

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

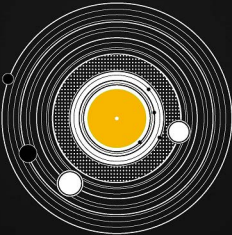
- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

VICTOR J. STENGER

TÜRKÇESİ: BANU ÖZGÖR

TANRI VE ÇOKLU EVREN

İNSANLIĞIN KOZMOSA DAİR GENİŞLEYEN GÖRÜŞÜ



VICTOR J. STENGER

Victor J. Stenger emekli temel parçacık fizikçisi ve 2007 tarihli *New York Times* ok satan kitabı *God: The Failed Hypothesis. How Science Shows That God Does Not Exist* (*Başarısız Hipotez Tanrı*, Aylak Kitap, 2016) dahil olmak üzere, on iki kitabın yazarıdır. Dr. Stenger New Jersey, Bayonne'daki bir Katolik işçi sınıfı mahallesinde büyüdü. Babası Litvanyalı bir gömendi; annesi ise Macar göçmenlerin kızıydı. Devlet okullarında okuyup, 1956'da Newark Mühendislik Koleji'nden (NCE) (şimdiki New Jersey Teknoloji Enstitüsü) fen fakültesi diploması aldı. NCE'deyken, öğrenci gazetesinin editörüydü ve birçok gazetecilik ödülü aldı. Daha sonra Los Angeles'a taşınarak, Hughes Aircraft Şirketi bursuyla, UCLA'den 1959'da fizik dalında fen bilimleri yüksek lisansını, 1963'te de fizik doktorasını aldı. Ardından, Hawaii Üniversitesi fakültesinde göreve başlayarak, 2000'de emekli olup, Colorado'da yaşamaya başladı. Halihazırda, Hawaii Üniversitesi'nde fahri fizik profesörlüğü ile Colorado Üniversitesi'nde misafir felsefe profesörlüğü ünvanlarına sahiptir. Dr. Stenger, Almanya'daki Heidelberg Üniversitesi ile İngiltere'deki Oxford Üniversitesi fakültelerinde misafir pozisyonlarına da sahiptir. Ayrıca İngiltere'deki Rutherford Laboratuvarı'nda, İtalya, Frascati'deki Ulusal Fizik Laboratuvarı'nda ve İtalya'daki Floransa Üniversitesi'nde misafir araştırmacıdır.

BANU ÖZGÜR MİSİRLİ

1974 İstanbul doğumludur. İstek Florya Bilge Kağan Özel Deneme Lisesi'ni tam burslu olarak kazandı. Ardından İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Lise son yazından itibaren, yarı zamanlı işlerde çalıştı. Üniversite son sınıfta bir bilgisayar firmasında çalışmaya başladı. İki yıl İngiltere'de kaldı. Yaklaşık on dört yıl bir hukuki danışmanlık firmasında çalıştı. Çalıştığı firma ve başka yerler için farklı alanlarda çeviriler yaptı. Halen eşiyle Bodrum, Gümüşlük'te yaşamaktadır.

Kitabın özgün adı: God and the Multiverse: Humanity's Expanding View of the Cosmos

GİNKO BİLİM - 12

BİLİM DANIŞMA KURULU

KEREM CANKOÇAK • GÜNSELİ BAYRAM AKÇAPINAR • FERHAT SARI

TANRI ve ÇOKLU EVREN VICTOR J. STENGER

İNSANLIĞIN KOZMOSA DAİR GENİŞLEYEN GÖRÜŞÜ

God and the Multiverse: Humanity's Expanding View of the Cosmos, Victor Stenger,
Amherst, NY: Prometheus Books, 2014. Copyright ● 2014, Victor Stenger.

Tüm hakları saklıdır. Prometheus Books tarafından yayımlanan
İngilizce basımın yetkilendirilmiş çevirisidir.

Ticari Markalar: Bu eserde bahsi geçen ticari markalı isimleri belirtmek amacıyla, her bölümdeki ilk kullanımlar esnasında ürün isimlerinden sonra ® veya ™ sembolleri kullanılmıştır. Bu isimlerin verili bir bölümdeki sonraki kullanımları sembolsüz olarak görünmektedir.

TÜRKÇESİ • BANU ÖZGÜR MISIRLI

KAPAK ve İÇ TASARIM • DEVRİM KOÇLAN

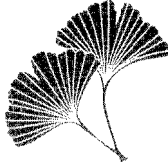
ISBN 978-605-81111-5-8

Birinci Basım Mart 2019

© Ginko Kitap Ltd. Şti. 2018

Baskı: Mutlu Basım Yayın - Bahri Mutlu
Davutpaşa Cad. Güven İş Merkezi C Blok No. 256 Topkapı / İst.
Sertifika No: 18569

Ginko: Osmanağa Mah. Ali Suavi Sk. No: 10 D. 3 Kadıköy / İstanbul • Sertifika No: 35054
T: 0216 449 20 99 • F: 0216 449 21 00
www.ginkokitap.com • posta@ginkokitap.com



VICTOR J. STENGER

TANRI ve ÇOKLU EVREN

İNSANLIĞIN KOZMOSA DAİR GENİŞLEYEN GÖRÜŞÜ

TÜRKÇESİ: BANU ÖZGÜR MİSİRLİ



GINKO BİLİM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	07
GİRİŞ	09
ÖNSÖZ	11
I - MİTTEN BİLİME	21
II - YENİ KOZMOSA DOĞRU	49
III - İNSANOĞLUNUN YARDIMSIZ GÖRÜŞÜNÜN ÖTESİ	75
IV - DÜŞLENEMEZE KISA BAKIŞLAR	81
V - ISI, IŞIK ve ATOM	95
VI - İKİNCİ FİZİK DEVRİMİ	109
VII - ADA EVRENLER	131
VIII - DİNAMİK BİR KOZMOS	141
IX - ÇEKİRDEK KOZMOLOJİSİ	163
X - BÜYÜK PATLAMANIN KALINTILARI	179
XI - PARÇACIKLAR ve KOZMOS	201
XII - ŞİŞME	231
XIII - YUKARI DÜŞMEK	255
XIV - EVRENİ MODELLEMEK	281
XV - SONSUZ ÇOKLU EVREN	301
XVI - YAŞAM ve TANRI	339
KAYNAKÇA	371
DİZİN	392

TEŞEKKÜR

Yazar bu metin konusunda destek veren birçok insana müteşekkirdir. Özellikle de, titiz çoklu okumaları, birçok kritik düzeltmeleri ve başka kelimelerle ifade etme tavsiyelerinden dolayı, Bob Zannelli, Don McGee ile Brent Meeker'ı ayrı tutmalıyım. Onların ve Google tartışma grubu atvoid'un ("Atomlar ve Boşluk") öteki üyelerinin, önceki kitaplarımda, sayısız makalelerde ve meydana getirdiğim web günlüklerinde bana sürekli yardımları dokunmuştur. Bu grup, Greg Bart, Lawrence Crowell, Anne O'Reilly, Kerr Regier, Christopher Savage, Brian Stilson, Pete Stewart, Phil Thrift, Jim Wyman ve Roahn Wynar'ı içermektedir. Ayrıca yazar Kim Clark, fizikçi Taner Edis ve matematikçi James Lindsay'in yorumları için de minnetarım.

Ayrıca, paha biçilmez yorumlarda bulunmuş olan birçok profesyonel astronom, fizikçi ve kozmoloğa da teşekkür ederim. Astronom Jay Pasachoff'a, metni titizlikle okuyup, birçok düzeltme yaptığı için özellikle minnettarım. Derin uzmanlığa sahip oldukları, metnin belirli kısımları için Sean Carroll, Alan Guth, Lawrence Krauss, Andrei Linde, Robert Nemiroff, Brent Tully ve Alex Vilenkin tarafından da değişiklikler önerilmiştir.

Son olarak, Jonathan Kurtz, Steven L. Mitchell ile onların Prometheus Books'taki özverili, yetenekli ekibi tarafından verilen destekten bir kez daha, fazlasıyla yararlandım.

GİRİŞ

Temmuz 2012’de, *God and the Atom: From Democritus to the Higgs Boson* (Tanrı ve Atom: Demokritos’tan Higgs Bozonuna) adlı bir kitabın ilk taslak metnini yayıncıya göndermemin ardından, Cenevre’deki Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi’nde (CERN), dünyanın her yerinde manşetlere çıkan çarpıcı bir basın toplantısı düzenlendi. Her biri yaklaşık bir milyar dolara mal olan ve düzinelerce milletten binlerce bilim insanının dahil olduğu iki deneyde, Higgs bozonu adı verilen temel bir parçacığın varlığının, yüksek deneysel anlamlılıkla, bağımsız olarak doğrulanmış olduğu duyuruldu.

Bu Higgs bozonu, öteki temel parçacıkların kütle elde ettiği mekanizmayı sağlamak üzere, kırk sekiz yıl önce ileri sürülmüştü. Onun keşfi, 1970’lerde geliştirilen temel parçacıkların standart modelini doğruladı. O zamandan beri, standart model, atomaltı maddenin temel bileşenlerini ve bunların fiziksel evreni inşa etmek için etkileştikleri kuvvetleri başarıyla betimlemiştir. Standart modelin deneysel bir ihlali henüz bildirilmemiştir.

Neyse ki, Higgs keşfinin tam bir hikâyesini, 2013’te yayınlanan *God and the Atom*’a (Tanrı ve Atom) sokmayı başardım.

Mart 2014’te, bu hikâye tekrarlandığında, bu kitabın metninin ilk taslağını yayıncıya teslim etmiştim. Harvard’da bir basın toplantısı, dünya çapında benzer ilgiyi çekerek, her yerde baş sayfaya çıktı. Güney Kutbu’nda çalışan uluslararası bir işbirliği, evren 13,8 milyar yıl önce ilk meydana geldiğinde, uzay zamandaki kuantum dalgalanmaları tarafından üretilen kütleçekimsel dalgalar için bir sinyal olarak yorumlanan “B modu” adı verilen kozmik mikrodalga ardalanındaki bir polarizasyon tipini gözlemlemiş olduklarını duyurdu.

Basında çıkan çoğu haberde, sonucun geçici olduğundan, diğer tüm açıklamaların elenmemiş olduğundan ve sonucun bağımsız olarak doğrulanmak üzere beklediğinden bahsedilmedi.

Bununla birlikte, eğer gözlemler bu testleri geçerse, çıkarımı çok önemli olur.

İlk evrendeki B modu polarizasyon, *şişme* adı verilen, ilk 1980’de ileri sürülen bir kozmolojik model tarafından tahmin edilmişti. Şişmeye göre, meydana geldikten sonra bir saniyenin ilk ufacık kısmı sırasında, evren pek çok kat katlanarak genişledi. Model, kozmolojideki birtakım önemli problemleri çözdü, o zamandan beri de, onu çürütebilecek birçok zorlu testi geçmiştir.

Şişme, evrenimizin yalnız olmadığını, *çoklu evren* olarak isimlendirilen şeyin içinde, sınırsız sayıdaki başka evrenin yalnızca biri olduğunu kesin olarak ifade eder. Bu çoklu evren, uzay ve zamanda sonsuz bir şekilde var olmaktadır. Başlangıca, yaratılışa sahip değildir. Daima var olmuş ve var olacaktır.

Bir kez daha, bu keşfi, kozmik mikrodalga ardalanının (CMB) ayrıntılı bir tartışmasını içeren bu kitaba dahil edebildim. Uzaydaki ve Yeryüzündeki olağanüstü araçlarla yapılan CMB’nin kesin ölçümlerinin, nasıl evrenimizin ilk anlarına ve onun günümüze kadarki evrimine dair derin bir bilgi sağladığını göreceğiz.

Tanrı ve Çoklu Evren’in amacı, insanlar ilk kez gökyüzüne bakıp, orada ne olduğunu sorduklarından itibaren, nasıl binyıllar boyunca uçsuz bucaksız evrenimizin halihazırdaki resminin ve çoklu evrenlerin büyük olasılığının geliştiğini göstermektir. Doğaüstü yaratılışa dair antik düşüncenin, sonunda tamamen doğal süreçlerle açıklanabilir hale gelen şeyi açıklamak üzere nasıl doğduğunu inceleyeceğiz.

Hikâye zorunlu olarak uzun, bu nedenle okuyucudan sabırlı olup, adım adım kronolojik ilerlemeyi; insanlığın kozmosa bakışı, yukarıda gökler ve aşağıda sular olan düz bir Yeryüzünden, her biri yüz milyar yıldız ve yaşamı sürdürebilir sayısız gezegene sahip yüz milyar galaksiye, ardından da sınırsız ve sonsuz bir çoklu evrene doğru genişledikçe takip etmesi istenmektedir.

ÖNSÖZ

2013 tarihli kitabım *God and the Atom*'da (Tanrı ve Atom), evrenin atomlar ve boşluktan ibaret olduğuna, tanrılar, ruhlar ya da herhangi bir tür doğaüstünün hiçbir role sahip olmadığına dair antik düşüncenin tarihinin izini sürdüm. Hikâyeye, 2500 yıl önce Yunan filozofları Leukippos (M.Ö. Beşinci yüzyıl) ve Demokritos'la (yaklaşık M.Ö. 460-370) başlayıp, şans eseri ben metni tam da bitirirken gerçekleşen Higgs bozonunun 2012'de gözlenmesiyle bitirdim. Bu, 1970'lerden beri yürürlükte olan temel parçacıkların standart modeli için nihai doğrulamayı sağladı ve o zamandan itibaren tüm verilerle uyumuştur.

Bu, onun son söz olduğu anlamına gelmez. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın enerji olarak şimdi iki katına çıkartılmasıyla, belki de standart modelin ötesinde yatan, maddenin doğasına dair anlayışımızda bir sonraki seviyeye geçmeyi sabırsızlıkla bekleyebiliriz.

Bu kitapta, çok ufaktan çok büyüğe geçip, insanlığın kozmosa bakışının son on bin yıl boyunca, yukarıda gök ve aşağıda yeraltı dünyası olan düz bir Yeryüzünün ilkel resminden, gece gökyüzünü aydınlatan yıldızlardan oluşan yüz milyar galaksinin bugünkü görkemli dizilişine nasıl dramatik biçimde değiştiğini incelemekteyim.

Evrenimizin sayısız başka evrenden yalnızca biri olduğu ve ne bir başlangıcı ne de sonu olduğu, sınırsız ve sonsuz bir *çoklu evrenin* ortak bir resmini elde etmek için parçacık fiziğinin ve kozmolojinin dallarının nasıl işbirliği yapmış olduklarını keşfedeceğiz.

Elbette, bizimkinin dışındaki öteki evrenlerin varlığı deneysel olarak saptanmamıştır; en azından henüz. Çoklu evrenin doğrulanmasının, olasılık alanının ötesinde olmadığını göreceğiz.

Çoklu evren hipotezinin halihazırdaki bilimsel saygınlığı göz önüne alındığında, felsefeciler ve teologlar böylesine köklü bir düşüncenin çıkarımlarını öylece oturup yoksayamazlar. Bütün büyük dini geleneklerin, yaratıcı bir tanrı kavramlarını, sonsuz ve

yaratılmamış olan bir çoklu evrenle uzlaştırmada çok zorlanmaları muhtemeldir.

Çoklu evren olmadan bile, kendi, görünür evrenimizde hayatı destekleyebilir katrilyonlarca gezegen bulunmaktadır. Teistler bunu, insanların Tanrı'nın özel yaratılışı olduğuna dair inançlarıyla nasıl bağdaştıracaklar?

İlk bölümlerde öğreneceğimiz gibi, antik Yunan astronomların yapmış olduğu gözlemler, bir ya da iki istisnaıyla, küre biçimindeki bir Yeryüzünün etrafında dönen güneş, ay, gezegenler ve yıldızların bir resmini geliştirmelerine yol açmıştır. Matematiğin kayda değer başarısı sayesinde, Miladi Tarih'in ikinci yüzyılında İskenderiyeli astronom Klaudios Ptolemaios güneş sisteminin karmaşık bir yer merkezli modelini geliştirdi. Modeli, antik çağlardakilerin bile tam daireler izlemeyip, gökyüzünde dolanıp durduklarını gördükleri gezegenlerin hareketlerinin kesin tahminini mümkün kıldı.

Bu model, Polonyalı astronom ve Kilise'nin katedral rahibi Mikolaj Kopernik'in (1473-1543) Yeryüzünün güneşin etrafında dönen yalnızca başka bir gezegen olduğunu ileri sürdüğü on altıncı yüzyıla kadar ayakta kaldı.¹ Bu, aslen Sisamlı Aristarkhos (yaklaşık M.Ö. 310-230) tarafından Miladi Tarih'ten önce üçüncü yüzyılda ortaya konulan ve Floransalı fizikçi Galileo Galilei'nin (1564-1642) yeni icat edilmiş teleskobu göklere çevirdiği on yedinci yüzyılın başında nihayet doğrulanan düzeni yeniden canlandırdı. Bu olayları ayrıntılı olarak ele alıp, gerçek sonuçlarının tam da yaygın olarak düşünüldüğü gibi olmadığını göstereceğiz.

Galileo ayrıca, belki de tüm zamanların en büyük bilimsel aklı, Isaac Newton (1642-1727) tarafından bir nesil sonra İngiltere'de bütünüyle geliştirilecek olan yeni bilimi, parçacık mekaniğini de buldu.

Yeni bilimin başarısının merkezinde, en azından Kilise dogmasına bağlı olmayan bilginler arasında, fiziksel gerçeklik olarak görülecek olanın nihai hakemi olarak, kutsal otoritenin gözlemle değiştirilmesi bulunuyordu. Bu deneycilik doktrini, ilk Francis Bacon (1561-

1 Kopernik'in harika bir güncel biyografisi için, bkz. Dava Sobel, *A More Perfect Heaven: How Copernicus Revolutionized the Cosmos (Daha Kutsalsuz bir Gök: Kopernik Kozmosu Nasıl Kökten Değiştirdi?)* (New York: Walker, 2011).

1626) tarafından ortaya atılıp, John Locke (1632-1704) tarafından desteklenerek, takip eden bilimsel çağ için standartları belirleyen enstitünün, yani tahta geri döndükten kısa süre sonra 1660'da II. Charles tarafından ayrıcalık verilen the Royal Society of London for Improving Natural Knowledge'ın çalışma ilkesi haline geldi. (Londra Kraliyet Doğal Bilgiyi İyileştirme Derneği).

Bilimsel devrim devam ederken, teleskoplar istikrarlı bir şekilde daha güçlü hale geldi ve güneşin Samanyolu adı verilen bir yıldızlar galaksisinde yalnızca bir başka yıldız olduğu anlaşıldı. Aslen Newton tarafından icat edilen, dağ tepelerine yerleştirilen büyük yansıtımlı teleskoplar sayesinde, yirminci yüzyıl kozmosa dair bilgilerimizde inanılmaz ilerlemeler gördü. İçinde bulunduğu Samanyolu'nun, her biri 100 milyar yıldız içeren ve sayılarının 100 milyar civarında olduğu artık bilinen, gözlemlenebilir evrendeki galaksilerden yalnızca biri olduğu keşfedildi.

Aynı derecede şaşırtıcı olan, birbirine olan uzaklıklarla artan hızlarda birbirinden uzaklaşan çoğu galaksiyle birlikte, evrenin genişlemekte olduğuna dair keşifti. Bu, evrenin, halihazırdaki tahminimizle 13,8 milyar yıl önce meydana gelen *Büyük Patlama* denilen bir patlamanın kalıntısı olduğunu akla getirdi.

Gözlemlenebilir evrenin astronomlarca hesaplanan büyüklüğü, 1900'de 1000 ışık yılı civarından, 2000'de 46,5 milyar ışık yılına ulaştı.² O mesafeden alabileceğimiz, ışık hızında yol alan herhangi bir sinyal, Büyük Patlamanın başlangıcından gelmiş olacaktır. Daha az bir mesafeden gelen bir sinyal, daha sonra yayınlanmıştır. Daha büyük bir mesafeden gelen herhangi bir sinyal, evrenin yaşı içerisinde bize ulaşamayacaktır. Böyle bir sinyal, bizim *ışık ufku* muzun ötesinde olacaktır. Ancak bunun, o mesafenin ötesinde hiçbir şey olmadığı anlamına gelmediği unutulmamalıdır.

Yirminci yüzyıl sona ererken, kozmologlar, evren ortaya çıktıktan sonraki bir saniyenin ufakık bir kısmında, kısa bir süreliğine pek çok kat katlanarak genişlediğine dair ikna edici kanıtlar toplamışlardı. Sonuç olarak, o esas patlamadan kaynaklanan evrenin bütünü, şimdi ufkumuz içerisindeki kısımdan çok daha büyüktür, belki de 10^{100} 'lerce kat daha büyüktür.

2 J. Richard Gott III ve ark., "A Map of the Universe," (Evrenin Bir Haritası) *Astrophysical Journal* 624, no. 2 (2008): 463.

Sanki bu yeterince akıllara durgunluk verici değilmış gibi, bahsedildiği gibi, şimdi içinde yaşadığımız bu uçsuz bucaksız evrenin, muhtemelen süresiz olarak uzayda ve sonsuz bir şekilde hem geçmişte hem de gelecekte uzanan bir çoklu evren içerisindeki sonsuz sayıda başka evrenin yalnızca biri olduğuna dair güçlü işaretlere sahibiz. Eğer varsa, başlangıcı ya da sonu olmayacaktır.

Bu sonuçlar, rastgele tahminler değildir, dağ tepeleri, uzay ve yeraltı hakkında giderek artan ve hassaslaşan niceliksel gözlemlere dayanmaktadır. Bilginin ana kaynakları, astronomik nesnelerden yayınlanan elektromanyetik ışınının parçacıkları, fotonlar olmuştur. Bunlar, yalnızca gözlerimizin hassas olduğu tayfın içinde değil, görünür aralığı büyük ölçüde aşan enerjideki 10^{20} ya da daha fazla katların aralığının üzerinde de gözlemlenirler.

Ve şimdi, gelişmekte olan nötrino astronomisi alanı, evrende bir başka pencere açmak üzere, foton astronomisine katılmaktadır. Nötrinolar çok zayıf biçimde etkileşip, maddenin büyük kalınlığından sanki orada yokmuş gibi geçebilirler. Fotonlar için erişilemez olan kozmosla ilgili süreçleri ve ayrıntıları ortaya çıkarmayı vaat ederler.

Bütün bu gözlemsel yöntemler, evren bilгимizin muhteşem zenginleşmesine katkıda bulunurken, belki de en önemlisi, Büyük Patlamadan geriye kalan ışınım, kozmik mikrodalga ardalanındaki (CMB: Cosmic Microwave Background) gökyüzü boyunca ufak eşyönsüzlük [anizotropi] ölçümleriyle kazanılan inanılmaz bilgi zenginliği olmuştur. Bunlar, nihayetinde bugün gördüğümüz galaksileri oluşturan maddenin karmaşık yapısına yol açan, uzaydaki kuantum dalgalanmaları tarafından, evrenin en başında üretilen ses dalgalarının tayfını ortaya çıkarırlar. Büyük Patlama gerçekten bir gürültü yaptı. Kötü akustiğe sahip bir salonda çalınmakta olan ham bir müzik aletinin temel tonlarını ve armoniklerini sergileyen CMB verileri, kozmologların yalnızca o aletin özelliklerini değil, salonun kendisinin yapısına dair bir şeyleri de belirlemelerini sağladılar.

Bunlardan ve başka gözlemlerden, parlak maddenin, yani gözle ya da aletle gökyüzünde gördüğümüz yıldızlar ve sıcak gazın, evrenimizin toplam kütesinin ancak %0,5'ini oluşturduğu belirlenmiştir. Başka bir %4,5 aynı tanıdık atomlardan yapılmış, gezegenler ve ölü yıldızlar gibi parlak olmayan maddedir.

İlaveten, %26, atomlardan ya da onları oluşturan temel parçacıklardan farklı bir şeyden meydana gelmektedir. *Kara madde* adı verilmiştir ve tanımlanamamış olarak kalmaktadır. Geri kalan evrenin baskın %69'u, süresiz olarak geleceğe doğru devam ederek, evreni giderek artan biçimde seyreltik yapacak, evrenin hızlanarak genişlemesiyle sonuçlanan, daha da gizemli bir *kara enerjidir*.

Bugün *atom* terimi, geleneksel olarak kimyasal periyodik tablonun elementlerini ifade etmektedir. Bununla birlikte, eğer terimi antik Yunanlar tarafından tanımlandığı gibi, evrenin temel indirgenemez (“kesilemez”) maddesel malzemesi anlamında alırsak, o her ne ise, bu durumda onların doğal dünyaya dair “atomlar ve boşluk” şeklindeki betimlemesini sürdürebiliriz. Boşluk, şu halde, atomlar arasındaki boş uzayı tanımlar.

Kara “enerji”nin varlığının maddi olmayan herhangi bir şeyi ifade etmediğini unutmayın, çünkü hâlâ maddeyi karakterize eden eylemsizliğin ve kütleçekimin özelliklerini sergilemektedir. Enerji, maddenin özelliklerinden biridir ve ayrı bir şey değildir.

Ancak bu kitap bir parçacık fizikçisinin kozmoloji tarihi sunumundan fazlasıdır. İnsanlar etraflarındaki dünyanın üzerine düşündükleri ilk günlerden beri, gördükleri için açıklamalar aramışlardır. Çok yakın zamana kadar, sihirden ve batıl inançtan uzak güvenilir bir resim oluşturmak için gereken hem fiziksel, hem de zihinsel araçlardan yoksundular. Birçok olayın ardındaki asıl kuvvetleri görmediklerinden, bu olayları, tanıdık ancak kısaca görünmez ve gördükleri ya da rüzgâr gibi hissedebildikleri kuvvetlerden daha güçlü olmaları nedeniyle mitleştirdiler.

Kozmos söz konusu olduğunda, gökyüzü “gökler”di ve gökcisimlerinin kesin hareketleri, Yeryüzündeki olayların öngörülemezliğiyle tamamen çelişiyordu, bu da onların tanrılar ya da tanrıların kontrolü altında olduklarını akla getiriyordu. Tarihin büyük kısmında, astronomi ile astroloji bağlantılı faaliyetlerdi. Astronomi, Nil taşkını gibi olayların faydalı bir şekilde öngörülebildiği dakik bir saat sağlıyordu. Astroloji, ne zaman savaşa gireceği gibi yararsız öngörüler sağlıyordu.

Kopernik, Galileo ve Newton, dünyanın daha az insan merkezli bir modelini bize verdi. Ancak takip eden yüzyıllar boyunca

ca, çok yakın zamana kadar, çoğu bilim insanı, hâlâ her şeyin arkasında ilahi bir takdir ihtiyacı görmekteydi.

Bu kitapta, bugünkü kozmolojinin dikkate değer başarısına yol açan olayları ve başka birçok evrenin de var olduğuna dair harikulade beklenti de dahil olmak üzere, şimdi evrenimizi tasvir eden resmi betimlemekteyim. İnsanlığın büyük çoğunluğu, bu bulguların büyük kısmını takdir etmemektedir. Umarım onların erişilebilirliğine ilave bir katkı yapabilirim.

Kendini duyularımıza ve aygıtlarımıza sunan evrenin, tamamen doğal olanlar dışındaki kuvvetlerin ortaya konmasına hiçbir gerek kalmadan nasıl betimlenebileceğini göstereceğim. Bu sonuç, etrafımızda, Yeryüzündeki yaşamda ve gökyüzündeki uçsuz bucaksız galaktik yapılarda gördüğümüz bütün karmaşıklığın, bir yüce gücün eliyle olması dışında nasıl meydana gelmiş olabileceğini anlayamadıklarını beyan edenlerce reddedilmektedir. Böylece yaratıcı bir Tanrı'nın var olması gerektiği sonucuna varmaktadırlar.

Kitap boyunca birçok örnekte göreceğimiz gibi, karmaşıklık-tan çıkan bu argüman, boşlukların Tanrısı argümanından ibarettir, sıkça daha kabaca “cehaletten kaynaklanan argüman” olarak adlandırılır. Sırf belirli bir yazar şahsi olarak bir fenomenin doğal olarak nasıl açıklanabileceğini anlayamıyor diye, doğaüstü dışında hiçbir açıklamanın mümkün olmadığı sonucu çıkmaz.

Öte yandan, bilimin işi olaylara doğal açıklamalar bulmaktır, çünkü o açıklamalar sıklıkla insan hayatına faydalı olmaktadır. Bugünün gençliği, elektromanyetik teoremin bir uygulaması olan akıllı telefon olmadan nerede olurdu? Gerçekten de, elektriksiz bir hayatı hayal edin. Aslında, hayal etmenize gerek yok; yalnızca tarihe bakın.

Belki de pratik uygulamalardan daha önemlisi, daha fazla bilim, aşırı olduğu kadar ılımlı tüm dinlere özgü büyümlü düşünmenin batışını gösterebilir, daha az insan, hayatlarına hükmedecek bu değersiz ve tehlikeli yola bel bağlayacaktır. İnsanlığın gelecekte hayatta kalması, kendisini büyümlü düşünmeden kurtarmasına bağlıdır.

Fiziksel dünyaya dair bugünkü resmimiz, temel parçacık fiziksinin standart modeli ve çeşitli kozmolojik modeller tarafından iyi betimlenmektedir. Elbette, o çerçeve içerisinde her fenomen

kanıtlanmış bir açıklamaya sahip değildir. Hâlâ her şeyi bilmiyoruz, bilmeyeceğiz de. Bu kitaptaki çoğu şeyin de, eninde sonunda, gelecekte eskimiş olacağından emin olabilirsiniz. Tek yapabileceğimiz, bugüne kadar yapılmış gözlemler için makul modeller oluşturmaktır. Çünkü bu doğal modeller daha cimridir yani doğaüstü alternatiflerden daha az varsayım gerektirmektedir, uygulanabilirliklerinin ta kendisi, bilimin tanrılar ve her türlü ruhlar için destek sağladığına dair her iddiayı çürütmeye yetmektedir.

Bu kitap boyunca, ana vurgu bilim üzerindedir, bilim içerisinde ise, teoriden çok, gözlem ve deney üzerindedir. Kendi geçmişim, deneysel temel parçacık fiziği ve astrofiziği konusunda öğretmek ve araştırma yaparak kırk yıl geçirmiş olan emekli bir fizik profesörüne dairdir.

Bu bakımdan, çoğu oldukça harika olan ve sıkça atıfta bulunduğum popüler kitaplar yazan, çoğunlukla teorisyen olan profesyonel fizikçiler ve kozmologların üstünlüğünden ayrılmaktayım. Onların, bu şekliyle eğlenceli olan kitaplarında rastlayacağınız sayısız teorik tahminden genellikle kaçınmaya çalışıp, mümkün olduğunca verilerin söylediklerine sadık kalırım.

Elbette, teoriyle deney arasında yakın bir bağ olduğundan, birtakım teorik yorumlamalardan kaçınmam. Ancak bunu yaptığım yerlerde, tüm gözlemlerle tutarlı olan en basit önermeleri seçmeye ve verilerin gerektirmediği en az hipotezi kullanmaya çalışırım. Özellikle de, bir teori, taraftarlarının çözümler ortaya koyan art arda makaleler üretmesini gerektiren mantıksal ya da matematiksel probleme sahip olduğunda, kendimi üzmem. O, onların işi, benim değil. Eğer denklemlerinden biri sonsuzluğa gidiyorsa, o halde denklem yanlıştır, çünkü göreceğimiz gibi, deneysel dünyada sonsuzluklar yoktur. Buna, pek çok insanın hâlâ evrenimizi yumurtladığını sandığı sözde tekillik de dahildir.

Teorik fizikçiler ve matematikçiler, anlaşılır biçimde matematiğin harikalarına ve pratik kullanıma tabi tutulduğunda nasıl şaşırtıcı bir şekilde hatta “mantıksızca” başarılı olduğuna hayran kalmaktadırlar. Bahsedeceğim birtakım dikkate değer istisnalarla birlikte, bu onların, teorilerindeki denklemlerini ve öteki matematiksel nesnelerini, nihai gerçekliğin asıl unsurları olarak görmelerine yol açar. İlk Platon (M.Ö. 427-347) tarafından ileri sürülen, gözlemlerimizin basitçe, ideal “formlar” halinde var olan hakiki

gerçekliğin gölgeleri ya da çarpıtmaları olduğu kavramı benimsemektedirler.

Ben aynı fikirde değilim. Baştan sona yaklaşımım, gözlemin dünya hakkındaki tek bilgi kaynağımız olduğu yönündedir. Bu durumda formüle ettiğimiz modeller, gözlemlerimizi rasyonalize etme ve pratik kullanıma tabi tutma çabalarıdır. Bu modeller matematiksel soyutlamalar içerebilir ancak bu soyutlamaların, duyularımızla ve bilimsel aygıtlarımızla tespit ettiğimiz ötesinde yatan nihai gerçekliğin unsurları her ne olabilirse onlarla doğrudan herhangi bir şekilde bağlantılı olduklarını varsaymak bir hatadır. Elbette, modellerin başarılı olması için, gerçeklikle bir bağlantılarının olması gerekir. Ancak o bağlantının ne olabileceğini bilmemizin hiçbir yolu yoktur. Ayrıca, sürekli olarak yeni ve daha iyi modellerle değiştirilmektedirler, bu durumda mutlak gerçekliği temsil edebilmeleri nasıl mümkün olabilir?

Modellerindeki nesnelerle ölçtükleri nicelikler arasında dikkatli bir ayırım yapmalıyız, ki maalesef bilim insanlarının çoğunluğu bunu yapmamaktadır. Buna, uzay, zaman, kütle ve enerji gibi en temel kavramlarımız dahildir. Asıl bilimsel uygulamada, bunların hepsi *işlevsel olarak*, yani dikkatlice saptanmış, tekrarlanabilir ölçüm yöntemleri açısından tanımlanır. Ve böylece zaman bir saatin üzerinde okuduğunuz şeydir. Sıcaklık, bir termometrenin üzerinde okuduğunuz şeydir. Bütün bu kavramlar, gözlemlerimizi nicelemek için getirilmiş insan düzenekleridir. Yabancı bir tür, farklı tanımlamalar yapabilir. Ne onlarınkinin, ne de bizimkinin, gerçekliğin unsurlarıyla birebir örtüşmesi muhtemeldir.

Hakkında hiçbir kanıtın olmadığı ilahi vahiyden başka, nihai olarak gerçek olanı belirleyebileceğimiz hiçbir yöntem bilmiyorum. Elimizden gelen, giderek iyileşen gözlemler yapıp, onları daha da kesin modellerle betimlemektir.

İnsan icatları olsalar da, fizik modelleri öznel değildir. Nesnel gözlemlerle uyuşmazlarsa, terk edilirler. Bu bakımdan, fizik modelleri, toplumsal inşacı postmodernizmin genellikle artık kullanılmayan felsefesinin bir zamanlar bize söylemeye çalıştığı gibi, toplumsal olarak oluşturulmuş değildir.³ Sıklıkla sözlerim,

3 H. M. Collins, "Introduction: Stages in the Empirical Program of Relativism," (Giriş: Göreliliğin Deneyisel Programındaki Aşamalar) *Social Studies*

herhangi bir alıntı yapılmadan, yanlış aktarılmakta; “Modellerle gerçeklik arasında hiçbir bağlantı yoktur” demiş olduğum gibi. Bunu elimden geldiğince açıklığa kavuşturamama izin verin: Eğer bir model verilerle uyuyorsa, bu durumda gerçeklikle bir ilgisi vardır. O modelin unsurlarının gerçekliğin herhangi bir unsuruna karşılık gelip gelmediğini bilmemizin hiçbir yolu yoktur kısaca.

İster teologlardan ister seküler akademisyenlerden duyacağınız, duyuların ötesindeki bir dünyanın varlığına dair argümanların birçoğu, herhangi bir deneysel veriden yoksun salt akıl, gerçekliğin bilgisini kazanabilir düşüncesi üzerine dayanır. Akıl sıkça tümdengelimli mantıkla bağdaştırılır, ancak tümevarım gibi başka yöntemleri de içerir.

Ancak, halihazırda asıl öncüllerinin içerisinde gömülü olmayan yeni hiçbir şey, mantıksal tümdengelimle öğrenilemez. En iyi ihtimalle süreç, bir ifadenin öncülleriyle tutarlı olup olmadığının kontrolünü sağlar yalnızca.

“Salt düşünce”nin öteki biçimlerine gelince, yüzyıllardır, ne salt akıl ne de mistik deneyimle şimdiye kadar tek bir doğrulanabilir gerçek bile keşfedilmemiştir. Bu, eşit şekilde verimsiz olmuş olan ilahi vahiyle birlikte onu elemek için yeterlidir.

Bu kitapta, tam arazi hakkında benden daha fazla bilgi sahibi olan birçok uzmanın bölgesine ayak basıyor olacağım. Uzmanlık alanları, tarih, felsefe, teoloji, teorik fizik, astronomi ve kozmolojiyi içermektedir. Bu uzmanlar, asıl gerçeklerin daha karmaşık olduğundan, benimse onların konularını fazla basite indirgediğimden, uzmanların hep yaptığı gibi, yakınmak zorundadırlar. Elbette, hiç kimse her şeyde uzman olamaz. Aynı zamanda da, bence bu konuların hepsi, kendimizi sadece gözlemsel çıkarımlarla sınırladığımızda, uzmanların sıklıkla iddia ettiğinden daha basittir ya da en azından daha az esrarlıdır. Bugünün teorisyenlerinin “derin problemler” dedikleri şeyler, genellikle kendi güncel teorileriyle bağlantılıdır, gözlemlenebilir gerçeklerle değil. Kuantum mekaniği, neredeyse bir asırdır tüm gözlemlerle uyuşan ve insanların hiç görüş birliğine varmadan hâlâ “ne anlama geldiği” üzerine tartıştığı bir teoriye sahip olduğumuz başlıca örnektir.

Kitabın teknik düzeyi hakkında birkaç söz söylememe izin verin. İlk bölümlerin, genel okuyucu için bir problem oluşturmaması gerekir, ancak modern fizik ve kozmolojiye girdikçe, ister istemez teknik dil kullanmak zorunda kalacağım; ki bunları ilerledikçe tanımlamaya çalışacağım, internette de kolayca araştırılabilir olacak. Bununla birlikte, matematiksel özörlölerin çıldırması gerekmez. Bir denklem yazdığımda, bu, sözlerle de ifade edilebilecek bir ifadenin kısa yazılışından fazlası olmayacak. $E = mc^2$ aynı şeyi çok daha derli toplu bir şekilde söylerken, “Enerji eşittir kütle çarpı ışık hızının karesi” yazmak niye? Benzer şekilde, 10^{17} işi görecekseniz, (yayıncısının, daha fazla kitap satsın diye Stephen Hawking’i yapmaya zorladığı gibi) “yüz bin milyon milyon” yazmak niye?

Herhangi bir yüksek matematik kullanmayacak olmama rağmen, niceliksel sonuçları göstermek için çok önemli olan birçok grafik sunmaktayım. Her şeyden önce bu kitabı ilk kez eline alan hiç kimsenin bu çizimleri ya da 10^{17} ’nin anlamını anlamakta hiç sorun yaşamayacağını tahmin ediyorum.

Son olarak, benim ve öteki bilim insanlarının fikirlerinin tıpkı herhangi bir dininki kadar “dogmatik” olduğuna dair sıkça tekrarlanan suçlamayı savuşturmak için, açıkça ifade etmeme izin verin: Eğer gelecekte ikna edici deneysel kanıtlar, burada sunulan herhangi bir sonucun ya da kanaatin yanlış olduğunu gösterirse, gerekli düzeltmeleri yapmaktan tamamıyla mutlu olacağım.

I - MİTTEN BİLİME

SÖZ

Avrupa'daki Üst Paleolitik mağara sanatı, kırk bin yıl öncesi-nin insanların o zaman dahi soyut düşünebildiğini ve zihinsel hayvan imgelerini kayaların üzerine yansıtarak yaratıcılıklarını ifade ettiklerini göstermektedir. Neolitik dönemde, Avrupa'nın her tarafında anıt taşlar türemiştir. Bunların en ünlüsü M.Ö. 2300'de inşa edilmiş olan Stonehenge, hacılar için gündönümü festivallerine ev sahipliği yapmasının yanı sıra, güneşin izlediği yolun çıkartılmasında ve kraliyet cenazeleri için kullanılmıştır. Bu da insanların, dış çevreleriyle tamamen yeni bir biçimde ilişki kurmaya başlamış olduklarını akla getirmektedir, ki bu biçim o zamandan beri *Homo sapiens*'e özgü olmuştur.

Daha öncesinde, M.Ö. 3500'lerde, kile kazınmış kama biçimi karakterler şeklindeki çivi yazısı adı verilen yazı, Mezopotamya'da icat edilmişti ve ilk kez bilgi, bir insan ulağın hafızasına bağlı olmadan, tam olarak muhafaza edilip aktarılabilmiş oldu. Antik Sümerler, kil tabletlere ilk kamayı vurduklarında, insanoğlunun seyir defterinin ilk bölümünü yazmakta olduklarını bilemezlerdi. Böylece o hikâye aşağı yukarı altı bin yıl önce başlar, bu nedenledir ki, evrenimizin 13,8 milyar yıl öncesine dayandığına ve Dünya gezegeninin 4,5 milyar yaşında olduğuna dair kesin bilimsel kanıtlara rağmen, bazıları hâlâ onun sadece altı bin yaşında olduğu inancına sarılmaktadır.

Gerçekten de *bizim* dünyamız altı bin yaşındadır. *Bizim Hikâyemiz*, onun hakkında yazmaya başladığımız zaman, M.Ö. 3000-4000'lerde başladı. Öncesinde meydana gelen her şeye, "tarihöncesi" diyoruz. Bir bakıma, bu bir önsöz, çünkü hiçbir Neolitik insanın ismini bilmiyoruz. Onlar bizimle, yalnızca imgeler, yapılar ve sanat eserleri aracılığıyla konuşuyorlar. Erken Tunç Çağında, insanlar sözleri kullanmaya başlıyor, böylece bireyler ortaya çıkıyor ve Bizim Hikâyemiz başlıyor. "Başta Söz vardı."

Bronz Çağ insanlarının, mitleri (Yunanca “hikâye” anlamına gelen *muthos*’dan türemiştir), etraflarındaki dünyada gözlemledikleri şeyleri açıklamaya yarayan kutsal masallar olarak gördükleri gerçeği, uygar kültürün ve yazının gelişmesi sayesinde elimizde kayıtlı halde bulunmaktadır. Bu mitleri betimlemede kullanmış oldukları sözler güçlüydü, bu da onlara sihirli bir nitelik katıyordu. Yazılı kozmolojiler, dünyayı betimlemeye dair tarihöncesi, animistik çabalardan daha fazla sistematikti, ancak doğaüstü olaylar hâlâ temel bir bileşendi.

Mısır’da, kozmolojik mitler, tanrılarla özdeşleştirilen gökci-simleriyle birlikte dinle iç içe geçmişti. Şehre göre farklılaşan ayrıntılara sahip yaratılış hikâyeleri, çeşitli metinlerden ve lahit duvarlarındaki süslemelerden çözülmüştür; bunların yalnızca ortak öğelerine değineceğim.

Mısır yaratılış mitlerinin çoğunda dünya, Mısır yaşamının tam merkezindeki Nil nehrine bariz bir gönderme olan Nu adı verilen sulu bir kaostan ortaya çıkmıştır. Piramit biçimli bir tepe, suların içinden yükselmiştir. Güneş tanrısı Ra ya da bazı durumlardaki adıyla Khepri, tepeden ortaya çıkmıştır; kendini yaratan, ardından öteki tanrıları ve nihayet insanları yaratan bir tanrı.

Rahiplerin, gökteki tanrıların görünüşlerini, daha da önemlisi Nil taşkınına tahmin edebilmeleri mecburi olduğundan; astronomik gözlemlere dayanan, 365 günden oluşan bir yıl içerisinde otuz günlük on iki ayı olan bir takvim geliştirdiler. Böylece antik astronomi, uygulamalı bilime doğru ilk adımı atmış oldu.

Bilim iki faaliyeti içerir ki bugün bunlar genellikle farklı uzman gruplarınca yürütülmektedir; veriyi toplayan gözlemciler ya da deneyselciler ile gözlemlenen betimlemek için, genellikle matematiksel olan modelleri geliştiren teorisyenler. Antik astronominin gözlemsel kısmı büyük ölçüde başarılmışsa da, teori kısmı aşırı derecede büyülü ve mitolojik kalmıştı.¹

Mısır yaratılış teorisi bir örnektir. En yaygın Mısır yaratılış mitine göre, gök tanrıçası Nut, güneş tanrısı Ra’yı yılda bir kez dünyaya getirir, dolayısıyla kendi kendini yaratan ve sonsuz olan bir evreni betimlemektedir.

1 John David North, *Cosmos: An Illustrated History of Astronomy and Cosmology* (Kozmos: Astronomi ve Kozmolojinin Görsel Tarihi) (Chicago: University of Chicago Press, 2008).

Mısır kozmosu, merkezinde Nil olan, düz, dikdörtgen bir Yeryüzünden ibaretti. Güneyde, dağlarla desteklenen gökyüzünde bir nehir bulunuyordu ve bu nehirde güneş tanrısı günlük gezintisini yapıyordu. Gökyüzü, dört ana yöne yerleştirilmiş sütunlarla desteklenen, dünyanın üzerine konmuş bir çatıydı. Yıldızlar, güçlü kablolarla gökkubbeden sarkıtılmış, ancak hareketleri için belirgin bir açıklama yapılmamıştı.²

Mezopotamya ve Kenan diyarı uygarlıklarının hepsi, kozmosa ve insanlığın onun içindeki yerine dair benzer kavramlara sahipti.³ Yeryüzü, kıyısında duran seması ya da gökkubbesi olan bir diskti. Yeryüzünün altında, uçurumun suları bulunuyordu.⁴ Uygarlığın Dicle ve Fırat nehirleri boyunca geliştiği gerçeğinden kaynaklandığı apaçık olan, suyun rolünü bir kez daha fark ediyoruz.

Babil astronomisi, var olan en eski bilimsel belgeler olan M.Ö. 800'lere dayanan kayıtlarıyla dikkate değerdi. Babilli astronomlar, ayın 18,6 yıllık doğuş ve batış döngüsünü keşfettiler. M.Ö. 164'de Halley KuyrukluYıldızının kayıtlara geçmiş en eski gözlemi gerçekleştirdiler, bu da kuyrukluYıldızın yörüngesinin yüz yıllar sonra Halley ve öteki astronomlarca doğru olarak hesaplanmasını mümkün kılacaktı. Babilliler, güneş, ay ve gezegen hareketlerinin ilk almanaklarını oluşturdular. Aslında astrolojik tahmin amaçlanmışsa da, geliştirdikleri yöntemler gezegensel hareket ve tutulmalara dair kesin tahminler yapılmasını sağladı.

İlginçtir ki, bilimsel Babil astronomisi, onları bilimsel bir kozmolojiye götürmedi; kozmolojileri oldukça mitolojik kaldı. Ancak Yunanlar, büyüğü ya da mitolojikten ziyade net bir biçimde doğal olarak tanımlanabilecek ilk kozmolojiyi üretmek için Babil astronomisinden faydalanacaklardı.⁵

2 Stefano Liberati, "Yunan Kozmolojisi," Maryland Üniversitesi'ndeki 2003 Bahar kursundan, <http://www.physics.umd.edu/courses/Phys117/Liberati/Support/cosmology.pdf> (29 Ekim 2012'de erişim yapıldı).

3 Antik Yakındoğudaki kozmolojinin kapsamlı bir incelemesi: "İncil'in Kozmolojisi", Edward T. Babinski, *The Christian Delusion: Why Faith Fails (Hristiyan Yanılsaması: İnanç neden başarısız oluyor?)*, editör: John W. Loftus (Amherst, NY: Prometheus Books, 2010), sf. 109–47.

4 Jean Bottéro, *Religion in Ancient Mesopotamia (Antik Mezopotamya'da Din)* (Chicago: University of Chicago Press, 2001), sf. 77–90.

5 Helge Kragh, *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Uni-*

Mısır'da olduğu gibi, Mezopotamya kozmolojisi de, dini inançla ve bir yaratılış miti olan kozmogoniyle bütünleşmişti. Bu mit, M.Ö. 1000'in hemen öncesinden kalma *Enuma Eliş* olarak bilinen bir şiirde betimlenmektedir. Şiir, tanrılar arasındaki bir çatışmayı anlatır; Marduk (ya da Asur), okyanus tanrıçası Tiamat'ı yenilgiye uğratıp, bedenini ikiye ayırır, böylece yeryüzüyle gökyüzü meydana gelir. Ardından güneşi, ayı, yıldızları, gezegenleri ve havayı düzenler. Tanrıların işlerini yapmaları için, Tiamat'ın kocası Kingu'nun kanından insanları yaratır.

