

# Çoklu Evren Deneyleri

Dr. Mahir E. Ocak [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Çoklu evrenler hipotezinin doğruluğu hakkında fikir edinmeye çalışan araştırmacılar deneylere yönelmeye başladı.

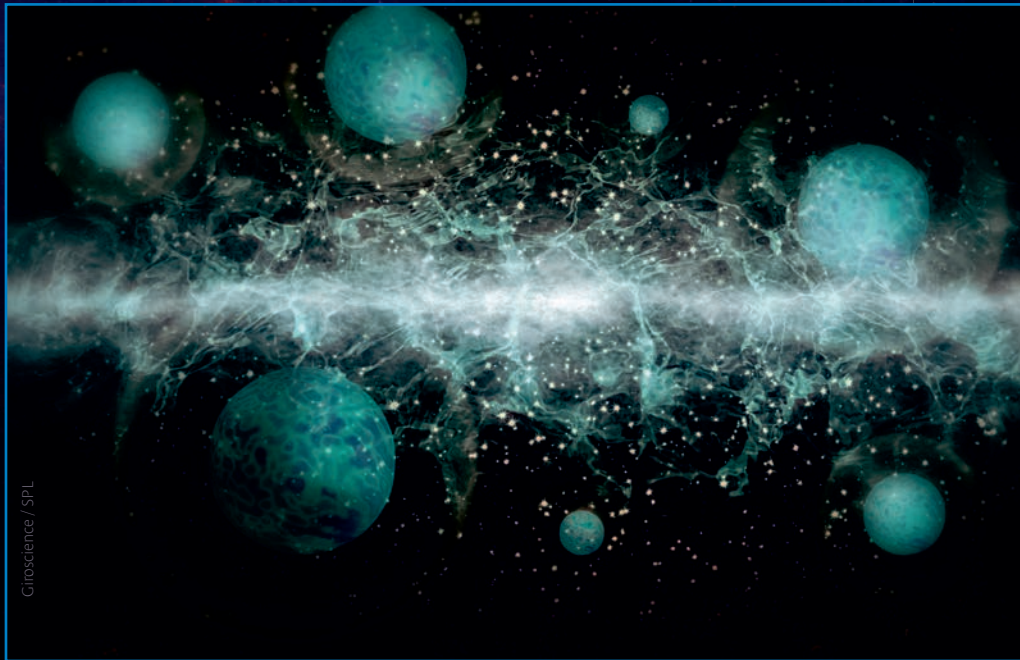
## Büyük Patlama ve Kozmik Şişme

Bir ışık ışınının bir gözlemci tarafından algılanan rengi (frekansı ya da dalga boyu) ışık kaynağı ve gözlemcinin görelî hareketine göre değişir. Işık kaynağı ve gözlemci birbirine yaklaşıyorsa renk maviye (yüksek frekansa ya da kısa dalga boyuna), ışık kaynağı ve gözlemci birbirinden uzaklaşıyorsa renk kırmızıya (düşük frekansa ya da uzun dalga boyuna) kayar. Doppler kayması olarak adlandırılan bu olgu, gök bilimi tarihindeki en büyük keşiflerden birine yol açtı. Edwin Hubble, 1930'ların başlarında yaptığı gözlemler sırasında evrende hangi yöne bakarsanız bakın, istisnasız tüm uzak gök adalardan Dünya'ya ulaşan ışığın kırmızıya kaydığını tespit etti. Bu durum

tüm uzak gök adaların Dünya'dan uzaklaşmakta olduğu anlamına geliyordu.

Albert Einstein genel görelilik kuramının ilk matematiksel formülasyonunu yaptığında, denklemlerin uzayın zamanla genişlediği sonucunu verdiği fark etmişti. Ancak o dönemler

fizikçiler arasında evrenin statik olduğu düşüncesi hâkimdi. Einstein da aynı kanıda olduğu için genel görelilik denklemlerini statik bir evren modeli oluşturacak biçimde düzenlemişti. Hubble'ın gözlemleri ise yaygın kanının aksine evrenin statik olmadığını, uzayın zamanla genişlediğini doğruluyordu.



