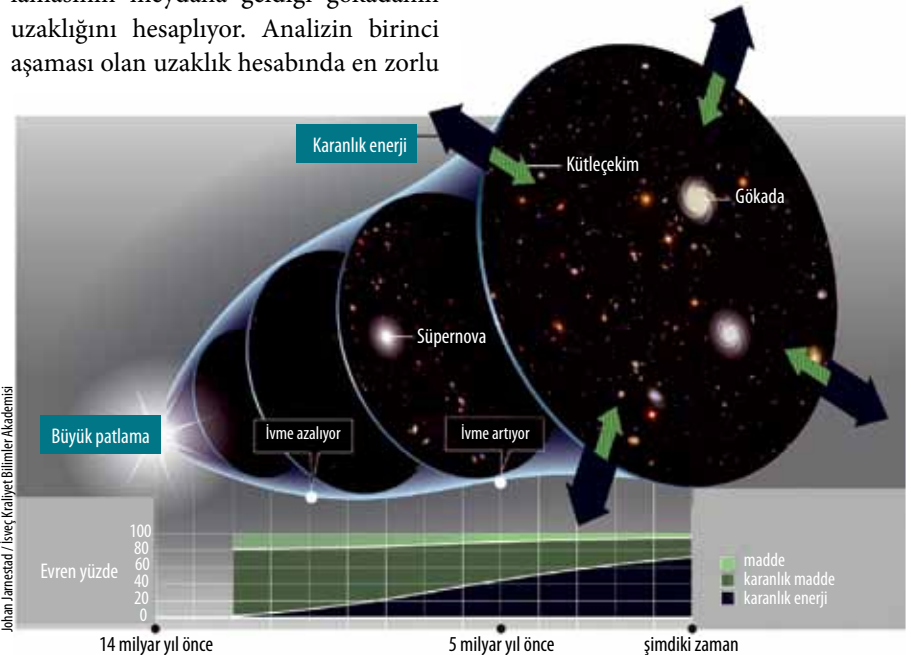
Süpernova en parlak anında yakalandıktan sonraki birkaç hafta içinde tekrar tekrar gözleniyor ve parlaklığındaki değişimin grafiği elde ediliyor. Süpernova avcıları gökyüzünün belli bir kesimi-

ni birkaç hafta süresince izleme ve farklı zamanda çekilen görüntüleri karşılaştırma yolunu izliyor. Bir görüntüde olmayan ancak diğer görüntüde aynı piksele denk gelen noktada beliren ışık, uzaktaki bir gökadamdaki süpernovayı gösteriyor. 1988'de Hans Nørgaard-Nielsen başkanlığındaki Danimarkalı ekip iki senelik yoğun çalışmanın ardından sadece bir tane 1a Tipi süpernova bulabiliyor. Bu durum çok ümit verici olması da 1a Tipi süpernovaların kozmik genişlemeyi anlamada kullanılabilme ihtimalinin doğması araştırmacıları motive ediyor. Yine o yıllarda Saul Perlmutter'in de bulunduğu Kaliforniya Berkeley

Üniversitesi'nden Richard Muller'ın grubu Anglo-Avustralya Gözlemevi'nin teleskobuna geniş alan kamerası yerleştirerek süpernova gözlemlerine başlıyor. Brian Schmidt başkanlığındaki Yüksek-z süpernova araştırma ekibi ise 1994'te kuruluyor. Aynı teleskobu kullanan iki ekip, 1a Tipi süpernovayı tespit edince önce parlaklığını kullanarak süpernova patlamasının meydana geldiği gökadamın uzaklığını hesaplıyor. Analizin birinci aşaması olan uzaklık hesabında en zorlu