Bugün dünyadaki en büyük inanç olan Hristiyan inancı iki bin yıl önce, Kenan diyarındaki İbraniler denilen çöl sakinlerinin ufacak bir kavminin daha eski inancından doğdu. İbraniler, evreni gökyüzü, yeryüzü, deniz ve yeraltı olarak ayırmıştı (Şekil 1.1). Yeryüzü, denizin kıyısında temeller üzerinde duran gökkubbesiyle, suyun üzerinde yüzen hemen hemen düz bir diskidir. Yeryüzünün altında uçurumun suları vardı. Tanrı gökkubbenin üzerinde bir dizi semanın zirvesinde oturur.⁶

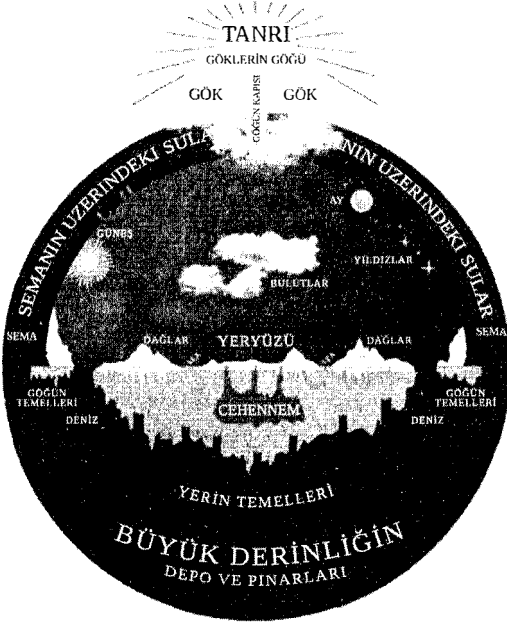
Elbette bugün Hristiyanlar, Kitab-ı Mukaddes'in yanılmaz olduğunda ısrar edenler dahi, evrende Şekil 1.1'de tasvir edilen daha fazlası olduğunu biliyor. Ayrıca artık Tanrı'nın belirli bir yerden ziyade, genellikle (teoloğa bağlı olarak) ya uzay ve zamanda her yerde ya da her ikisinin de dışında olduğu tasavvur ediliyor. Bununla birlikte, Hristiyanlığın, çok basit insanların batıl inançları üzerine inşa edildiği unutulmamalıdır; ki bu insanlar için, kara, deniz ve gökyüzüne dair kendi gözlemlerine dayanan Şekil 1.1'deki model, o zamanki mevcut en iyi bilgiyi temsil etmekteydi. Tanrı'yı, meydana gelen her şeyi izleyen ve olayların, ilahi planına göre ilerlediğinden emin olmak için gerekeni yapan büyük bir kral olarak düşünmek, onlar için kolaydı.

İbranilerin Kutsal Kitabında aslında iki çelişkili yaratılış miti vardır. Örneğin Genesis (Yaratılış) 1'de, bitki örtüsü, hayvanlar-

verse: A History of Cosmology (Mitlerden Hızlanan Evrene Kozmos Kavramları: Kozmolojinin Tarihi) (Oxford; New York: Oxford University Press, 2007), sf. 9.

- 6 George L. Robinson, *Leaders of Israel: A Brief History of the Hebrews from the Earliest Times to the Downfall of Jerusalem, A.D. 70 (İsrail'in Liderleri: Kudüs'ün ilk zamanlarından çöküşüne İbranilerin Kısa Tarihi)* (New York: International Committee of Young Men's Christian Associations, 1906).

dan önce, hayvanlar da Adem ile Havva'dan önce yaratılmıştır. Genesis 2'de ise Adem ilk, ardından bitki örtüsü, sonra hayvanlar, sonra Havva yaratılmıştır.⁷ 1. Bölüm, Yahudiler Babil'de sürgündeyken, M.Ö. 6. yüzyılda yazılmıştır ve şüphesiz antik Babilli Enuma Eliş'ten türemiştir. Genesis'in 2. Bölümündeki yaratılış miti ise, ondan birkaç yüzyıl önce Kenan diyarından gelmiştir.



ANTİK İBRANİLERDE EVREN KAVRAMI

YARATILIŞ VE TUFANIN HİKÂYESİNİ RESMETMEK ÜZERE

Şekil 1.1 Antik İbranilerde Evren Kavramı
Görsel © Michael Paukner

Bugün aşına olduğumuz Genesis 1'e dayanan, Kitab-ı Mukaddes'e ait yaratılış mitinin ufak bir detaylandırmaya ihtiyacı

7 Steve Wells, kitabında Eski Ahit ve İncil'deki 462 çelişkiye işaret ediyor: Steve Wells, *The Skeptics Annotated Bible* (Kuşkucular Kitab-ı Mukaddes'i Açıkladı) (Moscow, ID: SAB Books, 2012).

var: Tanrı dünyayı altı günde yaratır, yedinci gün dinlenir. İlk gün, yeryüzü ve gökyüzünü yaratarak başlar. Ancak karanlıktadırlar, o da (Sözün gücünü kullanarak) der, “ışık olsun.” İkinci gün, yukarıdaki suları aşağıdaki sulardan ayırmak için, adına gök dediği bir sema yaratır. Üçüncü gün, Tanrı aşağıdaki suların içinden kuru arazinin çıkmasını ister ve ona yeryüzü der, sulara da denizler. Ardından yeryüzüne, tohum ve meyve taşıyan ağaçlar veren bitki örtüsü meydana getirmesini söyler.

Dördüncü gün Tanrı, güneşi, ayı ve yıldızları ekler göklerin semasına. Beşinci gün, sulara, balıkları ve kuşları meydana getirmesini emredip, “verimli olun ve çoğalın” diyerek, onları kutsar. Altıncı gün, Tanrı toprağa, büyükbaş hayvanları, diğer hayvanları ve sürüngenleri meydana getirtir. Ve nihayet Tanrı, kendi görüntüsünde insanı yaratır ve tüm Yeryüzü ile onun canlılarının ege-menliğini ona verir. Sonra da iyi olduğunu görüp dinlenmek için bir gün izin aldı.

Genesis elbette, bilgi ağacının meyvesinden yedikleri için, Tanrı’nın Cennetten attığı ilk insanların hikâyesini de anlatır. Hıristiyanlıkta bu, İsa’nın ölmesinin sebebi olan asıl günah olmuştur.

On dokuzuncu yüzyıl sonlarından itibaren, bilginlerin çoğu, geleneksel olarak iddia edildiği gibi, Musa’nın Genesis kitabını yazmadığı sonucuna vardılar, ancak büyük ihtimalle Babil’deki Yahudi esareti sırasında ortaya çıkmıştı. Bu esasen, Kitab-ı Mukaddes’teki sele tıpatıp benzeyen bir tufan hikâyesini içeren Babilli çiviyazısı tabletlerinin 1872’deki keşfine dayanmaktadır.⁸ Hatta bazılarınca, İbranilerin Kutsal Kitabının ve Museviliğin kendisinin doğrudan Mezopotamya mitolojisinden türediği ileri sürülmüştür, ancak ne kadarının türediği hâlâ tartışma konusudur.⁹

8 George Smith, *The Chaldean Account of Genesis, Containing the Description of the Creation, the Fall of Man, the Deluge, the Tower of Babel, the Times of the Patriarchs, and Nimrod: Babylonian Fables, and Legends of the Gods; From the Cuneiform Inscriptions (Genesis’in Keldani Hikâyesi, İçindekiler: Yaratılışın Betimlenmesi, İnsanoğlunun Düşüşü, Tufan, Babil Kulesi, Patriklerin ve Nemrut’un Zamanları: Babil Masalları ve Tanrıların Efsaneleri; Çiviyazısı Yazıtlarından)* (New York: Scribner, Armstrong, 1876).

9 Gary D. Thompson, “The Development, Heyday, and Demise of Panbaby-

YOKTAN (EX NIHILO) YARATILIŞ

William Lane Craig ve Dinesh D’Souza gibi günümüzün önde gelen Hıristiyanlık savunucuları, Genesis’in, *yoktan (ex nihilo)* yaratılış olarak bilinen teorisi, yani evreni yoktan yaratan yüce bir tanrısal varlığı barındırması açısından, modern kozmolojiyle tutarlı tek antik yaratılış hikâyesi olduğunu ileri sürerler.¹⁰ Ancak Genesis’in herhangi bir *yoktan* yaratılıştan bahsetmediğini belirtmek gerekir; çok daha sonra geliştirilen bir teoriydi bu.

Kitab-ı Mukaddes’in ilk sözleri; “Başlangıçta, Tanrı gökleri ve yeri yarattı.”dır. Ancak Kitab-ı Mukaddes uzmanı Tim Callahan’ın ifade ettiği gibi bu, orijinal İbranice’nin tek çevirisi değildir.¹¹ *Bara* kelimesi yalnızca “yaratmak” olarak değil, bağlama göre “seçmek”, “bölmek” ya da başka şekillerde çevrilebilir. İbranice çeviriler de bağlama bağlı olarak çok değişebilir.

Eski Ahit uzmanı Ellen van Wolde, Genesis’in bağlamında, ilk cümlelerin “Başlangıçta, Tanrı gökleri ve yeri ayırdı” şeklinde çevrilmesi gerektiğini söylüyor.¹² Bu, ardından betimlenen öteki “ayırımlar”la daha tutarlı; ışığı karanlıktan, yukarıdaki suları aşağıdakilerden ve karayı sudan. Ayrıca bu yorumlama, İbrani mitinin kesin olarak dayandığı Babil yaratılış mitiyle daha uyumlu. Yukarıda bahsedilmiş olan Emuna Eliş’de, Marduk, Tiamat’ın bedenini yukarıdaki göklere ve aşağıdaki yere böler.

Ancak *yoktan (ex nihilo)* yaratılış, doğru yorumlama olsa bile, Kitab-ı Mukaddes’e özgü değildir. Callahan, Marduk tarafından öldürülmeden önce Tiamat’ın kaotik ve biçimsiz bir boşluğa hükmet-

lonism,” (Panbabylonism’in Gelişimi, Altın Çağı ve Ölümü) 2012, <http://members.westnet.com.au/Gary-David-Thompson/page9e.html> (28 Ekim 2012’de erişim yapıldı).

- 10 William Lane Craig, “Philosophical and Scientific Pointers to Creatio Ex Nihilo,” (Yoktan Yaratılışın Felsefi ve Bilimsel Göstergeleri) *Journal of the American Scientific Affiliation* 32, no. 1 (1980): 5–13; Dinesh D’Souza, *What’s So Great about Christianity (Hıristiyanlığın Nesi O Kadar Harika)* (Washington, DC: Regnery, 2007).
- 11 Tim Callahan, “Out of Nothing? The Genesis Creation Myth Is Not Unique,” (Yoktan mı? Genesis Yaratılış Miti Eşsiz Değildir) *Skeptic* 17, no. 3 (2012): 20–22.
- 12 Richard Alleyne, “God Is Not the Creator, Claims Academic,” (Tanrı Yaratıcı Değil, Akademik İddiada) *Telegraph* (UK), 8 Ekim 2009.

tiğini gözlemler.¹³ Daha sonra göreceğimiz gibi, biçimsiz kaos hemen hemen, hiçbir şeyin (*nihilo*) olabileceği kadar hiçbir şeydir (*nihilo*). Her ikisi de, hiçbir şey dışında bir şey olarak tanımlamak için kullanabileceğiniz, herhangi bir bilgi ya da yapıya sahip değildir.

British Museum'daki Mısır ve Asur eski eserlerinin merhum müdürü Sör Wallis Budge, tuhaf bir biçimde “yakıştırmalar” adını verdiği, on dokuzuncu yüzyıl Alman Eski Mısır bilimcisi Heinrich Brugsch (1827-1894) tarafından hiyerogliflerden toplananları listeler. İşte bir örnek:

Tanrı başlangıçtan beridir ve başlangıçtan beri olmuştur;
Çok öncelerinden beri var olmuştur ve başka hiçbir şey yokken o vardı.
Başka hiçbir şey yokken var oldu ve O var olduktan sonra, var olanı o yarattı...

Tanrı sonsuz olandır, ebedi ve sonsuzdur; sonsuza dek dayanacaktır ve muhakkak sayısız çağlar boyu dayanmıştır ve tüm sonsuzluğa kadar dayanacaktır...

Tanrı evreni yapmıştır ve içerisindeki her şeyi yaratmıştır:
O bu dünyadakilerin Yaratıcısıdır ve hiçbir başlangıç yokken onu elleriyle biçimlendiren O'ydu.¹⁴

Budge, “bütün dönemlerin metinlerinden, tanrılar için geçerli” bu yakıştırmaların, “Mısırlıların Tanrı'yla ilgili fikir ve inançlarının, sonraki dönemlerdeki İbraniler ve Müslümanlarla neredeyse aynı olduğunu” gösterdiğini söylüyor.¹⁵

Ancak gerçekte hiçbir metin alıntılanmamıştır. Bu da insanı, burada Yahudi-Hristiyan-Müslüman inançlarının evrensel olduğunu göstermek için tasarlanmış Hristiyanlık savunuculuğu mu yapılıyor biraz, diye meraklandırıyor. İşin garip yanı, bu iddialar, Hristiyan yaratılış mitinin eşsiz ve özgün olduğunu düşünmemizi isteyen yukarıda bahsedilen savunucularınkilerle çelişiyor.

Müzedeki, Budge'ın Nesi Amsu Papirüsü çevirisinde (No. 10,188), tanrı Neb-er-tcher kendisini Ausare (Osiris) olarak tanıtır ve şöyle der; “Ben kendimi, zamanın başlangıcından beri kat kat evrimlerden dönüşen kadim maddeden geliştirdim.” Bu daha çok,

13 Callahan, “Out of Nothing?” (Yoktan mı?)

14 E. A. Wallis Budge, *Egyptian Ideas of the Future Life; Egyptian Religion* (Mısırlıların Ahirete Dair Fikirleri; Mısır Dini) (New York: University Books, 1959), sf. 38.

15 Ibid., sf. 37.

halihazırda var olan maddeden yaratılışı andırıyor. Yeri gelmişken, tanrı bunu sadece sözle yapar: “Kendi adım söyleydim, gücün sözü olarak, kendi ağzımdan ve hemen kendimi tekamül ettirdim.”¹⁶ Bir kez daha eski uygarlıkların kendi sözlerinin gücüne ne kadar önem verdiklerini görüyoruz.

Hindistan’a geldiğimizde, *Creation Myths of the World* (Dünyanın Yaratılış Mitleri) kitabında David Leeming, Hindu Rig Veda’dan, en az M.Ö. 1000’lere dayanan şu alıntıyı yapar:

Başlangıçta ne Varlık ne de Hiçlik, ne hava ne de gök vardı. Ne vardı? Kim ya da ne gözett onu? Karanlık, ışık, hayat ya da ölüm yokken, ne vardı? Boşluğun derinliğinde kendine nefes veren, sıcaklıktan tutku ve ruhun özüne dönüşen Biri vardı, diyebiliriz yalnızca.¹⁷

Her şekilde, Leeming’e göre, *yoktan* yaratılış mitleri önceden var olan sulu bir kaostan yaratılış kadar yaygındır. Sık sık belirttiğim gibi de; mutlak kaosun, hiçbir şeyden ayırt edilmesi olanaksızdır.

ÖTEKİ KÜLTÜRLER

Antik kültürlerin sözlü ve yazılı geleneklerinde rastlanan birçok zengin yaratılış miti ve kozmolojisinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmak değil buradaki amacım. Ayrıntılarda büyük oranda farklılaşsırlarken, çoğu kozmogoni, bahsedildiği gibi, kaostan ya da yoktan (*ex nihilo*) düzen getiren antropomorfik (insan biçiminde) tanrılarla, insani açıdan dünyanın kökenini açıklamaya çalışmıştır.

Elbette, antik Hindistan ve Çin’de birçok karmaşık geleneğe rastlanır. Ancak onlara girmek, beni konudan uzaklaştırır. Bilimsel kozmolojinin bugüne kadarki gelişimi ile dün ve bugünün dinleriyle olan çatışması olan bizim konumuzla zaten pek fazla alakaları bulunmamakta. Modern bilim, en fazla çatıştığı dinlerin de ortaya çıktığı Ortadoğu’nun ve Yunanistan’ın büyük nehir uygarlıklarındaki kökenleriyle birlikte, yalnızca Avrupa’da doğdu.

Yine de, Hindu düşüncesinde, yaratılış ve yıkımın evreleri arasında durmadan gidip gelen bir dünya tasavvur edildiğinden

¹⁶ Ibid., sf. 42.

¹⁷ David Adams Leeming, *Creation Myths of the World: An Encyclopedia (Dünyanın Yaratılış Mitleri: Bir Ansiklopedi)*, 2. Baskı (Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 2010), sf. 3.

bahsetmek gerekiyor. Yahudi-Hıristiyan-Müslümanlığın zaman-sal olarak sınırlı yaratılmış bir evren görüşünden önemli ölçüde ayrılan döngüsel evren kavramı, bugünün bazı bilimsel kozmolojilerinde yüzünü göstermiştir.¹⁸

Astronomide, yaklaşık M.S. 400'lerde yazılmış ve yazarı bilinmeyen *Surya Siddhanta* adlı Hindu astronomi eserinde, yıldız yılının ortalama uzunluğu bugünkü değerinden yalnızca 1,4 saniye daha fazla olarak verilmiştir ve bu, bin yılı aşkın bir süre boyunca, bu niceliğin dünyanın herhangi bir yerinde yapılmış en doğru ölçümü olarak kaldı.

Kozmosun ortak bir resmine, çoğu antik kültürde rastlanmaktadır, muhtemelen insanların gözlemlediklerini betimlediğindendir: suyla çevrili, düz, merkezde bir Yeryüzü, yukarıda dönen gökcisimleri ve ölümle bağdaştırılan karanlık, ürkütücü bir yeraltı.

Antik astronomlar, güneş, ay, gezegenler ve yıldızların hareketlerini ölçümleme konusunda kayda değer çalışmalar yaptılar. Bu da, sayesinde mevsimleri ve yıllık Nil taşkını gibi tekrarlayan olayları öngörebildikleri takvimler oluşturabilmelerini sağladı. Gerçekten de bu hareketler, fırtınalar, depremler ve su baskınları (Nil taşkını dışında) gibi Yeryüzündeki olaylara kıyasla o kadar tahmin edilebilirdiler ki; gökler, insanların yaşamlarını ve etraflarındaki dünyayı kontrol eden ilahi bir bölge olarak görüldü. Böylece mevsimleri tahmin etmeye ek olarak, astronomlar, neredeyse her kararda danışılan astrologlar olarak ikinci bir rol üstlendiler.

YUNAN FİZİKSEL KOZMOLOJİSİ

M.Ö. Altıncı yüzyılda başlayarak, Küçük Asya'nın (Anadolu) batı kıyısındaki Yunan İyonya şehirlerinde yaşayan bir grup düşünür, tanrıları ve doğaüstü olayları dünyadaki her türlü önemli rolden çıkarmaya başladılar. İtalya'daki Yunan kolonilerindeki çeşitli felsefe okullarıyla birlikte bunlara, Presokratikler adı verilmiştir, bununla birlikte İtalya'dakilerin bazıları Sokrates'in çağdaşıydı (yaklaşık M.S.469-M.Ö.399). Bu tanımlama, söz konusu filozof grubunu, Sokrates'ten ayırmak için on dokuzuncu yüzyılda getirildi. İyonyalı Presokratikler en azından, insanlığın rolünün

18 Kragh, *Conceptions of Cosmos (Kozmos Kavramları)*, sf. 13.

minimum olduğu kozmoloji ve fizikle uğraşırken, Sokrates daha çok insani sorunlarla ilgiliydi.¹⁹

Presokratiklerin yazılarının yalnızca birkaçının günümüze kaldığı unutulmamalıdır. Onlar hakkında bildiklerimizin çoğu, sonraki kaynaklardan, özellikle de, pek de öğretilerini paylaşmayan, bazılarıyla ciddi ayrılık içinde olan Aristoteles'ten (M.Ö. 384-322) gelmektedir. Aristoteles, *physis* yani doğayla ilgilenmeleri sebebiyle, İyonyalıları *physikoi* ya da *physiologoi* olarak adlandırdı.²⁰ Bugün biz onlara fizikçi diyoruz. Daha sonra göreceğimiz gibi, aksine İtalyan Presokratikler çoğunlukla mistikti, bu nedenle de aslında İyonyalılarla birlikte gruplandırılmamalıdır.

İyonyalılar, Homeros (yaklaşık M.Ö. 700-800) ile Hesiodos'un (yaklaşık M.Ö. 650-750) epik şiirlerinde betimlenen ilahi müdahaleli, öngörülemez, değişken dünya olan *Kaos*'un aksine, düzenli bir dünyayı simgeleyen *Kozmos* terimiyle betimlenen bir hareket başlattılar.

Thales

Milet'li Thales (yaklaşık M.Ö. 624-546), genellikle ilk fizikçi olarak kabul edilir. Fenomenler için, mitolojiye başvurmeyen doğal açıklamalar aramıştır. Örneğin depremleri, Yeryüzünün, suyun üzerinde durmasının ve dalgalar tarafından sallanmasının bir sonucu olarak açıklamıştır. Thales, günümüz astronomlarının M.Ö. 28 Mayıs 585'te (güncel takvim) Küçük Asya'da (Anadolu) meydana geldiğini hesapladıkları güneş tutulmasını sözümona öngörmesiyle tanınır. Ancak bugün çoğu tarihçi, bu hikâyenin gerçekliğinden şüphe etmektedir.

Thales'in en önemli katkısı, tüm fiziksel maddelerin su adlı tek bir temel bileşenden oluştuğunu ileri sürmesiydi. Suyun temel

19 Geoffrey S. Kirk, John E. Raven, ve Malcolm Schofield, *The Presocratic Philosophers: A Critical History with a Selection of Texts* (Presokratik Filozoflar: Seçme Metinlerle Kritik bir Tarih), 2. Baskı (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1983).

20 David C. Lindberg, *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, Prehistory to A.D. 1450* (Batı Biliminin Esasları: Tarihöncesinden M.S. 1450'ye, Felsefi, Dini ve Kurumsal Bağlamda Avrupa Bilimsel Geleneği), 2. Baskı (Chicago: University of Chicago Press, 2007), sf. 27.

olması konusunda yanılıyorduydu da (mantıksız değildi); Thales'in önermesi, görünmez ruhlara başvurmadan maddenin doğasının açıklanmasına dair kayıtlara geçen ilk girişimi temsil eder.

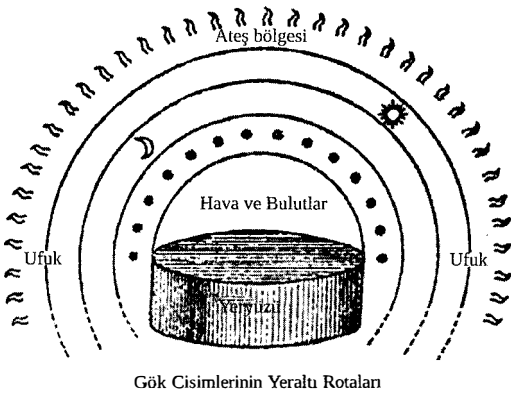
Thales ve takip eden öteki İyonyalı filozoflar, bugün *maddesel monizm* adı verilen, her şeyin madde olup, başka hiçbir şey olmadığına dair bir gerçeklik görüşünü benimsemişlerdi.

Anaksimandros

Anaksimandros (yaklaşık M.Ö. 610-546), Thales'in Milet'teki okulunun ikinci düşünürüydü. Evrenin sınırsız ve başlangıçsız olduğunu ileri sürdü. Ayrıca sınırsızlık ya da *apeiron* her şeyin kaynağıydı:

Var olan şeylerin ilk ilkesi, Sınırsızdır, çünkü bundan her şey var olur ve yok olur. Bu nedenle sayısız dünyalar doğar ve tekrar meydana geldikleri şeye çözünürler.²¹

Sınırsız sayıdaki dünyaya rağmen, Yeryüzü hâlâ onun merkezinde yüzmektedir. Anaksimandros'un kozmosu Şekil 1.2'de gösterilmiştir.²²



Şekil 1.2 Anaksimandros'un kozmolojisi. Görsel, Mary Ackworth Orr, Dante ve İlk Astronomlar (Port Washington, NY: Kennikat, 1969) kitabından.

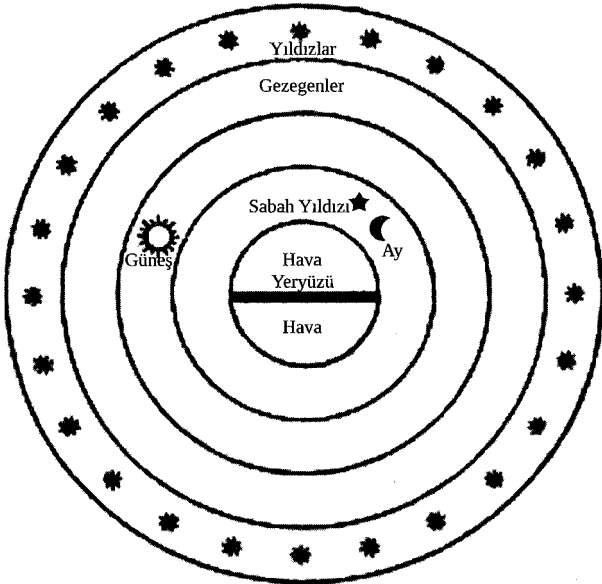
21 Arthur Fairbanks, editör ve çevirmen, *The First Philosophers of Greece (Yunanistan'ın İlk Filozofları)* (London: K. Paul, Trench, Trübner, 1898), sf. 8–16.

22 Mary Ackworth Orr, *Dante and the Early Astronomers (Dante ve İlk Astronomlar)* (Port Washington, NY: Kennikat, 1969), sf. 53; ilk basımı: 1914 (Londra, Edinburgh: Gall and Inglis).

Anaksimenes

Anaksimenes (M.Ö. 585-528), Anaksimandros'un öğrencisi ya da en azından genç bir meslektaşıydı. Her şeyin havadan meydana geldiğini ileri sürdü, ki antik zamanlarda hava, yaşamın nefesi olarak görülürdü yaygın olarak. Anaksimenes'in kozmolojisinde Yeryüzü, havanın donmasıyla ya da keçeleşmesiyle oluşmuştur ve havadan bir yastık üzerinde durur. Gökler keçeden bir kapak gibidir, etrafında dönen gökcisimleri onun yüzeyine sabitlenmiştir. İlginçtir ki, güneş, çoğu yer merkezli kozmolojide olduğu gibi, Yeryüzünün etrafında dönmez, ancak geceleri dağların ardına saklanır. (13. Bölümde bu teorinin, Yeryüzünün içinden geçen nötrinolarla güneşin gece çekilmiş bir fotoğrafıyla nasıl çürütüldüğünü göreceğiz.)

Atomcular



Şekil 1.3 Demokritos'un kozmolojisi. Leukippos'un kozmolojisi, burada hava olarak gösterilen alt yarıküreye kadar uzanan Yeryüzü dışında aynıdır. Görsel, Mary Ackworth Orr, Dante ve İlk Astronomlar'dan (Port Washington, NY: Kennikat, 1969).

Leukippos ve Demokritos, atomculuğun kurucularıydı. Önceki kitabım *Tanrı ve Atom*'da, her şeyin maddedenin temel parçacıklarından meydana geldiğine dair görüşlerinin, nasıl büyük bir başarıyla modern fizikle desteklendiğinin hikâyesini anlatmıştım.²³

Orr'a göre, Leukippos ve Demokritos, birazdan ele alacağımız Pisagorcularla birlikte, gökyüzünün ufukta sona eren bir yarıküre olmadığını, Yeryüzünün çevresini bir küre gibi sardığını fark ettiğinde, kozmolojide ileriye doğru büyük bir adım atmış oldular.²⁴ Orr, Şekil 1.3'teki şemayı Demokritos'a atfeder. Leukippos'a atfettiği benzer bir şemada Yeryüzü, Demokritos versiyonunda hava olan tüm alt yarıküreyi kaplar.

Epikuros (Epikür) (M.Ö. 341-270), Leukippos'un ve Demokritos'un atomculuğunu ve kozmolojisini, büyük bir felsefe okuluna dönüştürdü.²⁵ Üç yüz elli yıl sonra Romalı şair Titus Lucretius Carus (yaklaşık M.Ö. 99-55), Epikuros ve ilk atomcuların öğretilerini, destansı eseri *De rerum natura*'da (*Varlıkların Doğası Üzerine*) ölümsüzleştirdi. Lucretius'un, atomcu kozmolojiyi takdimi şöyledir:

Boşluk dört bir taraftan sınırsız olduğundan ve
Ölçüsüz evrende dolanıp duran atomların miktarı saymayı aştığından,
Birçok farklı yöndeki tüm uçuşmalar durmadan kararsız bir hareket halinde olduğundan,
En düşük ihtimalle dünya,
Bu gök ve yeryüzünün yuvarlaklığı, *tek şeyden yapıldı,*
Ve dünyamızın dışındaki tüm o atomlar hiçbir şey yaptıramaz;
Özellikle de bu dünya Doğanın bir ürünü olduğundan,
tamamen şans eseri birbiriyle çarpışan şeylerin tohumlarının tesadüfö,
Mümkün olan her şekilde, görünürde bir amaç yokken, gelişigüzel, körükörüne,
Er ya da geç belirli atomlar aniden birleşene kadar
Böylece muazzam şeylerin örtüsünü dokumak üzere çözgüyü kurarlar:

23 Victor J. Stenger, *God and the Atom: From Democritus to the Higgs Boson* (*Tanrı ve Atom: Demokritos'tan Higgs Bozonuna*) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2013).

24 Orr, *Dante and the Early Astronomers* (*Dante ve İlk Astronomlar*), sf. 55–56.

25 Epikuros, *The Art of Happiness* (*Mutluluk Sanatı*), çev. George K. Strodach (New York: Penguin Books, 2012).

Yeryüzünün, denizin, gökyüzünün, canlı varlıkların bütün türlerinin, İşte bu yüzden başka yerlerde var olan başka madde toplulukları vakaları olduğunu

Kabul etmeniz gerektiğini söylüyorum

Burada bizimkisi gibi esir tutkuyla kucaklar²⁶

Kısacası, Anaksimandros'un ki gibi, atomcuların evreni, sınırsız, sonsuz, yaratılmamış ve birçok dünyadan oluşmaktadır.

Ayrıca atomculuğa göre, evren büyük ölçekte, rastlantısal şansın bir ürünüdür. Atomlarda olduğu gibi, atomcular bunu doğru bilmişlerdi, başkalarından çok çok önce.

Bazı tarihçiler atomcuların evreninin sonsuz olduğunu reddeder.²⁷ Atomlardan meydana gelen malzemenin bozunduğu doğruysa da, atomların kendileri sonsuzdur, Lucretius'un açıkladığı gibi:

Eğer atomlar katıysa, bu nedenle de boşluksuzsa, öğrettiğim gibi, Bu durumda sonsuz olmaları gerekir. Ve dahası, öyle olmasalardı, Her şey ölümüyle karşılaşır,

Ve şimdi burada gördüğümüz her türlü cisim, gözlerimizin önünde, Hiçlikten yeniden doğardı.

Ancak hiçbir şeyin hiçbir şeyden meydana gelmediğini ve hiçbir şeyin

Bir kez meydana geldikten sonra hiçliğe döndürülemeyeceğini öğrettiğim için,

Bu durumda sonsuza dek dayanan malzemedan yapılma ilk cisimler –atomlar– olmalı ve

Her şey son saatinde işte bunlara parçalanır

Böylece dünyaya yeniden güç sağlayacak madde stoğu bulunur.

Bu atomlar bu yüzden tümüyle saf ve katıdır;

Şeyleri yenilemek için sonsuz zamanda nasıl sağ kalabilirlerdi yoksa?²⁸

Pisagor ve Philolaos

Pisagor (yaklaşık M.Ö. 570-495), Presokratiklerin muhtemelen en bilinenidir, İyonyalılarından o kadar farklıdır ki, tarihçilerin

26 A. E. Stallings ve Richard Jenkyns, *Lucretius: The Nature of Things (Lucretius: Varlıkların Doğası Üzerine)* (London; New York: Penguin, 2007), sf. 67–68.

27 Kragh, *Conceptions of Cosmos (Kozmos Kavramları)*, sf. 18.

28 Stallings and Jenkyns, *Lucretius*, sf. 18–19.

yaptığı gibi onları aynı kefeye koymak uygunsuz olur. Mistik, mucize yaratıcı ve hayvanlara geçebilen ölümsüz ruh doktrininin sağlayıcısı olarak yaygın bir üne kavuştuğu, Sicilya, Croton'da dini ve politik bir topluluğun kurucusuydu. Bugün çok yaygın olan ölümsüz ruh düşüncesinin, o sırada Yunanistan ya da İtalya'da hâkim olmadığı unutulmamalıdır.

Pisagor'un bugünkü, usta matematikçi, geometrici ve bilim insanı olarak imajı, pek sağlam değildir. Ne Platon ne de Aristoteles, "Pisagor teoremi"ni Pisagor'a atfetmektedir.

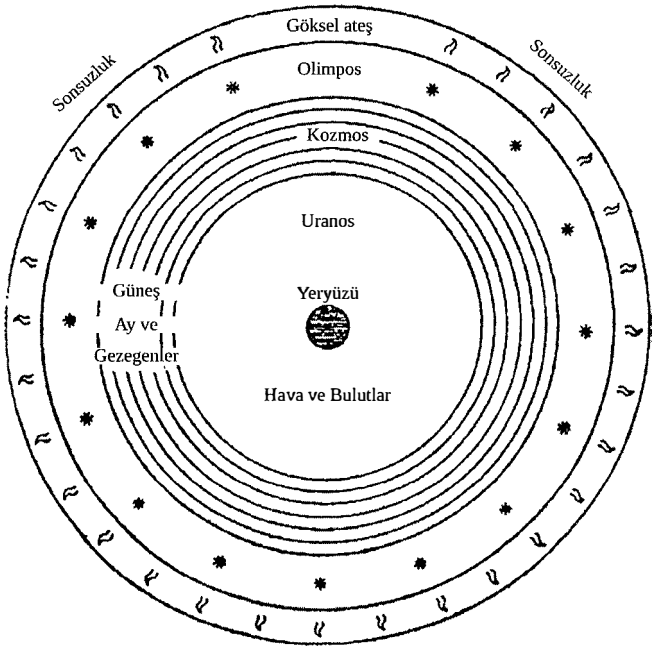
Tarihçi John North'a göre Pisagor, evrenin, rakamları meydana getirmek için göğün sonsuzluğu içine çekmesiyle oluştuğunu öğretmiştir.²⁹ Orr, Şekil 1.4'deki şemayı Pisagorcuların evreninin "en eski şekli" olarak sunar. Ancak Pisagor'un kendisinin bu resme sahip olduğuna dair bir kayıt bulunmamaktadır.³⁰ Bu, Yeryüzünün bir küre olduğu ilk kozmoloji olabilir. "Kozmos" olarak belirtilen bölge, beş gezegeni, güneşi ve ayı içerir. "Olimpos" yıldızları kapsar. "Uranos" gökyüzünü ifade eder. Bütünü, göksel ateşlerle, onun ötesinde ise dünyanın nefes aldığı sonsuz boşlukla, Apeiron'la çevrilidir.

Bu model Pisagor okulundaki Philolaos (yaklaşık M.Ö. 470-385) tarafından, Şekil 1.5'te gösterildiği gibi köklü bir biçimde değiştirildi.³¹ Philolaos, Yeryüzünün evrenin merkezi olmadığını ileri sürdü. Ancak güneş de değildi. Tersine, Yeryüzü, güneş ve çıplak gözle görülebilen yedi gezegen, merkezi bir ateşin etrafında döner. Yıldızlar sabit ve çok uzak bir mesafededir. Merkezi ateşin etrafında, Yeryüzü yirmi dört saatte bir, güneş yılda bir döner. Ek olarak, yine her yirmi dört saatte bir dönen ve daima merkezi ateşin Yeryüzüne göre diğer tarafında olan bir başka gezegen, Antichthon adı verilen karşı-yeryüzü mevcuttur. Merkezi ateşi ya da Antichthon'u görmemizin sebebi, Yeryüzünün yalnızca bunların karşısındaki tarafının yaşanır olduğudur.

29 John David North, *Cosmos: An Illustrated History of Astronomy and Cosmology* (Kozmos: Astronominin ve Kozmolojinin Görsel Tarihi) (Chicago: University of Chicago Press, 2008), sf. 70.

30 Orr, *Dante and the Early Astronomers* (Dante ve İlk Astronomlar), sf. 61.

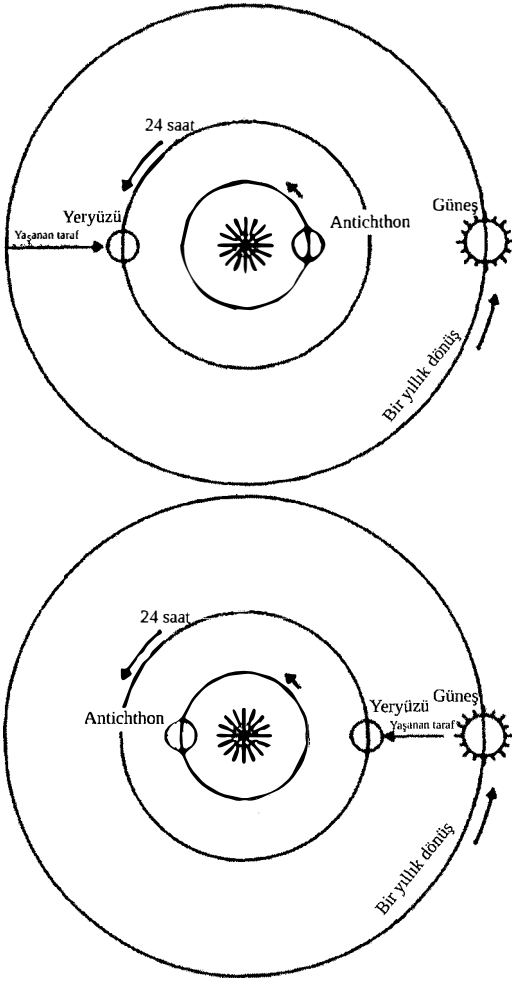
31 Ibid., sf. 63.



Şekil 1.4 İlk Pisagor kozmosu. Görsel, Mary Ackworth Orr, Dante ve İlk Astronomlar'dan (Port Washington, NY: Kennikat, 1969).

İyonyalıları kıyasla, bence Pisagorcuların, büyük matematikçiler olsalar da, bilim insanı olmadıkları rahatça söylenebilir. Fikirleri, gözlemlerden ziyade mistik argümanlara dayanmaktaydı. Çıplak gözle görülebilen beş gezegen, güneş ve ayla birlikte yedi ediyordu; Pisagorcuların keşfetmiş olduğu gamdaki notaların sayısı olduğu için kutsal bir sayıydı. Yeryüzünü ve merkezi ateşi eklediğinizde dokuz ediyordu, böylece Philolaos, toplamı bir başka kutsal sayı olan ona çıkarmak için Antichthon'u getirdi (muhtemelen on el ve ayak parmağımız olduğu içindir). Orr'a göre Pisagorcular, merkezi ateşi, en saf element, ateşin yerleştirildiği, Zeus'un Gözetleme Kulesi, Evrenin Ocağı olarak görüyorlardı.³²

32 Ibid., sf. 62–63.



Şekil 1.5. Philolaos'un sistemi. Yeryüzü, güneş ve karşıyeryüzü, Antichthon, merkezi bir ateşin etrafında döner. Yeryüzünün sadece merkezi ateşin ve Antichthon'un karşısındaki tarafında yerleşim vardır, bu nedenle hem merkezi ateş hem de Antichthon görünmezdir. Üstteki şema Yeryüzünde geceyi, alttaki ise gündüzü göstermektedir. Gösterilmemiş olan; ayın yörüngesi güneşin-kinin içerisinde, gezegenlerin yörüngeleri ise tamamen dışarıdadır. Görsel, Mary Ackworth Orr, Dante ve İlk Astronomlar'dan (Port Washington, NY: Kennikat, 1969).

İlginçtir ki, rakamlara olan takıntılarına rağmen, hiçbir zaman Pisagorcuların akıllarına, gökcisimlerinin sayısal ölçümlerini yapmak gelmemiştir; gelmiş olsaydı, Philolaos'un kozmolojisinin doğru olmadığını çabucak kanıtlamış olurlardı. Ancak bu, her şeye rağmen cesur bir tahmindir ve Yeryüzünü merkeze koymayan bir kozmolojinin ilk kaydıydı. Orr'un yazdığı gibi;

Sabit yeryüzünü merkezinden sarsıp, onu uzayın derinliklerinde döner halde yerleştirmek, Pisagorcuların cesaretiydi, fark etmişlerdi ki, daha önce hiç kimse yapmamış olduğu için, ne kadar büyük olmalıydı; Yunanistan ve çevreleyen karalar, Orta ve öteki denizlerin, yeryüzünün tamamını oluşturmak yerine, büyük kürenin yalnızca bir kısmı oldukları anlaşılmıştı artık.

İşte, o zamanki, Homeros'unkinden büyük ölçüde farklı bir evren kavramıdır. Ufak düz disk, uzayda süratle hareket eden yuvarlak bir topa dönüşmüştür; onu, narin bir çiçeğin üzerindeki fanus gibi nazıkçe örten kristal kubbe kalkmış, sonsuz uzaklıktaki ve yıldızlarla süslenmiş muazzam küre görülmektedir. İnsanoğlunun kendisi, koca yeryüzünde ufacık bir yaratık ve dünyası, birçoğundan biridir artık, ama eğer önemsiz oluşu nedeniyle küçük düşerse, bakış açısının enginliğiyle yücelmez mi?³³

Empedokles

Empedokles (M.Ö. 490-430), Sicilya, Akragas'lıydı ve İyonyalı fizikçilere, Pisagorcu mistiklerden daha yakındı. Empedokles, maddenin dört elementten; toprak, su, hava ve ateşten meydana geldiğini ilk ileri sürdü. Aristoteles'in benimsemişle, bu tanımlama bin yıl boyunca "standart model" oldu; ta ki yerini, on dokuzuncu yüzyılda periyodik tablonun kimyasal elementleri, ardından da yirminci yüzyılın sonlarında bugün temel parçacıkların standart modeli dediğimiz kuarklar, leptonlar ve bozonlar alana kadar.

Empedokles'in kozmosu, ayın, güneşten yansıyan ışıqla parlaması ve güneş tutulmasının, ayın güneşi bloke etmesinin sonucu olması gibi, bir dizi kavrayışı içeriyordu.

33 Ibid., sf. 63-64.

Daha da gizemlisi, Empedokles, “Sevgi” ve “Çekişme” (ya da belki, çekme ve itme) denilen iki karşıt kuvvetin elementleri yönettiğini, bunların birbiriyle rekabet etmesinin sonucunda da döngüsel modeller meydana geldiğini ileri sürdü. Empedokles’de, maddenin birçok farklı temel formunun olduğundan son derece şüphelenen bir düşünür görüyoruz. Ayrıca Empedokles, maddenin davranışının, yine çoklu formdaki soyut ama gerçek doğal kuvvetler tarafından kontrol edildiğine inanıyordu. Bu felsefi atılım, gelecekteki tüm madde biliminin temellerini atmış ve bugüne kadar gelmiştir.

Platon

Sonunda İyonya ve İtalya’daki Presokratikler yerlerini, Atina’daki Sokratiklere bıraktı. Sokrates’i daha çok Platon’un (M.Ö. 427-347) yazılarından tanıyoruz. Bu yazılarda Platon’un, doğru gerçeklik bilgisinin, duyuların yardımı olmaksızın yalnızca salt akılla elde edilebileceğine inanan bir bilim insanı olmadığını ifade edilir.

Platon’a göre Sokrates, felsefi ilgiyi, fizik ve kozmolojiden, etik ve politika gibi insani kaygılara döndürmeye çalışmış ancak tamamen başarılı olamamıştır. Atina ve başka yerlerdeki Yunan filozoflar evren hakkında düşünmeye devam ettiler, bununla birlikte çoğu, İyonyalıların doğacı görüşlerini, özellikle de atomcu teoriyi benimsemeye pek istekli değildi.

Platon’un *Timaeus*’unda, bu isimdeki karakter, evrenin bir astronomu ve öğrencisi olarak tanıtılır. Kaostan doğan bir yaratılışı betimler, “orada hiçbir düzen ve ismiyle ayırt edilebilecek hiçbir madde yoktur, hepsi karmakarışıktır ve rastlantısal kararsız hareketlerle kaynaşmaktadır.”³⁴ Bu iyi bir tahmindir ancak gerisi değildi. Gök cisimleri *Timaeus*’a göre, ilahi, akıllı varlıklardır. Hepsi de ateşten meydana gelen kusursuz kürelerdir. Yeryüzü de merkezdeki kusursuz bir küredir.

Timaeus’da Platon, çoklu evrenler kavramını net bir biçimde reddeder: “Yaratıcı, ne iki, ne de sonsuz sayıda dünya yaratmıştır.

34 Ibid., sf. 68-70.

Aksine, evrenimiz, türünün tek örneği olmuştur, şimdi de öyledir, gelecekte de öyle olmaya devam edecektir.”³⁵

Platon kesinlikle maddesel monist –dünyanın maddeden başka hiçbir şey olmadığına inanan– değildi. Biz insanların, gözlerimizle ve diğer duyularımızla tespit ettiklerimizin, daha kusursuz, doğru bir gerçekliğin yalnızca gölgeleri olduğunu ileri sürmüştür. Platon, Demiurgos adlı ilahi bir zanaatkarın, kutsal bir plana göre kozmosu inşa ettiğini öğretti. İki gerçeklik alemi vardır; kusursuz olan *biçimler* ya da idealar alemi ile bu biçimler ya da ideaların kusurlu olarak kopyalandığı madde alemi.³⁶

Ancak Demiurgos, halihazırda var olan malzemeleri kullanırken, Platon’un yaratılışı, evrenin yoktan (ex nihilo) yaratıldığı görüşüyle çelişecektir.

Örneğin gök cisimleri, güneşin etrafında kusursuz yörüngelerde dönen kusursuz kürelerdir. Gezegenlerin gökyüzünde dolanıp duruyor gibi (*gezegen*, Yunancada “gezgin yıldız” anlamına gelir) göründükleri gerçeği, duyuların bir çarpıtması, merceğin gördüğümüz şeyi çarpıtma şekli olarak açıklanır.

Platon ile Aristoteles’in, seleflerine ya da hatta hemen sonraki haleflerine kıyasla, bu konudaki çok daha fazla yazısı günümüze ulaştığından, çağlar boyunca insan düşüncesinin üzerindeki en büyük etkiye sahip olma eğiliminde olmuşlardır. Onların muazzam katkılarına gölge düşürmek amacımız olmasa da, Platon ile Aristoteles’in sıklıkla sorgulanmamış otoritesi, daima insanoğlunun gelişiminin yararına olmamıştır.

Platon’un tarihteki önemi, İyonyalıların reddetmesinin ardından, teolojiyi büyük resme yeniden dahil etniş olmasından kaynaklanıyor olabilir. Sadece Demiurgos evreni yaratmadı, gezegenler ve yıldızlar da göksel tanrılara evsahipliği yaptılar. Tarihçi David Lindberg’e göre, “Platon tam da kozmosun, physikoi’ye göre tanrılarının sürülmesini gerektiren özelliklerini açıklamak için tanrıları geri getirdi.”³⁷

³⁵ Platon, *Timaeus* 31 a, b.

³⁶ Lindberg, *Beginnings of Western Science (Batı Biliminin Esasları)*, sf. 39.

³⁷ Ibid., sf. 42–43.

Aristoteles

Hocası Platon'un aksine Aristoteles, verilerinden çok aklına güvense de, gözlemler ve deneyler yapan, meşru bir bilim insanıydı. Aklın gözleme olan üstünlüğünün tersine dönüp, gözlemin, bilginin nihai belirleyicisi haline gelmesi, Galileo'ya kadar gerçekleşmemiştir; ki o noktada, yanlışlıkla değil ama tesadüfen, insanoğlunun başarılarının zirvesindeki öteki gelişmelere katılarak bilim, bugün bulunduğu yere varacak büyük tırmanışına başlamıştır.