Groscience/SPL

İlerleyen yıllarda uzayın genişlemesi ile ilgili verilerden ve genel görelilik kuramından yararlanılarak evrenin oluşumunu açıklayan bir "Büyük Patlama" kuramı oluşturuldu.

Büyük Patlama'ya göre bugün gözlemlediğimiz evren yaklaşık 13,8 milyar yıl önce uzayın hızla genişlemeye başlaması sonucunda oluştu. Başlangıçta yoğunluğu ve sıcaklığı sonsuz olan bir tekillik vardı. Zaman ilerledikçe genişlemeyle beraber sıcaklık ve yoğunluk giderek azaldı. Önce protonlar, elektronlar, nötronlar gibi temel parçacıklar; daha sonra atomlar ve moleküller; sonra da yıldızlar, gezegenler ve gök adalar oluşmaya başladı.

Gözlemsel verilerle daha uyumlu hâle getirmek için, Büyük Patlama kuramına 1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında yapılan bilimsel çalışmalardan sonra "kozmetik şişme" eklendi. Kozmik şişme kuramı, Büyük Patlama'dan  $10^{-36}$  saniye sonra başlayıp  $10^{-33}$ - $10^{-32}$  saniye sonra biten dönemde uzayın aşırı hızlı

genişlediğini iddia eder. Kozmik şişme aşamasından sonra da uzayın genişlemesi devam etti ancak daha yavaş bir hızla.

Kozmik şişmenin evrenle ilgili çeşitli sorulara cevap verdiği düşünülüyor. Örneğin evrende hangi yöne bakarsanız bakın benzer bir madde dağılımı görüyorsunuz. Aynı biçimde kozmik art alan ışınımındaki sıcaklık salınımları da çok az. Eğer iddia edildiği gibi Büyük Patlama'dan hemen sonra bir kozmik şişme yaşandıysa bu durumların nedeni, evrenin bugün gözlemleyebildiğimiz kısımlarının şişme öncesinde çok ufak bir hacmin içinde kalması olabilir.

## Çoklu Evrenler Hipotezi

Standart Büyük Patlama modelinin en az anlaşılmuş ve en çok geliştirilmeye ihtiyaç olduğu düşünülen kısmı başlangıçtaki patlamadır. Çoklu evrenler

hipotezi bu dönemde meydana gelen fiziksel süreçlere farklı bir açıklama getirir.

Alan Guth tarafından 1979'da öne sürülen ilk kozmik şişme modelinin fiziksel açıdan sorunlu olduğu anlaşılıyordu: Şişme evresi bugün gözlemlediğimize benzer şekilde sıcak, homojen bir evren oluşturarak sonlanmıyordu. Andrei Linde 1986 yılında bu sorunlara bir çözüm sunan, bugün "kaotik şişme" ya da "sonsuz şişme" olarak adlandırılan hipotezi öne sürdü.

Linde'nin modelinde durmaksızın devam eden bir şişme vardır. Belirli bir anda uzayın neredeyse tamamı ya da tamamı aşırı yüksek bir hızla genişlemeye devam eder. Zaman zaman uzayın belirli bir bölgesindeki şişme "yerel" olarak sonlandığında içi madde ve enerji dolu bir "baloncuk evren" ortaya çıkar. Şişme uzayın belirli bir bölgesinde tek bir kez değil, farklı bölgelerinde ve farklı zamanlarda defalarca kez sonlandığı için, çok

sayıda baloncuk evren vardır. İçinde bulunduğumuz evren de bu baloncuk evrenlerden biridir. Sürekli şişmenin ürettiği evrenler birbirlerinden çok farklı özelliklere -örneğin farklı fiziksel sabitlere- sahip olabilir.

Standart Büyük Patlama modelinde, şişme yaklaşık 13,8 milyar yıl önceki “başlangıçtan” hemen sonra uzayın çok yüksek bir hızla genişlediği çok kısa bir sürece karşılık gelir. Kaotik şişme teorisinde ise şişme sürekli devam eder. Günümüzden yaklaşık 13,8 milyar yıl önceki dönem, süregiden şişmenin “yerel olarak sonlanmasıyla” içinde bulunduğumuz evrenin ortaya çıktığı zamana karşılık gelir.