kısım, parlaklık için kalibrasyonun doğru yapılması. Araştırmacının ikinci aşamasında her bir gökada için kırmızıya kayma miktarı hesaplanıyor ve bu miktar zaman bilgisine dönüştürülüyor. Bu bilgi ışığın gökadamdan bize kadar olan seyahatinin ne kadar sürdüğünü, buradan da evrenin ne kadar genişlediğini gösteriyor. Süpernovanın parlaklığının zamana göre grafiği çizildiğinde araştırmacılar süpernovaların olması gerekenden daha az parlak olduğunu görüyor. Demek ki süpernovalar "giderek yavaşlayan genişleme" kuramının doğurduğu beklentiden daha fazla yol kat etmiş. Brian Schmidt'in ekibinde yer alan Adam Griess, evrenin genişleme hızının grafikteki gibi azalması için evrendeki kütlelerin ne olması gerektiğini hesaplayan bir bilgisayar programı yazıyor. Sonuç negatif çıkıyor. Evrendeki kütle sıfırdan az olamayacağına göre evren yavaşlayarak değil hızlanarak genişliyor, eksi işareti ivmenin azalan değil artan yönde olduğunu gösteriyor.

Bu sonuç hayli şaşırtıcıydı. Hızla yukarı attığınız bir top nasıl kütleçekim etkisiyle yavaşlıyorsa evrenin genişlemesi de kütleçekim etkisiyle azalmalıydı. Ancak gözlenen durum, yeryüzünden atılan bir topun yavaşlamak yerine daha da hızlanarak gökyüzüne ilerlemesi gibi bir durumdu. Bu alışılmadık durum belki de yanlış



Johan Jarnestad / İsveç Kralliyet Bilimler Akademisi

yorumlanıyordu. Bilim insanları ilk olarak kozmik tozun etkisinden şüphe ettiler. Belki de gözlenen süpernovalar ile bizim aramızdaki uzay boşluğunda bilinen çok daha fazla kozmik toz vardı ve bu toz süpernovaları daha az parlak görmemize neden oluyordu. Belki de Büyük Patlama'ya yakın bir zamanda meydana gelen süpernova patlamalarının kimyasal içeriği daha farklı idi. Neyse ki bu olası senaryoların doğru olup olmadığını belirlemek için yöntemler vardı. Bu olasılıkların parlaklığı azaltma etkisinin, kırmızı kayma miktarıyla artması bekleniyordu. Ancak evrenin genişlemesi aynı ivme ile gerçekleşmemiş, evren önce kütleçekim etkisiyle yavaşlamış sonra da hızlanmış ise, yavaşlama döneminden kalan süpernovalar kozmik toz senaryosunda olduğundan daha parlak olmalıydı. Gökbilimcilerin 10 milyar yıl öncesine ait süpernovaların çok daha parlak olduğunu gözlemleri hem evrenin tarihine ışık tuttu hem de kozmik toz iddiasına son verdi. Perlmutter ve meslektaşları 2000 yılına kadar gözlemledikleri 12 kadar süpernovanın, 2002 yılında Adam Riess başkanlığında kurulan bir diğer ekip ise 25 süpernovanın bilgisini kullanarak kozmik toz hipotezini çürüttü. Gözlemler evrenimizin 5 milyar yıl önce, yaklaşık olarak Güneş sistemimizin oluşmaya başladığı dönemde vites değiştirdiğini, yavaşlayarak genişlerken birden hızlanarak genişlemeye başladığını ortaya koydu. Zaten evren sürekli hızlanarak genişlemiş olsaydı kozmik madde bir araya gelip yıldızları, gökadalaları oluşturmadan dağılırdı.

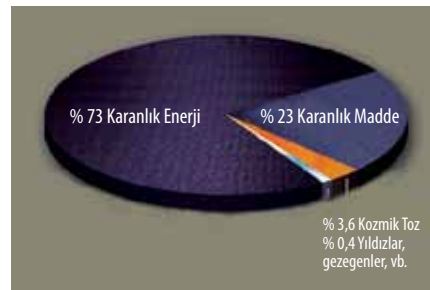
Evrenin genişleme nedeni: Karanlık enerji

Genişlemenin yavaşlayıp hızlanması iki kuvvet arasında bir güç gösterisi. Bu kuvvetlerden biri evrendeki maddeyi bir arada tutmaya çalışan kütleçekimi, diğeri ise karanlık enerji denilen itme kuvveti. Neyin bu itme kuvvetini doğurduğu, karanlık enerjinin ne olduğu henüz bilinmiyor. Einstein'ın statik bir evren modeli elde etmek amacıyla kütleçekim kuvvetini dengelemek için genel görelilik denk-

lemelerine eklediği kozmolojik sabit, şimdilerde evrenin ivmeli genişlemesini açıklamak için kullanılıyor. Karanlık enerjinin en olası adayı olarak gösterilen kozmolojik sabit, uzay-zaman boşluğunu (vakumu) dolduran enerji olarak düşünüldüğü için aynı zamanda parçacık fiziğinin de konusu.