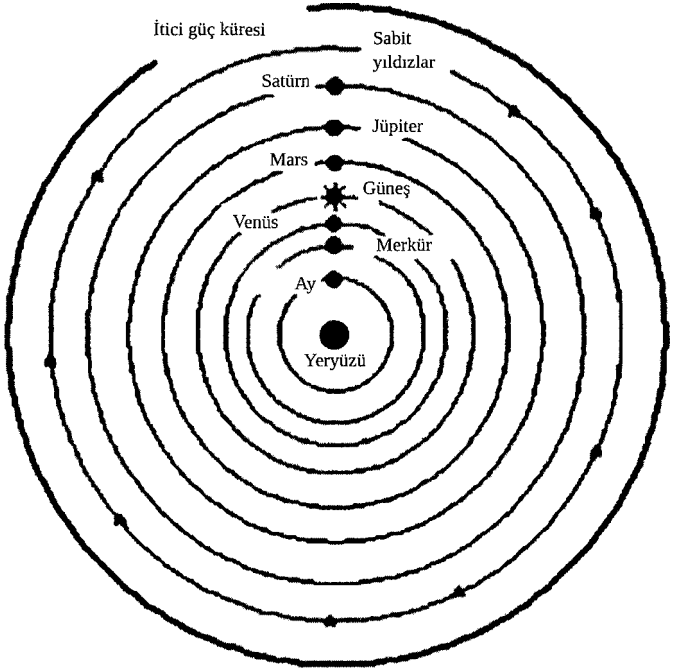
Aristoteles, neredeyse diğer bütün postpisagorcular gibi, Yeryüzünü yeniden kozmosun merkezine koydu. Evrenin biçiminin küre olması gerektiğini, çünkü onun en kusursuz katı olduğunu söyledi. Aristoteles'e göre, evrenin başlangıcı olmamıştır, sonu da olmayacaktır (Hristiyanlığın yoksayacağı bir öğreti). Öne sürdüğü sebep ise; tanrıların ölümsüz olduğu ve evrenin en yüksek göğünde yaşadıkları için, evrenin de ölümsüz olması gerektiğidir.

Bahsedildiği gibi, Aristoteles, Empedokles'in, toprak, su, hava ve ateşin temel elementler olduğu ve bütün maddelerin bunlardan meydana geldiğine dair modelini benimsedi. Bu da, söz konusu modelin, modern kimya ve fiziğin doğuşuna kadar, maddenin "standart modeli" olarak benimsenmesine yol açtı. Aristoteles, beşinci bir element, göklerin özü olarak, *esir* denilen en özlü kısmı ekledi.

Aristoteles beş elementin hareketlerinin örnek oluşturduğu, doğal hareketin üç şekli olduğunu bildirdi: 1) Toprak ve su, Yeryüzünün merkezine doğru düz bir çizgi halinde hareket eder; 2) Hava ve ateş, merkezden uzağa doğru düz bir çizgi halinde hareket eder; 3) Gök cisimleri, merkezin etrafında daireler halinde hareket eder. Sonuncusu, gök cisimlerinin neden hiç yere düşmediklerine dair kadim soruya bir açıklama getirmişti.

Aristoteles'in kozmolojisi, Şekil 1.6'da gösterilmiştir.³⁸ Aristoteles, gezegenlerin ve yıldızların, hâlâ kusursuz küreler olmakla birlikte, gerçek fiziksel cisimler olduğunu ileri sürerek büyük bir gelişme kaydetti. Bu, Platon'un gök cisimlerinin ilahi varlıklar olduğuna dair fikriyle çelişiyordu. Ayrıca Aristoteles, Platon'un evrenin yaratılmış olduğu iddiasına da katılmıyordu. Sonsuz olduğunu ancak sınırsız olmadığını söylüyordu.

38 NASA'nın internet sitesinden (http://starchild.gsfc.nasa.gov/docs/StarChild/universe_level2/cosmology.html) (8 Ağustos 2013'te erişim yapıldı).



Şekil 1.6 Aristoteles'in kozmolojisi. Görsel: NASA/StarChild'ın (Yıldız çocuk) izniyle.

Şekildeki “İtici Güç Küresi”ne dikkat edin. Aristoteles’in fiziği, tüm hareketin bir sebebi olmasını gerektiriyordu ve nihai sebep, İtici Güç, “Sebebi olmayan İlk Sebep” idi. Bu varlık, başta Aquinolu Tommaso olmak üzere, Ortaçağdaki Hristiyan teologlar tarafından yaratıcı Tanrı olarak yorumlandı. Ancak Aristoteles, *Fizikteki* hareketsiz itici gücü, yaratıcı olarak değil, evrenin en dış kısmında yer alan ve tüm göksel hareketin kaynağı olan ruhani bir şey olarak ortaya koymuştu.³⁹

Aristoteles, atomcularla aynı fikirde değildi. Onların görüşüne göre, toprak, su, hava ve ateş temel değildir, daha temel olan atomlardan meydana gelmiştir. Atomcuların ana ilkesi her şeyin atom ve boşluk olmasıyken, Aristoteles atomcuların boşluğunun imkânsız olduğunu kanıtlayacağını iddia etti. Atomcular evrenin

³⁹ Kragh, *Conceptions of Cosmos (Kozmos Kavramları)*, sf. 21–23.

sonsuz olduğuyla hemfikirdi ancak sınırlı olduğuna katılmıyordu. Ayrıca çoklu dünyalar olduğunu iddia ediyorlardı.

Aristoteles'in fizik ve kozmoloji üzerine öğretileri, Hristiyanlık öncesi Yunanistan ve Roma'da tam olarak kabul görmemişti. Yalnızca Epikuros'un öncülüğündeki atomcular değil, Citium'lu Zeno'nun (yaklaşık M.Ö. 334-262) öncülüğündeki Stoacılar da, evrenin sonsuz olduğu kadar sınırsız olduğunu ileri sürmüştür.

Ancak Hristiyan teolojisi Aristoteles'i, birçok konuda, özellikle de İlk Sebep fikri konusunda, kadim bir otorite olarak benimsemiştir. Bunun sonucu olarak Ortaçağ'da Katolik Kilise tarafından yaptırılan büyük Avrupa üniversiteleri, Aristotelesçi skolastisizm adı verilen şeyle o kadar derinden kuşatılmış haldeydi ki, Aristoteles'in biliminin büyük kısmını, özellikle de fiziğini reddeden bilimsel devrim, bu kurumların dışında gerçekleşmiştir.

Aristarkhos

Sisamlı Aristarkhos (M.Ö. 310-230), güneşi evrenin merkezine koyan, kayıtlara geçen ilk astronomdur. Babilli astronom Seleukos'un (yaklaşık M.Ö. 190), kısa bir süre sonra aynı önermeyi yaptığı söylenir. Aristarkhos ayrıca, gezegenleri güneşe olan doğru mesafe ve sıralamalarına yerleştirmiştir. Uygun geometrik argümanları kullanmış olsa da, mesafe tahminleri hatalı veri nedeniyle çok düşüktü.⁴⁰ Ancak yıldızların, ölçülebilir ıraklık açılarının olmayışı yüzünden çok uzakta olmaları gerektiğini fark etmişti.

Hipparkos

Hipparkos (yaklaşık M.Ö. 190-120), Bitinya, Nikaia'da (bugünkü İzmit) doğdu ancak hayatının çoğunu Rodos'ta geçirdi. Babil tabletlerine dayanarak, güneş ve ayın hareketlerinin ilk doğru modellerini oluşturdu. Hipparkos ayrıca, gece-gündüz eşitliğinin gerilemesini keşfedip, yılın uzunluğunu altı buçuk dakikalık hatayla hesapladı, bilinen ilk yıldız kataloğunu hazırladı ve trigonometrinin ilk formülasyonunu oluşturdu. Bunların sonucunda da sayısal veriyi, gözlemlerden geometrik modellere uygula-

40 Ibid., sf. 25.

yan ilk kişi olarak kabul edilir. Hipparkos, Ptolemaios'un üç yüzyıl sonraki çalışmasının temelini atmış ve "antik çağlardaki en büyük astronom" olarak adlandırılmıştır.⁴¹

Ptolemaios

Klaudios Ptolemaios (yaklaşık M.S. 90-168), antik dünyanın en büyük kütüphanesi, İskenderiye Kütüphanesi'nde toplanmış olan Yunan ve Roma eserlerinin uçsuz bucaksız koleksiyonuna rahatça ulaşabildiği İskenderiye'de yaşadı. M.Ö. 48'de Jül Sezar (M.Ö. 100-44), limandaki gemiyi ateşe verdiğinde, rıhtımların yakınında depolanmış olan çok sayıda kitabı yanlışlıkla yaktı. Ancak şehirdeki diğer iki koleksiyon kurtuldu. Bunlar da M.S. 390'daki Hıristiyan isyanları sırasında büyük ölçüde tahrip oldu, ancak İskenderiye, Yunan ilminin merkezi olmaya devam etti.

Ptolemaios ayrıca, kütüphaneye bağlı rasathanedeki mükemmel astronomi araçlarını kullanabiliyordu. Bu olanaklar sayesinde, o güne kadar gözlemlenmiş tüm göksel hareketleri matematiksel olarak betimleyen bir sistem kurmak için, Hipparkos'unkiler de dahil olmak üzere yüzyıllardır birikmiş olan astronomik verileri kendi gözlemleriyle birleştirdi. Sistemini, orijinal adı "Astronominin Matematiksel Sistemi" olan on üç kitaplık bir set halinde yayınladı. Kitaplar, başkaları tarafından *Magiste Syntaxis* (Büyük Sistem) olarak, sonra da Araplarca *Almagest* (Büyük Sistem ya da sadece *Görkemli*) olarak yeniden isimlendirilmiş ve bundan sonra bu adla tanınmıştır. Bu eser, 1543'te Kopernik'in *De revolutionibus orbium celestium'u* (Göksel Kürelerin Dönüşleri Üzerine) çıkana dek, astronomi üzerine nihai bilimsel inceleme olma özelliğini korumuştur.⁴²

Ptolemaios, neredeyse bütün seleflerinin Yeryüzü-merkezli sistemini korudu, bununla birlikte Yeryüzü hafifçe merkezin dışındadır. Fiziksel önermesini aşağıdaki gibi betimlemiştir:

Göğün şekli küre biçimindedir ve bir küre gibi hareket eder; Yeryüzünün de şekli makul olarak küre biçimindedir, bütün olarak ele alındığında; konum olarak göklerin ortasında bulunur,

41 Otto Neugebauer, *Notes on Hipparchus (Hipparkos üzerine Notlar)* (Locust Valley, NY: J. J. Augustin, 1956).

42 Orr, *Dante and the Early Astronomers (Dante ve İlk Astronomlar)*, sf. 101.

hemen hemen merkezde gibidir; büyüklük ve mesafe olarak bir noktanın sabit yıldızların küresine olan oranına sahiptir ve yerden yere hiç hareketi yoktur.⁴³

Yeryüzünü, sisteminin merkezine yakın tutup, Yeryüzü konusunda daireselden çok uzak olan gezegensel hareketleri yine de doğru olarak betimlemek için, Ptolemaios, Şekil 1.7’de basitleştirilmiş biçimde gösterilmiş olan muazzam karmaşıklıkta bir model inşa etti.⁴⁴

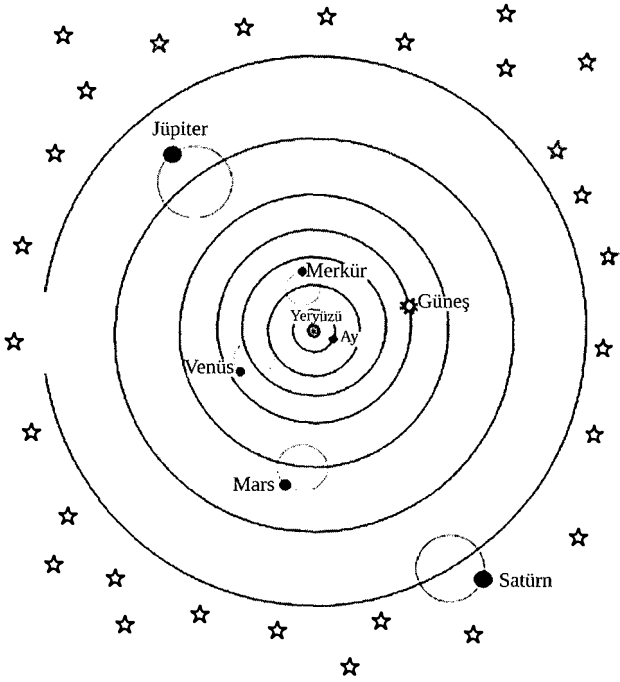
Ptolemaios’un sisteminde, gezegenler *ilmekler* adı verilen daireler şeklinde hareket eder, gezegenlerin merkezleri ise, Yeryüzünde tam olarak merkezde olmayan *eşboyutlu* denilen bir noktanın etrafında daireler şeklinde hareket eder. Bazı durumlarda ilmeklerin kendisi ilmekler şeklinde hareket eder.

Almagest öncelikli olarak, eğitilmiş astronomların gezegensel hareketleri tahmin etmelerini mümkün kılan teknik bir çalışmadır. Ptolemaios’un kozmolojisi bir başka çalışmada, esas olarak Arapça kaynaklardan tanınan *Gezegensel Hipotezler*’de ortaya konmaktadır. Temelde Aristoteles’in kozmolojisiyle aynıdır. Yeryüzü dört elementten, toprak, su, ateş ve havadan meydana gelir. Ekseni etrafında dönmez. Gökler, Aristoteles’in önerdiği saydam beşinci element olan en özlü kısımdan yani esirden meydana gelen on eşmerkezli küreden oluşur, bunlar Yeryüzünün etrafında dairesel biçimde döner. Aristoteles’in boşluğun var olmayacağına dair ısrarıyla hemfikir olarak, küreler arasında hiç boşluk, hiç boş alan bulunmaz; en özlü kısımla doludurlar.

Yeryüzüne uzaklıklarına göre sıralandığında, küreler; (1) Ay, (2) Merkür, (3) Venüs, (4) Güneş, (5) Mars, (6) Jüpiter, (7) Satürn ve (8)-(10) küreleri dönerken birbirlerine göre hareket etmemeleri bakımından sabit olan “sabit yıldızlar”ı içerir. Elbette her şey yirmi dört saatlik periyotlarla dönmektedir. Ptolemaios’un modeli, cisimlere olan uzaklıkları vermez.

43 Kragh, *Conceptions of Cosmos*’da (Kozmos Kavramları) alıntılандığı gibi, sf. 29.

44 Webster’s New World College Dictionary (Webster Yeni Dünya Kolej Sözlüğü) (Cleveland, OH: Wiley Publishing, 2010), YourDictionary.com’da mevcuttur, <http://www.yourdictionary.com/ptolemaic-system> (25 Aralık 2013’te erişim yapıldı).



Şekil 1.7 Ptolemaios'un güneş sistemi modeli. Gezegenler, Yeryüzünün tam merkezinde olmayan bir noktanın etrafında dairesel dönen eşmerkezli kürelerin yüzeylerinde dairesel olarak hareket ederler. Küreler boş değildir, Aristoteles'in en özlü kısmından yani esirden oluşur. Görsel yazara aittir.

Ptolemaios, kırk sekiz takımyıldızda 1022 yıldız saymış ve en parlak on beş yıldızı sıralamıştır.⁴⁵ Ptolemaios'un sistemi, güneş, ay ve gezegen hareketlerinin yanı sıra, yıldızların doğuş ve batışını da tahmin etmeyi mümkün kılmıştır.

Ptolemaios'un sistemi, Yunan astronomisinin ilerleyişinin bitişini işaretledi. Yunan dili, Roma İmparatorluğu'nda Latinceye yerini bırakırken, çok azı Ptolemaios'un kitaplarını okuyabiliyordu. Romalıların kendileri astronomi bilimine önemli katkılarda bulunmadılarsa da, tipik olarak zamanın ölçülmesindeki pratik kullanımında değer buldular. Jül Sezar'ın dönemine kadar, takvimin ayarı tamamen kaçmıştı, bu nedenle Sezar, İskenderiyeli

45 Bkz. Orr, *Dante and the Early Astronomers'daki* (Dante ve İlk Astronomlar) listeler, sf. 116.

astronom Sosigenes'ten (M.Ö. İlk yüzyıl) yeni bir tane hazırlamasını istedi. Sosigenes'in hazırladığı Jülyen takvimi, yüzyıllar içerisinde yapılan yalnızca ufak düzeltmelerle o zamandan beri halen kullanımdadır. Ancak mekanizmayı sağlayanın hâlâ Yunan astronomisi olduğu unutulmamalıdır.⁴⁶

46 Ibid., sf. 125.

II - YENİ KOZMOSA DOĞRU

HIRİSTİYAN ALEMİNDEKİ KOZMOLOJİ

Kilise'nin ilk liderlerinin bazıları, Yunan bilim insanlarının dünya kavramına karşı çıktılar. Tertullian (yaklaşık 160-225) sordu, "Atina'nın Kudüs'le sahiden ne ilgisi var?" İmparator Konstantin'in (272-337) danışmanı, nüfuzlu piskopos Lactantius (yaklaşık 240-320), Yeryüzünün küreselliğini, öteki taraftaki insanların "başlarının üzerinde ayak izleri olduğu" ve "yağmur, kar ve dolu yukarı doğru yağdığı" gibi absürt düşünceler gibi, inanışa ters düştüğü için reddetti.¹

Ancak başta İskenderiyeli Clement (yaklaşık 150-215), Origen (yaklaşık 184-253) ve Ambrose (yaklaşık 340-397) olmak üzere, birtakım Kilise babaları, Yeryüzünün küre biçiminde olduğu düşüncesini kabul eder görünüyordu.²

Büyük teolog Hippolu Augustinus (354-430) bilime, Tanrı'nın yaratımı hakkında bilgi edinmek için bir araç olarak saygı duyuyordu, ancak hâlâ akıl ve vahyin, gözlem karşısında üstün kabul edilmesi gerektiğinde ısrarlıydı. Galileo, Augustinus'un felsefesinde hemfikir olacak çok şey bulur ve vahyin ardındaki Kutsal Ruhun "kurtuluş için hiç kimseye yararı olmayan şeyleri insanoğ-

1 Helge Kragh, *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Universe: a History of Cosmology* (Mitlerden Hızlanan Evrene Kozmos Kavramları: Kozmolojinin Tarihi) (Oxford; New York: Oxford University Press, 2007), sf. 34.

2 Andrew Dickson White, *A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom: Two Volumes in One* (Hristiyan Aleminde Bilimin Teolojiyle Mücadelesinin Tarihi: İki cilt bir arada), Great Minds Series (Amherst, NY: Prometheus Books, 1993), sf. 97. Birçok Hristiyan yazar, White'ın, Yeryüzünün küre biçiminde olduğu fikrine Kilise'nin resmi olarak karşı çıktığını söylediğini iddia ederek, onu baltalamaya çalıştı. Kendiniz de okuyacağınız gibi, White bunu söylemedi.

lunun öğrenmesini arzu etmediği”ne dair teoloğun ifadesinden bahseder.³ Kopernik modeline dayanan kendi güneş-merkezli kozmolojisinin, o zamanki Kilise öğretileriyle çelişmediğini öne sürmesinde bunun faydası oldu ancak en nihayetinde başarısız oldu.

Yunan ve Roma ilminin büyük bölümü, ilk Kilise tarafından bastırılmıştır. Ancak yedinci yüzyıla gelindiğinde, bilimsel literatür Avrupa’da yeniden ortaya çıkmaya başladı, gerçi daha çok Romalı yazarlara aitti ve oldukça ilkeldi.⁴ Yine de, kütüphanesinin Hristiyan fanatiklerce 390’da yıkılmasına rağmen, İskenderiye Yunan ilminin kalesi olmayı sürdürdü. Orada, John Philoponus (490-570), Aristoteles’in doğa felsefesini, tektanrıcılıkla bağdaştırmaya çalıştı. Aristoteles’in cisimsiz ışık teorisini reddetti, ancak onların güneşin ateşinden kaynaklanan ışınlar olduğunu söyledi. Ayrıca boşluğun varlığını savundu.

Kozmolojide, Philoponus, net bir şekilde Hristiyan öğretisiyle çelişen sonsuz evren düşüncesini, *Aristoteles’e karşı Dünyanın Sonsuzluğu Üzerine* adlı çalışmasında reddetti. Argümanlarından biri, geçici olarak sınırsız bir evrenin imkânsız olduğu, çünkü bunun, sınırsız bir sebepler zincirinin şimdiki zamana ulaşması gerektiği demek olduğuydu. Yani, eğer evren sonsuzsa, hiçbir zaman şimdiki zamana ulaşamazdı. Ancak Philoponus, sonsuz bir evrenin hâlâ, sınırsız bir zaman önce meydana gelen bir başlangıcı olduğunu varsayıyordu. Bu argüman, günümüz teologlarınca kullanılmaya devam edilmektedir. Her şeyi sadece şu an için ortaya koymak yanlıştır. Evrenin bir başlangıca sahip olmuş olması gerekmez. Şimdiki zamandan, –geçen yıl, bin yıl öncesi, on milyar yıl öncesi– ne kadar uzak olursa olsun geçmişteki herhangi bir ana kadar geçen zaman, hâlâ sınırlıdır.

On ikinci yüzyıla gelindiğinde, Yunan ilmi tekrar Avrupa’nın içerisine yayılmaya başlamıştı; bazı metinler doğrudan Yunancadan Latinceye çevrildiği halde, çoğunluğu, Arapça kitaplar ve yorumlar yoluyla elde edildi (bkz. sonraki bölüm). Cremonalı Gerard (1114-1187), Öklit’in *Elementler*’ini, Aristoteles’inde doğa felsefesi üzerine çalışmalarını ve Ptolemaios’un

3 Ibid., sf. 35.

4 Ibid.

Almagest'ini, Arapçadan Latinceye çevirdi. On üçüncü yüzyılın ortalarında, Aristoteles-Ptolemaios kozmolojisi, Kilise tarafından kurulan yeni üniversitelerde paradigma haline gelmişti.⁵

Ancak bahsedildiği gibi, Hristiyan alimler Aristoteles'in kozmosunda çok önemli bir değişiklik yaptılar. Zamanda sonsuz olmak, başlangıcı ya da sonu olmamak yerine, dünya sınırlı bir zaman önce Tanrı tarafından yaratıldı ve İsa, Tanrı'nın Krallığını kurmak üzere döndüğünde, gelecekteki sınırlı bir zamanda sona erecek. İkinci yüzyılın sonları gibi erken bir zamanda, Antakyalı Teofilos (yaklaşık 180), evrenin M.Ö. 5529'da oluştuğu tahmininde bulundu. O zamandan günümüze kadar, bilim tarafından tahmin edilen çok daha uzun zamanları kabul etmeyi reddedenler, Kitab-ı Mukaddes'ten çıkarılan, yaklaşık altı bin yıllık bir yaş üzerinde uzlaştılar.⁶

Aristoteles'in öğretilerinin yaygınlaşmasından önce dahi, Avrupalı alimler doğayı, elbette Tanrı tarafından yazılan ancak nedensel ilkeleri izleyen kendi yasaları olan bağımsız bir varlık olarak görme yönünde düşünmeye başlamışlardı. Aristoteles yaratılışa dair bir doğa teorisi getirmediği için de onlar getirmek zorundaydı.

1220'lerde, Oxford Üniversitesinin ilk rektörü Robert Grosseteste, bir kez Tanrı başlattıktan sonra mucizelere ya da öteki ilahi müdahaleye bel bağlamayan evrenin kökenine dair doğacı bir açıklama getirdi. Grosseteste'in modeli yüzeysel olarak, şişen evrenin ışınım egemen ilk evresine dair modern senaryomuzu andırır. Tarihçi Helge Kragh, Grosseteste'in modelini şöyle betimler:

Evren, dedi, kendini genişleyen bir kürenin içerisine hemen yayan bir ışık noktası olarak, aslen Tanrı tarafından yaratıldı, böylece mekânsal boyutları ve nihayetinde, genişleyen ışık küreden içeri doğru çıkan ışık sayesinde de Aristoteles kozmolojisinin göksel kürelerini meydana getirdi.⁷

Aristoteles kozmolojisindeki bazı değişiklikler teolojik sebeplerle yapıldı; sabit yıldızlar küresinin ötesine ilave küreler yerleştirildi ve meleklerin mekânı olan hareketsiz bir "gökkubbe cenneti" eklendi.

⁵ Ibid., sf. 37.

⁶ Ibid., sf. 32–33.

⁷ Ibid., sf. 38.

Ptolemaios'un yüksek derecede matematiksel sistemi, ortaçağ ilmince yavaş yavaş sindirilip, astronomik tahminler yapmakta kullanıldı. Birçok ortaçağ astronomu, kozmosun doğası hakkındaki felsefi spekülasyona bulaşmayıp, Ptolemaios'un sistemini yalnızca bir model olarak gördüler. Diğer taraftan doğacı filozoflar, astronominin, model oluşturmaktan daha fazlası olduğunu, bize gerçeklik hakkında bir şeyler söylediğini düşünüyorlardı.

ARAP İMPARATORLUĞUNDAKİ KOZMOLOJİ

Ortaçağ filozofları, sadece Hıristiyanlık alemindekileri değil, o sırada olağanüstü altın çağını yaşayan Arap imparatorluğundaki bilginleri de içeriyordu. Antik Yunan ve Roma metinlerini Arapçaya çevirmenin yanı sıra, bu bilginler, antik düşünce üzerine birçok ilerleme kaydettiler. Söz konusu bilginlerin, şimdiki halinden çok farklı olan, Arapça konuşulan dünyada başarılı olabilen birçok Yahudiyi, öteki gayrimüslimleri ve Arap olmayanları da içerdiğini not düşmek gerekiyor.

Önde gelen Anglo-İraklı fizikçi Jim Al-Khalili, *Bilgelik Evi: Arap Bilimi Nasıl Antik Bilgiyi kurtarıp Bize Rönesansı Verdi* adlı kitabında, Arap ilminin hikâyesini anlatıyor.⁸ Hıristiyan bilginlerde olduğu gibi, İslam ülkelerindekiler de, Aristoteles'in öğretilerine yüksek takdir gösterdiler, ancak dini inançlarıyla çelişen bu öğretilerde değişiklik yapma ihtiyacı duyular.

Yaratılış düşüncesi Kitab-ı Mukaddes'te olduğu gibi Kur'an'da da derinlemesine yerleşmiş olduğundan, kozmolojide bu yine, evrenin sonsuz olamayacağını kanıtlama anlamına geliyordu. Al-Khalili, Yâkub İbn İshak el-Kindî'yi (yaklaşık 800-873) İslamın ilk filozofu olarak tanımlar. El-Kindî, Philoponus'un daha önce bahsedilmiş olan, eğer evren sonsuzsa, şimdiki zamana ulaşması için sınırsız bir süre gerekirdi şeklindeki argümanını benimsemişti.⁹ Bugün hâlâ duyulan bu argümanın niçin doğru olmadığını daha önce açıklamışım.

8 Jim al-Khalili, *The House of Wisdom: How Arabic Science Saved Ancient Knowledge and Gave Us the Renaissance (Bilgelik Evi: Arap Bilimi Nasıl Antik Bilgiyi Kurtarıp Bize Rönesansı Verdi)* (New York: Penguin, 2011).

9 Ibid., sf. 132.

Ortaçağ Arap bilginlerinin büyük kısmı, Hristiyan alemindekiler gibi, güneş sisteminin yer merkezli modelini kabul ederken, Bağdatlı astronom Ebû Saîd Ahmed b. Muhammed b. Abdilcelîl es-Siczî (yaklaşık 950-1020) tarafından güneş merkezli bir sistem önerildi.¹⁰ Daha önce Fars astronom Ebu Ma'ser el-Belhi (namı diğer Albumasar) (yaklaşık 787-886), güneş Yeryüzünün etrafında dönerken, Yeryüzü dışındaki tüm gezegenlerin güneşin etrafında döndüğü, Yeryüzününse evrenin merkezinde bulunduğu özgün bir sistem ileri sürmüştü.¹¹

İslamın altın çağı, on üçüncü yüzyılda Moğolların istilasıyla sona yaklaşırken, Kopernik'in ve takip eden astronomi devriminin üzerinde büyük bir etkiye sahip olacak önemli bir şahsiyet ortaya çıktı.¹²

Nasîrüddin Tûsî (1201-1274), kuzey İran'dan bir Fars bilginiydi. Yaklaşık 1220'de Moğollar bölgedeki şehir ve kasabaları yağmalayıp, yüz binlercesini katlederken, Tûsî, Haşhaşiler adı verilen gizli bir dini tarikata katıldı. Karargâhları dağlardaki Alamut kalesi olan Haşhaşiler, çoğunlukla kiralık olarak, baskınlar ve suikastler düzenlemek için dağlardan inerlerdi. Bu yüzden tarihe "Suikastçiler" olarak geçmişlerdir.¹³ Gerçekten de, *suikastçi* (İngilizce assassin) kelimesi Haşhaşilerden türemiştir, tıpkı aslen sadece "kuru ot" ya da "çimen" anlamına gelen ancak şimdi kenevirin bir şeklini ifade eden *haşhaş* kelimesinde olduğu gibi.

Tûsî, Alamut'ta neredeyse otuz yıl araştırma yaptı, bir rasathane kurarak, kendisiyle çalışmak üzere her taraftan bilginleri çekti. 1256'da Cengiz Han'ın torunu Hülagü Han önderliğindeki Moğollar, dağlardaki kaleye saldırıp, tarikatı ortadan kaldırdığında, o, bir şekilde hayatta kalmayı başardı. Tûsî, Hülagü'yü, Han'ın bir bilim danışmanına ihtiyacı olduğuna ikna etti. Bunun üzerine 'Tahran'ın doğusunda, Meraga'da bir başka rasathane kurdu, burası kısa süre içinde dünyanın en büyük astronomi merkezi haline geldi. Uzaklardan, Çin'den dahi gelen bilginler, burada Tûsî'ye katıldılar.

Tûsî, Ömer Hayyam dahil, önceki matematikçilerin trigonometri ve sayı teorisindeki çalışmalarını devam ettirip, geliştirerek,

10 Ibid., sf. 182.

11 Ibid., sf. 212.

12 Ibid., sf. 213-21.

13 Bernard Lewis, *The Assassins: A Radical Sect in Islam* (Suikastçiler: İslam'da Radikal bir Tarikat) (New York: Basic Books, 2003).

Moğolların Arap imparatorluğunda, Bağdat ve başka yerlerdeki kütüphaneleri yok etmelerinin ardından, bilimin geçici bir uyanışına yol açtı.

Tûsî'nin *Astronomi Hakkında'sı* (1261), birçok tarihçi tarafından ortaçağda astronomi üzerine yazılmış en önemli kitap olarak görülmektedir. En önemlisi de, kitap Kopernik'i etkilemiş benzer. Ptolemaios modelini, şimdi *Tûsî çifti* olarak bilinen bir geometrik yapı kullanarak geliştirdi. Bu, çapı iki katı olan bir başka dairenin çemberi etrafında dönen bir dairedir temel olarak. Esasen aynı şekil, Kopernik'in 1543'te yayınlanan *De revolutionibus orbium celestium*'unda ortaya çıkacaktı.

Ne Tûsî, ne de Meraga'daki öteki astronomlar, güneş merkezli modeli önermezken, Kopernik, bu fiziksel resmi geliştirmek için onların matematiksel yöntemlerini kullanmış gibi görünüyor.

KOPERNİK ve GÜNEŞ MERKEZLİ EVREN

1. Bölümde, M.Ö. üçüncü yüzyılda Sisamlı Aristarkhos'un, güneşe olan uzaklıklarına göre doğru sıralamadaki bilinen gezegenlerle güneş merkezli bir güneş sistemini düzenlediğini görmüştük. Ancak bu model, özellikle bir hayli etkili Aristoteles ve daha sonra Katolik Kilisesi'nden olmak üzere, o kadar güçlü felsefi ve teolojik itirazlarla karşılaştı ki; iki bin yıl boyunca büyük ölçüde göz ardı edildi.

On beşinci yüzyılda Karanlık Çağ'ın üzerinde yavaşça şafak sökerken, Avrupalı bilginler kozmos hakkında yeni düşüncelere sahip olmaya başladılar. Cusalı Nicolas (1401-1464), felsefe, teoloji, kilise politikaları ve astronomide büyük başarıya sahip, Alman bilgin ve Roma Katolik kardinaliydi. Yeryüzünün, evrenin merkezinde hareketsiz olarak bulunmama olasılığını düşündü. Ayrıca gökcisimlerinin kusursuz küreler olmadığını ve yörüngelerinin tam olarak dairesel olmadığını da ileri sürdü.

Ancak Cusalı Nicolas'ın argümanları, gözlemlere değil teolojik muhakemeye dayanmaktaydı. Tanrı'nın, hem evrenin merkezi ve hem de çevresi olan, her yerde ve hiçbir yerde olduğunu varsayıyordu. Bununla birlikte, Cusalı Nicolas, Kopernik devrimi olarak bilinen şey için zemin hazırlamıştı.

Bu devrimden sorumlu kişi, Mikolaj Kopernik'ti (1473-1543). Ancak her nedense, hayatına dair ayrıntılara literatürde nadiren rastlanır, daha çok Galileo ve onun Kiliseyle olan sorunlarına odaklanılmıştır.

Büyük ölçüde, Dava Sobel'in son zamanlarda kaleme aldığı, *Daha Kusursuz bir Gök* adlı Kopernik'in öne çıkan biyografisine dayanarak, bu ihmali bir nebze olsun gidermeye çalışacağım.¹⁴ Sobel, Kopernik'in Polonya Katolik Kilisesi'nde önemli görevler üstlenip, bir yandan da doktorluk yaparken, gökleri gözlemlemek ve üzerinde kafa yormak için nasıl bir şekilde vakit bulmayı başardığını anlatıyor.

Kopernik Polonya, Torun'da dünyaya geldi. Katolik Kilisesinde katedral rahibi olan, daha sonra Varmiya piskoposluğuna yükselen dayısı Lukasz Watzenrode'un himayesinde yetişti. 1491'de Kopernik, mantık, şiir, etkili konuşma sanatı, doğa felsefesi ve en büyük ilgisi olan matematiksel astronomi öğreneceği Krakow'daki Jagiellonian Üniversitesine kaydoldu. "Bütün güzel şeyleri içeren göklerden daha güzel ne olabilir" şeklinde hayranlığını göstermiştir.¹⁵

1496'da, dayısının hizmetinde, Bolonya Üniversitesinde kilise hukuku okuyacağı İtalya'ya gitti. Ertesi yıl dayısı tarafından Varmiya'da katedral rahibi olarak görevlendirildi ve jübile yıl 1500'de, matematik üzerine kısa süreliğine ders de verdiği Roma'yı ziyaret etti.

Kısa bir memleket ziyaretinden sonra, 1501'de Kopernik İtalya'ya geri döndü. Burada, Padua'da tıp okuyup, kan alma, bozuk salgılar ve zamanın öteki tıbbi ilimlerini öğrendi. Ayrıca astrolojinin teşhis ve tedaviye uygulanmasını okudu, bununla birlikte astrolojiyi hiçbir zaman ciddiye almadı.

1503'te Kopernik, Ferrara Üniversitesinden kilise hukuku üzerine doktorasını aldı, ardından da Polonya'ya, memleketine dönüp, Varmiya'nın piskoposu ve katedral rahiplerinin "iyileştirici hekimi" oldu. Ayrıca köylüleri ücretsiz olarak tedavi etti.

14 Dava Sobel, *A More Perfect Heaven: How Copernicus Revolutionized the Cosmos (Daha Kusursuz bir Gök: Kopernik Kozmosu Nasıl Kökten Değiştirdi?)* (New York: Walker, 2011).

15 Ibid., sf. 7.

Kopernik 1510'da, Varmiya piskoposluğu bölgesinde, kuzey-doğu Polonya'da ufak bir kasaba olan Frauenberg'e (Frombork) daimi olarak yerleşti. Burada, yüksek seviyede dini görevleri yerine getirirken, astronomik araştırmalarla meşgul oldu, ancak hiçbir zaman atanmış bir rahip olmadı.

Sobel, 1510'a gelindiğinde Kopernik'in "sezgi ve matematik yoluyla alalecele Güneş merkezli sonucuna varmış olduğunu, astronomik gözlemlerin gerekmediğini" anlatır.¹⁶ Belki de doğrudan değilse de, fikrin "salt düşünce"nin sonuçları olduğunu varsaymak yanlış olurdu. Ne de olsa Kopernik, bir gözlemciydi ve gezegenlerin hareketlerine aşinaydı.

Kopernik, anlaşılan Aristarkhos'un önermesinden habersizdi ve fikirlerini ana hatlarıyla anlattığı, hiç kanıt içermeyen, kırk sayfalık "Commentariolis" adlı bir metin yazdı, ki bunu Sobel, *Kısa Taslak* olarak adlandırır. Kopernik yazdığı metni arkadaşlarına gönderdi, onlar da çoğaltıp, dağıttılar. Orada güneş merkezli konumunu netleştirir:

Bütün küreler Güneşin etrafını sarar, o hepsinin ortasındaymış gibi, bu yüzden de evrenin merkezi Güneşe yakındır.

Bize Güneşin hareketleri gibi görünen şeyler, onun hareketinden değil, Yeryüzünün ve diğer her gezegen gibi kendisiyle Güneşin etrafında döndüğümüz küremizin hareketinden kaynaklanır.¹⁷

Kaçamak ifade daha sonra geldi.

1511'de Kopernik, papazlar meclisinin başkanı seçildi, bu da onu meclisin oldukça kapsamlı olan mali hesaplarının tümünden sorumlu hale getirdi. Bu da, Kilise tarafından kontrol edilen 60.000 hektarın üzerinde tarım arazisini idare etmesini gerektiriyordu. Hepsi de onun onayını gerektiren, araziye işleyen köylüler arasındaki en alelade işlerle uğraşmak zorundaydı.

Bu ağır görevlere rağmen Kopernik, o zamanki herhangi bir saatin ölçebileceğinden çok daha doğru olarak, bir yılın uzunluğunu saniye farkıyla belirleyebilmesini sağlayan bir dizi gözlem yapabildi.

O zaman itibarlı bir astronom olan Kopernik, Jülyen takvimi artık fena halde uyumsuz olduğundan, 1512'de takvim reformu

16 Ibid., sf. 18.

17 Ibid., sf. 20.

konusunda kendisine danışılmak üzere Roma tarafından davet edildi. Kilise için özellikle önemli olan, Paskalya'nın, bahar gündönümünün ilk dolunayının ardından, 325'deki Birinci İznik Konsülünce belirlenmiş olduğu Pazardan çok sapmış olmasıydı. Kopernik'in katkısına dair bugüne bir kayıt kalmamasıyla birlikte, bugün hâlâ kullanmakta olduğumuz yeni Gregoryen (Miladi) takvim, 1582'de Kilise tarafından resmen kabul edildi. Artık yılların sayısını dört yüzyıl başına 100'den 97'ye indirerek ve bir yüzyılı başlatan 4 yıldan 3'ünü artık yıl yerine normal hale getirerek, Jül Sezar zamanından beri kullanımda olan Jülyen takviminden geliştirildi.

Kopernik ayrıca paranın değerinin düşürülmesi konusunu dert edinmişti; 1517'de, nasıl gerektiği gibi madeni para basarak para sorununun çözüleceğine dair bir yazı olan *Meditata*'yı yayınladı. İlginçtir ki hayatının son yıllarında Newton, İngiliz Kraliyet Darphanesi'nin müdürlüğünü yapacaktı.

1517'de Martin Luther (1483-1546) *Doksan Beş Tez*'iyle, Protestan Reformunu tetikledi. Onun ilk öğrencilerinden biri, daha sonra Kopernik'in büyük eserinin basılmasında önemli bir rol oynayacak olan, eski bir Katolik rahibi olan Andreas Osiander (1498-1552) idi. Ancak Kopernik, Ana Kiliseye olan bağlılığından hiçbir zaman sapmadı.

Sobel'in kitabı, yirmi beş yaşındaki Alman Georg Joachim Rheticus'un (1514-1574), 1539'da, altmış beş yaşındayken Kopernik'e yaptığı ziyareti anlatan iki perdelik pek hoş bir oyunu içerir. Rheticus bir Lüteriyendi ve aslında, Luther'in bulunduğu Wittenberg Üniversitesi'nde matematik ve şiir profesörüydü. O sırada Lüteriyenler, Polonya'nın o bölgesinden men edilmişlerdi ancak Rheticus bir şekilde içeri sızmıştı.

Luther astrolojiyi “şeytan tarafından uydurulmuş” diyerek küçümserken, Rheticus astrolojinin, kozmosun en derin konuları hakkında bilgi taşıdığına inanıp o bilginin keşfini geliştireceğini düşündüğü astronomik bilginin peşinde koşuyordu. Kendisinin birçok yıldız haritasını çıkartmış ve kısa bir hayatı olacağına inanmıştı; bu yüzden de, bir şey başarmak için hızlı hareket etmeliydi. O günler için oldukça uzun sayılan, altmış yaşına kadar yaşadı.

Nuremberg’deyken Rheticus, gezegenlerin hareketini, güneşin çevresinde döndükleri şeklinde betimlemiş olan bu Polonyalı katedral rahibinden haberdar oldu. Daha fazlasını öğrenmek üzere kuzey Polonya’ya gitti.

Sobel’in oyunu, Rheticus’un Mayıs 1539’da Kopernik’in kapısına gidip, başyapıtı *De revolutionibus orbium celestium*’u (*Göksel Kürelerin Dönüşleri Üzerine*) meydana getirmesi sırasında yavaş yavaş onun asistanı haline gelmesinden, Kopernik’in 24 Mayıs 1543’te ölümüne kadarki dönemi kapsar.

Kopernik bulgularını yayımlamak konusunda tereddüt ediyordu ancak Rheticus onu cesaretlendirdi. Rheticus’un, Nuremberg’de bilimsel metinler basan oldukça itibarlı bir matbaacı olan Johannes Petreius’u (1497-1550) tanıyor olmasından memnun olan Kopernik’in dostu Kulm Piskoposu Tiedemann Giese (1480-1550)¹⁸ de, Kopernik’i bu konuda cesaretlendirdi.

1539’un sonlarına doğru Rheticus, Kopernik’in modelinin mektup biçimindeki *İlk Anlatım* adlı bir özetini Nuremberg’deki bir üstad, Johann Schöner’e (1477-1547) gönderdi; bu özet ertesi yıl Petreius tarafından basıldı.

Bundan kısa bir süre sonra Andreas Osiander resme girer. Bahsedildiği gibi, Osiander Luther’in eski bir öğrencisiydi, ayrıca teolog ve amatör matematikçiydi. Osiander, Petreius’un arkadaşıydı; Petreius, Kopernik’in kitabının basılması konusunda Osiander’in fikrini almak istemiş olabilir. Osiander Kopernik’e yazıp, matematiksel hipotezlerin “inanca dayanan makaleler olmadığı, hesaplamaya dayandıkları, öyle ki yanlış olsalar bile, hareketlerin fenomenlerini tam olarak yeniden üretmeleri kaydıyla, bunun önemli olmadığı”nın altını çizen bir giriş eklemeyi önerdi.¹⁹ Osiander, “eğer hipotezlerin gerçekte doğru oldukları iddia edilmezse, bunun peripatetikleri ve teologları” yatıştıracağını söyleyerek, benzer bir öneriyi Rheticus’a da yaptı.

Rheticus, metin elinde, Eylül 1541’de Frauenberg’den ayrılıp, Ekim’de Wittenberg’e vardı. Burada fakülteye yeniden girip, edebiyat fakültesinin dekanı oldu. Tam olarak kabul edilmedi. Anlatıldığına

18 Giese, Frauenberg (Frombork) Katedrali’nde Kopernik’in yanında yatmaktadır.

19 Sobel, *More Perfect Heaven (Daha Kusursuz Gök)*, sf. 174.

göre, Luther bir gün öğle yemeği için uğrar ve şunları söyler, “İşte öyle gider artık. Her kim akıllı olmak istiyorsa, başkalarının saygı duyduğu hiçbir şeyle aynı fikirde olmamalıdır. Kendine ait bir şey yapmalıdır [Luther’in kendisi de dahil mi?]. Bütün astronomiyi altüst etmek isteyen biri işte böyle yapar. Keşmekeşin içine atılmış şeylerde dahi, inanıyorum ki, Kutsal Metinler, Joshua için, Güneşe hareketsiz durmasını emretti, Yeryüzüne değil.”²⁰

Rheticus ve Giese kahramanca, Joshua’yı (Joshua 10:12-13) Kopernik modeliyle bağdaştırmaya teşebbüs etmişlerdi. Ayrıca Yeryüzünün temelinin sonsuza dek hareketsiz kalacağını bildiren Psalm 93’le ve Kitab-ı Mukaddes’e ait öteki çelişkilerle de başetmeye uğraştılar. Rheticus bir makale yazarak, Kopernik’i kutsal kitapla doğru hale getirmeye kalkıştı, ancak makale hiçbir zaman yayınlanmadı.

Rheticus metnin büyük kısmı elinde, nihayet Mayıs 1542’de Nuremberg’e varıp, Petreius’a teslim edebildi. Petreius metni derhal basmaya başladı. Rheticus baskıdan çıktıkça her sayfanın düzeltilmesini yapıyordu. Ancak Ekim’de yalnızca yarısı tamamlanmışken, Leipzig Üniversitesi’nde yüksek matematik profesörlüğü işi için Nuremberg’den ayrıldı.

Bu noktada Osiander devralıp, işi tamamladı. Metnin ilerlemesini kontrol etmekte olan Kopernik, Kasım 1542’de altmış dokuz yaşındayken, onu devam edemeyecek hale getiren bir felç geçirdi. 24 Mayıs 1542’de Kopernik’in arkadaşı Jerzy Donner, Nuremberg’den henüz gelmiş olan son sayfaları onun yatağına götürüp, eline verdi. Hemen ardından, Donner Kopernik’in can verdiğini gördü.²¹ Kopernik’in çalışması tamamlanmıştı.

O zaman Kilise, *De revolutionibus*’un inanışa ters düştüğünü düşünmüyordu. Kopernik eseri Papa III. Paul’e ithaf etmişti. Öncelikle eser son derece teknikti, o nedenle ancak matematiksel yönden en bilgili okuyucu kavrayabilirdi. İkincisi yazılanların harfi harfine gerçek olarak kabul edilmesi istenmiyordu kitapta. Osiander, modeli, felsefik ya da teolojik çıkarımları olmayan, yalnızca astronomik hesaplamalar için bir araç olarak takdim eden imzasız bir önsöz eklemişti:

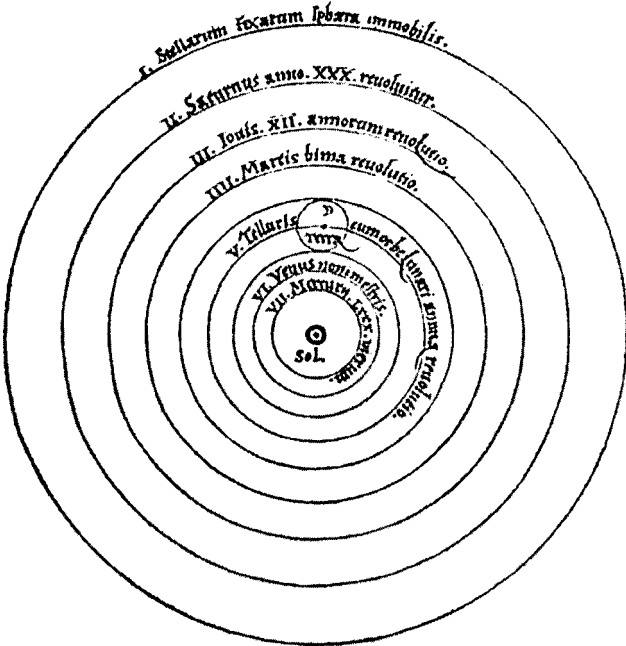
20 Ibid., sf. 178.

21 Ibid., sf. 186.

Bu kitaptaki fikirlerden rahatsız olup, sosyal bilimlerin tamamının keşmekeşin içine atılmak üzere olduğundan korkabilirsiniz. Ancak endişe etmeyin. Bir astronomun dikkatli gözlemler yapması, ardından da hipotezleri kurması gerekir; böylece gezegensel konumlar herhangi bir zaman için belirlenebilir. Bunu yazarımız iyi yapmıştır. Ancak bu tür hipotezlerin gerçek, hatta muhtemel olması gerekmez. Belki bir filozof gerçeği arar ama bir astronom yalnızca en basit olanı alır ve kutsal bir biçimde onlara bildirilmedikçe, ikisi de kesin bir şey bulmayacaktır. Yani gerçeği burada bulmayı umuyorsanız, dikkat edin, yoksa girdiğinizden daha büyük bir ahmak olarak çıkarsınız.

Kopernik modeli Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

De revolutionibus aslında altı kitaptır. Güneşe olan doğru sıralamaya ve olağanüstü kesinlikte tahmin edildiği ortaya çıkan yörünge dönüş sürelerine sahip gezegenlerle birlikte birleşik bir sistem sunmaktadır. Ancak Kopernik yine de, dairesel yörüngeleri korumak için ilmekleri ortaya koymak zorundaydı. Bu nedenle yayınlanan model, Şekil 2.1’deki kadar basit değildi, ancak hâlâ Ptolemaios’un sisteminden daha basitti.