## Çarpışan Evrenler

İçinde bulunduğumuzdan başka evrenler de varsa, gözlemler ya da deneyler yoluyla varlıkları doğrulanabilir mi? Sürekli şişme nedeniyle farklı evrenler arasındaki mesafe hızla artacağı için birbirleriyle etkileşimleri zayıf bir olasılık. Ancak eğer iki baloncuk evren birbirlerine çok yakın konumlarda ve zamanlarda ortaya çıkmışlarsa, hızla birbirlerinden uzaklaşmadan önce çarpışabilirler. Eğer içinde bulunduğumuz evren de başka evrenlerle çarpışmışsa bu çarpışmaların izlerini kendi evrenimizde arayıp bulmamız

mümkün olabilir. Bu izleri aramak için öne çıkan bir alternatif ise kozmik mikrodalga art alan ışıması.

Kozmik mikrodalga art alan ışımasının varlığı Büyük Patlama modelinin tahminleri arasında yer alır. Büyük Patlama’dan kısa süre sonra evren aşırı derecede sıcak ve yoğundu. Yüksek enerjili fotonlar kararlı atomların oluşmasına izin vermiyordu. Genişlemeyle beraber fotonların enerjisi giderek azaldı. Büyük Patlama’dan yaklaşık 380.000 yıl sonra, sıcaklık kararlı hidrojen atomlarının oluşmasına izin verecek kadar düştü. Bu zamandan sonra Büyük Patlama’dan artakalan ışık serbestçe uzayı dolaşmaya başladı. Kozmik mikrodalga art alan ışıması olarak adlandırılan bu ışımanın sıcaklığı, evrenin genişlemesi nedeniyle günümüzde 2,7 kelvine kadar düştü. Evreni hemen hemen homojen bir biçimde dolduran bu ışımaya, hassas radyoteleskoplarla tespit edilebiliyor.

Matt Johnson ve Hiranya Peiris, 2011 yılında yayımladıkları bir çalışmada, başka evrenlerle yaşanmış çarpışmaların kozmik mikrodalga art alan ışımasında çember biçimli “yara izleri” bırakacağını gösterdi. Araştırmacılar daha sonra kozmik mikrodalga art alan ışımasında bu izleri tespit edebilecek bir algoritma geliştirdi. Sonuçta,



gökyüzünün dört bölgesinde kuramsal tahminlerdeki benzer izler olduğu belirlendi. Ancak kuramsal tahminlerdeki belirsizlikler nedeniyle, bu izlerin kesin olarak başka evrenlerle yaşanmış çarpışmalar sonucu oluştuğu çıkarımı yapılamadı.

## Sahte Boşluk Bozunumu

Alan Guth, kozmik şişme hipotezini ilk ortaya attığında sürecin “sahte boşluk bozunumu” yoluyla gerçekleştiğini öne sürmüştü.