Kuantum mekaniğindeki belirsizlik ilkesine göre, vakum sürekli olarak, çok küçük zaman aralıklarında parçacık/karşı-parçacık çiftlerinin yaratılıp yok oluşuna sahne oluyor. Yani yeni parçacıkların meydana gelip kaybolmasıyla vakumun enerji yoğunluğu da hızlı bir şekilde çoğalıyor, çok geniş bir zaman dilimi göz-

1998 yılında süpernova gözlemleri evrenin ivmelenecek genişlediğini gösteriyordu. Daha sonraki yıllarda daha da ötedeki süpernova gözlemleri evrenimizin 5 milyar yıl önce, yaklaşık Güneş sistemimizin oluşmaya başladığı dönemde, vites değiştirdiğini yani yavaşlayarak genişlerken birden hızlanarak genişlemeye başladığını ortaya koydu. Bu vites değişikliğinin tam olarak hangi anda gerçekleştiği hem evrenimizin kaderine hem de karanlık enerji bilmesecine ışık tutacak.



önüne alındığında, Einstein'ın kozmolojik sabiti gibi sabit mi yoksa zamanla değişiyor mu? Bu sorunun henüz ne kuramsal ne de deneysel bir yanıtı var. Bu arada, karanlık enerji diye bir şey yok, genel görelilik kuramı yeni baştan ele alınıp değiştirilmeli, diyenler de var. Ancak yanıt evrenin kaderiyle yakından ilintili. Evrendeki madde yoğunluğunun başlangıçta çok yüksek olması nedeniyle kütleçekim etkisinin baskın çıkarak genişlemeyi yavaşlattığı, ancak evren genişledikçe madde yoğunluğunun azaldığı ve bu sefer de vakumda niteliği bilinmeyen itici kuvvetin baskın hale gelip evrenin genişleme hızını artırdığı söyleniyor.

Gökbilimsel verilerin öngördüğü vakum enerjisinin yoğunluğu, parçacık fiziğinin standart modelinin öngördüğünden 10^{120} kat daha büyük. Bilinen atomaltı parçacıkların sayısının ikiye katlandığı ve daha fazla parçacığın vakum enerjisine katkı sağladığı süpersimetrik parçacık modelleriyle bile, gökbilimsel gözlemleri açıklamak için gerekli olan vakum enerjisi yoğunluğuna ulaşamıyor. Parçacık fiziğinin fazladan uzay boyutlarını içeren kuramlarının, bildiğimiz alanların dışında cevher denen ve uzay-zamanı kaplayan başka bir alan olduğunu öngören kuramların her biri, karanlık enerjiye farklı bir açıklama getiriyor. Her bir kuramda, karanlık enerji yoğunluğu ve evrenin yavaşlayarak genişleme aşamasından sonra hızlanarak genişlemeye geçiş anı farklı. Karanlık enerji yoğunluğunun zamanla değiştiğini öngören kuramlara göre bu geçiş anı evrenin tarihinin çok daha erken bir dönemine denk geliyor. Son süpernova gözlemleri ise karanlık enerji yoğunluğunun sabit olduğunu ya da ufak değişiklik gösterdiğini söyleyen kuramları desteklerken, bu değerlerin büyük değişiklik gösterdiğini söyleyen kuramları yarış dışı bıraktı.

Kaynaklar

Perlmutter, S., "Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe", *Physics World*, s. 54-59, Nisan 2003.
 Riess, A. G., Turner, M. S., "From Slow Down to Speed Up", *Scientific American*, s. 62-67, Şubat 2004.
 İsveç Kraliyet Bilimler Akademisi Fizik Sınıfı, 2011 Nobel Fizik Ödülü için Bilimsel Bilgi: İvmelenen Evren: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/sciback_fy_en_11.pdf