Şekil 2.1. Kopernik’in güneş sisteminin güneş merkezli modeli. Daha sonra Galileo’nun (1564-1652) tanıtacağı resim, teleskobuyla keşfetmiş olduğu

Jüpiter'in etrafındaki dört ay için eklenen yörüngeler dışında aynıdır. Gör-sel, NASA'nın Yeryüzü Rasathanesinin izniyle, Mikolaj Kopernik, 1543, *De revolutionibus orbium celestium*'dan (*Göksel Kürelerin Dönüşleri Üzerine*) uyarlanmıştır.

İLK TEPKİ

Kilise hemen Kopernik modelini reddetmezken, nihayetinde teolojik çevrelerde kınanmasına yol açacak güçler o sırada devreye girmekteydi. Protestan Reformu, Hıristiyan aleminde otorite kaynağının konumundaki Roma Kilisesi'nde derin bir çatlak yarattı. Kilise Kitab-ı Mukaddes'e saygı gösterse de onu teolojik meselelerde nihai otorite olarak görmüyordu. O otorite, tüm dünyevi meselelere hükmetme hakkını doğrudan İsa'dan alan Peter'dan itibaren gelen, kesintisiz bir veraset yoluyla tahta çıkma sırası iddiasına dayanarak, nihai olarak papanın elindeydi. Reform, papalık otoritesinin yerine koyacak bir şey bulmak zorundaydı ve tek alternatif Kitab-ı Mukaddes'ti; bu da onun, kelimenin tam anlamıyla Tanrı'nın sözü olarak kabul edilmesi anlamına geliyordu.

Bugün bile birçok Protestan mezhebinde, Kitab-ı Mukaddes yanılmazlığına temel dogma olarak rastlıyoruz. Bu da, evrim ve Yeryüzünün yaşı gibi bilimsel sonuçları reddetmelerine yol açıyor, oysa Katolik Kilisesi'nin bunlarla pek az sorunu vardır. Papalar bilimsel keşiflerin çoğunu, ilahi yaratılışı ve ruhun manevi doğasını inkâr etmedikleri sürece, kabul edilir ilan etmiştir. (Bu bağlamda, Katolik Kilisesi'nin mi yoksa ılımlı Hıristiyanların mı, bilimin anladığı şekliyle yani Tanrı-kılavuzlu olmayan biyolojik evrime gerçekten inandığı tartışılır.)

Kitab-ı Mukaddes'in harfi harfine gerçek olduğunu vaaz eden Luther ve öteki reformcular, kutsal metinlerle aynı görüşte olmadığından Kopernik'in resmine karşı çıktılar. Ancak Luther'in *De revolutionibus*'un yayınlanmasından sadece üç yıl sonra, modelin bilimsel açıdan doğruluğunun ortaya konması henüz çok uzakken öldüğü unutulmamalıdır. Bununla beraber, reformun baskısı altında, İsa Cemiyeti liderliğindeki Roma Katolik Kilisesi, sonraki yüzyıl boyunca birçok konuda daha muhafazakâr tavır almayı gerekli buldu; buna Kopernik'ten vazgeçmek ve sonunda yüksek

matematiği yaratacak olan matematiksel sonsuz küçükler metoduna karşı çıkmak dahildi.²²

O sırada Kilise'nin başının bir başka belası, İtalyan Dominik keşiş Giordano Bruno (1548-1600) idi; onu ancak kazıkta yakarak susturabildiler. Bruno yakılmayı hak etmek için dine aykırı birçok düşünceye kapıldı, ancak onun kozmolojisi bizim hikâyemizle özellikle bağlantılıdır. Daha önce bahsedilmiş olan Cusali Nicolas'ın fikirlerinden bazılarını alıp detaylandırıdığı söylenebilir.²³ Bruno, güneşin yalnızca, sınırsız sayıda dünyaya sahip olan ve merkezi olmayan bir evrendeki bir başka yıldız olduğunu ileri sürdü. Ayrıca bu dünyalarda başka akıllı varlıklar yaşamaktaydı.

Kronolojik hikâyemizde sırada şu var; 1572'de Danimarkalı astronom Tycho Brahe (1546-1601) gökyüzünde çabucak yok olan parlak bir ışıltı, bir süpernova gözlemledi. Bu, göklerin, kusursuz ve değişmez olduğuna dair geleneksel inancın aksine, tahmin edilemez bir biçimde değişebildiğinin ilk kanıtını sağladı. İngiliz astronom Thomas Digges (1546-1595), Tycho'nun süpernovasının ıraklık açısını ölçmeye çalışıp, başaramadı ve ayın yörüngesinin ötesinde olması gerektiği sonucuna vardı.

Digges ayrıca, Kopernik modelinin ilk anlatımını 1576'da İngilizce olarak yayınladı. Güneş sisteminin ötesindeki sabit yıldızların sınırlı küresi düşüncesini terk edip, yerine yıldızların sınırsız kozmosunu getirdiğinde, kozmolojik anlamda büyük bir değişim ileri sürmüş oldu. Gözlemlenen ıraklık açısının yokluğu, Kopernik tarafından iddia edildiği gibi, onların çok uzakta olduklarına inandırdı onu.

Ancak Tycho, Kopernik modelinin “Ptolemaios'un sistemindeki gereksiz ve uyumsuz olan her şeyden ustalıkla ve bütünüyle kurtulduğunu” kabul ederken, “Yeryüzüne, o iri yarı ve hantal, tembel, harekete elverişli olmayan gövdeye, eter meşalelerinin

22 Amir R. Alexander, *Infinitesimal: How a Dangerous Mathematical Theory Shaped the Modern World (Sonsuz Küçük: Tehlikeli bir Matematiksel Teori Modern Dünyayı Nasıl Şekillendirdi)* (New York: Scientific American/Farrar, Strauss, and Giroux, 2014).

23 Mary-Jane Rubenstein, *Worlds without End: The Many Lives of the Multiverse (Sonu olmayan Dünyalar: Çoklu Evrenlerin Çok Sayıdaki Hayatı)* (New York: Columbia University Press, 2014), sf. 88–105.

kadar hızlı bir hareket, üstelik de üçlü bir hareket atfetmesine” karşı çıkıyordu.²⁴

Böylece Tycho daha önce başkaları tarafından ileri sürülmüş olan, öteki gezegenler güneşin etrafında dönerken, Yeryüzünün merkezde kaldığı, güneşle ayın onun etrafında döndüğü bir model yayınladı. Günün gözlemlerine uygun olmak konusunda, aslında Kopernik modelinden daha doğrudu ve Kilise öğretisine daha uygundu, bu da onu bir süreliğine oldukça popüler yaptı.

KEPLER ve GEZEGENSEL HAREKET YASALARI

Kopernik modeli kavramsal olarak Ptolemaios’un modelinden, özellikle de gezegenlerin hareketlerini resmetmek açısından daha basitken, giriş verileri kusurlu olduğundan, hesaplama aracı olarak doğrudan üstün değildi. Bu, Brahe ve ardından Johannes Kepler’in (1571-1630) gelişmiş gözlemleriyle değişecekti. Ayrıca Kepler, yeni gözlemleri yüksek kesinlikle betimleyen gezegensel hareket yasalarını getirerek, muazzam bir ilerleme kaydetti.

Kepler’in gezegensel hareket yasaları

1. Her gezegenin yörüngesi elips şeklindedir, güneşse iki odakta birindedir.
2. Bir gezegenle güneşi birleştiren bir çizgi, eşit zaman aralıklarında, eşit alanları tarar.
3. Bir gezegenin yörünge dönüş süresinin karesi, yörüngesinin yarı asal ekseninin küpüyle doğru orantılıdır.

TELESKOBU GÖKLERE ÇEVİRMEK

Galileo’nun hikâyesi, tanıdık ancak yine de geniş ölçüde yanlış anlaşılmıştır. Onun fiziğe olan devasa katkılarını önceki birçok kitapta, son olarak *God and the Atom*’da²⁵ (*Tanrı ve Atom*) ele

24 Owen Gingerich, *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler* (Göğün Gözü: Ptolemaios, Kopernik, Kepler) (New York: Amerikan Fizik Enstitüsü, 1993), sf. 181.

25 Victor J. Stenger, *God and the Atom: From Democritus to the Higgs Boson* (*Tanrı ve Atom: Demokritos’tan Higgs Bozonuna*) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2013).

aldım, buradaysa, onun astronomisine odaklanacağım. Osiander'ın aksine Galileo, güneş merkezli modelin yalnızca göksel olayları tahmin etmek için faydalı bir araç olduğunu öylece kabul etmeye razı değildi. Doğanın bir gerçeği olduğu konusunda ısrar etti. Kepler de aynı kafadaydı.

Kırılmalı teleskop, 1608'de Hollandalı gözlükçü Hans Lipperhey (ya da Lippershey) (1570-1619) tarafından icat edilmişti. İlk örnekleri sadece birkaç kat büyütme özelliğine sahipti. Galileo bunu otuz faktöre kadar iyileştirmeyi başardı ve bu üstün cihazını göklere çevirdi.

Gözlemleri ilk defa 1610'da *Sidereus nuncius*'da (bugün birçoğu tarafından Starry Messenger olarak bilinir) yayınlandı.²⁶ Ay'ın üzerinde dağlar ve kraterler gördüğünü anlattı. Çıplak gözle görünen on kat fazla sayıda yıldızı ve Samanyolu'nun yanı sıra, çözmek için fazla uzakta olan yıldız yığınları olarak yorumladığı bulanık nebuları gördü.

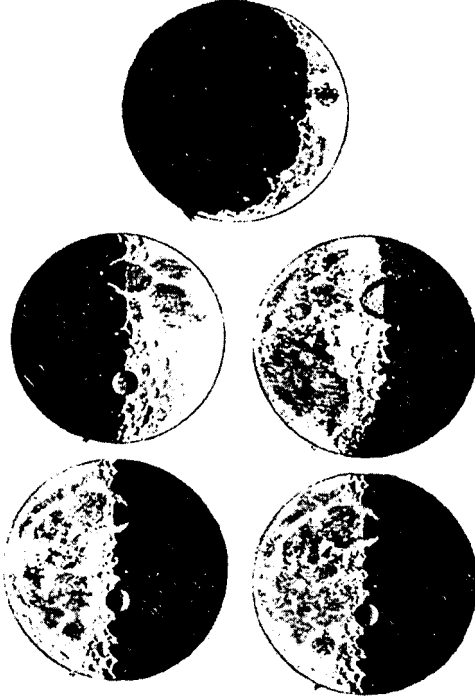
Galileo'nun, *Sidereus nuncius*'dan alınmış Ay taslaklarını Şekil 2.2'de görebilirsiniz. Bu, daha sonra gözlemlenen güneş lekeleriyle birlikte, gök cisimlerinin kusursuz küreler olduğuna dair Aristoteles tarafından öğretilen yaygın inancın, doğrudan deneysel olarak yanlışlığının ispatlanmasını sağladı.

1610'da Galileo ayrıca, Ay'ın Yeryüzünün yörüngesi içerisinde turlamasına benzer biçimde, Venüs'ün, güneşten aldığı kısmi aydınlanmadan kaynaklanan evreler sergilediğine dair önemli keşfi yaptı. Bu gözlem, Ptolemaios'un sistemiyle açıklanamaz, bununla birlikte Tycho'ninki gibi öteki yer merkezli modelleri hükümsüz kılmıyordu.

Ancak belki de Galileo tarafından gerçekleştirilen en çarpıcı gözlemler dizisi, Jüpiter'in dört ayıydı. 7 Ocak 1610'dan 1 Mart'a kadar, bulutların görüşünü kapattığı anlar dışında, Jüpiter'in yakınındaki dört cismin konumlarının taslaklarını çizdi. Bu taslakların altmış dört tanesi *Sidereus nuncius*'da, alıntı yapılmış baskıda 65. sayfa ile 83. sayfa arasında yer almaktadır. Örnek bir grup Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

26 Galileo Galilei, *Sidereus nuncius, ya da, the Sidereal Messenger (Yıldız Habercisi)*, çev. Albert Van Helden (Chicago: University of Chicago Press, 1989). İlk kez 1610'da yayınlandı.

Galileo'nun ayrıca, gelgitlerin Yeryüzünün güneşin etrafındaki hareketinden kaynaklandığı ve bunun kanıtı olduğu başta olmak üzere, gözlemlerle desteklenmeyen bir dizi iddiada bulunduğundan bahsetmek gerekiyor. Burada büyük gözlemci, kendi modeli yalnızca birini tahmin ederken, günde iki gelgitin meydana geldiği gerçeğini göz önünde bulundurmamıştı. Kepler daha önce doğru açıklamayı yapmıştı; gelgitlere ay neden olmaktadır.

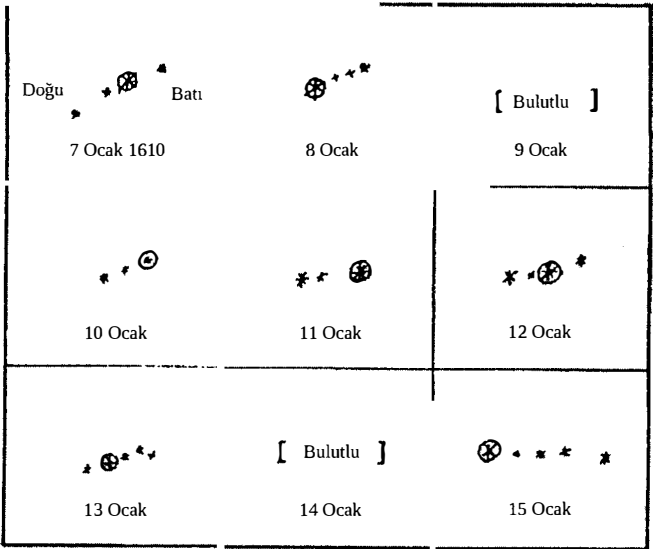


Şekil 2.2 *Sidereus nuncius*'dan Galileo'nun ay taslakları. Görseller, Galileo Galilei, *Sidereus nuncius* ya da *Sidereal Messenger*'dan, çev. Albert Van Helden (Chicago: University of Chicago Press, 1989); ilk kez 1610'da yayınlandı.

1616'da Kilise Galileo'ya, Yeryüzünün "hareket ettirilemez" olduğunu ifade eden Kitab-ı Mukaddes'e dair birtakım referanslara (Psalms 93:1, 96:10, 104:5, Chronicles 16:30) uymayan, güneşin evrenin merkezi olduğunun ve Yeryüzünün hareket ettiğinin gerçek olduğunu iddia etmemesini emretti. Ayrıca Kilise,

mutlak hareket kavramını içeren Aristoteles'in fiziğini yetkili kabul etti. Bunun, Kilise öğretilerinin mutlak olduğuna dair doktrine iyi uyduğunu unutmamak gerekir. Ancak Galileo anlaşılmış görünüyordu, bu kez çalışmalarını sürdürmekten men edilmedi.

Böylece Galileo, teleskobik gözlemlerine devam etti. Ardından başını büyük derde soktu. 1632'de Galileo, coşkuyla Kopernik modelini savunan *Dialogues on the Two Chief World Systems*'ı (İki Ana Dünya Sistemi Üzerine Diyaloglar) yayınladı. *Dialogues*'da, Aristotelesçi konumu temsil eden Simplicio karakteri, daha önce papanın kendisinin ifade etmiş olduğu argümanları dile getirir. Daha önce Galileo'nun arkadaşı ve destekçisi olan Papa VIII. Urbanus hoşnut değildi. Galileo Engizisyonca itaatsizlikten yargılanıp, dizlerinin üzerinde sözünü geri almaya mecbur bırakıldı ve daimi fakat oldukça rahat ev hapsine mahkûm edildi.



Şekil 2.3 Jüpiter'in aylarının konumlarına dair Galileo'nun taslaklarına bir örnek. Bu gözlemler, bu cisimlerin Yeryüzünün değil, Jüpiter'in etrafında dönen aylar olduğuna dair şüphe bırakmadı. Ancak bir kez daha, Tycho'nunki gibi, her cismin Yeryüzünün etrafında dönmediği yer merkezli bir model düşünülebilirdi. Görseller, Galileo Galilei, *Sidereus nuncius* ya da *Sidereal Messenger*'dan, çev. Albert Van Helden (Chicago: University of Chicago Press, 1989); ilk kez 1610'da yayınlandı.

Tanınmış Fransız filozof René Descartes (1596–1650) Galileo’nun akıbetini duyduğunda, Kopernik ilkelerine dayanan *Le Mond*’un yayımını durdurdu. Bir arkadaşına şöyle yazdı; “Kilisenin onaylamadığı tek bir kelime içeren bir söylemi bastırmak istemem; o yüzden tahrip edilip değiştirilmiş halde yayınlamaktansa, yayınlamamayı tercih ederim.”²⁷

Teknik olarak fizik ve astronomi hakkında yazmaktan artık men edilmiş olsa da, Galileo, bir kuşak sonra ortaya çıkan Newton mekaniğinin temellerini atan, fizikle ilgili çalışmalarını sürdürdü. Newton, Galileo’nun öldüğü yıl, 1642’de dünyaya geldi.

GALILEO GÖRELİLİĞİ

Galileo’nun en önemli keşiflerinden biri, fizik sınıflarının dışında nadiren dile getirilir, başka yerdeyse fena halde yanlış anlaşılır. Yine de Galileo’nun, hem kutsal kitaba hem de Aristoteles’e dayanan günün yaygın anlayışından asıl sapışını temsil eder.

Çoğu insan için, ne zaman hareket ettiğimizi ve ne zaman hareketsiz olduğumuzu anlayabiliyor olmamız sağduyudur. “Besbelli” iki farklı hareket hali vardır. O halde Galileo’ya sorulduğu gibi, eğer Yeryüzü hareket ediyorsa ve biz Yeryüzünün üstünde oturuyorsak, nasıl oluyor da bunu fark etmiyoruz? Bu iyi bir soruydu.

Sağduyu, dikkatli bilimsel gözlemle aynı şey değildir. Dünyanın düz oluşu, basit sağduyudur. Galileo, sağduyuya her zaman güvenemeyeceğinizi göstermiş olan tarihteki birçok bilim insanından biriydi. Dikkatli gözlemlerine dayanarak, Galileo, Yeryüzünün güneşin etrafında hareket ettiğinden emindi. Ancak bu hareketi bizim neden deneyimlemediğimizin açıklamasını getirmek zorundaydı. Bugün *Galileo görelilik ilkesi* olarak bilinen şeyi ileri sürdü. Bu ilkeyi, aşağıdaki gibi modern, işlemsel biçimde ifade etmeme izin verin:

27 Helge Kragh, *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology* (Evrendeki Madde ve Ruh: Modern Kozmolojiye Bilimsel ve Dini Girişler), 3. cilt, *History of Modern Physical Sciences*’da (*Modern Fen Bilimlerinin Tarihi*) alıntılandığı gibi (London: Imperial College Press, 2004), sf. 7.

Galileo göreliliği ilkesi

Kapalı bir kapsülün içerisinde, söz konusu kapsülün hızını ölçmek üzere gerçekleştirilebilecek hiçbir deney yoktur.

Bir cismin *hızı*, cismin konumunun zamana göre değişimidir. Büyüklüğüne *hız* (speed) adı verilen ve yönü cismin hareketinin yönü olan, üç boyutlu bir vektördür. Bu, hareketin bir ölçüsüdür. Hareketin bir başka ölçüsü ise, hızın zamana göre değişimi olan *ivme*dir.

Yeryüzünün hareketine uygulanırsa; eğer Yeryüzünde kapalı bir odada oturuyorsak, hareketi hissetmeyiz. Yeryüzünün hızını ancak, dışarı bakıp, bazı astronomik ölçümler yaparak tespit edebiliriz. Kopernik'in, gezegenlerin yörünge yarıçaplarının, gözlemlere dayanan makul tahminlerini yapmış olduğunu hatırlayın. Bugünün en iyi rakamını kullanırsak, Yeryüzü güneşten 150 milyon kilometre uzaklıktadır, bu da bir yılda 942 milyon kilometre yol katettiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle Yeryüzü güneşin etrafında saniyede 30 kilometre hızla hareket etmektedir.

Görelilik ilkesinin çıkarımı, bir nesnenin hızının mutlak olmamasıdır. Hızlar, ancak öteki nesnelere *görelî* olarak ölçülebilir. Yeryüzünün güneşe görelî hızı, saniyede 30 kilometredir. Yeryüzünün, burada masamda oturan bana görelî hızı sıfırdır.

Galileo ile Kilise ve Aristoteles arasındaki çatışma da aslında buradan kaynaklanıyor. Aristoteles'e göre, hareket mutlaktır. Hareketsiz bir cisim, mutlak surette hareketsizdir. Hareket halindeki bir cisim, mutlak surette hareketlidir. Kutsal kitap ise, Yeryüzünün, görelî olarak bile, hareket ettirilemez olduğunda net bir biçimde ısrarlıdır.

Galileo sözümona "*Eppur si muove*" (Yine de dönüyor) demiş olsa da, artık onu bütünüyle anladığımızdan, bu, keşfini tam olarak betimlemez. Görelilik ilkesi, Yeryüzünün bazı referans çerçevelerinde hareket ettiğini, ötekilerinde ise hareketsiz olduğunu söyler. Hareket, görelidir. Bu da, yeni ve devrim niteliğinde bir fikirdi.

Ancak Galileo bunu deneysel olarak ispatlamadı. James Bradley (1693-1762) tarafından *yıldız sapması*nın gözlenmesiyle, Yeryüzünün güneş etrafındaki (görelî) hareketinin doğrulandığı on sekizinci yüzyıla kadar da kanıtlanmadı. Bu, Yeryüzündeki gözlemcinin (görelî) hareketinden kaynaklanan, yıldızların ve öteki astronomik nesnelerin konumundaki belirgin bir kaymadır.

Daha sonra göreceğimiz gibi, görelilik ilkesi yirminci yüzyıl başlarında sorgulandığında, Albert Einstein (1879-1955) onu *özel görelilik ilkesinde* muhafaza ederek, uzay, zaman ve harekete dair fikirlerimizin kökten bir biçimde yeniden yapılanmasına yol açtı.

MEKANİK EVREN

Galileo ve Newton, Demokritos ve öteki antik atomcularınki-ne çok benzer olan bir evren resmi çizdiler. Evren, boş uzayda gezinen parçacıklardan meydana gelir; bu parçacıklar birbiriyle çarpışır ya da kütleçekim denen uzun mesafe kuvveti aracılığıyla etkileşir. Bir parçacık, gözlemciye sonsuz küçük bir nokta olarak görünen bir cisim olarak düşünülebilir. Bu görünüm, cismin çok küçük olmasının sonucu olabilir, böylece sahip olması muhtemel herhangi bir yapı, gözle ya da gözlemcinin elindeki büyütücü cihazla tespit edilemez. Ya da cisim, bir kuasar gibi, bir galaksi kadar büyük olabilir, ancak o kadar uzaktadır ki, en güçlü teleskobu kullansanız bile, parçacık gibi görünür.

Newton'ın hareket yasaları en kolay şekilde, parçacıklar üzerinden ifade edilebilir. Ben onları orijinal biçimlerinde ele almak yerine, modern bir bağlamda ortaya koyacağım. Kütlesi (m) ve hızı (v) olan bir parçacık, büyüklüğü ($p=mv$) olan ve yönü, hız vektörünün yönüne eşit bir vektör olan bir momentuma sahiptir. (Bugün bildiğimiz asıl büyüklük formülü daha karmaşıktır, ancak bu yalnızca ışık hızına yakın hızlarda önemlidir, bizim de burada bunu dikkate almamız gerekmiyor). Newton, p 'yi "hareketin niceliği" olarak tanımladı.

Bu durumda, Newton mekaniğinin temel ilkesi şöyledir:

Newton'ın ikinci hareket yasası

Bir parçacık üzerindeki toplam kuvvet, parçacığın momentumunun zamana göre değişimine eşittir.

Eğer hiç kuvvet uygulanmazsa, parçacığın momentumu değişmemiş olacaktır. Buna *momentumun korunumu yasası* adı verilir ve yalnızca tek bir parçacıkta değil, sistem üzerindeki net kuvvetin sıfır olduğu herhangi bir parçacık sisteminde geçerlidir.

Newton'un *ilk hareket yasası* basitçe, kuvvetin sıfır olduğu, dolayısıyla momentumun sabit olduğu özel durumdur. Cismin kütlesi sabit olduğunda, hızı sabit olacaktır.

Hareketin üçüncü yasası, “her etki için eşit ve karşıt bir tepki vardır”, momentumun korunduğunu söylemenin yalnızca bir başka biçimidir.

Newton’un hareket yasalarından çıkarılabilir olsa da, *enerjinin korunumu yasasının* on dokuzuncu yüzyıla kadar formüle edilmemiş olması ilginçtir.

Bir cismin kütlesi sabit olduğunda, Newton’un ikinci hareket yasası $F = ma$ olarak yazılabilir; burada F , cismin üzerindeki toplam kuvvet, m , kütlesi ve a , ivme ya da cismin hızının zamana göre değişimidir. Bu eşitlikten, bir kuvvetin etkisindeki bir cismin belirli bir zaman içerisinde ne kadar uzağa gideceğini tahmin etmek mümkündür.

Eğer kuvvet sabit değilse, hareketi sonsuz küçük zaman aralıklarına bölüp, net etkiyi elde etmek için aralıkları toplamada, birbirinden bağımsız olarak Newton ve Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) tarafından icat edilen yüksek matematik kullanabilirsiniz. Yüksek matematiği ayrıca, cismi sonsuz küçük kısımlara ayırıp, bu kısımlara parçacık gibi davranarak, daha büyük cisimlerin hareketini hesaplamada kullanabilirsiniz. Bunların temel parçacıklar olmaları gerekmez. Katı, sıvı ve gazlarda işe yarar. Nasıl çalıştığını bir kez öğrendiniz mi, oldukça basittir.

Evrensel kütleçekim yasasında Newton, kütleleri m_1 ve m_2 olan iki parçacık arasındaki kütleçekim kuvvetinin (F), $m_1 m_2$ çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın (r) karesiyle ters orantılı olduğunu ileri sürdü. *Newton sabiti* adı verilen orantı sabitinin (G) değeri, Newton’ca bilinmiyordu; ilk olarak Britanyalı fizikçi ve kimyacı Henry Cavendish (1731-1810) tarafından 1798’de laboratuvarında ölçüldü.

Yüksek matematik kullanarak, Newton iki büyük küre şeklindeki cisme, kürelerin merkezlerinde yer alan aynı kütleye sahip parçacıklar gibi davranılabileceğini ispatladı. Bu şekilde, gezegenler, uzay boşluğunda hareket eden parçacıklar olarak betimlenebilir.

Newton’un hareket ve kütleçekim yasaları, güneş sisteminin güneş merkezli modelinin geçerliliğinin nihai teyidini sağladı. Daha önce bahsedildiği gibi, Kepler, gezegenlerin yörüngelerinin daire değil elips şeklinde olduğu fikrini getirmişti. Newton bunu matematiksel olarak ispatlamayı başardı. Kanıtını astronom

Edmund Halley'e (1658-1742) gösterdiğinde, Halley, Newton'ı tarihteki en büyük bilimsel eser kabul edilen *Philosophiae naturalis principia mathematica*'yı (masraflarını Halley karşılayarak) yayınlamaya ikna etti. Kısaca *Principia* olarak adlandırılan eser, hareketin üç yasasını ve Kepler'in gezegensel hareket yasalarının elde edildiği evrensel kütleçekim yasasını ortaya koymuştur. Bugün bu, birinci sınıf fiziğinde basit bir alıştırmadır.

Newton'ın yasalarını kullanarak Halley, 1682'de görülen bir kuyruklu yıldızın, M.Ö. 240 gibi eski bir tarihte astronomlarca kaydedilmiş olanın aynısı olduğunu ve oldukça eliptik bir yörüngede her 75-76 yılda bir güneşin etrafını turladığını hesapladı. Halley, kuyruklu yıldızın 1758'de geri geleceğini tahmin etti. Halley'in tahmininin başarısı, onun ve Newton'ın ölümlerinden sonra, bilimsel tarihteki tek en önemli olay olabilir. Bu olay, yeni bilimin gücünü bilim insanlarının ve aynı şekilde bilimle uğraşmayanların akıllarına yerleştirdi.

OPTICKS

Bugün fen bilimlerinin her alanında, işyükü genellikle, aletleri geliştirip, verileri toplayan gözlemciler/deneyciler ile bu verileri betimlemekte kullanılan matematiksel modelleri geliştiren ve bu modellerden tahminler yapmaya çalışan teorisyenler arasında bölünmüştür. Gördüğümüz gibi, geçmişte böyle değildi. Galileo, gözlemci, deneyci ve teorisyendi. Newton büyük bir teorisyen ve deneyciydi. *Principia*, Newton'ın teori konusunda başyapıtıyken, 1704'de basılan *Opticks* deney yapma üzerine bir şaheserdi.

Opticks'de Newton, ışıkla ilgili gerçekleştirdiği laboratuvar deneylerinin sonuçlarını ve bu deneylerden yararlanarak ışığın doğası hakkında vardığı sonuçları sunar. Elbette ışık, dünya hakkındaki ana bilgi kaynağımızdır ve yirminci yüzyıla kadar Yeryüzünün ötesindeki evren hakkında insanoğlunun bilgi edinmek zorunda kaldığı tek kaynaktır. Bir yıldız dokunamaz, onu duyamaz ya da koklayamazsınız. Pekâlâ, güneşten gelen ısıyı hissederiz diyelim, ancak hepsi bundan ibarettir. (Ayrıca, daha sonra göreceğimiz gibi, Büyük Patlamayı duyabiliriz.)

Bir kez daha Newton, Avrupalı düşünceye bin yıl boyunca kök salmış olan Aristoteles'in hatalı bir kavramını ortadan kaldırdı.

De anima'da (*Ruh Üzerine*) Aristoteles, Platon'un biçimlerine dayanan manevi bir algı teorisi ortaya koyar. Aristoteles'e göre bir nesneye baktığınızda, gözünüz bir şekilde nesnenin biçimini alır. Bundan herhangi bir anlam çıkarmaya çalışarak vaktinizi harcamanıza gerek yok.

Öte yandan atomcular, modern algı anlayışına daha yakındılar. Demokritos, görsel algının, cisimden çıkan atomik yayılmaların, gözdeki atomlarla çarpışmasının sonucu oluştuğunu öne sürdü. Bugün bu yayılmaların, *foton* adı verilen parçacıklar olduğunu biliyoruz.

Newton'ın *Opticks*'deki büyük başarısı, beyaz ışığın, gökkuşağının tüm renklerinden meydana geldiğini göstermesiydi. Rengin, nesnenin doğasında olan bir özellik olmadığını, ancak nesnenin çeşitli renkleri yayınlama ya da yansıtma biçiminden kaynaklandığının farkına vardı. Algıladığımız renklerin birçoğu, bordo ya da kahverengi gibi, ışık tayfında bulunmaz, ancak tayfın farklı kısımlarından, ışığın bir karışımı olarak meydana gelir.

Opticks'de Newton ayrıca, ışığın doğasıyla ilgili, parçacıklardan ("cisimcikler") oluştuğu gibi, deneysel olarak gösteremediği çeşitli varsayımlarda bulunmuştur. Daha önce bu fikri Kraliyet Derneği'ne sunmuş, ancak deney sorumlusu ve önde gelen fizikçi Robert Hooke (1653-1703) dernekten bağımsız olarak ona itiraz etmişti. Hooke'un, ışığın bir dalga olduğuna dair kendi favori teorisi vardı ve geçmişte Newton'la başka konularda çatışmıştı. Bu şiddetli anlaşmazlık yüzünden Newton, *Opticks*'in yayınlanmasını Hooke'un ölümünden sonrasına kadar erteledi.

NEWTON ve TANRI

Descartes, atom modeline, evrenin güneşin etrafında girdaplar şeklinde dönen bir madde sürekliliği olduğu bir alternatif sunmuştu. Kütleçekim, bir şekilde bu girdap benzeri hareketin ürünüydü ancak matematiksel dehasına rağmen, Descartes nicel bir model getirmedi.

Ancak Descartes, Tanrı'nın evreni, daha fazla bir müdahale gerektirmeyen saat gibi işleyen kusursuz bir hareket olarak yaratıldığını öne sürdüğünde, büyük bir felsefi çığır açtı. Böylece, Descartes dinine bağlı bir Hristiyan olarak kaldıysa da, Yahudi-

Hristiyan-Müslüman Tanrı'ya, *deizm* (yaradancılık) adı verilen alternatifi kafasında canlandıran ilk kişiydi.

On sekizinci yüzyıldaki Aydınlanma denilen dönem sırasında, saat gibi işleyen evren, Newton parçacık fiziğiyle bağdaştırılacak ve evreni yaratıp, ardından yaratılıştaki koyduğu kanunlara göre devam etmesi için onu kendi haline bırakan deist tanrıya olan inancın temelini oluşturacaktı.²⁸ Tanrı kusursuz olduğuna göre, kanunları da öyle olmalı, bu nedenle de değişiklikler yapmak üzere devreye girmeye ihtiyacı yoktur. Deist tanrı net bir biçimde Hristiyan inancıyla çelişir, buna rağmen bu, ilk önermesini yaptığında Descartes'ın başını belaya sokmuş gibi görünmüyordu.

Newton'ın saat gibi işleyen evreni belki de deizm için motive edici ana unsurdu, ancak Newton'ın kendisi deist görüşler ileri sürmeyip, Tanrı'nın evreni düzgünce işler halde tutmak için, zaman zaman devreye girmesine olan ihtiyacı gören bir Hristiyan olarak kaldı.

Newton, baba-oğul-kutsal ruh üçlüsünü reddeden, alışılmadık bir Hristiyandı. Ancak yine de sadece Hristiyan Tanrı'ya değil, bilinmeze de çok inanırdı. Simyaya ve Kitab-ı Mukaddes'i yorumlamaya, fizikten daha fazla vakit harcar ve bu konularda daha çok yazardı. Böylece Tanrı onun fiziğine önemli biçimlerde girdi. Dinini bilimiyle karıştırmasa da inanca sahip çıkan Galileo'nun aksine, Newton kendi açıklayamadığı şeylere açıklama getirmesi için Tanrı'ya döndü. Bugün "boşlukların Tanrısı" adını verdiğimiz, ayrıca "ispatlama mecburiyeti safsatası" olarak da bilinen argümanı, ilk o kullanmış olabilir. Bir fenomen için doğal bir açıklamadan yoksunsanız, onu Tanrı'nın gerçekleştirdiği sonucuna varırsınız.

Newton'ın kütleçekim teorisi, yalnızca çekim kuvvetlerini kabul ediyordu; bu da o zaman herkesin sabit olduğunu varsaydığı yıldızların, karşılıklı çekimlerinin sonucu olarak birbiri üzerine çökmeleri gerektiği anlamına geliyordu. Tanrı'nın onları, çekimlerinin tam dengede olduğu doğru konumlara yerleştirmiş olduğunu varsaydı.

28 Her zamanki, Yahudi-Hristiyan-Müslüman yüce ilahı Tanrı (büyük harfle) ve diğer tüm ilahları tanrı (küçük harfle) olarak ifade etme kuralıma uyuyorum. Ayrıca tanrı kişisel olmayan ve cinsiyetsizken, Tanrı'nın gelenekteki gibi kişisel ve erkek olduğunu varsayacağım.

1718’de Halley, üç parlak yıldızın artık antik gözlemlerde bildirilen konumlarda olmadığını keşfetti, böylece en sonunda yıldızların sabit olmadıklarını göstermiş oldu; bu, Kitab-ı Mukaddes kozmolojisine indirilen bir başka darbeydi.

Newton ayrıca, gezegensel hareketin kararlılığını sağlamak için Tanrı’ya başvurdu. Kaynak olarak aldığı Kepler yasalarının, aslında gezegenler birbiri üzerinde kütleçekim kuvvetleri uygularken, her bir gezegenin ötekilerinden bağımsız olarak hareket ettiğini varsaydığının bütünüyle farkındaydı. Newton, gezegenlerin yörüngelerinin düzenliliğini tamamen şans eseri olarak sürdürmedikleri sonucuna vardı. Böylece, Tanrı’nın işleri yolunda tutmak için zaman zaman müdahalede bulunuyor olması gerektiğine karar verdi.

Newton’ın ezeli rakibi Leibniz bununla alay etti:

Sör Isaac Newton ile taraftarları, Tanrı’nın çalışmasına dair çok tuhaf bir görüşe sahipler. Onların doktrinine göre, Yüce Tanrı zaman zaman saatini kurmak istiyormuş; yoksa dururmuş. Görünüşe göre, onu sürgit devinim haline getirecek yeterli basireti yokmuş.²⁹

Newton ile Leibniz, her ikisinin de bağımsız olarak geliştirdiği yüksek matematiğin icadının üstünlüğü konusunda da tartıştılar. Biz bugün hâlâ Leibniz’in daha üstün olan notasyonunu kullanıyoruz.

29 Gottfried Wilhelm von Leibniz ve Samuel Clarke, *The Leibniz-Clarke Correspondence: Together with Extracts from Newton’s Principia and Opticks* (Leibniz-Clarke Yazışmaları: Newton’ın Principia ve Opticks’inden Alıntılarla Birlikte) (Manchester, UK: Manchester University Press, 1956) sf. 11.

III - İNSANOĞLUNUN YARDIMSIZ GÖRÜŞÜNÜN ÖTESİ

ON SEKİZİNCİ YÜZYIL ASTRONOMİSİ

Newton kayda değer herhangi bir astronomik gözlem yapmazken, 1668’de ilk yansıtmalı (kırılmalıya karşılık olarak) teleskobu inşa etti. Yansıtmalı teleskop, büyütmeyi sağlamak için mercek yerine kavisli ayna kullanarak, kırılma indisinin ışığın rengine bağlı olması nedeniyle mercekte oluşan renk sapmasının önüne geçmiş olur. Yansıtmalı teleskop, bugün uzayda ve Yeryüzünde kullanılan başlıca astronomik optik teleskop türüdür, bununla birlikte yansıtıcıların yüksekte kullanımı, on dokuzuncu yüzyıl sonlarına kadar gerçekleşmemiştir.

Teleskopla birlikte, astronomi artık insanın yordımsız görüşünün sınırlamasının ötesine ulaşabiliyordu ve asla hayal edilemeyen kozmos kendini göstermeye başlamıştı. 1655’te Hollandalı fizikçi ve astronom Christiaan Huygens (1629-1695), elli büyütme bir kırılmalı teleskop inşa edip, güneş sistemindeki en büyük ay olan Satürn’ün uydusu Titan’ı keşfetti. Satürn’e dair gözlemlerinden, gezegenin katı bir halkayla çevrili olduğu sonucuna vardı. Daha sonra Huygens, Orion nebulasını farklı yıldızlara çözümlemeyi başardı ve Merkür’ün güneşten geçişini gözlemledi.

Huygens ayrıca, gelmiş geçmiş en büyük fizikçilerden biriydi. Sarkaçlı saati ve içten yanmalı motoru icat etti, merkezkaç kuvveti için formül türetti ve olasılık teorisi üzerine bir kitap yazdı.

Birçok başarısının arasında, 1678’de Huygens, 1672’de Robert Hooke’un ileri sürmüş olduğu ışığın dalga teorisini nicel olarak betimledi. Newton’un parçacık teorisi aslında daha sonra geldi. Huygens, dalgaların köşelerin etrafında nasıl bükülebildiğini (“kırınım yapabildiğini”) gösterdi. 1800’de Thomas Young (1772-

1829), ışığın, dalgalarla ilişkili girişim ve kırınım etkileri sergilediğini kesin olarak gösterdiğinde, Newton'ın ışığın parçacık teorisi görünürde çürütülmüş oldu. Göreceğimiz gibi, yirminci yüzyılda ışığın foton denilen parçacıklardan meydana geldiği gösterildi ve ışıkla ilişkili dalgalar, tek tek fotonları değil birçok fotonu içeren ışık demetlerinin istatistiksel davranışını ifade etmektedir.

KANT'IN KOZMOSU

1755'te Königsberg Üniversitesinde Immanuel Kant (1724-1804) isimli genç bir dış okutman, evrenin yapısı üzerine *Allgemeine naturgeschichte und theorie des himmels (Göklerin Evrensel Doğal Tarihi ve Teorisi)* adlı bir kitap yayınladı.¹ Newton'un aksine, Leibniz gibi, Kant, evreni açıklamak için herhangi bir ilahi mucizeye ihtiyaç olmadığını gördü. Şöyle yazdı; "Kendini mucizesiz sürdüremeyen bir dünya yapısı, Tanrı'nın seçiminin işareti olan o istikrarın karakterine sahip değildir."²

Kant'ın evreni, sınırsız bir boşlukta parçacıkların ilahi olarak yaratılan kaosuyla başlar. Parçacıklar, Newton'ın kütleçekimiyle birbirini çeker ve yoğunlaşmaları oluşturur, sonra da bunlar güneş sistemi gibi düzenli yapılara evrilirler. Samanyolu, disk şeklinde bir yıldız kümesidir ve gözlemlenen bulutsu cisimler tek tek yıldızlar değil, sınırsız uzayı süresiz olarak baştan başa kateden Samanyolu gibi kümelerdir.³

1854'de Alman fizikçi Hermann von Helmholtz (1821-1894), bir konferansta bahsedene kadar, kitap pek bilinmiyordu. Kant hâlâ astrofiziğinden çok felsefesiyle tanınır, ancak astrofiziği de pek fena değildi.

- 1 Immanuel Kant, *Universal Natural History and Theory of the Heavens (Göklerin Evrensel Doğal Tarihi ve Teorisi)* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1969).
- 2 Ibid., sf. 141.
- 3 Helge Kragh, *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology (Modern Kozmolojiye Bilimsel ve Dini Girişler)*, 3. cilt, *History of Modern Physical Sciences (Modern Fen Bilimlerinin Tarihi)* (London: Imperial College, 2004), sf. 12.

HERSCHEL'İN GÖKLERİ

Belki de on sekizinci yüzyıldaki en üretken astronom, Frederick William Herschel'di (1738-1822). Yüzyılın son kısmında, Herschel kendi yansıtmalı teleskobunu inşa etti ve bir dizi önemli keşif yaptı. Daha önce yıldız olduğu düşünülen Uranüs'ün aslında bir gezegen olduğunun ispatlanmasına yardım etti. Satürn'ün ve Uranüs'ün ikişer ayını keşfetti. Samanyolunun disk şeklinde olduğunu tespit etti. Herschel çift ve çoklu yıldızları gözlemledi. Güneşin kızılaltı ışın yaydığını gösterdi. Ve bu arada, mikroskop kullanarak mercanın bir bitki değil, hayvan olduğunu kanıtladı.

1782 ile 1802 arasında Herschel, nebula adı verilen yayılmış cisimler olan yıldız olmayan nesnelerin sistematik bir incelemesini yaptı. Parlaklık, biçim, büyüklük ve başka özelliklerine göre sınıflandırdığı, binin üzerinde nebula'yı içeren bir katalog hazırladı.

1785'te başlayarak, Herschel, nebuların uzakta olduğunu ileri sürdüğü, "Göklerin İnşası" ortak başlığı altında bir dizi makale yazdı. Işığın sınırlı hızı nedeniyle, astronomun, onları gözlemleyerek, göklerdeki hareketlerini takip edebilmesi gerekirdi. Ancak böyle bir hareket ortada yoktu, bu da nebuların çok uzakta olduğunu gösteriyordu.⁴

2009'da Avrupa Uzay Ajansı, büyük bir kızılaltı teleskop olan Herschel Uzay Gözlemevini açtı, burası 2013'e kadar faaliyet gösterdi.⁵

OLBERS PARADOKSU

Halley, Kepler ve İsviçreli astronom Jean-Philippe de Cheseaux (1718-1751) ile birlikte, Cusalı Nicolas ve Digges tarafından öne sürülen evrenin sınırsız sayıda yıldızı içerdiği fikrinde bir problem fark etti. Alman astronom Heinrich Wilhelm Matthias Olbers tarafından (1758-1840) formüle edilmesinin ardından,

4 Ibid., sf. 14; Michael Hoskin, *The Construction of the Heavens: William Herschel's Cosmology (Göklerin İnşası: William Herschel'in Kozmolojisi)* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2012).

5 C. M. Walmsley ve ark., "Herschel: The First Science Highlights," (Herschel: İlk Bilim En'leri) *Astronomy & Astrophysics (Astronomi ve Astrofizik)* 518 (2010): L10.

problem *Olbers paradoksu* olarak tanınmaya başladı: Eğer evren büyüklük olarak sınırsız ve yaşça sonsuzsa, o halde gökyüzü, bütün o yıldızlardan gelen ışık nedeniyle geceleri karanlık değil aydınlık olmalıdır.

Bunu anlamak için, Yeryüzünden belli bir uzaklıkta (r) belirli bir kalınlıktaki küre biçiminde ince bir kabuk hayal edin. Hacmi, bu kalınlığın, kabuğun yüzey alanıyla çarpımına eşit olur; $4\pi r^2$. Yıldızların düzgün yoğunlukta olduğu varsayılırsa, kabuktan gelen parlaklık bu hacimle orantılı olacaktır. Ancak Yeryüzüne ulaşan ışığın yoğunluğu (birim alan başına güç), $1/r^2$ oranında düşer. Böylece, eğer yıldızların ortalama parlaklığı Yeryüzüne olan uzaklıklarından bağımsızsa, evren boyunca aynı kalınlıktaki her bir kabuğun katkısı aynı olacaktır ve evrendeki tüm yıldızlardan Yeryüzünde gözlenen toplam ışığı vermek üzere eklenecektir. Sınırsız bir evren için, bu yoğunluk güneşten daha parlak görünürdü; gerçekten de sınırsız yoğunluğa sahip olurdu. Şüphesiz bizim gözlemlediğimiz şey, bu değildir.

Gökyüzünün neden geceleri aslında karanlık olduğuna dair birtakım muhtemel açıklamalar bulunmaktadır. 1848 tarihli yazısı “Evreka”da Edgar Allan Poe (1809-1849), ışığın en uzak yıldızlardan bize henüz ulaşmadığını ileri sürdü. Yani, evren sınırlı bir ömre sahip, bu yüzden biz yalnızca ışığın o süre içerisinde katedebildiği mesafedeki yıldızları gözlemliyoruz.

Bu doğrudur, ancak katkısı olan bir başka etmen de, ileride ele alacağımız, evrenin genişlemesidir. Uzun mesafelerden gelen ışığın enerjisi ışık olarak azalır, çünkü daha uzun dalga boylarına ya da daha düşük enerjilere doğru kızıla kaymıştır.

YETERLİ SEBEP

1710’da Leibniz, *Teodise: Tanrının İyiliği, İnsanoğlunun Özgürlüğü ve Kötülüğün Kökeni üzerine Denemeler*’i yazdı.⁶ Bu *teodise* terimi, sonsuz rahmet sahibi, her şeye gücü yeten, her şeyi bilen bir Tanrı’nın sözümona mutlak kontrolündeki bir dünyadaki

6 Gottfried Wilhelm Leibniz, *Theodicy: Essays on the Goodness of God, the Freedom of Man, and the Origin of Evil* (*Teodise: Tanrının İyiliği, İnsanoğlunun Özgürlüğü ve Kötünün Kökeni üzerine Denemeler*) (La Salle, IL: Open Court, 1985).

inkâr edilemez kötülüğü ve acı çekmeyi haklı çıkarmaya dair halen başarısız olan çabalarla ilişkili hale gelmiştir. Leibniz, Tanrı'nın "tüm muhtemel dünyaların en iyisi"ni yaratmış olduğunu ileri sürdü. Var olan kötülük, bu optimizasyonun yalnızca bir parçasıdır. Dünya onsuz daha bile kötü olurdu.

Leibniz ayrıca, Tanrı'nın varlığının bir kanıtı olarak, *kozmojik argüman* diye de bilinen, *yeterli sebep ilkesini* ileri sürdü. Temel olarak argüman, gerçek olan her şeyin mutlak bir sebebe, yeterli bir sebebe ihtiyacı olduğunu söyler. Evren kendisini açıklamadığına göre, evrenin varlığının yeterli sebebi olarak Tanrı var olmalıdır.

Bu argümanlar, zaten vurgulamış olduğum basit, yeterli bir sebep yüzünden başarısız olmaktadır. Hiçbir deneysel girdi içermeyen bütün salt mantık argümanları gibi, size halihazırda öncüllerinin içerisinde olandan başka hiçbir şey söylemiyor. Burada uygulanan; Tanrı var olmalıdır çünkü o var olmalıdır.