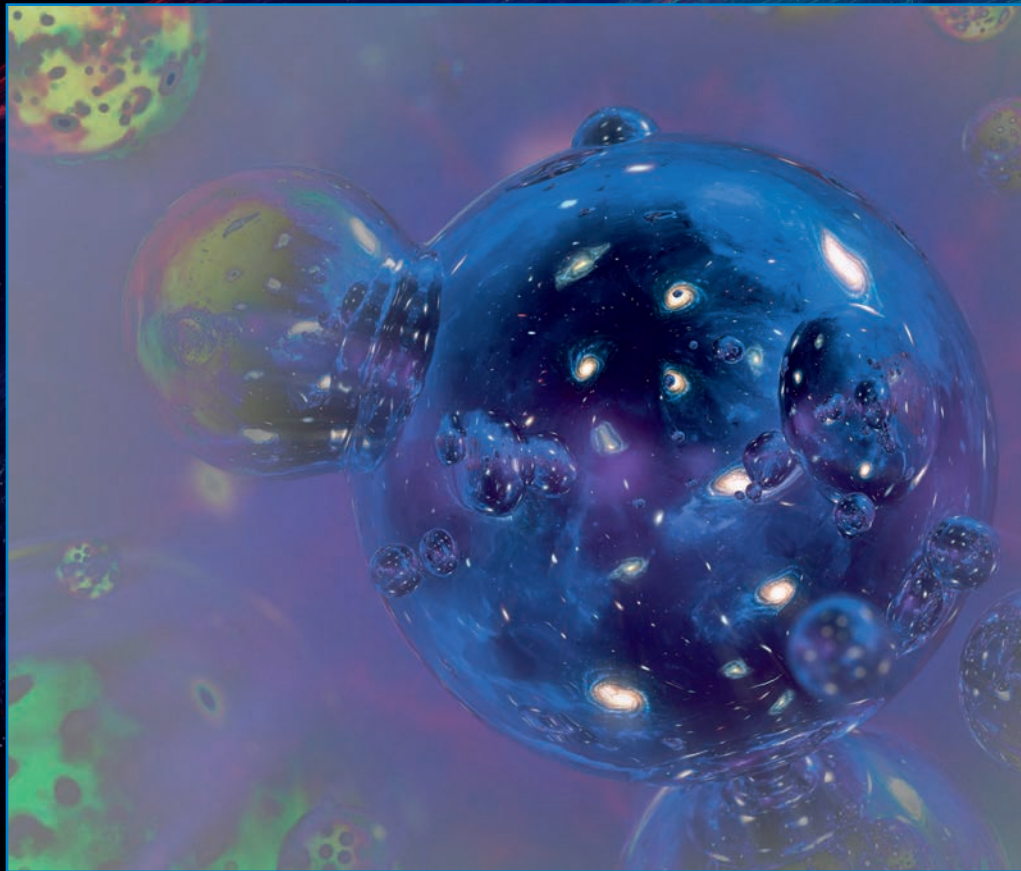
Bir arazi üzerinde farklı derinliklerde çok sayıda çukur olduğunu düşünelim. Bu

çukurlardan birinin dibinde duran bir top olsun. Top hareketsiz olduğu için kinetik enerjisi sıfırdır. Ancak Dünya'nın kütle çekim alanında bulunduğu için potansiyel enerjisi vardır. Peki bu potansiyel enerjinin bir kısmının kinetiğe dönüşmesi ve böylece topun hareket etmeye başlaması mümkün müdür? Topun içinde bulunduğu çukurun dip noktası, kütle çekim potansiyel enerjisi açısından bir "yerel minimum"dur. Çünkü yakın çevresindeki herhangi bir nokta, çukurun dip noktasına kıyasla daha yüksekte bulunduğu için, daha fazla kütle çekim potansiyel enerjisine sahiptir. Dolayısıyla topun çukurun içinde tırmanmaya başlaması enerji gerektiren bir süreçtir. Dışarıdan topa bir miktar enerji verilmediği sürece top çukurun içinde sağa-sola hareket etmez. Ancak topun yerel çevresinde olmasa da daha uzaklarda daha düşük kütle çekim enerjisine sahip noktalar olabilir. Örneğin etraftaki başka bir çukurun dip noktası Dünya'nın merkezine daha yakınsa (daha derindeyse), o noktada bulunan bir cismin kütle çekim potansiyel enerjisi daha düşük olacaktır. Peki öyleyse top, bulunduğu çukurdan daha derin bir çukura geçerek kinetik enerji kazanamaz mı? Klasik fiziğe göre bu imkânsızdır. Çünkü topun önce içinde bulunduğu çukurdan tırmanıp çıkması gerekir ancak bunu gerçekleştirebilecek enerjisi yoktur. Söz konusu kuantum fiziği

olduğunda ise durum değişir. Kuantum fiziği, parçacıkların potansiyel enerji engellerini aşmasının "olasılıklar dâhilinde" olduğunu söyler. Toplar kadar büyük makroskobik parçacıklarla olmasa da temel parçacıklar, atomlar, moleküller ile yapılan deneylerle gözlemlenebilen bu olgu "tünelleme" olarak adlandırılır. Kuantum mekaniği ilkelerine uygun davranan bir top da daha derin bir çukura ulaşmasının önündeki potansiyel enerji engelini tünellemeyle aşabilir. Süreç sonunda, top iki çukurun potansiyel enerjileri arasındaki fark kadar kinetik enerji kazanır ve sağa-sola hareket etmeye başlar. Topun ulaştığı yeni

çukurun dip noktası bir başka yerel minimum olmanın yanı sıra bir "küresel minimum" da (tüm çukurların en derin noktası da) olabilir.