EVRENİN MERKEZİ

Şu ana kadarki tarihsel incelememizde, "evrenin merkezi" olarak isimlendirilmiş şeyin konumu üzerine bir çatışmanın uzun zamandır sürüp gittiğini gördük. Genellikle, biz insanlar kendimizi merkezde konumlandırmayı kolay bulduk. Yaşayan tüm türler ben-merkezcidir; her zaman organizmanın kendisi değilse de, Richard Dawkins'in tanımladığı gibi onların "bencil genleri" öyledir.⁷ Türler, bir noktada bencil olmasalar, hayatta kalamazlardı.

Kozmosun merkezinde olduğumuzu düşünmemiz için iyi bir deneysel sebep de bulunuyor. Gökyüzüne baktığımızda, her şey bizim etrafımızda dönüyor gibi gözükür. Gezegenler bazen geriye dönüp, diğer tarafa giderler ama kısa bir süre sonra tekrar dönüp Yeryüzünün etrafında turlamaya yeniden başlarlar.

Güneş-merkezli sistemin, gezegenlerin hareketlerini gözümüzde canlandırmak açısından en basiti olduğunu artık biliyorsak da, günlük hayatlarımızda bir gezegenin yarın ya da bir ay sonra

7 Richard Dawkins, *The Selfish Gene (Bencil Gen)* (New York: Oxford University Press, 1976).

nerede olacağını veya M.Ö. 28 Mart 585'te nerede olduğunu ne sıklıkta merak etmemiz gerekir?

Aslında amaçlarımızın çoğu için, Yeryüzü merkezli bir hareket modeli gayet yeterli olur. Tokyo'dan Londra'ya gitmekte olan bir yolcu uçağının takip etmesi gereken rotayı güneş merkezli bir koordinat sisteminde hesaplamak aptalca olurdu. Ayrıca gezegen-sel hareketi tahmin etmek için, istesek hâlâ yer merkezli bir model kullanabiliriz.

Elbette bugün, Kopernik'in kozmos resminin sabit yıldızlardan oluşan bir kabukla çevrili yedi gezegenden meydana gelen güneş sisteminden biri olduğunda sanıldığı gibi, güneşin evrenin merkezi olmadığını biliyoruz. Teleskoplar geliştikçe, astronomlar bizim güneşimizin yalnızca bir başka yıldız olduğunu keşfetti. Bahsetmiş olduğum gibi, antik atomcular, zamansal ve uzaysal olarak sınırsız olan ve uzayda hiçbir noktanın, evrenin merkezi diyebileceğimiz o özel yer olarak belirlenemeyeceği bir kozmos resmi ileri sürdü. Benzer biçimde, zamanda hiçbir an, evrenin başladığı (ya da sona ereceği) o özel an olarak belirlenemez. Göreceğimiz gibi, bilimsel görüş birliği bugün, tam olarak bu kozmolojik modelde birleşiyor. Ancak yine de, bunun insan yapımı bir model olduğunu vurgulamalıyım.

IV - DÜŞLENEMEZE KISA BAKIŞLAR

GÖKSEL MEKANİĞİN İLERLEMESİ

Newton mekaniğiyle birleştirilmiş teleskop, insanlığın, daha önce asla düşlenemeyen bir evrene göz atmasını ve gördüklerini matematiksel kesinlikle betimlemesini mümkün kıldı. Newton'ın mekanik ve kütleçekim yasalarını türettiği Kepler'in gezegensel hareket yasaları, gezegensel hareketi betimlemede önceki girişimlerin üzerine muazzam bir ilerleme sağladı. Ancak hâlâ kusursuz değillerdi. Her bir gezegeni sadece güneşle kütleçekimsel olarak etkileşiyormuş gibi ele aldılar; gezegenin öteki gezegenlerle ya da kuyruklu yıldızlar, asteroitler ve aylar gibi, başka cisimlerle olan etkileşimlerini ihmal ettiler.

Neyse ki bu, güneş sistemimiz için iyi bir yaklaşımdır, çünkü son bölümde gördüğümüz gibi, iki cismin arasındaki kütleçekimsel kuvvet, kütlelerinin çarpımıyla orantılıdır ve gezegenlerin kütleleri, güneşin kütlesinden çok daha azdır. Ayrıca kuvvet $1/r^2$ oranında düşer ve gezegenler birbirlerinden çok uzaktır.

Yine de, güneş sistemimizdeki gezegenler yeterince büyük ve yeterince yakındır, böylece birbirleriyle olan etkileşimleri, eliptik olmayan yörüngeler meydana getirir. Ancak bunlar, Kepler yasalarında verilenlerden yalnızca çok hafif sapar. Bu sapmalar, teleskoplar geliştikçe ölçülebilir hale geldi ki bu da teknolojinin bilimsel gelişmeyi nasıl yönlendirdiğinin sadece bir başka örneğidir.

Bu durumda, iki-cisimli Kepler yörüngelerine etkiler, “pertürbasyonlar” gibi yaklaşık olarak ele alınabilecek kadar ufaktır. 1747’de İsviçreli matematikçi Leonhard Euler (1707-1783) (“Oiler” olarak telaffuz edilir), Jüpiter’le Satürn’ün hareketlerini hesaplamak için analitik metotların geliştirilmesi konusunda Paris Bilimler Akademisi’nin koymuş olduğu ödülü kendisine kazandıran bir teknik geliştirdi. Euler, tam olarak çözülemeyen yaklaşımlar

dizisi problemleriyle çözmek için fizikte kullanılan hâlâ önemli bir araç olan *pertürbasyon teorisi* için altyapıyı hazırladı. Ayrıca bu metot, göksel mekanikle sınırlı değildir. Örneğin, 1940'ların sonlarında fizikçiler tarafından geliştirilen oldukça başarılı kuantum elektrodinamiği teorisi, giderek hassaslaşan pertürbasyon yaklaşımlar dizisinin hesaplanmasına dayanmaktadır.

Evrende, öteki gezegenlerin etkileşimlerinin ufak pertürbasyonlar olarak ele alınamayacağı başka yıldız sistemlerinin var olabileceği düşünülebilir. O durumda, pertürbasyon teorisi gezegensel harekete dair hatalı tahminler üretir, işe yaramaz olurdu. Ve sadece iki-cisimli problem tam olarak çözülebilir. O gezegen sistemlerindeki astronomlar yörüngeleri hesaplamada sayısal teknikler kullanmak zorunda kalırdı, ancak bugün bizimkilerin olduğu kadar ileri bilgisayarlara sahipeler bunu yapabilirlerdi.

Hesaplamaları yalnızca kısmen başarılı olmakla birlikte Euler, Fransız matematikçi, astronom ve fizikçi Pierre-Simon Laplace'ın (1749-1827) 1799 ile 1805 yılları arasında yayınlanan beş ciltlik kitabı *Mécanique céleste*'de (*Göksel Mekanik*) geliştirdiği metotlara zemin hazırlamıştı.

Göksel mekanik denklemleri, İtalya, Torino'da İtalyan anne-babadan Giuseppe Luigi Lagrangia olarak dünyaya gelen bir başka büyük Fransız matematikçi, astronom ve fizikçi Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) tarafından da geliştirildi. İlk 1788'de basılan tezi *Mécanique analytique* (*Analitik Mekanik*), Newton mekaniğini kapsamlı bir matematiksel dayanağa oturttu. *Lagrange denklemleri*, hâlâ öğrencilerin, Newton mekaniğine dair problemleri, koordinat sistemi seçiminden bağımsız olarak en genel biçimde çözmeleri için gereken yöntemdir. Ayrıca, görelilik kuantum alan teorisindeki de dahil olmak üzere, bugün birçok fizik modeli, *Lagrangian* adı verilen matematiksel bir fonksiyonu yazmakla başlar.

Newton'ın, Kepler yasalarından türetiminin iki-cisimli varsayımına dayandığını kabul ettiğini hatırlayın, ki bu da onu matematiksel olarak çözümlenebilir kılıyordu. O zamanki ulaşabildiği sınırlı veriden, gezegenler arasındaki tüm rastlantısal etkileşimler sebebiyle, güneş sisteminin yalnızca kütleçekimsel kuvvetlerle, kararlı, öngörülebilir davranışını sürdüremeyeceği sonucuna vardı. Ve böylece Newton şöyle varsaydı; Tanrı onların hareketlerini düzeltmek için ara sıra devreye girmek zorundaydı.

Bir yüzyıl sonra Laplace ve Lagrange birbirlerinden bağımsız olarak, öteki gezegenlerin pertürbasyon etkilerinden kaynaklanan, bir gezegenin yarı asal eksenindeki uzun süreli değişimleri hesapladılar. Hesaplamaları, gezegenlerin kütlelerinde birinci dereceye kadar, bu değişimlerin yok olduğunu gösterdi. Yine de daha sonra, Fransız matematikçiler Siméon Denis Poisson (1781-1840) ile Henri Poincaré (1854-1912), bu sonucun gezegenlerin kütlelerinde ikinci derece boyunca doğru olmayı sürdürdüğünü ancak üçüncü derece boyunca geçerli olmadığını göstereceklerdi.¹ Kısacası, güneş sistemi oldukça kararlıdır, ancak nihai olarak öyle değildir.

Laplace, önceki hesaplamalarla çelişen Jüpiter ile Satürn'ün hareketleri de dahil, Ptolemaios'un gözlemlerinin hepsini bir aşsal dakika içerisinde açıklayabildi. Böylece Laplace, geçmiş tarih boyunca gezegenlerin hareketini açıklamada, Newton yasalarının kendi içerisinde yeterli olduğunu gösterdi.² Bu, Newton'ın reddetmiş olduğu radikal bir düşünceyi öne sürmesine yol açtı: *fizik dışında hiçbir şeyin fiziksel evreni anlaması gerekmez.*

Lagrange gibi Laplace'ın adı da, fizik, mühendislik ve matematik sınıflarında sıkça duyulur; öğrenciler yüksek matematik problemlerinde *Laplacian*'ı kullanır ve elektrik mühendisliği derslerinde Laplace dönüşümlerini uygularlar. Poisson ve Poincaré, yine bu derslerde göze çarpan biçimde temsil edilen isimlerdir.

Ancak fizik öğrencileri, Laplace'ın imparator Napolyon'la 1802'deki ya da o civardaki karşılaşma hikâyesini çoğunlukla, en azından fizik sınıflarında duymazlar. Fizik profesörleri genellikle hesaplanamayan herhangi bir şey hakkında ders anlatmaktan kaçınırlar. İşte hikâyenin bir versiyonu, ancak hâlâ tartışmalı ve hikâyenin tamamı muhtemelen uydurma:

Laplace Napolyon'un huzuruna çıkıp, *Mécanique céleste*'in bir kopyasını kendisine sunmuş. Öncesinde biri Napolyon'a,

1 Jacques Laskar, "Stability of the Solar System," (Güneş Sisteminin Kararlılığı) http://www.scholarpedia.org/article/Stability_of_the_solar_system#-Laplace-Lagrange_stability_of_the_Solar_System (4 Aralık 2012'de erişim yapıldı.)

2 Ibid.

kitapta Tanrı'dan hiç bahsedilmediğini söylemiş. Napolyon kitabı şu yorumla almış; "Mösyö Laplace, bana evrenin sistemi üzerine bu koca kitabı yazdığınızı ama onun Yaratıcısı'nın adını dahi anmadığınızı söylüyorlar." Laplace cevap vermiş, "*Je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là.*" ("O hipoteze hiç ihtiyacım olmadı.") Napolyon'un çok hoşuna gitmiş ve bu cevabı Lagrange'a söylemiş. O da haykırarak şöyle demiş; "*Ah! c'est une belle hypothèse; ça explique beaucoup de choses*" ("Ah, bu harika bir hipotez, birçok şeyi açıklıyor.")

Laplace hiçbir zaman Tanrı'nın varlığını inkâr eden bir şey yazmadı, deist de olmuş olabilir. Önceki bölümde ele alındığı gibi, deizm, teizmin aksine, evreni harekete geçiren ve sonra doğa kanunlarına kodlanmış talimatlarını yerine getirmesi için onu kendi haline bırakan bir yaratıcı tanrıyı varsayar. Yukarıdaki alıntı, eğer doğruysa, kısaca, Laplace'ın, gökcisimlerinin hareketlerini betimlemek için mekanik ve kütleçekim yasalarının ötesinde herhangi bir şeyi varsayması gerekmediğini söylüyor olabilir.

1796 tarihli kitabı *Exposition du système du monde*'da Laplace, Newton'ın "Güneşin, gezegenlerin ve kuyrukluysıldızların harikulade yaradılışı, ancak mutlak güce ve akla sahip bir Varlığın eseri olabilir." dediğini aktarır. Laplace, "Newton eğer bizim gösterdiğimizi, yani gezegenlerin ve uydularının dizilişine ait koşulların, tam da onun kararlılığını sağlayan şeyler olduğunu bilmiş olsaydı, daha bile fazla kabul edilirdi" şeklindeki yorumuyla, deist konumunu ifade eder.³

Laplace, Leibniz'in Newton eleştirisine katılıyordu: "Bu, Tanrı'nın bilgeliği ve gücü hakkında çok dar fikirlere sahip olmaktır. . . Tanrı, makinesini o kadar kötü bir biçimde yapmış ki, onu bazı olağanüstü yollarla değiştirmezse, saat çok yakında duracak." Bu hatanın bugün, Tanrı tarafından yaratılan evrenin kusurlu olduğunu, o kadar ki, yaşam gelişebilsin diye ince ayarını yapmak zorunda kaldığını söyleyenlerce yapıldığını göreceğiz. Laplace ile Leibniz karşı çıkardı, "Tanrı bundan daha akıllı." Ben bir başka şekilde ifade ederdim: Evren bundan daha akıllı.

3 Pierre Simon Laplace, *Exposition du système du monde* (Paris: Impr. Du Cercle-Social, An IV de la République Française, 1796).

LAPLACE'IN ŞEYTANI

Dini eğilimleri ne olursa olsun, Laplace, *saat gibi işleyen evren* ya da alternatif olarak *Newton'ın dünya makinesi* olarak tanınmaya başlanılan ilkeyi tasarladı: Evren, dev bir makina ya da saat mekanizması gibidir; fizik yasalarına göre işler, böylece olan her şey daha önce olmuş olan tarafından önceden belirlenir.

Laplace bunu, *İhtimaller üzerine Felsefi bir Deneme*'de şöyle ifade etmiş:

Evrenin bugünkü halini, geçmişinin etkisi ve geleceğinin nedeni olarak görebiliriz. Doğayı harekete geçiren tüm kuvvetleri ve doğanın meydana geldiği tüm maddelerin tüm konumlarını belirli bir anda bilecek bir zihin, bu verileri analiz edecek kadar da muazzamsa, evrenin en büyük cisimlerinin ve en küçük atomun hareketlerini tek bir formülde kucaklardı; böyle bir zihin için, hiçbir şey belirsiz olmazdı ve gelecek, tıpkı geçmiş gibi gözlerinin önünde olurdu.⁴

Bu “zihin” çoğunlukla *Laplace'ın şeytanı* olarak adlandırılır, gerçi kendisi bu tabiri kullanmamıştır. Laplace ona yalnızca “bir zihin” demiş ve herhangi bir tanrıyla bağdaştırmamıştır. Yaratıcı bir deist tanrıyla çelişmezken, saat gibi işleyen evren, net bir biçimde Yahudi-Hıristiyan-Müslüman Tanrı'yla, ya da Newton'ın inandığı gibi, evreni yalnızca yaratmayıp, yaratıldıktan sonra evrenin işleyişinde de, olayların gidişatını değiştirmek için sürekli devreye girerek, büyük rol oynadığına inanılan herhangi bir yüce varlıkla bağdaşmaz.

Deizm, bilim ve aklın teoloji ve vahye hâkim olmaya başladığı on sekizinci yüzyıldaki Aydınlanma adı verilen dönemde ön plana çıktı. Deistler, Leibniz ve Laplace'ın daha önce bahsedilen görüşlerini takip ederek, kusursuz bir tanrının, yaratılıştan sonra herhangi bir zamanda çarpık gitmiş olması muhtemel şeyleri düzeltmek üzere devreye girmek zorunda olmasını mantıksız olarak gördüler.

Zamanın önde gelen birçok kişisi ya açıkça ilan edilmiş deistti, ya da yayınlanmış görüşlerine dayanarak deist olarak görülüyordu.

4 Pierre Simon Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities (İhtimaller üzerine Felsefi bir Deneme)*, Fransızca 6. Baskısından çev. F. W. Truscott ve F. L. Emory (New York: Dover Publications, 1952).

Avrupa’da, bunlar, Adam Smith (1723-1790), Büyük Frederick (1712-1786), James Watt (1736-1819) ve Voltaire’i (1694-1778) içeriyordu. Amerika’da, Benjamin Franklin (1706-1790), Thomas Paine (1737-1809) ve en az ilk dört başkan: George Washington (1732-1799), John Adams (1735-1826), Thomas Jefferson (1743-1826) ve James Madison (1751-1836) deistti.

Ancak Aydınlanma ve onun deizm versiyonu, Laplace’ın şeytaniyle pek de ilgisi olmayan bir sürü sebepten dolayı on dokuzuncu yüzyılda ayakta kalamadı. Kişisel olmayan deist tanrı, ortalama insanın aradığı dinin rahatlığını sağlamadı. Aklın yerine duyguyla zengine ve fakire eşit şekilde hitabeden Hristiyan uyanış, Avrupa ve Amerika’nın her tarafına yayıldı. Aynı zamanda sanat ve edebiyatın entelektüel dünyası, bilimsel rasyonalizasyona tepki gösterip, yerine, *Romantizm* olarak adlandırılan sezgi ve duygu vurgusunu koydu.

Amerikan Devriminin aksine, yine Aydınlanma’dan doğan Fransız Devrimi, bir felaket olmuştur. Ayrıca Sanayi Devrimi üst ve orta sınıfın servetini büyük ölçüde artırmıştır, bunun üzerine işçi sınıfının hayatını zindan etmeye başlamışlar, böylece şair William Blake’in madenlere ve fabrikalara taktığı adla, “karanlık şeytani değirmenler”de uzun saatler boyunca ve düşük ücret karşılığı çalışmaya zorlanmışlardır. Arazi sahiplerinin elinde gündoğumundan batımına kadar çalıştıkları tarlalarda köylüler, en azından temiz hava alıp, daha taze yemek yiyip, temiz su içiyorlardı.

ON DOKUZUNCU YÜZYIL ASTRONOMİSİ

Hem teknoloji hem de matematiksel hesaplamalar gelişmeye devam ettiğinden, on dokuzuncu yüzyıl astronomide birçok ilerleme gördü. Daha önemli olan gelişmelerin bazılarını burada kısaca inceleyeceğim.

Laplace’ın kozmolojiye olan bir katkısını daha eklemek üzere, on sekizinci yüzyıl sonlarından başlayalım. Daha önce bahsedilen *Exposition du système du monde*’da Laplace, özellikle de neden bütün gezegenlerin güneşin etrafında aynı yönde ve hemen hemen aynı düzlemde döndükleri gibi, daha önce astronomların kafasını karıştıran birtakım gerçekleri açıklayan, güneş sisteminin bir oluşum modelini getirdi. İsveçli filozof Emanuel Swedenborg

(1688-1772), aynı modeli geçmişte, 1734'de önermişti ve Immanuel Kant 1755'te Swedenborg'un fikrini ileri taşıdı. Laplace ise onu matematiksel bir temele oturttu. *Nebula hipotezi* adı verilen model, güneş sisteminin akkor halindeki gazdan oluşan ve dönmekte olan küre biçimindeki bir kütleden evrildiğini varsayar. Soğudukça, kütle büzüldü ve art arda halkalar dış kenardan koptu. Bu halkalar soğuyup, yoğunlaşarak gezegenleri oluşturdu, merkezdeki arta kalan çekirdek ise güneşi meydana getirdi.

Laplace'ın modeli on dokuzuncu yüzyılda yaygın olarak kabul görünürken, yirminci yüzyılda, gezegenlerin güneş sisteminin açısal momentumunun %99'unu içerdiği gerçeğini açıklayamadığında terk edildi. Ancak dönen gaz topu düşüncesi temel olarak doğrudur. Bugünün astronomları, yayılmış madde disklerinin, yıldız olma sürecindeki nesneler olan genç yıldızların ve ilkel yıldızların yörüngelerinde dönmekte olduğunu görebiliyorlar. Madde kütleçekimle topaklar halinde toparlandıkça, gezegenlerin bu disklerin içinde oluştuğuna inanılıyor. Ancak teoremin hâlâ, Jüpiter ve Satürn gibi gaz devlerinin oluşumuyla ilgili problemleri bulunuyor.

1801'de Fransız astronom ve popülerleştirici Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande (1732-1807), kırk yedi binin üzerinde yıldızı içeren bir katalog yayınladı. O zamana kadar şöhretli bir hayat sürmüştü ve bütün bu bilimsel ayrıntılara bir ara verip, ondan şahsi olarak bahsetmek için iyi bir zaman olabilir bu; çünkü kendisi oldukça eğlenceli bir karakterdi. Görünüşünün bir betimlemesi şöyledir:

Aşırı derecede çirkin bir adamdı ve bununla gurur duyardı. Patlıcan biçimindeki kafasıyla, arkasındaki kuyruklyıldızın kuyruğuna benzeyen çalı gibi gür dağınık saç kuyruğu, onu portre ressamlarının ve karikatüristlerin gözdesi yapıyordu. Bir buçuk metre boyunda olduğunu iddia ederdi, ancak yıldızların yüksekliklerini hesaplamada hassas olduğu halde, dünya üzerindeki kendi yüksekliğini abartmış görünüyor. Kadınları severdi, özellikle de zeki kadınları ve onları sözde ve özde yüceltirdi.⁵

5 Ken Adler, *The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World* (Her şeyin Ölçüsü: Yedi Yıl Süren Yolculuk ve Dünyayı Dönüştüren Gizli Hata) (New York: Free Press, 2003).

Lalande bir *Ateistler Sözlüğü* yayımladı, orada şöyle yazmıştı: “Bilimin ışığını yaymak bilginlere kalmış, böylece bir gün dünyanın kanını akıtan o korkunç hükümdarları, bir başka deyişle savaş çığırtañkalarını dizginleyebilirler. Din bunların pek çoğunu üretmiş olduğı halde, bunun sona erdiğini görmeyi de umut edebiliriz.” Ateist görüşlerinin, kendisini bu kadar çirkin yapmış olan Tanrı’dan intikamı olduğunu söylediler esprili bir şekilde.⁶

İlk onayla, Lalande Napolyon’u sözlüğüne dahil etmişti. Ancak sonra, imparator Kilise’nin desteğine ihtiyacı olduğunu fark edip, astronomun Institut de France (Fransa Enstitüsü) tarafından sansürlenmesi için uğraştı. Lalande ateist görüşlerini ortaya koymaktan vazgeçmedi. Bir diktatörün idaresindeyken bile Fransa entelektüel açıdan büyük ölçüde özgür kaldı.

Bilim meselesine geri dönersek, 1802’de İngiliz fizikçi ve kimyager William Wollaston (1766-1828), güneşin optik tayfında karanlık çizgiler gözlemledi. Bu *Fraunhofer çizgileri* adını, onları 1814’de sistematik olarak inceleyen Alman fizikçi Joseph von Fraunhofer’dan (1787-1826) alır. Neredeyse yarım yüzyıl sonra Alman fizikçi Gustav Kirchhoff (1824-1887) ile Alman kimyager Robert Bunsen (1811-1899), karanlık Fraunhofer çizgilerini, ısıtılmış çeşitli elementlerin salım tayflarında gözlenen parlak çizgilerle bağdaştırdı.

Böylece, astronomların yıldızlardaki ve yıldızlararası ortamdaki kimyasal elementleri tanımlamalarını mümkün kılan ana araç haline gelecek olan, spektroskopi (tayfölçümü) bilimi başlamış oldu. Kimyasal periyodik tablodaki ikinci element, helyum, Yeryüzünde keşfedilmeden önce, güneşten gelen ışıktaki soğurma çizgileriyle tanımlandığı için bu adı almıştır.

Çizgi tayflarının üretim mekanizması, Niels Bohr’un hidrojen tayfını hesaplamak için yeni kuantum teorisini kullandığı 1913’e kadar keşfedilmeyecekti (bkz. 5. Bölüm). Aslında bu çizgi tayfları, ışığın dalga teorisiyle açıklanamayan büyük bir anomaliydi ve kuantum mekaniğinin gelişmesine neden oldu.

Bu arada, yıldızların tayfölçümü fiziğinin evrenselliğini daha da pekiştirdi. Newton, evrensel kütleçekim yasasıyla bu yöndeki ilk büyük atılımı yapmıştı. Daha önce, bir yasa kümesinin yeryüzün-

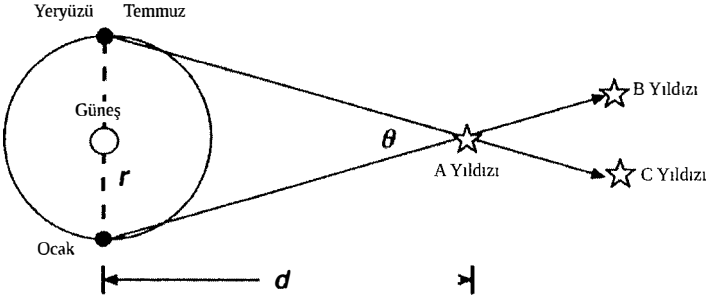
de, bir başka yasa kümesininse göklerde geçerli olduğu varsayılmıştı. Newton, bir elmanın ağaçtan yere düşmesine sebep olan kuvvetin, Ay'ın Yeryüzü etrafında dolaşmasına yol açan kuvvetle aynı kuvvet olduğunu öne sürdü. Yıldızlardan çıkan tayfsal çizgilerin, Yeryüzündeki laboratuvarlarda sıcak gazlardan çıkanla aynı olduğunun gözlenmesiyle, fiziğin evrenselliği doğrulanmış oldu. Fizik, evrenin her yerinde aynıdır.

Bessel fonksiyonlarına, fizik, mühendislik ve matematik öğrencileri oldukça aşinadır. İlk kez fizikçi Daniel Bernoulli (1700-1782) tarafından ortaya konmasına rağmen, astronom Friedrich Wilhelm Bessel'in (1784-1846) adıyla anılırlar. Bessel muhasebeci olarak eğitim aldı ve bir gemicilik şirketi için çalışıyordu. Navigasyona olan ilgisi Bessel'i astronomiye yöneltti ve 1810'da yirmi beş yaşında, Prusya'daki Königsberg Rasathanesinin müdürü oldu.

Bessel, bir yıldızın olan uzaklığı ölçmek için paralaksı (ıraklık açısı) ilk kullandı; 1838'de 61 Cygni'nin (61 Kuğu) 10,4 ışık yılı uzaklıkta olduğunu bildirdi ($1 \text{ ışık yılı} = 9,46 \times 10^{12} \text{ kilometre}$). Şu anki tahmin, 11,4 ışık yıldır. O yıl daha sonra, Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), Vega'nın (25 ışık yılı uzaklıkta), Thomas Henderson ise Alfa Centauri'nin (4,4 ışık yılı uzaklıkta) paralaksını ölçtü.

Şekil 4.1 paralaksın nasıl çalıştığını göstermektedir. Bir yıldız altı ay arayla iki kez gözlenir. İki gözlem hattı arasındaki açılardaki farktan (θ , radyan olarak) ve Yeryüzünün yörüngesinin yarıçapından (r), yıldızın olan uzaklık (dar açılı yaklaştırmada, ki yeterince iyidir); $d = 2r/\theta$ 'dır.

Böylelikle, insanlar yıldızların Yeryüzünden uçsuz bucaksız mesafelerde olduğunu öğrenmeye başladı. Çoklu yıldız sistemi olan Alfa Centauri, en yakın olandır. Tabii, 147 milyon kilometre ya da $1,55 \times 10^{-5}$ ışık yılı (8,17 ışık dakikası) uzaklıktaki güneşi saymazsak. Uzaklığı ölçüldüğü zamanda, bilinen güneşe en uzak gezegen Uranüs'tü. Uranüs antik zamanlardan beri gözlemlense de, sönüklüğü nedeniyle, ancak 1781'de Herschel tarafından gezegen olarak saptanabilmiştir. Uranüs'ün yörüngesindeki en uzak noktadan, güneşe olan uzaklığı, 3,00 milyar kilometre ya da 0,000317 ışık yıldır (2,78 ışık saati).



Şekil 4.1 Paralaksın, Yeryüzünden bir yıldıza ya da bir başka astronomik nesneye olan uzaklığı belirlemede nasıl kullanıldığı. A yıldızı, bir sefer B’de, altı ay sonra da C’de görünür. Eğer Yeryüzünün yörüngesinin yarıçapı r (güneşe olan uzaklık) ve ölçülen ıraklık açısı θ ise, o halde yıldıza olan uzaklık $d = 2r/\theta$ ’dır. Burada gösterildiğinin aksine, θ açısı çok dardır, bu nedenle bu dar açılı yaklaştırma kullanılabilir. Görsel, yazara aittir.

Bu bizi bir sonraki gezegene, Neptün’e getiriyor. Galileo, Neptün’ü 1612’de ve 1613’te olmak üzere iki kez gözlemledi, ancak sabit bir yıldız olduğunu varsaydı; gerçi son kanıtlar, yıldızlara dair hareket fark etmiş olabileceğini ortaya koyuyor. 1800’lerin başlarında, Fransız astronom Alex Bouvard (1766-1843), Uranüs’ün yörüngesine ait o zamanki standart tablolarından sapmalar ölçümledi. Güneş sisteminde Uranüs’ün ötesindeki sekizinci bir gezegenin, yörüngeyi bozduğunu öne sürdü. Britanyalı astronom John Couch Adams (1819-1892), çeşitli veri kaynaklarını kullanarak, yeni gezegenin nerede aranması gerektiğine dair birtakım tahminler yaptı.

Ondan bağımsız olarak Fransız matematikçi Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877), benzer hesaplamalar yapıyordu ve 31 Ağustos 1846’da nihai tahminini Fransız Akademisi’ne sundu. İki gün sonra da, Adams kendi nihai tahminini Greenwich Kraliyet Rasathanesi’ne gönderdi. 18 Eylül’de Le Verrier tahminini Berlin Rasathanesi’ne gönderdi. Orada 23 Eylülde, gezegen, Le Verrier’in tahmininden bir derece farkla bulundu ve daha sonra Neptün’le özdeşleştirildi. Greenwich’deki astronomlar ağırdan almıştı, bu yüzden Adams kaybetti. Zarif bir biçimde Le Verrier’in üstünlüğünü kabul etti.

Neptün'ün en uzak noktasından güneşe olan uzaklığı, 4,50 milyar kilometredir (0,000476 ışık yılı ya da 4,17 ışık saati).

On dokuzuncu yüzyıl astronomisindeki bir sonraki önemli ilerleme, İngiliz astronom William Huggins (1824-1910) tarafından yapılan, yıldızların kimyasal bileşimlerini belirlemek üzere tayflarının kapsamlı ölçümleri sayesinde gerçekleşti. Yıldızların, Yeryüzünde bulunanlarla aynı kimyasal elementlerden meydana geldiğini gösterdi. Kuyruklu yıldızlardaki hidrokarbonları keşfetti. En önemlisi de, 1868'de Huggins, yıldızların tayfsal çizgilerinde gözlenen kaymaların *Doppler etkisinin* sonucu olduğunu varsayarak, bir yıldızın radyal hızını (gözlem hattı boyunca hız bileşeni) ölçümleyen ilk kişi oldu.

1842'de Christian Andreas Doppler (1803-1853), dalganın kaynağı, gözlemciye doğru ya da ondan uzağa hareket ettikçe, bir dalganın dalga boyunun değiştiğini göstermişti. Yani, bir yıldız bizden uzaklaştığında, görünür ışığı, tayfın kırmızı ucuna doğru kayacaktır; bize doğru hareket ettiğinde ise, maviye doğru kayacaktır. Frekans kayma miktarı, astronomun radyal hızı hesaplamasını mümkün kılar. Spesifik olarak, kırmızı kayma $z = 1 + \Delta\lambda / \lambda$ şeklinde ifade edilir; burada $\Delta\lambda / \lambda$ dalga boyundaki kesirli kaymadır. O halde $v \ll c$ için radyal hız, $v = zc$ dir; burada c ışığın hızıdır. Tüm hızlar için geçerli tam formül, daha karmaşıktır ve özel görelilik teorisinden türetilmiştir.

Göreceğimiz gibi, çoğu galaksinin bizden uzaklaşmakta olduğunun, kırmızı kaymalarının ise uzaklıklarının bir ölçüsü olduğunun keşfedildiği yirminci yüzyılda, astronomik nesnelerden tayfsal çizgi kaymalarının büyük sonuçları olacaktı. Bu, evrenin, paralaksla ölçülebilen yıldızlara olan birkaç ışık yılından çok daha büyük olduğunun keşfine yol açtı.

On dokuzuncu yüzyıl astronomları evrenin büyüklüğü hakkında bilgi edinirken, fizikçiler güneşin ve Yeryüzünün yaşı problemine kafa yoruyordu. 1863'te Britanyalı fizikçi William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), başta eriyik olduğunu, soğudukça yavaş yavaş koyulaştığını varsayarak, Yeryüzünün yaşını tahmin edip yirmi milyon buldu. Enerjinin korunumu ilkesini formüle eden Alman fizikçi Hermann von Helmholtz, 1856'da güneşin yaşı üzerine düşünüp, potansiyel enerjideki düşüşün, yayınlanan ışığın enerjisini sağlaması nedeniyle, güneşin enerjisinin kütleçe-

kimsel çökmeden kaynaklandığını ileri sürdü. 1862’de Kelvin, Helmholtz’un yaklaşımını kullanarak, güneşin yirmi milyondan daha yaşlı olamayacağı sonucuna vardı. Bu hesaplamalar çok hamdı ve Kelvin’in her bir yöntemden aynı sayıyı elde etmesi gerçeği, şüphesiz ortak bir baştan savmalıktan dolayıydı. Ancak güneşe dair hesaplama daha güvenilirildi.⁷

Her şekilde, her iki tahmin de, 1858’de Charles Darwin (1809-1882) ile Alfred Russel Wallace (1823-1913) tarafından ortaklaşa açıklanan doğal seleksiyon yoluyla evrim teorisi için büyük sorun demekti. Evrim, en az yüz milyonlarca yıllık muazzam bir zaman skalasını gerektiriyordu. Darwin’in kendisi bu tutarsızlığı dert edinip, teorisi için en ciddi tehdit olarak gördü.

Diğer yandan yerbilimciler, Yeryüzünün yaşının iki milyar civarında olduğuna dair tahminleriyle, evrim hipotezini desteklediler. Problem, yirminci yüzyılın başlarına, güneşin bir beş milyar yıl daha, ya da daha fazla parıldamasına izin verecek olan nükleer füzyonun keşfine kadar çözülmeyecekti. Yeryüzünün yaşı artık radyoaktif tarihlemeyle pekâlâ tespit edilmişti; %1 hata payıyla, 4,54 milyar yaşındadır.

Bu arada gözlemsel astronomi ilerlemeye devam etti. 1888’de, Amerikalı astronom James Keeler (1857-1900), Satürn’ün halkalarındaki bir boşluğu gözlemlemek için, California, Hamilton Dağı’ndaki Lick Gözlemevi’nde bulunan 91 cm’lik büyük kırılmalı (mercekli) teleskobu kullandı.

Keeler daha ufak bir tepe yamacına 91 cm’lik yansıtmalı bir teleskop kurdu ve ilk kez Newton’ın yansıtmalı teleskopları, kapasitedeki belirgin bir iyileşmenin sonucuyla, özellikle de mercekli teleskoplara özgü küresel sapmanın giderilmesiyle büyük ölçüde iyileşen spektrografi için dağ tepelerinde görülmeye başladı.

Ancak Keeler bu aletle pek uzun süre gözlem yapmaya fırsat bulamadı. Katı bir West Point mezunu olan Lick’in müdürüyle oluşan anlaşmazlığı, Keeler’ın 1891’de Alleghany Gözlemevi’ne gitmesine neden oldu. Orada, çok daha aşağı aletlere ve

7 Frank Stacey, “Kelvin’s Age of the Earth Paradox Revisited,” (Kelvin’in Tekrar Gözden Geçirilmiş Yeryüzünün Yaşı Paradoksu) *Journal of Geophysical Research* 105, no. B6 (2000): 13,155–58.

Pittsburgh'un endüstriyel göklerine rağmen, ona uluslararası olarak fark edilmeyi getiren önemli bir keşif yapmayı başardı. Spektrografiye kullanan Keeler, Satürn'ün halkalarının, gezegenin etrafında farklı hızlarda dönen ufak cisimlerden oluştuğuna dair James Clerk Maxwell'in (1831-1879) teorisini doğruladı.

1898'de Lick'in yönetimini, sevilmeyen müdüründen devralmak üzere geri çağırılan Keeler, Lick'e Britanyalı politikacı Edward Crossley tarafından bağışlanmış olan ve yaygın biçimde "külüstür" olarak görülen Crossley teleskobu adında bir başka 91 cm'lik yansıtıcıyı baştan inşa etti. Ancak Keeler onu tamir etti ve nihayet işler hale geldiğinde, sarmal nebuların harika resimlerini çekmeye başladı. Bunlar, kozmosa açılacak yan kapının anahtarı olacaktı. Maalesef Keeler o kapıdan geçmeyi başaramadan, 1900'de, kırk dokuzuncu doğum gününden hemen önce öldü.⁸

8 Marcia Bartusiak, *The Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)* (New York: Pantheon Books, 2009), 2. Bölüm.

V - ISI, IŞIK ve ATOM

TERMODİNAMİK

On dokuzuncu yüzyıl fiziğindeki, hem uygulama açısından, hem de kozmolojik olarak çok büyük anlama sahip iki önemli gelişme, termodinamik ve elektromanyetizmaydı. Sanayi Devrimi, ısı motorlarını analiz etme ihtiyacını getirmişti ve yeni termodinamik bilimi, ısı fenomenlerinin gözlemlerini betimlemek üzere geliştirildi. Yalnızca, ısı ve iş değiş tokuşunu içeren makroskobik mekanik sistemlerin gözlemlerine dayanan termodinamik, sıcaklık, basınç ve yoğunluk gibi ölçülebilir niceliklere doğrudan uygulanan oldukça gelişmiş matematiksel bir bilim haline geldi.

Termodinamiğin en önemli iki ilkesi, birinci ve ikinci yasalarıdır:

Termodinamiğin birinci yasası

Bir sistemin iç enerjisindeki değişim, sisteme verilen ısının, sistem tarafından yapılan işten çıkarılmasına eşittir.

İlk yasa, termodinamikte uyumlu olarak geliştirilen, enerjinin korunumu ilkesinden çıkmaktadır. İş daha önce kuvvetin yararlı bir uygulaması olarak tanımlanmışken, ısı bir enerji biçimi olarak kabul edildi. Eğer bir cisme, cismin hızını artırmak için bir kuvvet uygularsanız, cisim üzerinde yapılan iş, cismin kinetik enerjisindeki (hareket enerjisi) artışa eşit olur. Eğer cisim, onu yavaşlatan sürtünmeyle karşılaşır, kinetik enerjinin kaybı, sürtünme ısısı olarak ortaya çıkar.

Termodinamiğin ikinci yasası

Kapalı bir sistemin *entropisi*, aynı kalmalı ya da zamanla artmalıdır.

İkinci yasa, ilk olarak ısı motorlarının ve soğutucuların, tam verimlilik enerji korunumunu ihlal etmese de tam olarak verimli olmadıkları gerçeğini açıklamak üzere ortaya çıkmıştır. Yani bir

motor, giriş ısısının tamamını işe dönüştüremez. Aksi takdirde, tüm enerjisini ortamdan alan daimi hareketli bir motor imal edebilirdik. Benzer biçimde, bir soğutucu ya da klima, üzerinde iş yapılmadan, ısyı düşük bir sıcaklıktan yükseğe çıkaramaz. Yoksa prize takılmaları gerekmezdi. 1865'te Rudolf Clausius (1822-1888), sistemin düzensizliğinin bir ölçüsü olan *entropi* adı verilen soyut bir nicelik üzerinden, bu gözlemlenen ilkeleri yeniden biçimlendirdi.

Termodinamiğin, on dokuzuncu yüzyılın kozmolojik düşüncesinin üzerinde, özellikle de teolojiyle olan bağlantısı bakımından çok büyük etkisi olmuştu. O dönemde, birçok filozof ve teolog, sınırlı, yaratılmış bir evreni savunmak için, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına başvurdu. İlk yasa, kütleçekimsel potansiyel enerji ve kinetik (hareketsel) enerjiden meydana gelen evrenin iç enerjisinin, evrenin dışından gelmiş olmak zorunda olduğunu göstermek için kullanıldı.

İkinci yasa, evrenin sonsuz yaşlı olamayacağını ancak bir başlangıcının olmuş olması gerektiğini, ayrıca eninde sonunda öleceğini göstermek için kullanıldı.¹ Buna *ısı ölümü* adı verildi; ısı ölümü, tüm hareket durup, evren olabildiği kadar soğuduğunda yani mutlak sıfıra ulaştığında meydana gelir.

Birçok yazar tarafından ortaya konulan ilahi bir yaratılış için termodinamik durum şu satırları içerir: İlk olarak, eğer evren sonsuz yaşlı olsa, her şeyin mutlak düzensizlik içinde olduğu yani maksimum entropide olduğu ısı ölümüne çoktan ulaşmış olurduk. İkincisi, evrenin entropisi geçmişte daha düşüktü ve bir noktada minimum (sıfır) olmuş olmalı; ki bu, düzenli kozmosun doğumuna işaret eder. Bunun, evrenin sadece bir başlangıcı olmadığını, ayrıca doğaüstü olarak yaratıldığını da kanıtladığı ileri sürüldü. Bu, evrenin o zaman tam bir düzensizlik ya da kaos içinde olduğu, bu durumda var olan düzenin dışarıdan verilmiş olması gerektiği gerçeğinden çıkmıştı.

1 Helge Kragh, *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology* (Evrendeki Madde ve Ruh: Modern Kozmolojiye Bilimsel ve Dini Girişler) (London: Imperial College Press, 2004); Helge Kragh, *Entropic Creation: Religious Contexts of Thermodynamics and Cosmology* (Entropik Yaratılış: Termodinamiğin ve Kozmolojinin Dini Bağlamları) (Aldershot, Hampshire, İngiltere; Burlington, VT: Ashgate, 2008).

1847’de enerjinin korunumu üzerine nihai tezi yazan Hermann von Helmholtz, evrenin akıbeti olarak gördüğü şeyi 1854’de Königsberg’deki bir konferansta açıkladı:

Eğer evren, fiziksel süreçlerinin bozulmamış eylemine götürülürse, tüm kuvvet [bununla enerjiyi kastediyor] sonunda ısı biçimine geçer ve tüm ısı denge durumuna geçer. O zaman başka bir değişime dair tüm olasılık bir uçta olurdu ve tüm doğal süreçlerin tam olarak sona ermesinin başlaması gerekir... Kısaca, evren o zamandan başlayarak sonsuz bir hareketsizlik durumuna mahkûm olurdu.²

1868’de Clausius, ısı ölümünü entropi bakımından formüle etti: “*Evrenin entropisi maksimuma yönelir,*” o noktada “evren değişmeyen bir ölüm durumunda olacaktır.”³

Herkes ikna olmamıştı. Britanyalı tanınmış fizikçi Lord Kelvin (William Thomson), ısı ölümü fikrini kabul ederek, 1862’de şöyle yazdı, “Sonuç [Enerji kaybı yasası adını verdiği şeyin sonucu], kaçınılmaz olarak evrensel bir hareketsizlik ve ölüm olurdu.” Ancak sonucu sorgulayıp şöyle dedi, “Bilim, bir saat gibi durmakta olan ve sonsuza dek duran tek bir sınırlı mekanizmadan çok, sonsuz bir uzay boyunca potansiyel enerjinin somut harekete, dolayısıyla ısıya dönüşümünü içeren sonsuz bir eylemin gelişimini işaret eder.”⁴ Başka bir deyişle, enerjinin kaybı yasası sınırsız uzay için geçerli değildi. Ancak uzayın sınırsız olduğuna dair ikna edici bir argümanı yoktu.

Termodinamiğin kurucularından biri olan (Fahrenheit birimlerindeki mutlak sıcaklık skalasına *Rankine dereceleri* adı verilir) İskoç mühendis ve fizikçi William Rankine (1820-1872) başta olmak üzere, öteki bilim insanları, ısı ölümünün önlenemesinin yollarını aradılar. Rankine, “ışınma ısı”nın, kaybedilmesi yerine,

2 Hermann von Helmholtz, *Science and Culture: Popular and Philosophical Essays* (Bilim ve Kültür: Popüler ve Felsefi Denemeler), ed. David Cahan (Chicago: Chicago University Press, 1995), sf. 30.

3 Rudolf Clausius, “On the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat,” (Isının Mekanik Teorisinin İkinci Temel Teoremi Üzerine) *Philosophical Magazine* 35 (1868): 404–19.

4 William Thomson, *Popular Lectures and Addresses* (Popüler Konferanslar ve Nutuklar), 1. cilt (Londra: Macmillan, 1891), sf. 356–57.

yeniden odaklanılmasını sağlayan özel niteliklere sahip olabileceğini varsaydı.⁵

Evrenin kökenine gelince, *bir maddenin korunumu yasasının* var olduğuna, böylece evrenin maddesinin de bir yerden gelmiş olması gerektiğine inanılıyordu. Daha sonra bahsedeceğimiz elektrikle manyetizmanın büyük birleştiricisi, ayrıca da Evanjelik Hristiyan olan James Clerk Maxwell 1873'teki bir konuşmasında yaygın bir görüşü ifade etti:

Bilim, yaratılışın kendisinin yoktan var olması üzerine akıl yürütmek için yetersizdir. Maddenin, kendi kendine var olan ve sonsuz olamayacağı için, yaratılmış olması gerektiğini kabul ettiğimiz zaman, düşünme yetilerimizin en son sınırlarına ulaşmış olduk.⁶

Temel olarak, o zaman, on dokuzuncu yüzyılda anlaşıldığı gibi bilim, evrenin geçmişte sınırlı bir zamanda doğaüstü bir yaratılışla başladığını ve aslında gelecekte sınırlı bir zamanda her şey durduğunda sona ereceğini gerektiriyor gibi görünüyordu. Sebepler de, zamanın en iyi deneysel ve teorik bilgisine dayanan iyi sebeplerdi. Ancak göreceğimiz gibi, argümanların hiçbirisi, bugünün bilgisi karşısında dayanamaz.

Bu arada, birçok fizikçi ve bilim filozofu, özellikle de Ernst Mach (1838-1916), gözlenemeyen her şeyin fizik değil metafizik olup, deneysel yöntemin kapsamı dışında olduğunu içeren *pozitivizm* doktrinini benimsedi. 1872'deki bir konuşmasında Mach, evrenin bütünü hakkında hiçbir anlamlı bilimsel önerme yapılamayacağını iddia etti. "Dünyanın enerjisi" ya da "dünyanın entropisi" gibi tabirler anlamsızdı çünkü ölçülemezlerdi.⁷

5 Kragh, *Matter and Spirit in the Universe* (Evrendeki Madde ve Ruh), sf. 46-47.

6 James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (James Clerk Maxwell'in Bilimsel Makaleleri), ed. W. D. Niven (New York: Dover Publications, 1965), 2. Bölüm, sf. 376.

7 Helge Kragh, *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology* (Mitlerden Hızlanan Evrene Kozmos Kavramları: Kozmolojinin Tarihi) (Oxford; New York: Oxford University Press, 2007), sf. 105.

Kısacası, termodinamiğin kozmolojik çıkarımları üzerinde fikir birliği oluşmadı. Çoğu astronom, meseleyi hiçe saydı. Fransız filozof ve tarihçi Pierre Duhem (1861-1916), doğru olduğu ortaya çıkan ilginç bir varsayımda bulundu: İkinci yasa, entropinin zamanla artmasını gerektiriyor olsa da, alt ya da üst sınırı olması gerekmez.⁸

ELEKTROMANYETİZMA

On dokuzuncu yüzyıl fiziğindeki ikinci önemli gelişmede, elektrik ile manyetizma, doğanın temel kuvvetleri olarak kütleçekimle birleşmiştir. Bu durumda İskoç fizikçi James Clerk Maxwell tarafından 1865'te yazılan bir dizi denklemle sonuçlanan, deney-teorinin bir bileşimine rastlıyoruz yine. Maxwell'in denklemleri, başkaları tarafından keşfedilen birtakım ilkeleri bir araya getirmiştir:

- Michael Faraday (1791-1867) tarafından deneysel olarak keşfedilen Faraday'ın indüklemeye yasası. Bu, zamanla değişen bir manyetik alanın, nasıl elektrik alanı oluşturduğunu gösterdi.
- André-Marie Ampère (1775-1836) tarafından deneysel olarak keşfedilen Ampère yasası. Bu, bir manyetik alanın elektrik akımı tarafından nasıl oluşturulduğunu gösterdi. Elektrik akımı, yalnızca hareket eden bir elektrik yüküdür.
- Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) tarafından teorik olarak ileri sürülen Gauss yasası. Bu, kapalı bir yüzeydeki elektrik alanının, o alan içindeki elektrik yüküne nasıl bağlı olduğunu gösterir.

Unutmayın ki; eğer bir elektrik kuvveti statik bir yük tarafından, bir manyetik kuvvetse hareket eden bir yük tarafından üretilirse, bu durumda Galileo'nun görelilik ilkesi bu ikisinin eşdeğer olmasını gerektirir. Hangisinin hangisi olduğu, gözlemcinin referans çerçevesine göre değişir. Bu, fizik sınıflarında ya da ders kitaplarında nadiren bahsedilen, esasen önemli bir noktadır.

Fizikte, bir *alan*, uzaydaki her noktada bir değere sahip olan matematiksel bir nesnedir. Bu “değer”, katı, sıvı ve gazlardaki

8 Ibid., sf. 105–106.

yoğunluk ya da basınç gibi, tek bir sayı olabilir, ki bu durumda bunun bir *skaler alan* olduğu söylenir. Ya da, bir sayılar kümesi olabilir. Newton'ın kütleçekim alanı, elektrik alanı ve manyetik alanı, uzaydaki her bir noktayı tanımlamak için üç sayı gerektiren *vektör alanlarıdır*; alanın büyüklüğü için bir ve yönü için iki sayı. Einstein'ın genel görelilik teorisindeki kütleçekim alanı, tanımlamak için on bağımsız sayı gerektiren bir *tensör alanıdır*.

Faraday ve Ampère, daha öncesinde elektrik ve manyetizmanın aynı fenomen olduğunu ispatlamışlardı, böylece önceden ayrı oldukları düşünülen iki kuvveti birleştirmiş oldular. Maxwell'in denklemleri bu gerçeği bir sisteme bağladı. Maxwell'in teorisi, klasik elektromanyetik alanın tam bir betimlemesini sağlar. Herhangi bir ortamdaki elektrik yükleri ve akımlarının dağılımı verildiğinde, uzaydaki ya da maddesel bir ortamdaki herhangi bir noktadaki elektrik ve manyetik alanlarının hesaplanmasında, Maxwell'in denklemleri kullanılabilir. Hendrick Lorentz (1853-1928) tarafından getirilen yalnızca bir ilave denklem sayesinde, alandaki herhangi bir noktadaki yüklü bir parçacık üzerindeki elektrik ve manyetik kuvvetler artık belirlenebilir ve Newton mekaniği kullanılarak da o parçacığın gelecekteki (ya da hatta geçmişteki) herhangi bir zamandaki konumu ve hızı tahmin edilebilir. Bir kez daha, Newton'ın dünya makinesinin doğrulanmasını görüyoruz.

Bunun etkileyici olması kadar, Maxwell'in denklemlerinin daha da etkileyici sonucu, elektrik yüklerinin ve akımlarının yokluğunda, bir elektromanyetik alanın hâlâ boş uzayda mevcut olduğunu tahmin etmeleriydi. Ayrıca o alan, tam olarak vakum içindeki ışığın hızına eşit bir hızdaki (c) bir dalga gibi, uzay boyunca yayılır. Bu sayı, modele girilmemişti, türetimden ortaya çıktı. Böylece, ışığın bir elektromanyetik dalga olduğu sonucuna varılarak, ışığın dalga doğası doğrulanmış oldu.

Maxwell teorisinin bir başka sonucu, elektromanyetik dalgaların, yaklaşık 430 nanometredeki mor uçtan yaklaşık 700 nanometredeki kızıl uca kadar değişen dalga boyundaki görünür ışık tayfının altında ve üstünde süresiz olarak genişlemeleridir. Morun altındaki bölge *morötesi* olarak adlandırılır, kızılın üstündeki bölgeye ise *kızılaltı* adı verilir. Morötesinin altında *x-ışınlarına*, onun altında ise *gama ışınlarına* sahibiz. Kızılaltının üstünde, *radyo*

dalgalarımız bulunuyor. 1887’de Alman fizikçi Heinrich Hertz (1857-1894), görünür ışıktan milyar kez daha uzun olan 8 metrelik dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar yayarak, ışık hızında hareket ettiklerini belirledi.

Bugün astronomi, 10^{-18} metre kadar kısa dalga boylarına sahip gama ışınlarından (gama-ışını gözlemlerine katılmışım), birkaç kilometrelik dalga boylarına sahip radyo dalgalarına kadar değişen elektromanyetik tayf aralığı boyunca yürütülmektedir.

Işığın dalga boyu genellikle Yunanca simge λ ile temsil edilir. Bu, dalganın tepeleri arasındaki mesafedir. Bir dalganın frekansı (f), bir dalganın tepelerinin belirli bir noktadan geçtiği süredir. Işık için, $f\lambda = c$ ’dir; burada c , vakum içindeki ışığın hızıdır. Bu ifade, geneldeki dalgalar için geçerlidir, burada c dalga hızıdır.

ATOMLAR ve İSTATİSTİKSEL MEKANİK

On dokuzuncu yüzyıl, yalnızca termodinamik ve elektromanyetizmanın gelişimini değil, atom teorisinin toplam maddenin davranışının kavranışına uygulanmasını da gördü. Yüzyılın başlarında John Dalton’la (1766-1844) başlayarak, kimyagerler, Rus kimyager Dmitri Mendeleev (1834-1907) tarafından getirilen kimyasal elementlerin periyodik tablosuyla sonuçlanan, maddenin atom teorisini geliştirdiler. Ancak kimyagerler kendi atomlarını, 2. Bölümde betimlendiği gibi Newton mekaniğinin temelini oluşturan antik Yunanlar tarafından öne sürülen tanecikli atomlarla ilişkilendirecek hiçbir deneysel sebep görmediler. Kimyasal atomların antik atomcularinkilerle paylaştığı tek özellik, bölünmez (Yunanca *atomos*) olduklarıydı. Bunlar, elementler olarak adlandırıldılar, çünkü kimyagerler onları daha basit bir şeye ayıramamıştı.⁹

Bu arada fizikçiler, parçacıklara olan eğilimleriyle sıkışıp kalmışlardı. Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann (1844-1906), Maxwell ve Amerikalı fizikçi Josiah Willard Gibbs’le (1839-1903) birlikte, maddenin tanecikli resmine dayanan istatistiksel mekaniği geliştirdiler. İstatistiksel mekanik, Newton mekaniği

9 Victor J. Stenger, *God and the Atom: From Democritus to the Higgs Boson (Tanrı ve Atom: Demokritos’tan Higgs Bozonuna)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2013).

yasalarına göre makroskobik bir cismin, büyük ölçüde rastgele bir şekilde gezinerek birbirine ve kabın duvarlarına çarpan çok sayıda ufak parçacıktan oluştuğu varsayılarak, tüm termodinamik yasalarını elde etmekte kullanıldı.

Termodinamik yasalarının bu yüzden, doğanın temel ilkeleri değil, daha temel ilkelerden türetilen “beliren” ilkeler olduğu söylenir. Gerçekten de akışkanlar mekaniği, yoğun madde fiziği, kimya, biyoloji, nörobilim ve hatta sosyal bilimler gibi, birçok parçacıktan meydana gelen tüm sistemleri yöneten ilkeler, beliren olarak görülebilir. Kütleçekim bile, artık temel bir kuvvetten çok, beliren bir fenomen olarak ileri sürülmekte (Bkz.15. Bölüm).

İstatistiksel mekanikte, tekil parçacıkların hareketlerini betimlemek için hiçbir girişimde bulunulmaz. Bu, imkânsız olurdu. Yerine, istatistiksel yöntemler, sistemi oluşturan parçacık topluluğunun ortalama davranışını tahmin etmek için kullanıldı. Böylece, bir kabın duvarlarındaki basınç, duvara çarpan parçacıklar tarafından birim zamanda üretilen birim alan başına ortalama kuvvetle ilişkilendirilmiştir. Mutlak (Kelvin) sıcaklık, sistem dengedeyken, sistemdeki parçacıkların ortalama kinetik enerjisiyle tanımlanmıştır.

İstatistiksel mekanik, kimyasal elementleri tanecikli atomlarla ilişkilendirdi. Elementlerden meydana gelen kimyasal bileşimler, atomlar birleştiğinde oluşan moleküller olarak tanımlandı.

Bu başarıya rağmen, başta Ernst Mach olmak üzere, çok sayıda sözü geçen kimyager ve filozof tarafından, atomların tanecikli teorisinin doğruluğu hâlâ tartışılıyordu. Daha önce bahsedildiği gibi Mach, sadece hissedilebilen nesnelerin, bilimsel çalışmaya konu olabileceğini iddia eden bir pozitivistti. Atomları göremediği için, varlıklarına inanmadığında ısrar etti. Mach bu konumunu, atomlar için dolaylı kanıtların tartışmasız olduğu 1916’daki ölümüne kadar korudu. Bugün kimyasal atomlar, Tarayıcı Tünel Mikroskobu’yla doğrudan görülebilmektedir.

Maddenin tanecikli doğası için daha fazla kanıt, Britanyalı fizikçi J. J. Thomson (1856-1940) ve meslektaşları tarafından 1896’da yapılan bir deneyle sonuçlanan bir dizi laboratuvar gözlemiyle elde edildi. Söz konusu deneyle, vakum tüplerinin katotlarından yayılan ışınların, daha önce en hafif nesne olarak bilinen

hidrojen iyonundan çok daha hafif kütleli, yüklü parçacıklar oldukları doğrulandı. Bunlar, elektronlar olarak adlandırıldı, kısa süre sonra da, elektrik akımının taşıyıcısı oldukları anlaşıldı. Gelişigüzel biçimde “pozitif” olarak tanımlanmış olan akım akışına ters yönde aktıkları için, elektronlar, negatif elektrik yüküne sahip olarak nitelendirildi. Bugün elektronlar hâlâ maddenin temel parçacıklarından biri olarak görülmektedir.

İKİNCİ YASANIN İHLALİ

Şimdi, termodinamiğin ikinci yasasına geri dönelim. 1872’de Boltzmann, rastgele hareket eden büyük bir parçacık topluluğunun, negatif entropiyle orantılı belirli bir niceliğin (H) minimuma yaklaştığı denge durumuna doğru hareket etme eğiliminde olacağını gösteren *H-teoremi*’ni elde etti. Yani Boltzmann esasen, termodinamiğin ikinci yasasının, istatistiksel parçacık mekaniğinin yasalarının sonucu çıktığını ispatlamış oldu.

Ancak Boltzmann’ın iyi dostu ve meslektaşı Josef Loschmidt (1821–1895), *tersinmezlik paradoksu* adı verilen bir problem gördü. Eğer bir grup parçacık rastgele geziniyorsa, kapalı bir sistemin parçası olsalar bile, ilkesel olarak tesadüfen, daha düşük bir entropi oluşturabilirler.

1890’da Henri Poincaré, dinamik sistemlerin, yeterince uzun süre sonra ilk durumlarına geri döneceklerini söyleyen, *yineleme teoremini* yayınladı. Bu, doğrudan Boltzmann’ın teoremiyle çelişiyordu, bu nedenle de, termodinamiğin ikinci yasasını çürütüyor gibi görünüyordu.

1867’de Maxwell, ünlü “düşünce deneyi”yle ikinci yasayla ilgili benzer şüpheler ifade etmişti. Bu deneyde, başkalarının “Maxwell’in şeytanı” adını verdikleri hayal ürünü bir yaratık, daha düşük bir entropi üretmek üzere parçacıkları yeniden yönlendirir.

Ancak şeytanlara ya da meleklerle gerek yoktur. Boltzmann sonunda, *H-teoreminin* ve dolayısıyla ikinci yasanın değişmez ilkeler olmadıklarını, sadece istatistiksel ifadeler olduklarını fark etti. Boltzmann’ın ispatladığı gibi, ortalama olarak, rastgele hareket eden birçok parçacıktan meydana gelen kapalı bir sistem, maksimum entropi durumuna geçecektir, ancak istatistiksel dal-

galanmalar zaman zaman daha düşük bir entropi durumu oluşturabilir. Aslına bakılırsa, eğer yalnızca birkaç parçacıktan oluşan bir sisteme sahipseniz, bu, sıklıkla meydana gelecektir.

Günlük hayatta, “tersinmez” olarak isimlendirilen olaylara alıştığımız. Bir lastiği patlatın, hava dışarı çıkar. Patlak bir lastiğin, delikten geri giren dışarıdaki havayla yeniden şiştiğine hiç şahit olmayız. Kırılan camlar tekrar bir araya gelmez. Ölenler, yeniden canlanmaz.

Ancak, bunları tanecikli bir bakış açısından düşünün. Patlak bir lastiğin dışındaki hava molekülleri rastgele dolaşıp duruyorlar. Çok sayıda molekülün tesadüfen lastikteki deliğin doğrultusunda hareket edeceği tutmuş olduğunu varsayın. O halde lastik yeniden şişebilirdi!

Bunun olduğunu görmememizin sebebi, imkânsız olması değil, trilyonlarca hava molekülünün hepsinin lastiği tekrar şişirmek için doğru yönde hareket edecek olmalarının çok uzak ihtimal olmasıdır.

Ancak içinde yalnızca üç parçacığın olduğu kapalı bir kabımızın olduğunu düşünün. Kabin dışı, aynı tipteki birçok parçacıktan oluşan bir ortamdır. Kabi açtığınızda, üç parçacık kaçır. Açık tuttuğumuz sürece, üç parçacığın kabin içine geri dönmek için yollarını bulma ihtimali çok yüksektir.

Başka bir deyişle, ikinci yasa çiğnenmemiş değildir. Yalnızca istatistiksel bir ifadedir.

Boltzmann bu kavrayışı kozmolojiye uygulayıp, eğer evren yeterince büyük olsaydı, entropik dalgalanmalar, düzeni koruyup geliştirmek için yeterince düşük entropiye sahip bizimki gibi başka dünyalar meydana getirmek üzere, dengeden türeyen cephelere neden olabilirdi, yorumunda bulundu.¹⁰ Demek ki, ikinci yasanın ısı ölümünden canlı bir evren doğabilir. Ve eğer *biri* doğabiliyorsa, o halde herhangi bir sayıda da doğabilir. Boltzmann bunu söylemedi ancak buna “çoklu evren” diyebilirdi.

ZAMANIN OKU

Boltzmann ayrıca, bir başka derin kavrayışa sahipti; ikinci yasa, yasa bile değildir! Gelişigüzel bir tanımdır. Burada ele aldı-

10 Ludwig Boltzmann, “On Certain Questions of the Theory of Gases,” (Gazlar Teorisine Dair Belirli Sorular Üzerine) Nature 51 (1895): 483–85.

ğımız ilke, kapalı bir sistemin ortalama entropisinin zamanla artması, ya da en iyi ihtimalle sabit kalması gerektiği değil. İlke, zamanın yönünün *doğası gereği*, kapalı bir sistemin, yani evrenin entropisinin arttığı yön olmasıdır. Arthur Eddington (1882–1944), daha sonra bu düşüncüyü, *zamanın oku* olarak adlandıracaktı.

Gördüğümüz gibi, belirli tersinmiş zaman süreçlerini gözlemlemediğimiz gerçeği, imkânsız olduklarından değil, çok uzak ihtimal olduklarındandır. Olağan bozunum ve ölüm deneyimimiz, ikinci yasayı doğrular gibi görünür, ancak bunun nedeni, bizim ve etrafımızdaki dünyanın çoğunlukla rastgele hareket içindeki çok sayıda parçacıktan meydana gelmiş olmasıdır. Ancak kimyasal, çekirdek ve temel-parçacık tepkimelerindeki gibi, az sayıda parçacıkla uğraştığınızda, olayların her iki zaman yönünde meydana geldiği gözlenir.

KLASİK FİZİĞİN SONU

On dokuzuncu yüzyılın sonunda olduğu haliyle fizik, genellikle “klasik fizik” olarak adlandırılır. O zamana kadar fizikçiler, fiziksel dünyanın neredeyse bütün –ancak tam olarak değil– teorisini geliştirmişlerdi. O dünyayı oluşturan madde, kimyasal periyodik tablonun doksan küsür elementiyile ilişkilendirilen, atom adı verilen temel parçacıklardan meydana gelir. Bu parçacıklar birbiriyle iki temel kuvvet yoluyla etkileşir; sırasıyla, matematiksel olarak Newton’ın kütleçekim yasasıyla ve Maxwell’in denklemleriyle sınırsız kesinlikle betimlenen kütleçekim ve elektromanyetizma. Evrendeki her parçacığın hareketi bu durumda, parçacığın belirli bir zamandaki konumu ve hızı her ne ise ona uygulanan bu yasalar tarafından tamamen belirlenir.

Gezegen mekaniği ve yıldız spektrometresiyle kanıtlandığı gibi, bu aynı atomlar ve onların davranışını betimleyen teorik ilkeler, evrenin her tarafında tamamıyla aynıdır.

ANOMALİLER

Yine de, çözülmemiş problemler kalmıştı. Maxwell’in denklemleri, uzayda ışık hızında yol alan elektromanyetik dalgaların varlığını tahmin etti. Görünür ışık, belirli bir dar tayfsal bant içindeki dalga boylarına sahip bu elektromanyetik dalgalar olarak

tanımlandı, bu da Huygens'in dalga teorisini kesinlikle doğruluyordu (bkz. 3. Bölüm). Buna ilaveten, bu bandın çok dışındaki dalgaların da ışık hızında yol aldığı gözlemlendi. Ancak ışığın dalga teorisi, ışığın gözlenen üç özelliğine bir açıklama getirmedi: 1) *Çizgi tayfları*, 2) *Kara cisim ışıınımı* ve 3) *Foto-elektrik etki*.

Çizgi tayflarını daha önce ele almıştık; ışık maddenin içinden geçerken görülen çok dar karanlık çizgiler ve ışığın sıcak cisimlerden yayınlanmasında görülen parlak çizgiler. Bunlar, ışığın dalga teorisi üzerinden anlaşılamazdı.

Kara cisim ışıınımı, günlük nesnelerden çıkan elektromanyetik yayınımları ifade eder. Bir kara cisim ışıınımı, cismin sıcaklığına bağlı olan bir tepe noktasına sahip düzgün bir tayf sergiler. Çok sıcak güneşin durumunda, tayfı, görünür tayfin merkezinde, sarıda, tepe noktasına ulaşır. Fiziğin parametrelerinin, insanların evrilmesi için ince ayarlanmış olduğu düşüncesinin savunucuları, güneşten gelen ışığın tayfinin, tam da Tanrı'yı örnek alan insanın gözlerinin en hassas olduğu aralıkta tepe noktasına ulaşmak üzere tasarlanmış olduğunu bize düşündürdü. Olması daha muhtemel olan, gözlerimiz o tepe noktası civarındaki bölgeye duyarlı olmak üzere evrilmiştir, işte bu yüzden ona "görünür" diyoruz. Siz ve ben gibi daha soğuk cisimlerin tayfları, kızıl ışııngından daha uzun dalga boylarına sahip kızılaltı bölgede ışıma yapar. Çingiraklı yılanlar, sıcakkanlı avı karanlıkta daha iyi yakalayabilmek için, kızılaltı ışığı görececek şekilde evrilmiştir; yani onlar için kızılaltı, "görünür"dür. Işığı yansıtmadıkları sürece, bu cisimler bize siyah görünür, "kara cisim" terimi bu yüzden.

1905'te Lord Rayleigh (John Strutt, 1842-1919) ile James Jeans (1877-1946), kara cisim ışıınımı tayfını elde etmek için ışığın klasik dalga teorisini kullandılar. Hesaplama, ışıınımın, cismin içindeki salınan yüklü parçacıklardan kaynaklandığını varsaydı. Dalga boyu kıaldıkça, cismin içine sığabilen elektromanyetik dalgaların sayısı artar. Rayleigh ve Jeans, tayfin, dalga boyunun dördüncü kuvvetiyle düşmesi gerektiğini belirledi.

Ancak, Rayleigh-Jeans modelinin ciddi bir kusuru vardı. Tayfin, gittikçe kısalan dalga boylarında süresiz olarak artması gerektiğini tahmin etti. Buna *kızılaltı felaketi* adı verilir. Aslında, tüm kara cisimlerin ölçülen tayfları her iki uçta da düşer (bkz. Şekil 6.1).

Dalga teorisiyle açıklanamayan üçüncü gözlem, morötesi ışığı içeriyordu. Başta Hertz olmak üzere fizikçiler, ışık çeşitli metallerle yöneltildiğinde, morötesi ışığın elektrik akımı başlattığı çok çeşitli fenomenler keşfettiler. İlginç olan şuydu ki, belirli metale bağlı olarak, ışığın eşik dalga boyu, hiçbir akımın üretilmediği yerin üzerinde bulunur. Işığın dalga teorisi bunun için hiçbir açıklama getirmemiştir.

Ayrıca ışığın dalga teorisiyle ilgili problemlerin hepsi bu kadar da değildi. Eğer ışık bir elektromanyetik dalgaysa, dalgalanmayı ne yapıyor? Standart varsayım, elektromanyetik dalgaların, evreni kolayca kaplayan ve Aristoteles'in en özlü kısmı, esirle özdeşleşen görünmez, sürtünmesiz bir ortamdaki titreşimler olduğuydu. Ancak Maxwell'in kendisinin de belirttiği gibi, elektromanyetizma teorisindeki hiçbir şey, esirin varlığını varsaymaz. Elastik ortam hipoteziyle başlayan, ses dalgalarının elde edilmesinin aksine, Maxwell, elektromanyetik dalgalar tahminine bunun gibi bir ortam dahil etmedi. Bunlar onun elektromanyetizma denklemlerinden düştüler sadece.

1887'de başlayarak, Amerikalı fizikçiler Albert Michelson (1852-1931) ile Edward Morley (1863-1923), Galileo göreliliği ilkesine göre farklı hızlarda Yeryüzünün hareketiyle esir boyunca taşınacağını tahmin ettikleri, iki düşey ışık demeti arasında beklenen ışık hızındaki farkı ölçerek, esirin varlığını tespit etmeye çalıştıkları bir dizi deney gerçekleştirdiler. Eğer Yeryüzü esire doğru bir hızda (v) hareket ediyorsa, ışık hızını ($v+c$) olarak ölçmeleri gerekir. Eğer esirden uzaklaşıyorsa, ($v-c$) olarak ölçmeliler. Onlar ve doğruluğu giderek artan deneylerle takibeden başkaları, ışık hızındaki beklenen kaymayı göremediler. Onun yerine, daima aynı değeri (c) elde ettiler.

Böylece de, yirminci yüzyılın şafağında, fizik, hayal edilemez yükseklikleri hesaplamışken, geriye, daha çok hayal edilemez gelişmelerle ve yeni hesaplanan yüksekliklerle sonuçlanacak problemler kalmıştı.

VI - İKİNCİ FİZİK DEVRİMİ

HER ŞEY AÇIKLANDI MI? PEK DEĞİL

Önceki bölümde, on dokuzuncu yüzyılın sonuna kadar, fiziğin fiziksel dünyadaki açıklanacak hemen hemen her şeyi açıklamış olduğunu gördük. Dünya, mekanik, kütleçekim ve elektromanyetizmanın yasalarına göre hareket eden ve birbiriyle çarpışan parçacıklardan ibaretti sadece.

Ünlü fizikçi Lord Kelvin'in (William Thomson), İngiliz Bilim Derneği'ne hitap ettiği bir konuşmasında yaptığı şu yorum sıkça alıntılanır; "Artık fizikte keşfedilecek yeni hiçbir şey yoktur. Geriye kalanın hepsi, gitgide daha hassas ölçümdür." Ancak, bu ifadeyi doğrulayacak kanıt bulunmamıştır.¹ Kelvin bunu söylememiş olabilirse de bu, o zamanki yaygın düşünceyi ifade ediyordu. Her şekilde, gerçeklere dayanmıyordu. Gördüğümüz gibi, 1900'de, ışığın dalga teorisiyle açıklanamayan birtakım gözlemler vardı hâlâ.

Son bölümde görüldüğü gibi, on dokuzuncu yüzyıl fiziği aslında, antik atomcuların, parçacıklar dışında boş olan boşlukta gezinen temel parçacıklardan oluşan evren düşüncesiyle çelişiyordu. On dokuzuncu yüzyıl kozmosu, içinde parçacıkların hareket ettiği, *esir* adı verilen pürüzsüz, kesintisiz, görünmez bir ortamla doluydu.

Işığın, tıpkı ses dalgalarının hava ve su gibi ortamların titreşimlerinden doğması gibi esirin titreşiminden kaynaklandığı düşünülüyordu. Ses dalgaları, kesintili ortamlara uygulanan Newton'ın parçacık mekaniğinden elde edilebildiğinden, hava ve

1 Walter Isaacson, *Einstein: His Life and Universe (Einstein: Yaşamı ve Evreni)* (New York: Simon & Schuster, 2007), sf. 575.

suyun tamamen pürüzsüz ve kesintisiz olmayıp, ufak atomlardan oluştuğu gerçeği sorun değildi. Gerçekten de, Michael Faraday, ondan önce Isaac Newton'ın yaptığı gibi esirin de tanecikli olabileceği yorumunda bulundu. Dahası, James Clerk Maxwell'in, elektromanyetik dalgaların varlığını elde etmede esirin varlığını varsaymadığını ve hiç kimsenin esire dair bir kanıt bulamadığını hatırlayın. Hem teorik, hem de gözlemsel olarak, esir varmış gibi görünmüyordu.

Fiziğin geri kalanına gelince, Newton'ın hareket ve kütleçekim yasalarının, gezegenlerin ve elmaların hareketlerine oldukça başarılı biçimde uygulanması, bu yasaların evrensel olduğunu gösterdi. Benzer şekilde, yıldızlarda, Yeryüzündeki laboratuvarlarda görülenlerle aynı tayfsal çizgilerin gözlenmesi, eşit ölçüde evrensel yasalara dayandıklarını gösterdi.

Bu durumda, ışık bir elektromanyetik dalga olduğuna göre, Maxwell'in denklemlerinin de evrensel olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Ancak bu denklemler, gözlemlenen dar çizgi tayfları için bir mekanizma sağlamaz. Üstelik, ışığın dalga teorisi, kara cisim tayfını ya da foto-elektrik etkiyi açıklayamaz.

Atomların tanecikli doğasına gelince, birçok bilim insanının, kanıtın dolaylı olması nedeniyle, ikna olmamış kaldığını gördük.

Sonraki kısımlarda, 1900'den II. Dünya Savaşı'nın sonu olan 1945'e kadarki dönemde, fizikteki devrim niteliğindeki gelişmeleri, kozmolojiye olan belirli uygunluklarını göz önünde tutarak kısaca özetleyeceğim. Daha ayrıntılı açıklamalar için, *God and the Atom*'a (Tanrı ve Atom) başvurabilirsiniz.

ÖZEL GÖRELİLİK

1905'te Albert Einstein, özel görelilik teorisini yayınladı ve süreç içerisinde, uzay, zaman ve madde kavramlarımızı kökten değiştirdi. Albert Michelson ile Edward Morley, Yeryüzünün varsayılan esir boyunca hareketinden beklenen ışık hızındaki değişim için kanıt bulmakta başarısız olmuştu. Einstein bu sonuçtan makalesinde bahsetmemekle birlikte, muhtemelen bundan haberi vardı. Ancak, herhangi bir gözleme atıfta bulunmak yerine, Einstein tamamen teorik bir argüman yarattı; bununla birlikte

teorinin, nihayetinde, gözlenen fenomenlere, yani elektrik ve manyetizmaya dayandığı unutulmamalıdır.

Maxwell'in denklemlerinden elde edilen elektromanyetik dalgalar, 2. Bölümde gördüğümüz gibi, tüm hızların göreliliği olduğunu ileri süren Galileo'nun görelilik ilkesini açıkça ihlal ederek, vakum içerisinde tam olarak c hızında yol aldı. Yani bir ışık kaynağı ile gözlemcisi arasındaki göreliliği hız, c 'den farklı olarak gözlemlenen bir hızı vermek üzere, c 'ye eklenir ya da c 'den çıkarılır. Ancak, Maxwell'in denklemleri, buna izin vermedi; Michelson ile Morley ise bunu görmedi.

ZAMAN ve UZAY GÖRELİLİĞİ

Einstein, görelilik ilkesinden vazgeçmeye hazır değildi. Bu yüzden eğer 1) görelilik ilkesi geçerli ve 2) vakum içindeki ışığın hızı daima c ise, sonuçların ne olacağını sordu. Bu iki aksiyomdan, Einstein, öteki sonuçların arasında, iki olay arasındaki zaman ve uzaklık aralıklarının değişmez olmadığını gösterdi. Yani, birbirine göre hareket eden referans çerçevelerindeki iki gözlemci, farklı zaman ve uzaysal aralıklar ölçecektir.

Bir başka deyişle, zaman ve uzay, sağduyunun dikte ettirdiği gibi, mutlak değildir. Bir gözlemciye göre hareket eden bir saat, o gözlemci tarafından yavaşlıyor görünecektir (*zaman genişlemesi*); bir gözlemciye göre hareket eden bir nesne, o gözlemci tarafından hareketinin yönünde daralıyor görünecektir (*Fitzgerald-Lorentz daralması*). Bunları *gerçekten* yaptıkları anlamına gelmez bu. Saatler, üzerlerinde oturan gözlemciler için yavaşlamaz, nesneler de üzerlerinde oturan gözlemciler için daralmaz. Öteki referans çerçevelerindeki dış gözlemcilere, bu tuhaf şeyleri yapıyor izlenimi verirler sadece.

Sağduyunun zamana bakışının yapı sökümü (dekonstrüksiyon), Einstein'ın devrim niteliğindeki bütün keşiflerinin arasında, muhtemelen en geniş kapsamlı olanıydı. Zaman kadar hiçbir şey, bu kadar yaygın, bu kadar mutlak ve evrensel görünmez. Buna rağmen, özel görelilik, zamana dair en derin sezgilerimizin bazılarının doğruluğunu sorgulamıştır. Zaman içindeki hiçbir an, evrensel bir "şimdiki zaman" olarak nitelendirilemez. Uzaydaki her noktada geçerli olan hiçbir geçmiş ya da gelecek yoktur.

Uzayda ayrılmış iki olay, hiçbir zaman nesnel olarak eşzamanlı, tüm referans çerçevelerinde geçerli olarak değerlendirilemez.

Zaman genişlemesi, saatlerin görelî hızları ışık hızına yakın olduğunda ya da atom saatleriyle yüksek derecede hassas ölçümler yapılırken önemlidir yalnızca. Yani bu etkiler, günlük hayatta fark edilmedi. Ancak Einstein'ın teorisi, atom saatleriyle yapılan düşük hızda ölçümlerin yanı sıra, ışık hızına yakın hareket eden yüksek enerjili parçacıkları içeren yüzün üzerinde deneyle doğrulandı. Bugün akıllı telefonu ya da arabasında Küresel Konumlama Sistemi (GPS) olan herkes, Einstein'ın teorisine güveniyor, ki göreceğimiz gibi, genel görelilik teorisini de hesaba katmalıdır.

Sosyal çevrede zamanın göreliliği hakkında endişelenmemiz gerekmezken, günlük insan deneyiminin sınırlı aralığından, evrensel, felsefi ya da metafiziksel çıkarımlar yapmamak önemlidir.

Filozoflar ve teologlar, daha çok ortak deneyim benzeri, alternatif “metafiziksel zamanlar” getirdi, ancak bunların bilimsel gözlemlerle hiçbir bağlantısı yoktur ve spekülâtif teoloji alanının dışında rasyonel dayanakları bulunmamaktadır. Bilimsel modeller değişmez bir biçimde, zamanın, doğası gereği, bir saatin üzerinde ölçülen olduğunu varsayar; o zamansa görelidir.

TANIMLANAN ZAMAN ve UZAY

Yakın zamana kadar, zaman geçidi, gündüz ve gece, ayın evreleri gibi tanıdık düzenliliklerle ya da daha kesin olarak belli yıldızların görünür hareketlerine göre kaydediliyordu. Saniye, antik Babilliler tarafından bir günün $1/84.600$ 'ü olarak tanımlandı. Takvimlerimiz hâlâ, 1582'de getirilen, yılın 365,2425 gün olarak tanımlandığı Gregoryen (Miladi) takvimi kullanan *astronomik zamana* dayanmaktadır (bkz. 2. Bölüm). Bilimin doğuşuyla, saniye, laboratuvarında daha faydalı hale gelmesi için, birçok kez yeniden tanımlanmıştır.

En son değişiklik 1967'de meydana geldi; saniye, uluslararası anlaşmayla, sezyum-133 atomunun taban durumunun belirli iki enerji düzeyi arasındaki geçişe karşılık gelen, $9.192.631.770$ ışı- nım periyodunun süresi olarak yeniden tanımlandı. Antik gele- neklere uyarak, dakika altmış saniye, saat altmış dakika ve gün yirmi dört saat kalır. Antik Babil'deki gibi, gün hâlâ 84.600 sani-

ye olarak alınır. Atomik zamanla astronomik cisimlerin hareketleri arasında tam senkronizasyonun bulunmayışı sebebiyle, takvimlerimizin, onları mevsimlerle uyum içinde tutabilmek için zaman zaman düzeltilmesi gerekiyor.

Atom saatlerinde ölçülen zamanın, bir tür “gerçek zaman” olduğunu varsaymamamız gerektiğini unutmayın. Bu, astronomik zamandan, sarkaçla ölçülen zamandan ya da örneğin kendi kalp atışlarımla tanımlanan zamandan daha az gelişigüzel değildir. Ancak kalp atışı zamanından çok, atomik zamanı kullanarak, zamanı kullanan modeller çok daha basittir ve günlük aktivitelerimiz için sürekli düzeltme yapmak zorunda kalmazlar. Daha ciddi olarak, atomik zaman, kendine has ufak ancak önemli düzensizlikleri olan astronomik zamanı kullandığımızda yapmak zorunda olduğumuz düzeltmelere de meydan vermez.

Einstein ortaya çıkana kadar, uzay ve zamanın, evrenin iki bağımsız özelliği olduğu varsayılıyordu genellikle. 1983’e kadar, standart uzunluk birimi metre, dikkatlice kontrol edilen koşullar altında Paris’te saklanan belirli bir platin çubuğun uzunluğu olarak tanımlanıyordu. Matematikçi Hermann Minkowski’nin (1864-1909) yardımıyla, Einstein zamanın ilave edilmiş boyut olduğu dört boyutlu bir uzay zamana dayanarak özel teoriyi formüle etmişti. 1983’e kadar, görelilik, deneysel olarak o kadar köklü hale gelmişti ki, metre mükemmelştirildi, böylece zaman gibi, saatin üzerinde yazanla tanımlandı. Halihazırda, metre, ışığın bir vakum içerisindeki noktalar arasında yol alması gereken zaman $1/299.792.458$ saniye olduğunda uzaydaki iki nokta arasındaki mesafe olarak tanımlanır.

Bunun, *tanım gereği*, vakum içindeki saniyedeki ışık hızının, $c = 299.792.458$ metre demek olduğunu unutmayın. Birçok fizikçi ve öteki bilim insanlarının çoğu, hâlâ c ’nin, zaman ya da konumla değişen, değişken olabilecek bir nicelik olduğunu düşünüyor gibi görünüyor. Bu imkânsızdır, çünkü tanım gereği sahip olduğu değere sahiptir.

ENERJİ ve MOMENTUMUN GÖRELİLİĞİ

Einstein, enerji ve momentumun da göreliliği bulundu. Ancak kütle değişmezdir, yani tüm referans çerçevelerinde aynı-

dır. $c = 1$ olduğu birimlerde, kütle, enerji ve momentum arasında, bir cismin eylemsizlik özelliklerini tanımlayan ve ilişkilerini gösteren basit bir ilişki vardır. Enerji (E) ve momentuma (p) sahip bir cismin kütleini (m) veren denklem şöyledir: $m^2 = E^2 - p^2$. Bir cisim hareketsiz olduğunda, $p = 0$ ve bir cismin durgun enerjisi yalnızca kütleine (m) eşittir. Bu, daha herkesçe bilinen yazılışıyla, $E = mc^2$ sonucudur.²

Özel göreliliğin bir başka tanınmış sonucu, kütlesi olan bir cismin, ışık hızına kadar ivmelendirilemeyeceği ya da onu geçirelemeyeceğidir. Yani evrensel bir hız sınırı, c bulunmaktadır. Burada, yaygın olan bir başka kavram yanlışını düzeltmem gerekiyor. Özel görelilik, hiç yavaşlamadıkları sürece, parçacıkların ışıktan daha hızlı yol almalarını yasaklamaz. Bu tür parçacıklara *takiyonlar* adı verilir. Ancak hâlâ varsayıma dayanmaktadır; bugüne kadar hiç takiyon gözlemlenmemiştir.³

Özel görelilik teorisi, parçacıkların hızları ışık hızına yakın olduklarında, parçacık hareketiyle bağlantılı niceliklerin çoğu için farklı bir denklem grubu gerektirir. Ancak hiç şüphemiz olmasın ki, hızlar ışığa oranla düşük olduğunda, bu denklemler, tanınmış Newton denklemlerine dönerler.

Özel görelilik sayesinde Einstein, esiri ortadan kaldırıp, Demokritos'un boşluğunu kozmosa çevirdi, Michelson ile Morley tarafından bildirilen deneysel anomaliyi ve Maxwell'in elektromanyetik dalga teorisindeki teorik sorunları çözdü. Bunlar görelilik teorisiyle tamamen tutarlıdır. Tüm hızlar hâlâ görelidir; ışığın hızı hariç. Bu da, biraz önce gösterildiği gibi, yalnızca uzaklık ve zaman için hangi birimleri kullanmak istediğinize karar veren

- 2 Sıkça, bir kütlenin içerisinde zaptedilen durgun enerjinin ($E = mc^2$) devasa olduğunu, çünkü $c = 3 \times 10^8$ metre/saniyenin çok büyük olduğunu duyacaksınız. Aslında, c değeri gelişigüze'dir ve bu durumdaki sayısal değer büyüktür çünkü c için büyük bir sayı kullanmayı seçtiniz. Durgun enerji ile kütle, birimleri dışında, birbirinin aynıdır.
- 3 2011'de CERN, nötrinoların ışıktan hızlı hareket ettiklerinin ölçülmüş olduğunu bildirdi. Medya, Einstein'ın hatalı olduğunu kanıtlandığını duyurdu. Sonuca gevşek bir elektrik bağlantısının neden olduğu ortaya çıktı. Ancak bu doğru olmuş olsaydı dahi, Einstein'ın hız sınırı, ihlal edilmemiş olurdu. Parçacıklar, göreliliğin izin verdiği takiyonlar olmuş olurdu yalnızca.

gelişigüzel bir sayıdır. Bu kitap boyunca çoğunlukla $c = 1$ ışık yılı/yıl kullandım.

GENEL GÖRELİLİK

Kasım 1907’de Einstein, Bern’deki patent bürosundaki iskemlesinde oturuyordu ki;

Aniden aklıma bir düşünce geldi. “Eğer bir kişi serbestçe düşerse, kendi ağırlığını hissetmeyecektir.” İrkilmiştim. Bu düşünce, üzerimde derin bir etki yarattı. Beni bir kütleçekim teorisine doğru harekete geçirdi.⁴

diye betimleyecekti daha sonra.

Einstein’ın kütleçekim teorisi, genel görelilik teorisi olarak 1916’ya kadar yayınlanmayacaktı. Özel görelilik, sabit hızda hareket eden referans çerçevelerinde geçerliydi sadece. Einstein, Newton’ın teorisiyle anlaşılamayan çok küçük etkileri tahmin eden yeni bir kütleçekim teorisine, ivmeyi dahil etmeyi başardı.

Einstein’ın kavrayışını şöyle ifade edeyim: Serbest düşüşteki kapalı bir kapsül içindeki bir gözlemci, bu durumu, gezegenlerden ya da yıldızlardan uzakta uzayda aynı kapsül içinde bulunduğu durumdan ayırt edemeyecektir. Ayrıca, eğer uzaydaki kapsül, diyelim ki bir roket motoruyla, bir cismin yere düşerken sahip olduğu ivmeyle, Newton’ın üzerine düşen elma gibi, ivmelendirilse; içindeki kişi, bununla, Yeryüzünün yüzeyinde öylece hareketsiz durma arasındaki farkı anlayamaz. Dolayısıyla, ivme ve kütleçekim bir anlamda eşdeğerdir.

Şimdi, kapsüldeki gözlemci, kapsülü yüzeyde dururken, Yeryüzünün merkezine yönelen hatlar boyunca birbirine yaklaşacak olan, düşmekte olan cisimlerin yollarının hassas ölçümünü yapabilir. Öte yandan, eğer kapsül uzayda hızlanıyor olsa, hatların hepsi paralel olurdu. Bu durumda iki resmin denkliği, teknik olarak yalnızca uzayın sonsuz küçük bir bölgesi için geçerlidir. Bu ilke, “yerel” adını verdiğimiz şeydir.

Einstein tarafından geliştirilen kütleçekim modelinde, kütleçekim kuvveti, esasen ortadan kaldırılır. Tüm kuvvetlerden arınmış

4 Abraham Pais, “*Subtle Is the Lord*”: *The Science and the Life of Albert Einstein* (“İncelikli olan Tanrı’dır”: *Albert Einstein’ın Bilimi ve Yaşamı*) (Oxford; New York: Oxford University Press, 1982), sf. 179.

bir cisim, Öklit dışı uzay zaman boyunca jeodezik bir yol izler; katedilen mesafeyi en aza indirmek için Yeryüzünün yüzeyindeki bir noktadan diğerine büyük bir daireyi izleyen bir uçağı andırır. Yeryüzü, güneşin etrafında bir elips biçiminde döner, çünkü büyük kütleli bir nesnenin etrafındaki jeodezik yol budur.

Einstein, maddenin uzaydaki dağılımından, uzay zamanın biçimini ve jeodeziyi hesaplamasına olanak sağlayan bir denklem yazdı:

$$(\text{uzay zamanın eğriliği}) = (\text{maddenin yoğunluğu})$$

Einstein'ın, salt çekici kütleçekimin, evrenin çökmesine sebep olacağı gerçeğiyle başı dertteydi. O zaman herkes, evrenin, Kitab-ı Mukaddes'te betimlendiği gibi, durağan bir sema olduğunu düşünüyordu. Böylece Einstein, kütleçekim denklemine, *koz-molojik sabit* (CC) adı verilen bir başka terim (Λ) ekledi.

$$(\text{uzay zamanın eğriliği} + \text{koz-molojik sabit}) = (\text{maddenin yoğunluğu})$$

Dolayısıyla, pozitif ya da negatif olabilen CC, uzay zamanın eğriliğinin bir başka bileşeni gibi davranır. Λ pozitif olduğunda, sonuç, Einstein'ın evreni dengede tutacağını düşündüğü kütleçekimsel bir *itmedir*.

Unutmayın ki, kozmolojik sabit, maddenin yoğunluğunun parçası olarak, denklemin sağ tarafına da konabilirdi:

$$(\text{uzay zamanın eğriliği}) = (\text{maddenin yoğunluğu} - \text{koz-molojik sabit})$$

Ancak iki şekilde de eşit olarak çalışan, hâlâ aynı denklemdir. Matematiksel modellerin öğelerini alıp, bunlara metafiziksel gerçeklik atfetmeye çalışmanın neden bir hata olduğuna bir örnektir bu. Kozmolojik sabit, “gerçekten” uzay zamanın eğriliğinin parçası mıdır, yoksa “gerçekten” maddenin parçası mıdır? Bunun önemi yoktur. Bu yalnızca bir insan düzeneğidir ve iki seçenek de aynı deneysel sonucu verir.

Genel görelilik, Newton kütleçekimiyle açıklanamayan çeşitli fenomenleri tahmin etti. Bunlardan biri, halihazırda uzunca bir süredir gözlenmekteydi ve on dokuzuncu yüzyıl fiziğiyle açıklanamayan bir başka deneysel anomaliydi. 1859'da, 3. Bölümde Neptün'ün kaşifi olarak bahsedilen Urbain Le Verrier, daha önce kaydedilen gözlemlerden, Merkür'ün günberi devinim hızının, Newton teorisine göre hesaplanandan, yüzyıl başına 38 açısal saniyeyle farklı olduğunu belirledi, bu daha sonra 43 saniyeye

revize edildi. Kasım 1915'te Einstein, yeni genel teorisini probleme uygulayıp bu kesin sayıyı elde etti. Bu sonuca o kadar heyecanlanmıştı ki, kalp çarpıntısı geçirdiğini söyledi.⁵

Einstein ayrıca, ışığın güneş tarafından saptırıldığını tahmin etti. Bu, Newton'a kadar uzanan eski bir fikirdi. 1704'de yayınlanan *Opticks*'in sonundaki bir notta Newton, ışığın parçacık teorisindeki parçacıkların, tıpkı sıradan madde gibi, kütleçekimden etkilenmesi gerektiğini ileri sürdü. 1801'de Alman astronom ve fizikçi Johann Georg von Soldner (1776-1833), Newton fiziğinden, güneşin yüzeyi boyunca seken bir cisimcik demetinin sapmasının 0,9 açısal saniye olacağını hesapladı. Ancak, bu kadar dar bir açının ölçümü, o zaman teknik olarak uygulanabilir değildi ve gördüğümüz gibi, on dokuzuncu yüzyılın başında Newton'ın ışığın parçacık teorisi, dalga teorisi lehine terk edildi.

Einstein, Soldner değerinin iki katı bir etki hesapladı, bu, Newton kütleçekimiyle uyumsuzdu. 29 Mayıs 1919'da, Britanyalı iki keşif heyeti, tam güneş tutulması sırasında güneşin etrafındaki bölgenin fotoğraflarını çekip, bunları, aynı yerlerin Temmuz'da çekilmiş fotoğraflarıyla karşılaştırdılar. Tanınmış Britanyalı astronom Arthur Eddington, keşif heyetini Afrika'daki Principe Adası'na götürüp, Einstein'ın hesaplamasını doğruladığını iddia etti. Brezilya, Sobral'a giden bağımsız keşif heyeti, Soldner'in değerine daha yakın bir sonuç bildirdi. Ancak, astronomi camiası, Sobral teleskoplarında gördükleri kusurlara ve belki de Eddington'ın otoritesine biraz daha fazla saygı duymalarına dayanarak, Eddington'ın tarafını tuttular.

Eddington'ın 1919'daki duyurusu, dünyanın her yanında manşetlere çıktı ve her şeyden çok, Einstein'ı şimdi olduğu haline, yirminci yüzyıl ikonuna dönüştürdü. Einstein, 1921'deki Manhattan ziyareti sırasında, konfeti yağmuru geçidiyle onurlandırılan tek bilim insanıdır.

Eddington'ın ölçümlerine de karşı çıkıldı ancak Einstein'ın hesaplaması, o zamandan beri birçok kez teyit edildi. Bugün en popüler bilim gezilerinden biri, sıkça olduğu gibi, bir okyanusun

5 Clifford M. Will, *Was Einstein Right? Putting General Relativity to the Test (Einstein Haklı mıydı? Genel Göreliliği Teste Sokmak)*(New York: Basic Books, 1986), sf. 93.

ortasında meydana geldiğinde, tam güneş tutulmasına şahit olmak için yapılandır. Astronomların, bütün imkânlardan yararlanırken, birkaç konferans verip, bazı gözlemler yaptıkları, bütün masrafların ödendiği bu gezilere katılmaları için, fazla baskıya ihtiyaçları yoktur.

Ufak bir “farz edelim”den keyif almama izin verin. Işığın kütleçekimsel sapmasının 1804’de gözlenebilir olmuş olduğunu farz edelim. O zaman, en azından Newton’ın parçacık teorisi iki katla, bu kadar küçük bir etki için oldukça saygın olurken, ışığın dalga teorisi, hiç etki yaratmadığından, çürütülmüş olurdu. Şimdi, ışığın kütleçekimle sapması, çizgi tayflarını, kara cisim ışınlamını ve foto-elektrik etkiyi birleştirerek, elektromanyetik ışımının dalga teorisini ikna edici bir şekilde çürütmektedir.

Einstein ayrıca, kütleçekimsel bir alandaki bir saatin, alanın dışındaki biri tarafından gözlemlendiği gibi, daha yavaş çalıştığını tahmin etti. Buna, *kütleçekimsel zaman genişlemesi* adı verilir ve doğrudan genel görelilikten elde edilir. Bu etki de tamamen doğrulanmıştır. Eğer arabanızdaki GPS, kütleçekimsel zaman genişlemesi bakımından düzeltme yapmasa, sizi her zaman istediğiniz yere götürmezdi.