Sahte boşluk bozunumu bir yerel minimumdan bir başka yerel minimuma ya da küresel minimuma tünelleme sürecidir. Boşluk terimi fizikte bir ortamdaki en düşük enerji seviyesini ifade etmek için kullanılır. Ancak adının ima ettiğinin aksine boşluk gerçekten de boş değildir, kuantum alanlarla doludur. Eğer bir boşluk durumu yerel bir minimuma (sahte boşluğa) karşılık geliyorsa, kuantum tünelleme yoluyla bozunarak



bir başka yerel minimuma ya da bir küresel minimuma (gerçek boşluk) dönüşebilir. Bu süreç iki boşluk durumunun enerjileri arasındaki fark kadar enerji açığa çıkarır.

Sahte boşluk bozunumu, bir faz dönüşümü olarak da sınıflandırılır. Bu durumun nedenini anlamak için aşırı soğumuş bir gazı (sıcaklığı yoğunlaşma sıcaklığının altına düşmüş bir gazı) ele alalım. Böyle bir sistem yarı kararlı durumdadır. Genellikle gazın saflığını bozan maddelerin ya da gazın içinde bulunduğu kaptaki kusurların etrafında ilk sıvı damlaları ortaya çıkmaya başlar.

Bu damlacıklar zamanla büyür ve sıvı hâle geçiş tamamlanır. Bir sahte boşluk durumu da aşırı soğumuş gaz gibi yarı karardır. Sahte boşluk bozunumunda bu yarı kararlı durumdan tam kararlı duruma (doğru boşluğa) bir faz dönüşümü gerçekleşir. Bu süreçte, kuantum salınımları aşırı soğuk gazın yoğunlaşması sürecinde safsızlıkların ya da kusurların oynadığına benzer bir rol oynar.

Sahte boşluk bozunumu, içinde bulunduğumuz evrenin ve varsa başka evrenlerin de oluşumunu açıklayabilir: Sahte boşluk bozunumu yoluyla aşırı hızlı bir biçimde giderek genişleyen bir gerçek boşluk baloncuğu oluşur. Sürecin ortaya çıkardığı yüksek miktarda enerji, maddenin üretilmesini sağlar ve evreni ısıtır.

Kuantum alan teorisi kullanılarak yapılan karmaşık hesaplar, sahte boşluk bozunumunun evrenin oluşumunu açıklayabileceğini destekliyor. Ancak bu hesapları kolaylaştırmak amacıyla uygulanan yaklaşımlar sonuçlarda büyük belirsizliklere yol açıyor. Sahte boşluk bozunumu senaryosunu doğrulayan deneysel ya da gözlemsel bir veri ise şu an için bulunmuyor. Kozmolojik sahte boşluk bozunumu, kuramsal yüksek enerji fiziğindeki henüz önemlilerinden biri olmaya devam ediyor.

## Analog Sistemler

Çoklu evrenler hipotezinin deneyler yoluyla test edilmesi açısından önemli gelişmelerden biri 2017'de yaşandı. Yeni Zelanda ve Avustralya'dan bir grup fizikçi, belirli koşullar altında, Bose-Einstein yoğunluklarındaki kuantum faz dönüşümleri ile ilgili denklemlerin evrenin ilk dönemlerindeki sahte boşluk bozunumu ile ilgili denklemlere denk olduğunu gösterdi. Bose-Einstein yoğunlukları, mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda sistemdeki tüm parçacıkların aynı kuantum durumuna çökmesiyle ortaya çıkar. Araştırmacılar, tek bir parçacık gibi davranan bu yoğunluklarda "gerçek boşluk benzeri baloncukların" nasıl oluştuğunu ve nasıl davrandığını inceleyerek çoklu evrenler hipotezinin doğruluğu ya da yanlışlığı hakkında bir fikir edinilebileceğini öne sürdüler. İlerleyen yıllarda bu düşünce başka fizikçilerden de destek gördü. Günümüzde Nottingham Üniversitesinden Silke Weinfurtner önderliğinde bir araya gelen bir grup kuramsal ve deneysel fizikçi, Bose-Einstein yoğunluklarındaki baloncuklar üzerinde çalışmalar yaparak çoklu evrenler hipotezini inceliyor.

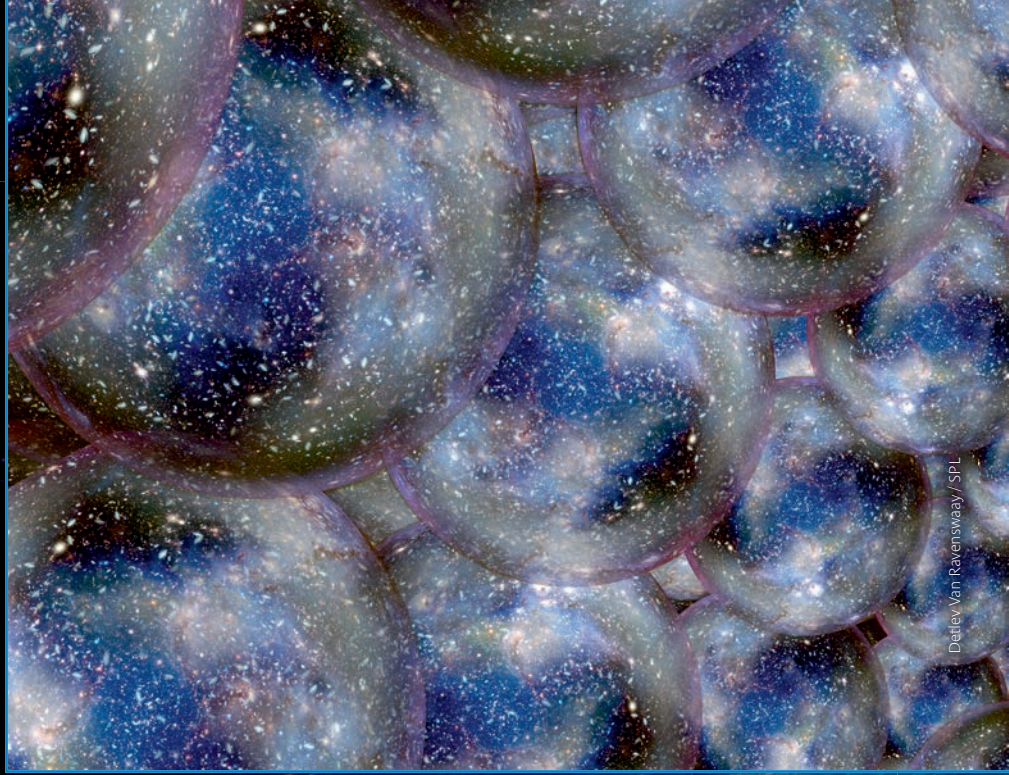
## Deneyler

Dünya genelinde çeşitli araştırma grupları, sahte boşluk bozunumunu deneylerle incelemeye çalışıyor. Bu deneylerin ilk aşaması, bir Bose-Einstein yoğuşunun hazırlanması. İkinci aşaması ise yarı kararlı bir boşluk durumuna getirilen yoğuşukta kuantum tünelleme yoluyla ortaya çıkan ve genişlemeye başlayan gerçek boşluk baloncuklarının gözlemlenmesi.

Sahte boşluk bozunumu ile ilgili deneysel bir çalışma yakın zamanlarda *Nature Physics*'te yayımlandı. Trento Üniversitesinden Gabriele Ferrari önderliğinde çalışmalar yapan bir grup araştırmacı, kuramsal tahminlerle uyumlu sonuçlar elde ettiklerini açıkladı. Araştırmacıların deney düzeneğinde, sodyum atomları içeren bir gazın sıcaklığı yoğuşma derecesinin altına düşürülüyor ve gaz optik kapanlarla bir hacmin içine hapsediliyor. Daha sonra sistemde baloncukların ortaya çıkması gözlemleniyor. Bu deney düzeneği esasen bir boyutlu: Kuantum tünellemeleri sonucu ortaya çıkan baloncuklar ince çizgiler hâlinde ve aşırı ince bir tüpün içinde hareket eder gibi