Kütleçekimsel zaman genişlemesi, ışığın (ya da herhangi bir elektromanyetik “dalga”nın), büyük kütleli bir cisimden uzaklaştığında frekans olarak azalacağı anlamına da gelir. Enerjinin korunumu açısından incelendiğinde, bir fotonun kinetik enerjisi hf ’ye eşittir; burada f , karşılık gelen elektromanyetik dalganın frekansı, h ise daha sonra tanımlanacak olan Planck sabitidir. Bir foton, cisimden uzaklaştıkça, potansiyel enerji kazanır, böyle olunca da dengelemek için kinetik enerji kaybeder, bu yüzden de frekans olarak azalır.

Einstein’ın neredeyse bir yüzyıl önceki özgün tahminlerinden beri, genel görelilik, giderek artan karmaşıklıkta testlere sokulmuştur. Bugün kütleçekimi içeren tüm gözlemlerle tutarlı olmaya devam etmektedir.⁶

6 Clifford M. Will, “The Confrontation between General Relativity and Experiment,” (Genel Görelilik ile Deneyin Arasındaki Yüzleşme) 2006, <http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2006-3/> (24 Aralık 2012’de erişim yapıldı).

KARA DELİKLER

Çok daha önce, on sekizinci yüzyılda, John Michell (1724–1793) ile Pierre-Simon Laplace, bir cismin kütleçekim alanının ışığın kaçamayacağı kadar büyük olabileceğini fark ettiler. 1916’da Karl Schwarzschild, genel görelilikten, M kütleli ve $R_s = 2GM/c^2$ ’den küçük yarıçapa sahip bir cismin, ışığın kaçmasına izin vermeyeceğini gösterdi. Güneşin kütlesine sahip bir nesne için, Schwarzschild yarıçapı yaklaşık üç kilometredir. 1967’de fizikçi John Wheeler, bu nesnelere “kara delikler” adını verdi. Göreceğimiz gibi, kara delikler için artık birçok delil mevcuttur ve hepsi olmasa da çoğu büyük galaksi, bizim Samanyolumuz da dahil olmak üzere, merkezlerinde süper kütleli kara deliklere sahiptir.

1974’te Stephen Hawking, kara deliklerin aslında foton saçtığını, böylece nihai olarak kararsız olduklarını ve eninde sonunda yok olup gittiklerini gösterdi.⁷ Ancak astronomik büyüklükteki kara deliklerin yaşam süreleri çok uzundur. Güneş kütlesine sahip bir kara delik, 10^{63} yıl dayanacaktır. Öte yandan mikroskobik kara delikler çok kısa ömürlüdür ve beklenen ışıınım araştırmaları yapılmış olsa da henüz hiçbiri gözlenmemiştir.

NOETHER TEOREMİ

23 Mart 1882’de Emmy Noether adlı bir kız, Bavyera, Erlangen’de dünyaya geldi. Bir matematikçinin kızı olan Emmy, matematik dehası çıkarak, fiziğe yirminci yüzyıldaki en önemli katkılardan birini yapacaktı. Bunun etkisi, ancak şimdi tam olarak anlaşılmaya başlandı. Daha fazla insan matematik ve fiziği anlamış olsaydı, Noether, en başta gelen kadın kahramanlardan biri olarak görülürdü.⁸

1915’te Noether, fiziksel yasanın tabiatına dair felsefi anlayışımızı tamamen dönüştüren bir teorem yayınladı. Bunun hakkın-

7 Stephen W. Hawking, “Black Hole Explosions,” (Kara Delik Patlamaları) *Nature* 248, no. 5443 (1974): 30–31.

8 Nina Byers, “E. Noether’s Discovery of the Deep Connection between Symmetries and Conservation Laws,” (E.Noether’in Simetritlerle Korunum Yasaları arasındaki Derin Bağlantıya dair Keşfi) 1999, <http://www.physics.ucla.edu/~cwp/articles/noether.asg/noether.html> (15 Ocak 2013’te erişim yapıldı).

da bilgi edinene kadar, çoğu bilim insanının hâlâ yaptığı gibi, bir şekilde evrenin yapısı içerisine inşa edilen fizik yasalarının, maddenin davranışı üzerindeki sınırlamalar olduğunu düşünürdüm daima. Noether bunu bu şekilde ifade etmemiş olsa da, aksini gösterdi.

Noether, *her kesintisiz uzay zaman simetrisi için, bir korunum ilkesinin var olduğunu* ispatladı.

Üç korunum ilkesi, fiziğin temel yasalarını oluşturur: enerjinin korunumu, doğrusal momentumun korunumu ve açısal momentumun korunumu. Noether, enerjinin korunumunun, *zaman öteleme simetrisinden*; doğrusal momentumun korunumunun, *uzay öteleme simetrisinden*; açısal momentumun korunumunun ise, *uzay dönme simetrisinden* çıktığını gösterdi.

Bu, pratikte şu anlama geliyor; bir fizikçi belirli bir zamana dayanmayan, yani bugün, dün, on üç milyar önce ya da on üç milyar yıl sonra çalışmak üzere tasarlanmış bir model yaptığında, o model otomatik olarak enerjinin korunumunu içerir. Fizikçinin bu konuda başka seçeneği yoktur. Eğer enerji korunumunun ihlalini modelin içerisine koymaya çalışsa mantıksal olarak tutarsız olurdu.

Eğer bir başka fizikçi, uzayda belirli bir yere dayanmayan, yani Oxford, Timbuktu, Plüton ya da 13,3 milyar ışık yılı uzaklıktaki MACS0647-JD galaksisinde çalışmak üzere tasarlanmış bir model yaparsa, o model otomatik olarak doğrusal momentumun korunumunu içerir. Fizikçinin yine, bu konuda başka seçeneği yoktur. Eğer doğrusal momentumun korunumunun ihlalini modelin içerisine koymaya çalışsa mantıksal olarak tutarsız olurdu.

Benzer biçimde, bir koordinat sisteminin gelişigüzel yönelimiyle, yani “yukarı” İzlanda ya da Tazmanyada tanımlanmış olarak çalışmak üzere tasarlanmış her model, mutlaka açısal momentumun korunumunu içermelidir.

Bu üç ilke, klasik mekaniğin temelini oluşturduğundan, bunların, maddenin davranışını yöneten “yasalar” olmadığı söylenebilir. Bunlar daha çok, fizikçilerin davranışını yöneten, dünyayı tarafsız olarak betimlemek isterlerse onlara dayatan simetri ilkelelerinden çıkan insan yapımı ürünlerdir. Fizik yasalarının, fizik

dışı bir kanun yapıcının yorumlaması olduğunu düşünmek için sebep yoktur.

Sonraki bir bölümde göreceğimiz gibi, Noether teoremi, *ayar değişmezliği* adı verilen bir ilkeye genelleştirilebilir ki; temel fizik kanunlarının çoğu, bu ilkeden türetilebilir. Örneğin, yük korunumu ve Maxwell'in denklemleri, elektromanyetizmanın ayar simetrisinden kaynaklanmaktadır. Bu düşüncenin felsefi çıkarımlarına dair tartışmayı, o zamana dek erteleyeceğim.

KUANTUM MEKANIĞİ

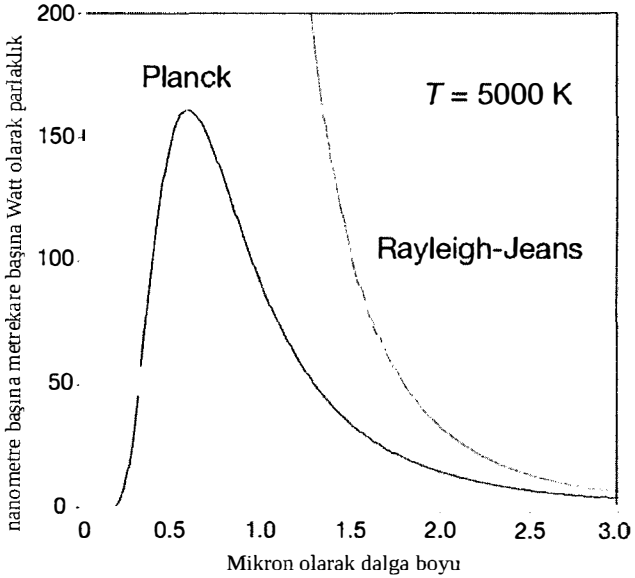
Yirminci yüzyıl, şekil 6.1'de güneşin özel durumu için gösterilmiş olan, kara cisim ışıma tayfını nicel olarak betimleyen bir model getiren Max Planck'la, 1900'de başladı. (Biliyorum, güneş sarıdır ancak ışığı yansıtmadığından, tanım gereği bir kara cisimdir.) Söz konusu model, ışığın, kesintisiz olmadığı, Planck'ın *kuantum* adını verdiği enerji demetleri halinde oluştuğu varsayımına dayanmaktaydı. Bu kuantumlar, ışımanın frekansı (f) orantılı enerjiler taşımaktaydı. Orantılılık (h), artık Planck sabiti olarak adlandırılmaktadır; Planck, bunu tayfsal verilere uydurmak için ayarlayarak sayısal olarak elde etmiştir. Işığın frekansının, ışığın dalga boyuyla (λ), $\lambda = c/f$ şeklinde bağlantılı olduğunu, burada c 'nin ışığın hızı olduğunu hatırlayın.

5. Bölümde ele alınan klasik dalga teorisinin morötesi felaketi, enerjinin korunumuyla önlenmektedir. Tayfın daha düşük dalga boyu ucu, daha yüksek enerjili kuantuma karşılık gelir ve bir cisim belli bir yere kadar enerji içerdiğinden, tayf kısa dalga boylarında düşmek zorundadır. Ayrıca tayfsal zirvenin dalga boyu, sıcaklıkla birlikte düşer; çünkü 5. Bölümdeki istatistiksel mekanik konusunda görmüş olduğumuz gibi sıcaklık, bir cismin ortalama kinetik enerjisinin bir ölçümüdür. Bu da bir cisim ne kadar sıcaksa, tayfsal zirvenin dalga boyunun o kadar düşük olacağı ya da bu zirvenin frekansının o kadar yüksek olacağı anlamına gelir.

Aynı mucizevi 1905 yılında, göreliliği ortaya koyduğunda Einstein, Planck'ın fikrini daha ileri taşıyarak, ışığın; enerjisi, karşılık gelen elektromanyetik dalganın frekansı ile orantılı parçacıklardan meydana geldiğini ileri sürdü. Daha sonra bu parçacıklar *foton* olarak adlandırılacaktı. Buna göre, eğer f , dalganın

frekansıyla, dalgadaki her bir fotonun enerjisi, $E = hf$ dir; burada h , Planck sabitidir. Bu varsayımı kullanarak Einstein, fotoelektrik etkiyi açıklayabilmiştir. Fotonlar, elektronları bir metalden dışarı attıklarında bir elektrik akımı üretilir. Bunu yapabilmek için minimum bir enerjiye ihtiyaç duyarlar, işte bu nedenle –akımın üretildiği minimum bir frekans– bir eşik bulunmaktadır. 1914’de Amerikalı fizikçi Robert Millikan, Einstein’ın ileri sürdüğü bu tezi laboratuvarında doğruladı.

Einstein, tıpkı Newton’ın ışığın parçacık teorisinde iddia etmiş olduğu gibi, ışığın esirin ya da başka herhangi bir ortamın titreşimi olmadığını; parçacıkların bir silsilesi olduğunu gösterdi. Peki ama, eğer ışık parçacıklardan oluşuyorsa, o halde girişim ve kırınım deneylerinde görülen dalga etkilerini nasıl üretebiliyor?



Şekil 6.1 Dalganın bir fonksiyonu olarak mutlak yüzey sıcaklığı $T = 5000$ K olan küre biçimindeki bir kara cismin yoğunluk tayfı. Burada gösterilen, 5. Bölümde ele alınan klasik dalga teorisi, Rayleigh-Jeans yasası tarafından tahmin edilen morötesi felaketidir. Planck tahmini, veriyle aynı yöndedir. Dalganın boyu ölçeği, mikron (metrenin milyonda biri) olarak, ışınım parlaklık ölçeği ise nanometre (metrenin milyarda biri) başına metrekare başına kilowatt biriminde alınmıştır. Şekil yazara aittir.

Fransız fizikçi ve aristokrat Louis de Broglie, 1924’de doktora tezinde bunun cevabını verdi; *bütün* parçacıklar dalga özelliklerine sahiptir. De Broglie, ivmeli bir fotonun (p), bağlantılı bir dalga boyuna ($\lambda=h/p$) sahip olduğunu belirtmiştir. Bu ilişkinin tüm parçacıklar, özellikle de elektronlar için geçerli olduğu varsayımında bulunmuştur. Buna *de-Broglie dalga boyu* adı verilir.

De Broglie’nin varsayımı, 1927’de, Amerikalı fizikçiler Clinton Davisson ile Lester Germer’in nikel kristal yüzey üzerine saçılan elektronların kırınımını gözlemlemeleriyle kanıtlandı.

O halde, yalnızca fotonlar değil, elektronlar da ve nihai olarak tüm parçacıklar dalga özelliklerine sahiptir. Bu, *dalga parçacık ikiliği* olarak bilinir. Ancak işte burada, yaygın biçimde, hatta fizikçiler arasında bile yanlış anlaşılan bir başka fizik sonucuna sahibiz. Sıklıkla şunu duyarsınız: “Bir nesne, neyi ölçmek istediğinize bağlı olarak, bir parçacık ya da bir dalga-dır.” Bu, yanlıştır. Tek bir parçacıkla bağlantılı olan bir dalga özelliği, şimdiye kadar hiç kimse tarafından ölçülmedi. Girişim ve kırınım etkileri, yalnızca parçacık demetlerinde gözlemlenir ve siz bir dalga boyunu ölçmeye çalışırken dahi, sadece parçacıklar tespit edilir. Bu parçacık topluluklarının istatistiksel davranışı, matematiksel olarak, her zaman olmasa da bazen dalga denklemleriyle benzerlik gösteren denklemler kullanılarak betimlenir.

Eğer fotonları tek tek tespit ettiğiniz bir girişim ya da kırınım deneyi yapıyorsanız, yüksek sayıda tespit toplayana dek etkiyi göremezsiniz. Örneğin, günde bir adet foton demetiyle çift-yarık girişim deneyi yapabilirsiniz. Bir yıl boyunca izlerseniz, girişim örüntüsünün geliştiğini görürsünüz. Fotonların “birbirleriyle girişimde bulundukları” pek söylenemese de; etkinin betimlenme şekli genellikle böyledir.

Eğer günde bir fotona “demet” dememe itiraz ederseniz, demetin aniden ortaya çıktığı yerde sınırı nerede çizersiniz? Saatte bir adet mi? Saniyede bir adet mi? Nanosaniyede bir adet mi?

Bunu elimden geldiğince netleştirmeme izin verin; “bu foton bir frekansa (f) sahiptir” ya da “bu elektron bir dalga boyuna (λ) sahiptir” demek, doğru değildir. Doğru ifadeler şöyledir; “bu foton, istatistiksel olarak frekansın (f) bir dalgası olarak betimle-

nebilen bir foton topluluğunun bir üyesidir” ve “bu elektron, istatistiksel olarak dalga boyunun (λ) bir dalgası olarak betimlenebilen bir elektron topluluğunun bir üyesidir.”

1926’da, Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, parçacıkları *dalga fonksiyonu* denen karmaşık bir sayıyla ilişkilendirdiği, *dalga mekaniği* adı verilen matematiksel bir teori üretti.⁹ Aynı yıl, Alman fizikçi Max Born, şimdi genel kabul gören şu yorumu yaptı; dalga fonksiyonunun genliğinin karesi, bir parçacığın belirli bir zamanda belirli bir konumda birim hacim başına bulunma olasılığını verir. Kuantum mekaniğindeki hiçbir şey, tek bir parçacığın davranışını tahmin etmez; bu da, daha önce bahsedilen dalga-parçacık ikiliğinin yorumuyla tutarlıdır.

Bir yıl önce, 1925’te, Alman fizikçi Werner Heisenberg, dalgaları kullanmayan, yerine matris cebirinin matematiğini uygulayan ve *kuantum mekaniği* olarak adlandırılmaya başlanan şeyin ilk versiyonunu üretmişti. Hangi formülasyonun daha iyi olduğuna dair başta çıkan anlaşmazlığın ardından, Schrödinger matematiksel olarak eşdeğer olduklarını gösterdi. Heisenberg ve Schrödinger formülasyonlarının her ikisi de yalnızca, görelî olmayan, yani ışık hızından çok daha düşük hızlarda hareket eden parçacıklar için geçerliydi. Yani, fotonları değil, yavaş hareket eden elektronları betimlemekte kullanılabilirlerdi.

1932’de, dehası neredeyse Einstein’inkiyle kıyaslanan Britanyalı fizikçi Paul Dirac, fotonlar için bir kuantum teorisi formüle etti. Ertesi yıl, elektronlar için, karşı-maddenin varlığını tahmin eden görelî bir teori üretti. 1932 ‘de, Amerikalı fizikçi Carl Anderson, kozmik ışınlarla yaptığı deneyde, elektronlara benzeyen ancak manyetik alanda elektronların yönünün tersine bükülen ve bu nedenle de pozitif elektrik yüküne sahip olmaları gereken parçacıklar tespit ettiğini bildirdi. Anderson, bu parçacıkları Dirac’ın karşı-maddesiyle bağdaştırıp, karşı-elektronlara *pozitron* adını verdi.

1930’da, Dirac, *Kuantum Mekaniğinin İlkeleri* başlıklı kuantum mekaniği üzerine olan nihai çalışmasını yayımladı.¹⁰ O

9 Bir karmaşık sayı (c), iki gerçel sayının (a ve b) kümesidir; $c = a + ib$. Burada $i = \sqrt{-1}$, yani $i^2 = -1$.

10 P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics (Kuantum Mekaniğinin İlkeleri)* (Oxford: Clarendon, 1930).

zamandan beri birçok baskısı ve basımı yapılmış olan kitapta, dalga fonksiyonunu tamamen terk ederek, dalga mekaniği ve matris mekaniğinin yerine, daha güçlü doğrusal vektör cebiri koyar. Birçok kimyacı ve yalnızca düşük enerji fenomenleriyle uğraşan fizikçiler, daha az karmaşık olan Schrödinger dalga mekaniğiyle idare edebilirken; Dirac'ın kuantum mekaniği, temel parçacıkların ve yüksek enerji fenomenlerinin genel davranışlarını anlamak için gereklidir.

Özel görelilik, kuantum mekaniğiyle başarılı bir şekilde uzlaşırken, genel görelilik uzlaşmamıştır. Özellikle de kozmolojik hikâyemiz için önemli; genel görelilik, kuantum etkilerinin baskın olduğu evrenimizin ilk zamanları için geçerli değildir. Daha sonra ele alacağımız gibi; bu, din savunucularının, genel görelilik argümanlarını, evrenin ilahi olarak yaratılışının kanıtı olarak ileri sürmek için kullanmalarını engellemiştir.

PLANCK ÖLÇEĞİ

Bu noktada, kozmolojinin derinlerine indikçe önem kazanan bir kavramı tanıtmak isterim. Vurgulamış olduğum gibi, fizikte gözlemlerle doğrudan bağlantılı her nicelik, işlevsel olarak, iyi saptanmış ölçümleme aygıtlarıyla nasıl ölçüldüğüyle tanımlanır. İki nokta arasındaki mesafe, ışığın vakum içinde bu noktalar arasından geçtiğinde ölçülen süreye eşit olurken hem zaman hem de mesafe aralıklarının, bir saatin ölçtüğüyle tanımlandıklarını gördük.

Ölçülebilen en küçük olası zaman aralığının *Planck zamanı* ($5,391 \times 10^{-44}$ saniye) ve ölçülebilen en kısa olası mesafe aralığının *Planck uzunluğu* ($1,616 \times 10^{-35}$ metre) olduğu gösterilebilir.¹¹

Bir başka önemli nicelik ise *Planck kütlesidir* ($2,177 \times 10^{-8}$ kilogram). Planck kütlesine eşit bir kütleyle sahip bir küre için

11 Victor J. Stenger, *Has Science Found God? The Latest Results in the Search for Purpose in the Universe (Bilim Tanrı'yı Buldu mu? Evrendeki Amacın Arayışındaki En Son Sonuçlar)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2003), sf. 351–53; Luciano Burderi ve Tiziana Di Salvo, “The Quantum Clock: A Critical Discussion on Space-Time,” (Kuantum Saati: Uzak Zaman Üzerine Kritik Bir Tartışma) J arXiv preprint arXiv:1207.0207 (2012).

Schwarzschild yarıçapı, Planck uzunluğunun iki katıdır, ki bu da onun kara delik olduğunu gösterir (bkz. kara deliklerle ilgili önceki kısım). Şu halde *Planck enerjisi* ($1,221 \times 10^{28}$ elektron volt), Planck kütlesine sahip bir cismin durgun enerjisi olarak tanımlanır. Bir elektron volt, bir voltluk elektrik potansiyeli boyunca düşmekte olan bir elektronun kazandığı enerjidir. Kısaltılmış hali eV olan bu enerji birimini sıkça kullanacağız.

ATOMLAR ve ÇEKİRDEKLER

1. Bölüm’de bahsedilen *De Rerum Natura*’da [Varlıkların Doğası Üzerine] Lucretius, bir güneş ışınındaki toz zerreciklerinin zikzak hareketini betimleyip, buna, ışındaki zerreciklerle çarpışan atomların neden olduğunu ileri sürdü. 1857’de İskoçyalı botanikçi Robert Brown (1773-1858), polen taneciklerinin suyun içinde zikzaklar çizdiğini gözlemledi ve bu etki *Brown hareketi* olarak tanınmaya başladı. 1905 yılındaki üçüncü bir makalede Einstein, Brown taneciklerinin izlediği yolların düzensizliğinden, atomların varlığının ve büyüklüğünün nasıl kanıtlanabileceğini gösteren denklemler elde etti. 1909’da Fransız fizikçi Jean Baptiste Perrin, kimyada önemli bir sabit olan *Avogadro sayısını* ölçmek için başka yöntemlerle birlikte Einstein’ın teorisini uyguladı. Buradaki maksadımız açısından, Avogadro sayısını basitçe, bir gram hidrojen gazındaki atom sayısı olarak görebiliriz. Geçerli değer $6,022 \times 10^{23}$ ’tür, tersi ise hidrojen atomunun kütlesini verir; $1,66 \times 10^{-24}$ gram. Bu ölçüm hâlâ dolaylı idiyse de, bu noktada Ernst Mach gibi yalnızca en katı inkârcılar, maddenin muazzam sayıda ufak parçacıktan oluştuğunu hâlâ reddedebilmekteydi.

1896’da, Fransız fizikçi Henri Becquerel (1852-1908), uranyum elementinin daha önce gözlemlenmemiş nüfuz edici ışınım yaydığını keşfetti. Sonrasında Becquerel, Ernest Rutherford, Pierre Curie ve Marie Curie tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deneyleriyle, bir dizi farklı elementten yayılan üç tip ışınım belirlendi; α , β ve γ .

1909’da, Hans Geiger ile Ernest Marsden, altın folyoyu radon gazından elde edilen α -ışınımıyla bombardımana tuttular; şaşırtıcı bir şekilde, ışınlar folyodan saçılırken izledikleri yollarda büyük ölçüde sapmalar görüldü. 1911’de Rutherford, bu gözlemlerden,

zaten küçük olan atomun, kendisinden daha da ufak ve kendi kütlesinin büyük bölümünü içeren bir çekirdeğe sahip olduğu sonucuna ulaştı. Modelde, elektronlar, gezegenlerinkine benzer yörüngelerde çekirdeğin etrafında dönmektedir.

1913'te, Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, atomlardaki elektronların yalnızca belirli yörüngelerde var olabileceklerini ileri sürdü. Taban durumunda en düşük enerji olmak üzere, her bir yörünge, belirli bir *enerji düzeyine* karşılık geliyordu. Bir atomdaki bir elektron, daha yüksekte daha düşük bir seviyeye düştüğünde, seviyeler arasındaki enerji farkına tam olarak eşit enerjili bir foton salınır ve bu, salım tayfında çok dar bir çizgi olarak görünür. Bohr, hidrojen için gözlemlenen salım tayfını hesaplayabilmişti. Yalnızca seviyeler arasındaki farklara tam olarak eşit enerjili fotonlar soğurulacağından, bunu soğurma tayfı izledi. Böylece, dalga teorisinde açıklanamayan, on dokuzuncu yüzyıl fiziğinin son anomalisi çözülmüş, atomların dar çizgi tayfları açıklanmıştı.

Bohr'un teorisi çok hamdı ancak veriyle büyük ölçüde uyumluydu. Hem Heisenberg hem de Schrödinger'in kuantum mekaniği, Bohr'un kiyle aynı hidrojen enerji seviyesi formülünü elde etti ve başka atomlara uygulanabilme fırsatını sundu. Dirac'ın göreceli kuantum teorisi ise *ince yapı* adı verilen ve spektroskopik cihazlar geliştikçe gözlenmeye başlanan tayfsal çizgilerin ufak bölünmelerini hesaplayarak, daha da iyisini başardı.

Dirac'ın teorisi ayrıca, elektronun yarım tamsayı *spinine* sahip olduğunu kanıtladı; burada spin, parçacığın içsel açısal momentumuna verilen addır. Bu kavram, daha önce Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli tarafından tahmin edilmişti.¹² 1925'te Pauli, şimdi *Pauli dışarlama ilkesi* olarak adlandırılan teoriyi ileri sürmüştü; yarım tamsayı spinine sahip iki özdeş parçacık, eşzamanlı olarak aynı kuantum durumunda bulunamaz. Bu ilke sayesinde, kimyasal elementlerin periyodik tablosunu açıklamak mümkün hale geldi.

Biz hâlâ kimyasal elementleri “atomlar” olarak adlandırmakla birlikte; düşük enerjili kimyasal tepkimelerden yüksek-enerjili çekirdek tepkimelerine geçtiğimizde, onlar artık indirgenemez

12 Kuantum mekaniğinde, verilen bir z ekseni boyunca açısal momentumun bileşeni, $J_z = j_z \hbar$ olarak verilir. Burada j_z sıfır dahil bir tamsayı ya da bir yarı-tamsayıdır.

değildir. Kimyasal atomlar, noktasal parçacıklar değil; daha temel nesnelerden, çekirdekler ve elektronlardan oluşan bileşik yapılardır. Ayrıca simyagerin hayalini gerçekleştirerek, çekirdek tepkimelerinde bir türden diğerine dönüştürülebilirler.

1930’larda, çekirdeklerin kendilerinin, daha temel nesnelerden, *proton* ve *nötronlardan* meydana geldiği ispatlandı. Nötron, protondan yalnızca biraz daha ağır ve elektriksel olarak yüksüz, ancak proton ve elektron gibi ufak bir mıknaştır. Proton artı yüklüdür. Hidrojen en basit elementtir, bir proton ve bir elektrondan oluşur. Çekirdeğine bir nötron eklerseniz, ağır hidrojen yani *döteryum* elde edersiniz. Bir nötron daha eklediğinizde, *trityum* oluşur. Trityuma bir proton daha eklerseniz, *helyum* meydana gelir.

Periyodik tablodaki her bir element, bir *atom numarası* (Z) ile tanımlanır. Atom numarası, elementin çekirdeğindeki proton sayısına eşittir. Ayrıca bu, yüksüz atomdaki elektron sayısıdır. Daha fazla ya da daha az elektrona sahip atomlar, elektrikle yüklü *iyonlardır*.

Çekirdekdeki nötronların sayısını değiştirmek, atomun periyodik tablodaki konumunu değiştirmez, ancak kimyasal özellikleri genel olarak ilk izotoptan pek farklı olmayan, çekirdeksel özellikleriyse önemli ölçüde farklı olabilen yeni bir *izotop* meydana getirir. Bir izotop için standart notasyon X^A ’dır; burada X , atom numarasını (Z) eşsiz olarak belirten kimyasal semboldür. A niceliği ise, genellikle *atom ağırlığı* olarak adlandırılır ancak daha doğru olarak *nükleon sayısı* olarak betimlenir ve çekirdekdeki proton ve nötron sayısını gösterir; nükleon burada proton ya da nötron için kapsayıcı terimdir.

Üç tür çekirdek ışıınımı belirlenmiştir: α -ışınları helyum çekirdekleridir, β -ışınları elektronlar ya da pozitronlardır, γ -ışınları ise yüksek enerjili fotonlardır.

1932’de İngiliz fizikçi James Chadwick, nötronun varlığını doğruladı. Ve böylece, o andan itibaren, artık evren yalnızca dört temel parçacığa indirgenebilir gibi görünüyordu; atomları meydana getiren elektron, proton ve nötron ile ışığı oluşturan foton.

Ancak daha önce gördüğümüz gibi, aynı yıl içerisinde Anderson, Dirac’ın karşı-elektron ya da pozitron tahminini doğrulamıştı. Buradaki çıkarım, karşı-madde adı verilen tamamen farklı bir madde alanının var oluşuydu. Örneğin, karşı-hidrojen,

bir karşı-proton ve bir pozitrondan oluşmaktadır. Bununla birlikte, karşı-protonlar, karşı-nötronlar ve karşı-hidrojen 1950'lere kadar doğrulanmayacaktı.

1936'da Anderson ile ortağı Seth Neddermeyer, kozmik ışınlarda, elektrona benzeyen ancak daha ağır olan bir başka parçacık keşfetti. Biz şimdi, esas olarak daha ağır bir elektron olan bu parçacığa *müon* diyoruz. Bu, 1950'ler ve 1960'larda keşfedilecek olan tamamen yeni bir parçacık aleminin ilki olacaktır.

Protonlar, çekirdeğin içerisinde sıkı bir şekilde bir arada istiflenmiştir ve artı yüklü olduklarından, birbirlerini güçlü biçimde iterler. O halde, çekirdeği bir arada tutan nedir? Nötron yüksüz ve yalnızca çok zayıf bir manyetik alana sahip olduğundan ve kütleçekim, bu kadar düşük kütleli parçacıkların elektrik kuvvetinden çok daha zayıf olduğundan, başka bir şey çekirdeği bir arada tutuyor olmalı. Buna *güçlü çekirdek kuvveti* adı verilir, çünkü çekirdekteki artı yüklü protonlar arasındaki elektriksel itimi aşacak kadar güçlü olmalıdır. Elektromanyetik kuvvet, muazzam mesafelere kadar etkili olurken (ışık, milyarlarca ışık yılı uzaklıktaki galaksilerden bize ulaşır); güçlü çekirdek kuvveti, birbirinden birkaç femtometre (10^{-15} metre) bile uzakta olmayan parçacıklar arasında etkilidir yalnızca.

Ayrıca, β -ışınları (elektronlar) yayan çekirdeklerin radyoaktif bozunumundan sorumlu olan kuvvetin farklı, hatta daha kısa menzilli bir kuvvet olduğu keşfedildi. Bu kuvvet, *zayıf çekirdek kuvveti* olarak adlandırıldı. Ayrıca zayıf kuvvetin, güneşin ve öteki yıldızların enerjisini temin eden birincil tepkimeye güç sağladığı ortaya çıktı.

1930'da Pauli, β -bozunumunda gözlenmekte olan kayıp enerjinin, çok düşük kütleli yüksüz bir parçacık tarafından taşınmakta olduğunu ileri sürdü. Bu parçacığa İtalyan fizikçi Enrico Fermi, *nötrino* adını verdi. Nötrinin varlığı, 1956'ya kadar kanıtlanmayacaktı.

II. Dünya Savaşı öncesi nükleer enerjinin gelişimine ve bunun akıl almaz derecede güçlü bombalar ile dünyanın enerji ihtiyacının belki de nihai olarak tek geçerli çözümü olan sorunlu enerji kaynağı olarak kullanımının iyi bilinen öyküsüne girmeyeceğim.

1945'ten itibaren elimizde; çekirdeksel maddeyi oluşturan proton ile nötron, atomik maddeyi meydana getirmek üzere bun-

lara katılan elektron ve ışığı sağlayan foton bulunuyordu. Ayrıca pozitron, müon ve ileri sürülen bir nötrino vardı. Bu parçacıklar dört temel kuvvet aracılığıyla birbiriyle etkileşime giriyorlardı: 1) Kütleçekim, 2) Elektromanyetizma, 3) Güçlü çekirdek kuvveti ve 4) Zayıf çekirdek kuvveti.

Fotonlar ve elektronlar için de görelî kuantum teorilerine sahiptik. Ancak bunların tamamı sadece elektromanyetik etkileşimleri içeriyordu. Dirac ve diğerleri, yalnızca birinci dereceden pertürbasyon yaklaştırması içerisinde çözülebilen ve zorlandığında sonsuzluklar üreten bir görelî kuantum alanı teorisi geliştirmişlerdi. Fermi, zayıf etkileşim teorisine doğru, bir başlangıç yapmıştı. Hideki Yukawa adlı Japon fizikçi ise, çok iyi çalışmayan, tam gelişmemiş bir güçlü etkileşim teorisi üretmişti. Yani birçok problem yerinde duruyordu.

Savaş biter bitmez, yüzyılın başındaki büyük öncülerin çalışmalarını bir sonraki seviyeye taşıyacak olan fizikçilerin yeni bir nesli, 1999'da, o zaman maddenin yapısıyla ilgili bilinen her şeyi 1899'un aksine başarıyla betimleyen bir miras bırakmak üzere bu öncülere katılarak, görevi üstlendiler.

Ancak buna gelmeden önce, kozmolojiye geri dönelim. Yirminci yüzyılın ilk yarısında, evrene bakışımızı kendi yıldız galaksimiz Samanyolu'nun ötesine götürmek ve birazdan ele alacağımız Büyük Patlama adı verilen ilk patlamadan itibaren genişlemekte olan evrenin yeni bir resmini elde etmek üzere, kalitesi sürekli iyileşen teleskopik gözlemler, o dönemin yeni fiziğiyle birleştirilmişti.

VII - ADA EVRENLER

SEFE ÖLÇEĞİ

On dokuzuncu yüzyılın sonuna gelindiğinde, astronomlar evrenin, güneş sisteminin çok ötesine uzandığını anlamaya başlamışlardı. Gezegenler Yeryüzünden uzaktı, ancak yıldızlar çok daha uzaktı. Yine de, gerçekten ne kadar uzak oldukları konusunda hiçbir fikirleri yoktu. Günün cihazlarıyla, birkaç on ışık yılından fazla olmayan uzaklıkları ölçmede paralaks kullanılabilirdi.

Kopernik devrimine rağmen, astronomlar hâlâ Yeryüzünün evrenin merkezine yakın olduğunu hayal ediyordu. Bu, tipik insanı benmerkezcilik değildi sadece. Astronomlar yıldızları saydıklarında, sayının Yeryüzünden itibaren tüm yönlerde oldukça eşit oranda dağılmış olduğunu gördüler; yani görünüşe göre merkeze yakındık. Işığı, uzaktaki nesnelerden tüm yönlerde eşit olarak sönükleştirip, geride izotropi (eşyönlülük) görünümünü bırakan yıldızlararası gazın varlığından habersizdiler.

1908 yılında Henrietta Leavitt, Massachusetts, Cambridge'deki Harvard Koleji Gözlemevi'nde Charles Pickering için çalışan ufak bir grup genç, kadın "bilgisayar"dan biriydi. Pickering, Harvard'ın çeşitli teleskoplarının gözlemevlerindeki pozlanmış birçok fotoğraf plakasını incelemeyi içeren, bütün o ayrıntılı çalışmayı yapmak için, profesyonel astronomların gerekli olmadığını fark etti. Aslına bakılırsa, ücretin küçük bir kısmına işe alınabilen genç kadınlar, plakaların üzerindeki analizi etmede ve yıldızlarla, başka astronomik nesnelerin tam konumlarını, tayfsal kategorilerini ve parlaklık büyüklüklerini kaydetmede çok iyi iş çıkardılar. Elbette kadınlar, "narin yapıları" dikkate alınarak, asıl gözlem işini yapmadılar.

Pickering Leavitt'i, değişken yıldızların –parlaklık büyüklükleri zamanla değişen yıldızlar– fotoğraflarına bakmakla görevlen-

dirdi. Harvard'ın Peru'da bir gözlemevi vardı ve Leavitt, Büyük Magellan Bulutu'ndakilerle (LMC) birlikte yalnızca Güney Yarıkürede görünür olan Küçük Magellan Bulutu (SMC) içerisindeki yıldız numunesinin orada çekilmiş fotoğraflarına baktı.

Sefe değişkenleri adı verilen on altı dev yıldızın plakasını karşılaştıran Leavitt, çok büyük öneme sahip olduğu ortaya çıkacak bir keşif yaptı. Değişim periyodunun, yani tepe parlaklıklar arasındaki sürenin, yıldız daha parlakken daha uzun olduğunu fark etti. Yeryüzünden kabaca aynı mesafelerde olan SMC'deki Sefelerin gözlemlenen parlaklıklarının, içsel parlaklıklarıyla doğrudan bağlantılı olması gerektiği sonucuna vardı. Leavitt, tepe parlaklıklar ile periyot arasında, nihayetinde paralaksla mümkün olandan çok daha uzak mesafeleri ölçmek için bir araç sağlayacak bir bağlantı ortaya çıkarmıştı.

Leavitt'in çabaları, kronik bir hastalıkla gecikti. Ancak, 1912'ye kadar SMC'de dokuz Sefe daha toplamıştı ve *Harvard College Observatory Circular* (Harvard Koleji Gözlemevi Genelgesi) No. 173'te, üç sayfalık bir makale yayımladı. Makale, Sefe parlaklığı ile periyodu karşılaştıran logaritmik ölçekli bir grafik içeriyordu ve ikisinin arasında net bir ilişki gösteriyordu. Grafik, *periyot-parlaklık ilişkisi* olarak adlandırıldı.¹

MERKEZDEN SAPMIŞ

1908'de zamanın en güçlü teleskobu, California, Wilson Dağı'ndaki George Ellery Hale tarafından inşa edilen 1,5 m'lik yansıtıcı, Los Angeles'ın üzerindeki billur gibi gece göklerine bakmaya başladı. 1912'de, Princeton'da astronomi dalında doktora başlamış olan, Missouri kırsalından eski adliye muhabiri Harlow Shapley, gözlemevi kadrosuna katıldı. Shapley, yüzlerce, hatta binlerce yıldız içeren küre biçiminde sistemler olan "küresel kümeler" ile ilgilendi.

O (ya da astronomiyle amatörce ilgilenen karısı Martha) kümelerin birçok sönük dev mavi yıldız içerdiğini keşfetti.

1 Marcia Bartusiak, *The Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)* (New York: Pantheon Books, 2009), 6. Bölüm; Nina Byers ve Gary A. Williams, *Out of the Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics (Gölgelerin Dışında: Yirminci Yüzyıl Kadınlarının Fiziğe Katkıları)* (Cambridge, Birleşik Krallık; New York: Cambridge University Press, 2006).

Gözlemlenen parlaklıklarını, güneşe yakın o türden yıldızlarla karşılaştırarak, en az elli bin ışık yılı uzaklıkta olduklarını tahmin etti; bu da, o zamanki paralakstan bilinen yıldızların en büyük uzaklıklarından yüz kat daha uzak demekti.

Maalesef, küresel kümeler birkaç Sefe içerir ya da hiç içermez. Ayrıca, Shapley, bazı Sefelerin, Leavitt'in numunesinde kullanılan SMC'dekilerden çok daha kısa periyotlara sahip olduklarını buldu. Bu nedenle, başlangıçta Shapley, daha kısa periyotlu Sefe değişkenleri üzerinde, Leavitt'in periyot-parlaklık ilişkisini kullanmakta tereddüt etti. Ancak kendisi tipik dikkatli bilim insanı değildi ve yine de devam etti. Leavitt'in periyot-parlaklık ilişkisini, küresel küme fotoğraflarında görebildiği Sefelere olan mesafeleri ölçmekte kullandı.

Yapılan işlem şöyledir: Sefe değişkeninin gözlemlenen periyodunu ölçersiniz. Periyot-parlaklık ilişkisinden, yıldızın içsel parlaklığını elde edersiniz. Yıldız, giderek artan yarıçaplı (r) hayali bir kürenin yüzeyinde dışa doğru ısıdıkça, birim alan başına enerji, enerji korunumu nedeniyle, kürenin alanıyla birlikte $1/r^2$ oranında düşecektir. Böylelikle, ölçülen parlaklığı görünen parlaklıkla karşılaştırarak, yıldıza olan uzaklığı belirleyebilirsiniz.

Sefesi olmayan kümeler ya da ölçülemeyecek kadar sönük olanlar için, Shapley, uzaklık belirteci olarak en parlak yıldızları kullanarak uzaklıklarını tahmin etti. Yıldızlar çözümlenebilir olmadığında, uzaklığa karar vermek için kümenin büyüklüğünü kullandı.

Bu yöntemlerle Shapley, Samanyolu'nun elipsoit biçiminde ve yaklaşık üç yüz bin ışık yılı genişliğinde olduğunu belirledi. Bunun bütün evreni oluşturması gerektiği sonucuna vardı. Hayal gücü kuvvetli olsa da, daha büyük bir evreni hayal edememişti.

Shapley, küresel kümelere dair dağılımının merkezinde Yeryüzünün olmadığını fark etti. Dağılımın merkezinde daha çok, Sagittarius (Yay) takımyıldızı bölgesi var gibi görünüyordu. (Bunu ileri süren ilk kişi değildi.) Güneşin, merkezden altmış-beş bin ışık yılı uzaklıkta olduğunu tahmin etti.

Shapley'nin mesafeleri aslında aşırı tahminlerdi. Bugün, Samanyolu'nun çapının 100.000-120.000 ışık yılı olduğunu, güneşinse merkezden 27.000 ışık yılı uzaklıkta olduğunu biliyoruz.

YÜKSEK HIZLI ASTRONOMİ

Percival Lowell, 1639'da Boston'a ilk gelen soylu bir Massachusetts'li aileden gelmekteydi. Mars'a ve kızıl gezegende-ki geçmiş bir medeniyetçe inşa edilmiş yapay su yolları ya da *kanallar* içerdiği ihtimaline olan takıntısının peşine düşmek üzere, Arizona'da bir gözlemevi inşa etti. 1877'de İtalyan astronom Giovanni Schiaparelli (1835-1910) Mars'ın yüzeyi boyunca, ("insan yapımı kanallar" değil) "doğal kanallar" anlamına gelen *canali* adını verdiği koyu renk şeritler gördüğünü bildirmişti. Çoğu astronomun aksine, Lowell bunları ciddiye alıp, konu üzerine, Mars'ta hayat düşüncesini popülerleştiren üç kitap yazdı. Gözlemevi, Hamilton Dağı'ndan yaklaşık dokuz yüz metre, Wilson Dağı'ndansa yaklaşık yarım kilometre daha yüksek olan, 2,2 kilometre yükseklikteki "Mars Tepesi" üzerine inşa edildi.

Lowell, Lick'dekinden daha gelişmiş bir spektrometre satın aldı. Ancak yalnızca 61 cm'lik bir ışık kırıcıya sahipti, ki bu da onun, tayfsal çalışmaya olan uygunluğunu azaltıyordu.

Lowell, genç Vesto Slipher'ı, 1909'da Indiana Üniversitesi'nden mezun olduğunda işe aldı. Slipher, otuz sekiz yıl boyunca müdürlüğünü yaparak, 1954'de emekli olana kadar gözlemevinde kaldı.

Büyük bir sabır ve beceriyle Slipher, ustalık isteyen aleti önemli ölçüde iyileştirdi ve Lowell'ın istediklerinin hemen hemen tamamını yerine getirdi, ki bu ağırlıklı olarak gezegensel astronomiydi. Ancak 1909'da Lowell, "beyaz nebula" adını verdiği şeyin spektrogramını çekmesi için Slipher'a talimat verdi; Lowell bununla, sarmal nebulaı kastediyordu. Slipher, 1912'ye kadar buna zaman bulamadı. 1912'de, gökyüzündeki en büyük sarmal nebula olan Andromeda'nın bir dizi fotoğrafını, dört farklı plaka üzerinde çekmeye başladı. Ardından Ocak 1913'te, sonucunu elde etti: Andromeda'nın tayfı *maviye kayıyordu*, yani daha kısa dalga boylarına kayıyordu. Slipher, mekanizmanın bir Doppler kayması olduğunu varsayarak, Andromeda'nın bize doğru saniyede 300 kilometrelik bir hızla ya da *radyal hızla* hareket etmekte olduğunu hesapladı.² Slipher, çok uzak değildi. Halihazırda astronomlar 301 ölçmektedir.

2 Vesto M. Slipher, "Spectrographic Observations of Nebulae," (Nebulaların Spektrografik Gözlemleri) *Popular Astronomy* 23 (1915): 21-24.

O zaman bu, doğada ölçülmüş o güne kadarki en yüksek hızdı. Andromeda'nın radyal hızı, Samanyolu'ndaki bir yıldızın tipik hızıyla hemen hemen aynı olan Yeryüzünün güneşin etrafındaki, saniyede 30 kilometrelik dönüş hızının on katıdır.

Slipher'in sonucu olağanüstüydü ve öteki astronomlar, özellikle de yakındaki rakip, Lick'dekiler tamamen şüphe içindeydiler. Yılmayan Slipher, daha küçük nebularlar için çok daha zor olan ölçümlerini sürdürdü. M87'nin (Messier kataloğu) tayfının kızıla kaymış olduğunu buldu, M87'nin saniyede bin kilometrelik radyal hızla Yeryüzünden uzaklaşmakta olduğunu belirledi. Bu hız, bize doğru hareket etmekte olan ve bir gün Samanyolu'yla birleşecek olan M31 Andromeda'dan üç kat fazladır. 1914'ün yazına kadar, Slipher on dört sarmal nebuların hızlarını ölçmüş ve çoğunun gerilemekte olduğunu bulmuştu. Ağustos'ta, Northwestern Üniversitesi'ndeki Amerikan Astronomi Topluluğu'nun toplantısına bir rapor sundu. Topluluğa yeni seçilmiş olan Edwin Hubble (1889-1953) adında uzun boylu, yakışıklı genç bir adam, izleyenler arasındaydı.

Slipher, sarmal nebuların, bizim galaksimizdeki yıldızların ortalama hızlarının yirmi beş katı bir ortalama hızla hareket ettiğini bildirdi. Ayakta alkışlandı ve Lick'deki meslektaşlarınca tebrik edildi. Ancak sarmalların ayrı ada evrenler olduğuna dair kanıt, hâlâ kesin değildi. Uzaklıklarını ölçmenin bir yolu olmalıydı.³

4. Bölümde bahsedildiği gibi, bugün astronomlar kızıla kayma adı verilen ve laboratuvarında ölçüldüğü gibi, tayfsal çizgilerin gözlemlenen bir dalga boyunun dalga boylarını aştığı kesirli miktara eşit olan bir nicelik (z) tanımlamaktalar. Eğer bu negatifse, elimizdeki maviye kaymadır. Doppler etkisinden, $z = v/c$ dir; burada v gerileme hızıdır. Bu yalnızca $v \ll c$ için geçerlidir; görelî hızlarda daha karmaşık bir formül kullanılmalıdır.

SARMAL YAPAN TARTIŞMA

3. Bölümde gördüğümüz gibi, on dokuzuncu yüzyılın sonuna doğru, James Keeler, Hamilton Dağı'ndaki Crossley teleskobuyla yüzlerce sarmal nebuların harika fotoğraflarını çekmişti. Keeler'in 1900'deki ölümünden dokuz yıl sonra, Heber Curtis (1872-1942),

3 Bartusiak, *Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)*, 5. Bölüm.

Keeler'ın Crossley'le olan araştırmasını devam ettirdi. 1913'e kadar, sarmalların iki yüz fotoğrafını toplamıştı.

Temmuz 1917'de George Richey (1864-1945), Hamilton Dağı'ndan üç yüz mil (yaklaşık 483 km) uzaklıktaki Wilson Dağı'ndaki 1,5 m'lik yansıtıcıyla gözlem yaparak, sarmal nebula NGC 6946'nın (NGC, 1888'de hazırlanan *The New General Catalogue*'un [Yeni Genel Katalog] kısaltmasıdır) uzun pozlanmış fotoğraflarını çekti. Önceki üç resimle karşılaştırdığında Richey, kenara yakın bir yerde ufacık bir ışık noktası gördü. Bunun, ara sıra gökyüzünde görünüp çabucak ortadan kaybolan ışık noktalarından biri, yani bir *nova* olduğu sonucuna vardı.

Curtis, üç farklı nebuladaki fenomeni fark etti. Plakaları tararken, 1901 ve 1914'deki sarmal NGC 4321'de farklı novaların görünmüş olduğunu buldu. Sarmal nebulalarda bu kadar çok novanın görünmesi ona çok tuhaf göründü.