görülüyor. Bu sürecin, bir boyutlu olması nedeniyle, 13,7 milyar yıl önce meydana geldiği düşünülen sürecin tam anlamıyla bir benzeri olduğu söylenemez. Ancak sürecin düşük boyutlu olması, kuramsal hesapları ve dolayısıyla kuramsal tahminler ile deney sonuçlarının karşılaştırılmasını kolaylaştırıyor. Deney düzeneğindeki bir diğer muhtemel eksiklik de sistemin sıcaklığının görece yüksek olması. Ortaya çıkan baloncuklar sadece saf kuantum mekaniksel süreçlerle değil, termal salınımın tetiklenmesiyle de ortaya çıkıyor olabilir. Ancak araştırmacılar kozmolojik sahte boşluk bozunumunun da termal salınımın sonucu tetiklenebileceğini dolayısıyla bu durumun bir sorun olmadığını düşünüyor.

Cambridge Üniversitesinden Zoran Hadzibabic ve arkadaşları ise tam anlamıyla kozmik sahte boşluk bozunumuna benzer bir sistemde deneyler yapmak için çalışmalara devam ediyor. Şu an için potasyum atomları ile Bose-Einstein yoğuşukları üretilebiliyor. Bir sonraki aşama tamamen rastgele konumlarda ve saf kuantum mekaniksel süreçlerle baloncukların ortaya çıkmasını sağlamak olacak. Böyle bir sistemle ilgili kuramsal hesaplar yapmak, bir boyutlu bir sisteme kıyasla, çok daha zor. Yaklaşık yöntemlerle yapılan hesaplar deney sonuçlarını anlamlandırmayı zorlaştırıyor. Araştırmacılar, kuramsal yaklaşımlardan yararlanarak deney düzeneğindeki potansiyel



hataları düzeltmeyi ve deney sonuçlarından yararlanarak kuramsal hesaplardaki yaklaşımları iyileştirmeyi planlıyor. Eninde sonunda deneylerin ve kuramsal hesapların birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermeye başlaması bekleniyor. Bu durumun gerçekleşmemesi hâlinde ise evrenin ilk dönemleri ile ilgili kuramların gözden geçirilmesi gerekebilir.

Eğer deneyler başarılı olursa, ortaya çıkacak baloncuklar arasındaki etkileşimler incelenerek farklı evrenler arasındaki etkileşimler hakkında da bir fikir edinilebilir. Bu sayede daha önceleri kozmik art alan ışımada tespit edilen potansiyel çarpışma izleri de yeniden değerlendirilebilir ve gerçekten de çarpışma izleri olup olmadıkları hakkında daha net çıkarımlar yapılabilir.

## Sonuç

İçinde bulunduğumuz evrenin çok sayıda evrenden sadece biri olduğu, evrenin oluşumu ve gelişimi ile ilgili bilinenler ve doğru olduğu kabul edilen kuramlardan yola çıkılarak öne sürülmüş bir hipotez. Günümüzde çeşitli araştırma grupları, çoklu evrenlerin oluşmasına yol açtığı düşünülen süreçlerin benzerlerini laboratuvar ortamında gerçeğe dönüştürerek hipotezin doğruluğu hakkında bir fikir edinmeye çalışıyor. Gelecek birkaç sene içinde elde edilecek sonuçların, çoklu evrenler hipotezinin ne ölçüde doğru olduğunu daha iyi anlamamıza yardımcı olması bekleniyor. ■

## Kaynaklar

- Feeney, S. M. ve ark., "First Observational Tests of Eternal Inflation: Analysis Methods and WMAP 7-Year Results", Physical Review D, Cilt 84, s. 43507, 2011.
- Fialko, O. ve ark., "The universe on a table top: engineering quantum decay of a relativistic scalar field from a metastable vacuum", Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, Cilt 50, s. 24003, 2017.
- Frankel, M., "The quantum experiment that could help find evidence of the multiverse", New Scientist, <https://www.newscientist.com/article/mg26034600-700-the-quantum-experiment-that-could-help-find-evidence-of-the-multiverse/>, 11 Ekim 2023.
- Zenesini, A. ve ark., "Observation of false vacuum decay via bubble formation in ferromagnetic superfluids", Nature Physics, <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02345-4>, 2024.