Ayrıca Curtis, bazı nebulaların nadiren de olsa, ara sıra görece parlak patlamalar sergilediğini fark etti. Örneğin bu tür patlamalar, 1885'te Andromeda'da ve 1895'te Centaurus (Erboğa) takımyıldızında görüldü. Curtis, bu patlamaları başka bir sınıfa soktu, ki bunlara artık *süpernovalar* adı verilmektedir.

Öteki astronomlar, merakları uyanmış bir şekilde, plakalarını araştırmaya başladılar. Kendi araştırmasına devam eden Curtis, sarmallardaki novaların çoğunun, başka yerlerdeki novaları andırdığını ancak çok daha sönük olduklarını gözlemledi. Sönüklüklerini açıklamak için, *milyonlarca* ışık yılı uzaklıkta olmaları gerektiği sonucuna vardı.

Curtis, sarmal nebulaların “ada evrenler”, yani bizim kendi Samanyolumuzun çok ötesinde yer alan yıldız galaksileri olduğu düşüncesinin şampiyonu oldu. Ancak çoğu astronom, şüphe etmeyi sürdürdü. Bu sırada, araya I. Dünya Savaşı girdi ve Curtis (ancak Shapley değil) dahil, çoğu astronom savaşa katıldı.⁴

Savaştan sonra, bizim galaksimiz içerisinde olduklarına dair görüşüne sınırsız sarılan Harlow Shapley ile, sarmal tartışması devam etti. Orada, Wilson Dağı'nda çalışan Hollanda doğumlu astronom Adriaan van Maanen'den güçlü destek almış gibi göründü. Titiz bir araştırmacı olarak iyi bir üne sahip olan Van

4 Ibid., 4. Bölüm.

Maanen, eğer Samanyolu kadar büyük, ayrı galaksiler olsalardı, sarmal kolları ışık hızından daha hızlı hareket ederdi anlamına gelen, sarmal nebula için dönme periyotlarını ölçmüş olduğunu iddia etti. Onun sonuçları, söylendiğine göre, Wilson Dağı'ndaki, Lowell Gözlemevi'ndeki, Rusya ve Hollanda'daki başka gözlemciler tarafından desteklendi.⁵

26 Nisan 1920'de Shapley ile Curtis, Washington DC'deki üç günlük Ulusal Bilimler Akademisi kongresi sırasında, halka açık bir akşam toplantısındaki “Büyük Tartışma”ya girdiler. Bir gün öncesinde, *The Washington Post* şöyle duyurmuştu: “Wilson Dağı güneş gözlemevinden Dr. Harlow Shapley, [Samanyolunun] büyüklüğünün kabul görenden kat kat daha fazla olduğunu gösterir gibi görünen kanıtları ele alacak... Lick Gözlemevi'nden Dr. Heber D. Curtis, her birinin üç milyar yıldız içeriyor olması mümkün olan, bizimkine benzer muhtemelen sayısız evrenin olduğuna dair *eski* [benim vurgulamam] teoriyi savunacak.”⁶

Eğer bir gazete makalesine dayanarak karara varacaksak, ki bu daima riskli bir iştir, o zamanki genel eğilim, bizimkinin yanı sıra başka galaksilerin olduğuna dair “eski” düşüncenin yerini, Shapley'nin daha yeni keşiflerinin almakta olduğu olmuş olabilir.

Aslına bakılırsa, bu, pek de tartışma değildi. Daha çok, aslında birbirine atıfta bulunmayan arka arkaya iki konuşma vardı, karşılıklı deliller daha sonraki tartışmaya bırakılmıştı.

Shapley, tartışmanın büyük kısmını, galaksimizin büyüklüğüne dair kendi tahminini betimlemekle geçirdi; daha önce düşünülmüş olanın zaten on katıydı bu. Halktan izleyiciyi hedefleyip, az sayıda teknik ayrıntı verdi. Curtis, sarmal nebulara odaklanan, galaksimiz içerisinde olmak için fazla parlak olan Andromeda novasını ve sarmalların yüksek hızlarını vurgulayan daha teknik bir konuşma yaptı.

Curtis ayrıca, Samanyolu için olan büyüklük tahminini sorgulayıp, Shapley'nin tahmin ettiğinden on kat daha küçük olduğunu söyledi. Burada Shapley üç kat fazla büyükken, Curtis, üç kat fazla küçüktü; bu yüzden farkı bölüştürebiliriz.

5 Ibid., 10. Bölüm.

6 “Scientists Gather for 1920 Conclave,” (Bilim İnsanları 1920 Meclisi İçin Toplanıyor) *Washington Post*, 25 Nisan 1920, sf. 38.

Curtis, eğer sarmal nebularlar ayrı galaksilerse ve mantiken Samanyolu'yla aynı büyüklük kertesinde oldukları varsayılırsa, en azından üç yüz bin ışık yılı uzaklıkta olmaları gerektiğini kabul etmek zorunda kaldı.

Asıl tartışmanın iyi bir kaydı geriye kalmadı. Ancak her biri yetkin bilim insanı olan iki astronom, *Bulletin of the National Research Council* (Ulusal Araştırma Konseyi Bülteni) için konumları üzerine makale yazmayı kabul etti; bu makaleler, bir dizi taslak değiş tokuşu yapmalarının ardından, sözel olarak ortaya koydukları, görünüşe göre büyük ölçüde değişime uğramış olarak bir yıl sonra yayınlandı.⁷

Halk dikkate almaya başladı. 31 Mayıs 1921'de, *The New York Times*, Shapley'nin "etrafında yeryüzü denen ufacık gölgenin döndüğü ufak ışık zerresinin evrenin merkezinden 60.000 ışık yılı uzaklıkta" olduğunu kanıtlamış olduğunu ön sayfadan bildirdi. O yıl Shapley, Harvard Gözlemevi'nin müdürü olarak Pickering'in yerini almıştı. Makalede, şöyle dediği alıntılanır: "Şahsen, insanın böyle fiziksel hiçliğin içerisine battığını görmekten memnunum ve evrene kıyasla ne kadar az öneme sahip olduğunu fark etmesi, insanoğlu için sağlıklıdır."⁸

1925'te, İsveç Kraliyet Akademisi, Henrietta Leavitt'i Nobel Fizik Ödülü'yle ödüllendirme imkânı konusunda Harvard Gözlemevi'yle temasa geçti. Dört yıl önce, 12 Aralık 1921'de elli üç yaşında mide kanserinden ölmüş olduğunu bilmiyorlardı. Ölümünden sonra ödül verilmemektedir.

HUBBLE'IN ALANI

11 Eylül 1919'da, George Ellery Hale'in bitmez tükenmez çabaları sayesinde, 2,54 m'lik yansıtmalı teleskop Wilson Dağı'nda faaliyete geçti. Bir hafta sonra, Edwin Hubble, hiç çarpışma görmediği I. Dünya Savaşı sırasında orduda yüzbaşı olarak görev yaptıktan sonra

7 Harlow Shapley ve Herber D. Curtis, "The Scale of the Universe," (Evrenin Büyüklüğü) *Bulletin of the National Research Council* 2, no. 11 (1921): 171-217.

8 "Universe Multiplied a Thousand Times by Harvard Astronomer's Calculations," (Harvard'lı Astronomun Hesaplamalarıyla Bin Kez Artan Evren) *New York Times*, 31 Mayıs, 1921, sf. 1.

kadroya katıldı. 1923'te Hubble, nebuları incelemek için hem 1,5 m'liği hem de 2,54 m'liği kullanıyordu ve dikkatini, Sagittarius'daki (Yay) bir nebula olan ve LMC'yi andıran NGC 6822'ye çevirdi.

Hubble NGC 6822'de beş değişken yıldız bulup, Harvard'daki Shapley'ye, elindeki plakaların içinde nesneye bakmasını rica etti. Shapley, en parlak yıldızların gözlemlenen büyüklüklerini kullanıp NGC 6822'nin yaklaşık bir milyon ışık yılı uzaklıkta olduğunu tahmin etmişti. "Muhtemelen galaktik sistemin sınırlarının oldukça ötesinde" olduğunu kabul etti, ancak bu bir sarmal değildi, o nedenle Shapley, sarmalların "ne büyüklük olarak galaktik, ne de bileşim olarak yıldızlararası" olduğunda ısrar etmeyi sürdürdü.⁹

Hubble, NGC 6822'de on bir Sefe buldu ve bunları, yedi yüz bin ışık yıllık uzaklığı elde etmek için kullandı. Ancak ona dünya çapında ün getirecek büyük keşif, 1924 başlarında gerçekleşti; Andromeda'da bir Sefe değişkeni bulup, dokuz yüz bin ışık yılı uzaklıkta olduğunu belirledi. Hubble, Shapley'ye yazdı, o da mektubu aldığı anda bir meslektaşına şöyle dedi: "İşte benim evrenimi yok eden mektup."¹⁰

Aslına bakılırsa, 1922'de Estonyalı astronom Ernst Öpik, galaksinin kütlesine dayanan galaksinin dönme hızını kullandığı ve parlaklığının kütlesiyle orantılı olduğunu varsaydığı özgün bir yöntem sayesinde, Andromeda'ya olan uzaklığın daha doğru bir ölçümünü yayınlamıştı. Hubble'ın dokuz yüz bin ışık yıllık tahminine nazaran, onun tahmini, 1,5 milyon ışık yılıydı. Bu, 2,5 milyon ışık yıllık günümüz değerine daha yakındı.

Bununla birlikte, Shapley bir süre şeytanın avukatlığını yaptı, ki bu, karşı teoriyi destekleyen baş uzman olarak alınacak tamamen uygun bir pozisyondu. Bilimde yeni keşifler yapıldığında, bunlar o sırada siperlerdeki için çok net değildir ve Hubble da gerektiği gibi çok temkinli ve muhafazakâr davranıyordu.

Bütün bunların ortasında, Hubble varlıklı bir Los Angeles'lı bankerin kızıyla evlendi ve ikisi Avrupa turunu da kapsayan üç aylık bir balayına çıktılar.

Döndükten sonra Hubble, dikkatini başka nebula çevirdi; özellikle de, Triangulum (Üçgen) takımıyıldızındaki tam karşıdan görülen

9 Bartusiak, *Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)*, sf. 194.

10 Ibid., sf. 204.

sarmal M33'e. Orada, yine en az bir milyon ışık yıllık bir uzaklığı gösteren, yirmi iki Sefe buldu. O günlerde, bilgisayarlardan, hatta hesap makinelerinden önce, bütün bu değişken yıldızların periyotlarını ölçmek, yorucu ve zahmetliydi. Hubble da, Wilson Dağı'ndaki kıdemli meslektaşı van Maanen tarafından yapılan sarmallar üzerindeki ölçümlerden rahatsızdı. Doğru olsalar, sarmallar galaksi dışı olamazdı, bu nedenle sonuçlarını resmen ilan etmekte ya da van Maanen'in sonuçlarına dair şüphelerini ifade etmekte tereddüt ediyordu.

Ancak Hubble'ın sonuçları, zaten çok etkili bir astronomik fısıltı gazetesi yoluyla çabucak dünyaya yayıldı (bugün bu, anında olmaktadır). *The New York Times* bile bunun duyumunu alıp, 23 Kasım 1924'de manşetten verdi; "Dr. Hubbell [böyle yazılmış] Bizimkine Benzer 'Ada Evrenler' Olduğu Görüşünü Doğruluyor."¹¹

Hubble'ın tereddütüne rağmen, astronomi camiası onun sonuçlarını ciddiye aldı, çünkü sonuçlar, o zamana kadar sağlam temellere oturtulmuş olan Sefe-uzaklık ölçeğine dayanmaktaydı. Van Maanen'in hatalı olduğu varsayıldı ve sonunda yöntemlerindeki kusurlar ortaya çıktı. Hubble, Amerikan Bilimsel Gelişme Birliği'nin 1000 Dolarlık ödülünü, termitlerin sindirim sistemindeki protozoa keşfini yapan parazitolog Lemuel Cleveland'le paylaştı.¹² Hubble, sonuçlarını 1925'te *Publications of the American Astronomical Society*'de (Amerikan Astronomi Topluluğu Yayınları) yayımladı.¹³

Shapley, Harvard'a geçtiği için pişmandı. Wilson Dağı'nda kalmış olsaydı, Hubble'la aynı keşifleri yapmış olacağına inanıyordu. Ancak sonunda, Hubble'ın ününü hak ettiğini söyleyip, "mükemmel bir gözlemci, benden daha iyi" diyerek zarif davrandı.¹⁴

Hubble yine de, van Maanen'in bulgularını, büyük başarısındaki bir leke olarak görüp, aynı dağda çalışmaya devam ederken ona kin besledi. Van Maanen yalnızca gönülsüzce bazı hatalar yapmış olabileceğini kabul edip, takip etmeye söz verdi. Ancak hiçbir zaman etmedi.¹⁵

11 "Finds Spiral Nebula Are Stellar Systems," (Sarmal Nebulaların Yıldızlararası Sistemler Olduğu Bulundu) *New York Times*, 23 Kasım 1924, sf. 6.

12 Bartusiak, *Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)*, sf. 214.

13 Edwin Hubble, "Cepheids in Spiral Nebulae," (Sarmal Nebulalardaki Sefeler) *Publications of the American Astronomical Society* 5 (1925): 261-64.

14 Bartusiak, *Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)*, sf. 217.

15 Ibid., sf. 220-24.

VIII - DİNAMİK BİR KOZMOS

GÖRELİ KOZMOLOJİ

Eğer Edwin Hubble, evrenin Samanyolu'nun çok ötesine uzandığına ve birçok yıldız galaksisinin bizimkinin yanında yer aldığına dair ikna edici demonstrasyonundan daha ileri gitmemiş olsaydı, adı tarihte yer ederdi. Onun yerine, çoğu galaksinin (en azından zamanın en iyi verilerinin gösterdiği gibi) uzaklıklarıyla doğrusal olarak artan hızlarda Yeryüzünden uzaklaştığına dair kanıt elde ettiğinde, adını tarihe ikinci kez yazdırdı.

Çok önce 1912'de, Vesto Slipher, sarmal nebuların muazzam hızlarla bizden uzaklaştığı ya da Andromeda'nın durumunda bize doğru yaklaştığı sonucunu çıkarmak için, tayfsal çizgilerin kaymalarını kullanmıştı. Bu, onların galaksi dışı yapısının doğrudan kanıtı değildiyse de en azından evrenin, Samanyolu'nun ötesine uzandığının erken bir göstergesiydi.

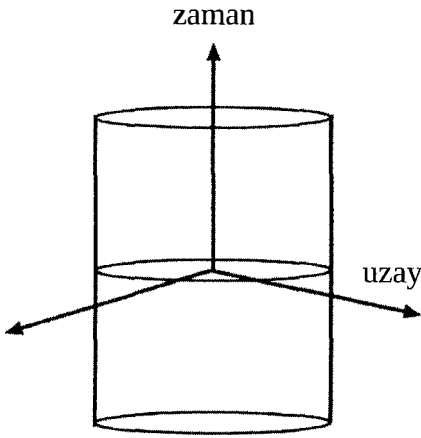
İşte bu noktada, gözlem ile teori, ortak bir birim olarak birleşmeye başladı, gerçi az sayıda teorisyen veriler konusunda, az sayıda gözlemci de teori konusunda bir şey biliyordu. 6. Bölümde gördüğümüz gibi, Einstein, itici kütleçekimi sağlamak için, kütleçekim denklemine kozmolojik sabit denen bir terim ekledi. Evreni dengede tutmak için terimin gerektiğini hissetti; aksi halde bütün yıldızlar birbirini üzerine çökerdi.

1917'de Einstein, denklemi için, evrenin uzaysal olarak sınırlı (kapalı), durağan, dört boyutlu hiperküre olduğu bir çözümle gelmeyi başardı.¹ Bu bazen “silindirik evren” olarak

1 Albert Einstein, “Cosmological Considerations on the General Theory of Relativity” (Genel Görelilik Teorisi Konusundaki Kozmolojik Hususlar) (tercüme edilmiş), *Cosmological Constants: Papers in Modern Cosmology (Kozmolojik Sabitler: Modern Kozmoloji Üzerine Makaleler)* içinde, editör: Jeremy Bernstein ve Gerald Feinberg (New York: Columbia University Press, 1986), sf. 16–26.

adlandırılır, çünkü uzaysal eksenlerin birine bastırıldığınızda, evren belli bir zaman aralığındaki herhangi bir zamanda dairedir ve zaman boyutunu eklediğinizde, uzay zamanda silindirdir (bkz. Şekil 8.1).

Einstein'ın çözümü teknik olarak durağan olmakla birlikte, dağın tepesinde duran bir kaya gibi kararsız olduğu dikkate alınmalıdır. Kozmolojik sabit ya da madde yoğunluğu gibi, modelin parametrelerinden birindeki herhangi bir ufak değişim, evrenin sonsuza dek genişlemesiyle ya da büyük bir çöküş halinde yıkılmasıyla sonuçlanacaktır.



Şekil 8.1. Einstein'ın durağan (statik) evreni. Dört boyutlu bir hiperküreye, basıtırılmış bir uzaysal boyutla gösteriliyor, böylece silindir gibi görünüyor. Bir başlangıcı ya da sonu yok. Görsel, yazara aittir.

Yine 1917'de, Hollandalı astronom Willem de Sitter (1872-1934), Einstein'ın denkleminin, evrenin maddeden yoksun olduğu, yalnızca kozmolojik sabit içinde saklı enerjiyi içerdiği bir başka durağan kozmolojik çözümünü gösterdi.² Bu çözüm, şekil 8.2'de gösterilmiştir. Einstein'ın çözümünde, evrenin küt-

Önceki kozmolojik makalelerin birçoğunun yeni baskısı bu cildin içerisinde bulunabilir.

2 Willem De Sitter, "On Einstein's Theory of Gravitation and Its Astronomical Consequences," (Einstein'ın Kütleçekim Teorisi ve Astronomik Sonuçları Üzerine) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 78 (1917): 3–28.

lesinin kütleçekimi, kozmolojik sabitin itimiyle tam olarak dengelenir. de Sitter çözümünde, madde ya da ışıyım yoktur; kozmolojik sabitin sağladığı, uzayın sabit, pozitif eğriliği ile evrenin katlanarak genişlemesine sebep olan kütleçekimsel bir itme vardır yalnızca.

Elbette, genişlemekte olan bir evrenin “durağan” olmadığını söyleyeceksiniz. de Sitter’in evreni durağan olarak adlandırılmaktadır, çünkü daima aynı üstel oranda genişler ve genişleyecektir. Bu modelde, evren genişledikçe, enerji yoğunluğu sabittir, böylece toplam iç enerji zamanla artar. Bu, enerji korunumunu ihlal etmez, çünkü kozmolojik sabite karşılık gelen iç basınç negatiftir. Termodinamik bir sistem olarak incelendiğinde, kendi kendine iş yapar.

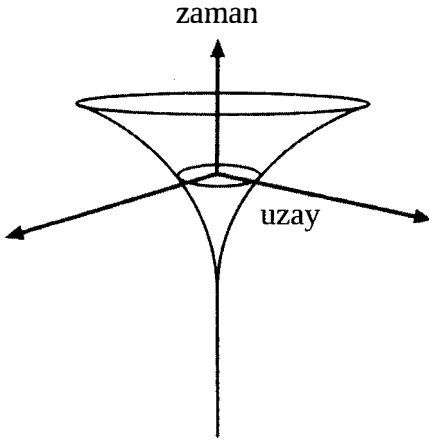
Şekil 8.2’deki şemada, de Sitter evreninin başlangıcı ya da sonu yoktur. Tepe noktasının altındaki çizgi, negatif-zaman yönünde ilerlediğinizde, koninin giderek azalan çapını temsil etmektedir. Ancak daha sonra göreceğimiz gibi, şişmeye ait genişlemenin bir başlangıcı olması gerektiği o zamandan beri kanıtlanmıştı, gerçi bu başlangıç önceki bir daralmadan önce olmuş olabilir.

Einstein, de Sitter çözümünden mutlu değildi. Ayrıca, evren boş değildi.³ de Sitter madde yoğunluğu düşük olursa, çözümünün iyi bir yaklaşım olabileceğini ileri sürdü. Göreceğimiz gibi, yanılmamıştı. Enerji ya da kütle yoğunluğuyla ölçüldüğünden, evrenimizin yalnızca % 26 kadarı madde ve ihmal edilebilir ışıyımıdır. (10. Bölümde, kozmologların madde ile ışıyım arasında yaptığı ayrımı netleştireceğiz.)

FRIEDMANN’IN EVRENİ

1922’de Rus fizikçi ve matematikçi Alexander Friedmann, uzay ve zamanın durağan bir düzenek içermesinin şart olmadığını, dinamik bir tane de oluşturabileceğini gösterdi. Friedmann’ın kavramını betimlemek için, onun ilk formülasyonunu vermek yerine, bugün yaygın olarak kullanılan yolu kullanacağım.

3 Pierre Kerzberg, *The Invented Universe: The Einstein-De Sitter Controversy (1916-17) and the Rise of Relativistic Cosmology (İcat Edilen Evren: Einstein-De Sitter Tartışması (1916-1917) ve Görelî Kozmolojinin Doğuşu)* (Oxford: Clarendon, 1989).



Şekil 8.2 Bir uzay boyutu bastırılmış De Sitter evreni. Evren, maddeden yoksun, katlanarak genişleyen bir küredir. Sabit enerji yoğunluğuna eşdeğer bir pozitif kozmolojik sabite sahiptir. Görsel yazara aittir.

1929’da Amerikalı fizikçi Howard Robertson, “Görelî Kozmolojinin Temelleri Üzerine” başlıklı nihai bir makale yazdı. Makale, 1935’te Arthur Walker tarafından da elde edilmiş, homojen, eşyönlü bir evren için dört boyutlu uzay zamandaki tüm muhtemel çizgi unsurlarını belirleyen, şimdi *Robertson-Walker metriği* denilen şeyi ortaya koyuyordu. Yalnızca Einstein ve de Sitter çözümlerinin durağan olduğunu, Friedmann denklemlerininse tüm genel, dinamik çözümleri sağladığını gösterdi.⁴

Friedmann, Einstein’ın kütleçekim denklemlerinden çalışarak, evrenin zamanla nasıl evrilebileceğini betimleyen iki yeni denklem elde etti.⁵ Friedmann denklemleri, homojen ve eşyönlü bir evren varsayarak, Robertson-Walker metriğindeki *ölçek faktörü* adı verilen ve uzayın nasıl genişlediğini ya da daraldığını betimleyen bir niceliğin ($a(t)$) zamana bağıllığını hesaplamaya olanak verir.

4 Howard P. Robertson, “On the Foundations of Relativistic Cosmology,” (Görelî Kozmolojinin Temelleri Üzerine) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 11 (1929): 822–29.

5 Alexander Friedmann, “Über Die Krümmung Des Raumes,” *Zeitschrift für Physik* 10, no. 1 (1922): 377–286; İngilizce çevirisi; Alexander Friedmann, “On the Curvature of Space,” (Uzayın Eğriliği Üzerine) *General Relativity and Gravitation (Genel Görelilik ve Kütleçekim)* 31, no. 12 (1999): 1991–2000.

Friedmann'ın kavramı, popüler olarak, genişleyen bir balon olarak betimlenmektedir sıklıkla. Kısmen şişirilmiş bir balonun yüzeyinde, iki nokta işaretleyin. Balonu daha fazla şişirdiğinizde, noktalar birbirinden uzaklaşacaktır; söndürürseniz, bir araya geleceklerdir. Friedmann'ın resminde, üç boyutlu bir balonun iki boyutlu yüzeyi, dört boyutlu Minkowski uzay zamanındaki üç boyutlu uzayı andırır.

Friedmann, üç boyutlu uzayın genel geometrisini belirleyen *eğrilik parametresi* adı verilen bir parametreye (k) dayanan, kozmik evrim için üç olası genel senaryo buldu. Eğer $k = 0$ ise, uzay düzdür, yani geometrisi Öklitçidir. Eğer $k = +1$ ise, evren kapalıdır ve uzay, üç boyutlu bir kürenin yüzeyi gibi, pozitif eğriliği olan Öklit dışıdır. Eğer $k = -1$ ise, evren üç boyutlu açık bir hiperbolittir ve uzay, bir semer gibi, negatif eğriliğe sahiptir. Bu geometrilerin her birini, üçgenin iç açıları toplamı üzerinden düşünebiliriz: $k = 0$ için 180° , $k = +1$ için 180° 'den büyük, $k = -1$ için 180° 'den küçük.

Friedmann denklemlerinin özel çözümleri, evrendeki madde-nin yapısı, k ve kozmolojik sabit (Λ) değerlerine bağlıdır.

Einstein, Friedmann'ın modelini hoş karşılamadı. Friedmann'ın makalesinde matematiksel bir hata bulmuş olduğunu düşündü, ancak sonra matematiksel olarak doğru olduğunu ama “fiziksel bir anlamı” olmadığını kabul etti. Maalesef, Friedmann, çalışmasını daha fazla sürdüremedi, 1925'te otuz sekiz gibi genç bir yaşta öldü. Yakın tarihli bir makalede, kozmolojiye olan katkılarının iyi anlaşılmadığı ve sıklıkla yanlış tanıtıldığı iddia edilmektedir.⁶ Friedmann, hesaplamalarını astronomik gözlemlerle birleştirmedigine göre, belki de kendisi bunların farkına varmaya vakit bulamadan öldü.

LEMAÎTRE EVRENİ

Aynı zamanda gerçekleşen matematiksel kozmoloji ile önemli gözlemler arasındaki gelişmekte olan ilişkiyi kavramış görünen, zamanın neredeyse tek bilim insanı, Belçikalı Cizvit rahibi ve fizik-

6 Ari Belenkiy, “Alexander Friedmann and the Origins of Modern Cosmology,” (Alexander Friedmann ve Modern Kozmolojinin Kökenleri) *Physics Today* 65, no. 10 (2012): 38–43.

çi Georges Lemaître'di. 1927'de Lemaître, "Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques" ("Galaksi dışı Nebulaların Radyal Hızını Açıklayan Sabit Kütleli ve Artan Yarıçaplı Homojen Bir Evren") başlıklı Fransızca bir makale yayımladı.⁷ Orada, Einstein'ın denkleminin, galaktik kızıla kaymaları açıklayan genişleyen bir evrene yol açtığını gösterdi. Lemaître, o zaman gözlemlenmekte olanı betimlemekle ilgilendiğinden, ne Friedmann'a atıfta bulundu ne de öteki kozmolojik çözümlerden bahsetti. Lemaître'in formülasyonu, artık *Friedmann-Lemaître çözümü* olarak bilinmektedir.

Ancak Fransızca yazıldığı ve az kişinin okuduğu küçük bir dergide yayımlandığı için, Lemaître'in makalesi birkaç yıl boyunca fark edilmeden kaldı. Lemaître'in kendisi tanıtımını yapmadı, bununla birlikte bir kopyasını Eddington'a yollamıştı, ancak o cevap vermedi.

Makalesi çıktıktan yalnızca altı ay sonra, Lemaître, Brüksel'deki bir parkta Einstein'la buluştu. Einstein, Brüksel'de düzenli olarak yapılan tarihi Solvay Konferanslarından birine katılıyordu. 1927'deki beşinci konferans, bilinen her fizikçinin (Einstein, Bohr, Planck, Schrödinger, Heisenberg, Born, Pauli, Dirac, Lorentz, Perrin, de Broglie, Rutherford, Jeans, Poincaré, Brillouin ve diğerleri...) katılımıyla ve Einstein ile Bohr arasındaki yıllarca süren büyük tartışmanın başlangıcıyla, efsane oldu.⁸ Yirmi dokuz katılımcının on yedisi, Nobel Ödülü sahibiydi ya da sahibi olacaktı.⁹ (Astronomlar dahil edilmemişti).

7 Georges Lemaître, "Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques" ("A Homogeneous Universe of Constant Mass and Growing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extragalactic Nebulae") ("Galaksi dışı Nebulaların Radyal Hızını Açıklayan Sabit Kütleli ve Artan Yarıçaplı Homojen Bir Evren"), *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* 47 (1927): 49.

8 Bkz. Bu toplantıyı ve tartışmayı ele aldığım; Victor J. Stenger, *The Unconscious Quantum: Metaphysics in Modern Physics and Cosmology* (Bilinçsiz Kuantum: Modern Fizik ve Kozmolojideki Metafizik) (Amherst, NY: Prometheus Books, 1995), sf. 66–74.

9 Birkaç yıl önce karımla 1927 toplantısının düzenlendiği Brüksel'deki Metropole Otel'de kalırken keşfettiğim gibi, katılımcıların bir fotoğrafı görünür bir şekilde lobide sergilenmektedir. Bkz. <http://www.dailymail.co.uk/>

Parkta, kendisi de davet edilmemiş olan Lemaître, modelini kısaca Einstein'a açıkladı, o da şöyle cevap verdi, "Hesaplamalarınız doğru, ancak fiziksel kavrayışınız berbat."¹⁰

HUBBLE YASASI

Bu sırada, Hubble ile yetenekli ve titiz asistanı Milton Humason (1891-1972), çalışmaya dalmıştı. İkisinin de, genel görelilik hakkında pek bilgisi yoktu. Bildikleri şey, göklerin nasıl gözleendiği idi. Humason o zaman sekizinci sınıf mezunuydu (sonunda bilim doktorası yaptı) ve dağlarda katır kervanları götürdükten sonra, nasıl astronomik gözlemler yapılacağını öğrendi. Hubble'ın isteği üzerine, Humason 2,54 m'lik teleskopta uzun, soğuk, sıkıcı geceler geçirerek, sönük galaksilerin uzun pozlanmış spektrograflarını çekti.¹¹ Bilgisayarlardan önceki o günlerde, gözlemci, aynanın odak noktasına yakın, yukarda ufak bir kafesin içinde, dışarıdaki soğuk havaya açık bir şekilde yüksekte oturup, görüntüleyiciden ilgi nesnesine bakarak, nesnenin ilgi odağında kalması için, Yeryüzü döndükçe aynayı manuel olarak ayarlamak zorundaydı.

1929'da Hubble, *Proceedings of the National Academy of Sciences*'da (Ulusal Bilimler Akademisi Tutanakları) "Galaksi Dışı Nebulalar arasında, Uzaklık ile Radyal Hız Arasındaki İlişki" başlıklı ufuk açıcı bir makale yayımladı.¹² Orada, *Hubble yasası* olarak tanınan şeyi ileri sürdü: bir galaksinin radyal hızı, uzaklığıyla orantılıdır. Humason, dışarıda bırakılmamıştı. Hubble'ın makalesinden

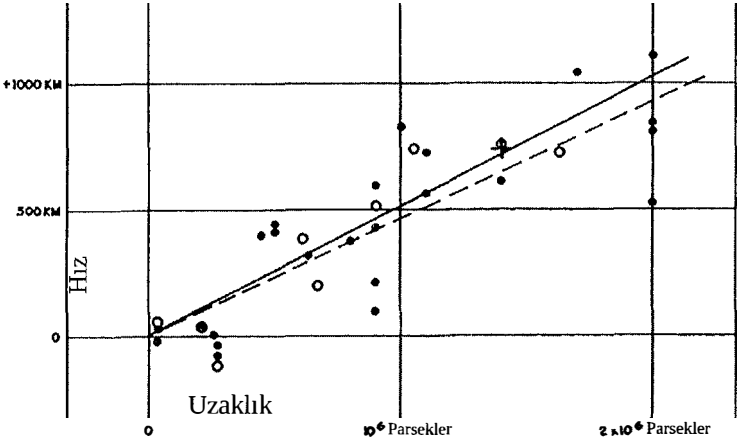
sciencetech/article-2002163/1927-Solvay-Conference-Electrons-Photons-Is-greatest-meeting-minds-ever.html (28 Ocak 2013'te erişim yapıldı).

- 10 Robert Smith, "Edwin P. Hubble and the Transformation of Cosmology," (Edwin P.Hubble ve Kozmolojinin Dönüşümü) *Physics Today* 43, no. 4 (1990): 52-58.
- 11 Marcia Bartusiak, *The Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)* (New York: Pantheon Books, 2009), 14. Bölüm.
- 12 Edwin Hubble, "A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae," (Galaksi Dışı Nebulalar arasında, Uzaklık ile Radyal Hız arasındaki İlişki) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 3 (1929): 168-73. Ücretsiz kopya için: http://www.pnas.org/content/15/3/168.full?ikey=fdc5eaeabb2fb9bfb2745c815793c187c8c7363fa&-keytype2=tf_ipsecsha (2 Ocak 2013'te erişim yapıldı).

bir öncekinin yazarı oydu. Makalede, eliptik galaksi NGC 7619'un Yeryüzünden saniyede 3779 kilometre hızla uzaklaşmakta olduğunu bildirdi; bu, önceki ölçümlerden iki kat hızlı ve Yeryüzünün güneş etrafındaki yörünge hızından yüz kattan fazla hızlıydı.¹³

Hubble'ın makalesinde, galaksilerin uzaklıklarına karşı radyal hızlarını gösteren Şekil 8.3'teki grafik ortaya konmaktadır. Noktaların dağılımı büyükse de daha uzaktaki nebula'nın evren genişlemekteyse beklenen daha yüksek hızlarla bizden uzaklaşmakta olduğu net bir eğilim görülebilir. Bu sürpriz değildi; diğerleri bu eğilimi zaten fark etmişlerdi. Ancak Hubble artık kesin kanıta sahipti. Düz bir çizgiye uydurmaya gelince, bu pek gösterilmemektedir, ancak eldeki veriyle, yapabileceğinizin en iyisi budur.

Şekil 8.3'teki altyazı, makaleden birebir alınmıştır. Grafikteki hız eksenini yanlış yazılmıştır; kilometre/saniye olmalıdır. Uzaklık eksenini, parsek cinsindendir; bir parsek 3,26 ışık yılına eşittir.¹⁴



Şekil 8.3 “Galaksi Dışı Nebulalar arasında Hız-Uzaklık İlişkisi. Güneş ha-

13 Milton Humason, “The Large Radial Velocity of N.G.C. 7619,” (N.G.C. 7619’un Büyük Radyal Hızı) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 3 (1929): 167–68.

14 Astronomlar hâlâ modası geçmiş parseki uzaklık birimleri olarak kullanmaktalar. Yeryüzünde altı ay arayla yapılan gözlemler için bir açısal saniyelik paralaks üreten uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Ben, işi daha karmaşık hale getireceği yerler dışında, genel olarak popüler olarak daha tanıdık olan ışık yılı kullanacağım; 1 parsek = 3,26 ışık yılı.

reketi için düzeltilmiş radyal hızlar, ilgili yıldızlardan ve bir küme içindeki nebulaların ortalama parlaklıklarından tahmin edilen uzaklıklara karşı çizilmiştir. Siyah diskler ile tam çizgi, nebulaları tek tek kullanan güneş hareketi için olan çözümü temsil etmektedir; çemberler ile kırık çizgi, nebulaları gruplarla birleştiren çözümü temsil etmektedir; artı işareti, hızları tek tek tahmin edilemeyen 22 nebula'nın ortalama uzaklığına karşılık gelen ortalama hızı temsil etmektedir.” (Hubble’ın makalesindeki altyazıdan direkt alıntı) Görsel: Edwin Hubble, “Galaksi Dışı Nebulalar Arasında, Uzaklık ile Radyal Hız Arasındaki İlişki”den, *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Ulusal Bilimler Akademisi Tutanakları) 15, no. 3 (1929): 168-73.

Grafiğe yerleştirilen hızların çoğu pozitif olmakla birlikte, birkaç negatif nokta, Andromeda gibi, bize doğru hareket etmekte olan bazı daha yakın galaksileri göstermektedir. Hubble’ın örneğindeki çoğu galaksinin uzaklıkları, fazla sönük olan Sefelerle değil, en parlak yıldızlarla ya da bütün olarak galaksinin parlaklığıyla belirlenmiştir.

O günlerde, bilimsel makaleler, referanslar konusunda bugün oldukları kadar özenli değillerdi. Gerçekten de, bazıları, modern standartlara göre baştan savma ve akademik olmayan olarak adlandırılabilir. Bu nedenle, Hubble’ın verilerinin kaynaklarını belirtmemesi alışılmamış değildi. Bu, birçok popüler astronomi kitabında rastlanan, bütün verilerin Hubble ile Humason tarafından Wilson Dağı’nda 2,54 m’lik teleskopla elde edilmiş olduğu izlenimini bıraktı. Gerçekte, sadece dört nokta Wilson Dağı’ndandı ve Humason tarafından kaydedilmişti. Hubble’ın makalesindeki verilerin esas kısmı, Slipher’ındı, Lowell Gözlemevinde daha ufak teleskopla elde edilmişti.¹⁵ Bununla birlikte, 1931’e kadar Hubble ile Humason, kendi buldukları kırk galaksi eklemişti.

Hız (v)-uzaklık (r) grafiği üzerindeki o çizginin eğimine ($K = v/r$), *Hubble sabiti* adı verilir, şimdi H ile gösterilmektedir. Hubble yasası bu durumda, $v = Hr$ ’dir. Hubble, verilerin farklı analizlerine dayanan iki değer verir: tek tek nebulalar için $K = 500$ kilometre/saniye/milyon parsek ve gruplarla birleştirilen nebulalar için $K = 530$.

Bu K değerleriyle, Humason’ın NGC 7619’u, yirmi milyon ışık yılı uzaklıkta olurdu. Göreceğimiz gibi, Hubble’ın H tahmini,

15 Robert P. Kirshner, “Hubble’s Diagram and Cosmic Expansion,” (Hubble’ın Grafiği ve Kozmik Genişleme) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, no. 1 (2004): 8-13.

yedi kat fazla yüksekti, Humason'ın galaksisini aslında 140 milyon ışık yılı uzağa koyuyordu.

Teknik olarak, H 'nin, evrenin genişleme hızı olduğunu göz önünde bulundurun; evrenin yaşamı boyunca, bunun aynı değere sahip olması gerekmez, gerçekten de sahip olmadığını artık biliyoruz. Bu nedenle, düzene uyup, H 'nin bugün sahip olduğu değeri, H_0 olarak gösterilen Hubble sabiti olarak tanımlayacağım ve daha genel genişleme hızını (H), *Hubble parametresi* olarak adlandıracakız.

LEMAÎTRE FARK EDİLİR

Hubble'ın yayınından iki yıl önce, 1927 tarihli makalesinde Lemaître, Hubble'ın kullandığıyla aynıymış gibi görünen veri örneğine dayanan, K (ya da H) için 625 kilometre/saniye/milyon parsek'lik bir tahminde bulunmuştu.¹⁶ Makalede Lemaître açık bir şekilde, “Gerileyen galaksiler, evrenin genişlemesinin kozmik bir etkisidir” der.

Lemaître'ın makalesi, Shapley'le birlikte Lemaître'ın akıl hocalarından biri olan Eddington'ın yardımıyla İngilizceye çevrildiği 1931'de ilgi görmeye başladı, sonunda dikkate alınmıştı.¹⁷ Lemaître bununla birlikte, Hubble sabiti hesaplamasını, İngilizce çevirinin dışında bıraktı.¹⁸ Zaten Fransızca versiyonda bile Lemaître, etkiyi görmek için gerçekten gereken kritik hız-uzaklık grafiğini dahil etmemişti.

Buna rağmen kozmologlar, Lemaître'ın çalışmasının değerini gördüler. Eddington, Einstein'ın durağan (statik) evreninin, tam doğru değere sahip kozmolojik sabite bağlı olduğunu ve en ufak pertürbasyonun, evrenin genişlemesine ya da daralmasına neden olacağını fark etti. Eddington, de Sitter'e, Lemaître'ın probleme

16 Lemaître, “Univers Homogène.”

18 Georges Lemaître, “Expansion of the Universe, a Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae,” (Galaksi Dışı Nebulaların Radyal Hızını Açıklayan Sabit Kütleli ve Artan Yarıçaplı Homojen Bir Evren) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 91 (1931): 490–501.

18 M. Livio, “Lost in Translation: Mystery of the Missing Text Solved,” (Çeviride Kaybolmuş: Kayıp Metnin Gizemi Çözüldü) *Nature* 479 (2011): 171–73.

“parlak bir çözüm” getirmiş olduğunu yazdı, de Sitter de aynı fikirdeydi.

Einstein nihayet yola geldi, 1933’e gelindiğinde de, astronomi camiası. Sonunda, Einstein kozmolojik sabiti terk edip, bunu “en büyük gafı” olarak adlandırdı. Onun (ya da onun gibi bir şeyin), evrenin enerjisinin dörtte üçünü taşıyor olduğunun ortaya çıkacağını hiç tahmin etmedi. Kozmologların çoğunun kozmolojik sabite herhangi bir ihtiyaçları olana kadar yıllar geçecekti, ama ne de Sitter ne Lemaître, modellerinden bu sabiti çıkardılar.

Hubble ile Humason, galaksilerin kızıla kaymalarını ölçmeye devam etti, spektrograflarının sınırı saniyede kırk bin kilometreye varmıştı; bu da, on saniyede aya gidecek kadar hızlı demekti. Hubble pek teori geliştirmiyordu, yaygın olarak, genişleyen evrenin kaşifi olarak görülürken, bunu hiçbir zaman tam olarak kabul etmeyip, dikkatli, deneysel aklını alternatiflere açık tuttu, oysa Shapley gerçek bir inanan olmuştu.¹⁹

Bugün, Lemaître’ın, galaksilerin kızıla kaymalarını, evrenin genişlemesiyle bağdaştıran ilk kişi olduğuna dair hiçbir anlaşmazlık bulunmamaktadır. Bununla birlikte, Lemaître bir gözlemci değildi, bilimdeki teoriler de, onları doğrulayacak veriler olmadan faydasızdır. Hubble’ın rolü, Humason’ın yardımıyla, kesin gözlemler sağlamaktı.

1935’te Hubble, Yale Üniversitesi’nde Silliman Konferanslarını verdi; bunlar, onun klasik *The Realm of the Nebulae*’sında (Nebulaların Alanı) çoğaltıldı.²⁰ Silliman Konferansları, “doğal ve manevi dünyada açıkça gösterildiği gibi, Tanrı’nın varlığını ve takdirini sergilemek için” gerçekleştirildi.

LEMAÎTRE’IN İLK ATOMU

Astronomi üzerine popüler kitaplar, genellikle evrenin genişlemesine dair keşfi, evrenin bu yüzden sınırlı bir geçmişteki bir zamanda bir başlangıcı olduğu sonucuna varmak için kullanır.

19 Bartusiak, *Day We Found the Universe (Evreni Bulduğumuz Gün)*, sf. 249.

20 Edwin Powell Hubble, *The Realm of the Nebulae (Nebulaların Alanı)* (New Haven, CT; London: Yale University Press, H. Milford, Oxford University Press, 1936).

Ancak bu sonuç çıkmaz. Tarihçi Helge Kragh'ın belirttiği gibi, "Sınırlı-yaş evreni fikri ilk öne sürüldüğünde; ki bu, Hubble'ın keşfinden yalnızca iki yıl sonra gerçekleşti, çoğu astronom ve fizikçi buna karşı çıktı."²¹

Eddington evrene bir başlangıç fikrinden özellikle dehşete düşerek şöyle dedi; "felsefi olarak, doğanın mevcut düzeninin bir başlangıcı fikri benim için çok itici."²² Bunu nasıl hayal ettiğini şöyle anlatıyor:

Zihnimde canlandırıyorum. ...protonların ve elektronların eşit bir dağılımı, son derece yayılmış ve tüm (küresel) boşluğu dolduruyor, doğal dengesizliği baskın gelene kadar, fazlasıyla uzun bir süre boyunca neredeyse dengede kalıyor... Bir şeyin olması için hiçbir acele yok. Ancak sonunda düzensiz ufak eğilimler birikiyor ve evrim başlıyor... Madde yoğunlaşmalar içinde birbirine yaklaştıkça, çeşitli evrimsel süreçler izledi; yıldızların evrimi, daha karmaşık unsurların evrimi, gezegenlerin ve yaşamın evrimi.²³

Lemaître, aynı görüşte değildi. 1931'de Londra'daki fizikle maneviyat arasındaki ilişki üzerine bir konferans sırasında Lemaître, evrenin, çekirdekssel maddeden oluşmuş başlangıçtaki bir topaktan bir patlamada genişlediğini ileri sürdü; Britanyalı astronom Fred Hoyle 1948'de bu patlamaya alaycı bir şekilde "Büyük Patlama" adını verecekti. Lemaître fikrini, o yıl *Nature*'da yayınlanan denklem içermeyen bir sayfalık bir makalede duyurdu.²⁴ Şöyle yazmıştı:

Zamanda geriye gidersek, evrenin tüm enerjisinin birkaç ya da hatta eşsiz bir kuantum içerisinde sıkıştırılmış olduğunu görürüz... Eğer bu önerme doğruysa, dünyanın başlangıcı uzayın ve zamanın başlangıcı-

21 Helge Kragh, *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology (Mitlerden Hızlanan Evrene Kozmos Kavramları: Kozmolojinin Tarihi)* (Oxford; New York: Oxford University Press, 2007), sf. 149.

22 Arthur S. Eddington, "The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Physics," (Dünyanın Sonu: Matematiksel Fiziğin Bakış Açısından) *Nature* 127 (1931): 447–53.

23 Arthur S. Eddington, *The Expanding Universe (Genişleyen Evren)* (Cambridge: Cambridge University Press, 1933), sf. 56–57.

24 Georges Lemaître, "The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory," (Kuantum Teorisinin Bakış Açısından Dünyanın Başlangıcı) *Nature* 127 (1931): 706.

cından az önce meydana gelmiştir. Bence dünyanın böyle bir başlangıcı, itici olmaktan uzaktır... Evrenin başlangıcını, atom ağırlığı evrenin toplam kütesi olan eşsiz bir atom biçiminde düşünebilirdik. Bu son derece kararsız atom, bir tür süper radyoaktif süreçle gittikçe daha ufak atomlara bölünürdü.

Unutmayın ki; daha sonra ziyaret edeceğimiz bazı modern teistlerin aksine Lemaître, bunu genel görelilik kozmolojisine dayanarak iddia etmez, çünkü onun, evrenin başlangıç noktası için özgün bir senaryo sağlamadığını çok iyi biliyordu. Onun yerine, bugüne kadar genel görelilikle uzlaşmamış, ancak özel görelilikle uzlaşmış olan kuantum mekaniğine dayanır. Lemaître evrenin, evrenin bütün maddesini içeren ve ardından evreni meydana getirmek için kendiliğinden bozunan atom çekirdeği gibi bir şey olarak başladığını hayal eder, bildiğimiz gibi.

1941'de Lemaître, *L'hypothèse de l'atome primitif (İlk Atom)* başlıklı Fransızca bir kitap yayımladı, 1950'de İngilizceye çevrildi.²⁵ Birkaç denklemle bir matematiksel ek içerse de teknik bir metin değildir, ancak Fransızca konuşan kitleyi hedefleyen geniş kapsamlı bir kozmogoni ve kozmoloji tartışmasıdır. Lemaître, evrenin tek bir dev çekirdek olarak başladığına dair hipotezinin, günün tüm bilgisiyle tutarlı olduğunu savunarak uzun bir bölüm bitirir.

Lemaître'in son yıllarda teologlar arasında temel bir tartışma haline gelen bir iddiayı öngördüğünü belirtmeye değer: Yalnızca evrenin kendisi büyük patlamayla oluşmadı, uzay ve zaman da oluştu.

Çoğu Lemaître'in bir Cizvit rahibi olduğu gerçeğinden oluşmuştu ve evrenin sınırlı bir zaman önce dev bir patlamayla başladığına dair düşüncesi, dini inançlarıyla bildirilmişti. Bununla birlikte, ilk atomun, henüz verilerle doğrulanmamış, tamamen bilimsel bir hipotez olduğunda daima ısrar etti. Gerçekten de, Lemaître'in senaryosu, Genesis'de betimlenenden çok, Çin yaratılış miti "kozmetik yumurta"ya daha fazla benzer.

Nature makalesinin orijinal daktilo metni, Lemaître'in dergiye vermeden önce çıkarttığı şu cümleyle bitiyordu:

25 Georges Lemaître, *The Primeval Atom: An Essay on Cosmogony*, (İlk Atom: Kozmogoni Üzerine Bir Deneme) çev. H. Betty ve Serge A. Korff (New York: Van Nostrand, 1950).

Bence her varlığı ve her hareketi destekleyen bir yüce varlığa inanan herkes, Tanrı'nın esasen gizli olduğuna ve mevcut fiziğin, yaratılışını gizleyen bir perde sağladığını görmekten memnun olabileceğine de inanır.²⁶

Başka bir deyişle, Büyük Patlamanın, yaratıcı bir Tanrı için bir delil olarak alınmaması gerekir, çünkü o Tanrı gizlidir. Lemaître gibi, varlığının aşikâr olmaktan uzak olması gerçeğine rağmen Tanrı'ya inanmayı seçen birçoğunun, pek başvuracak yeri yoktur, ancak bizden gizlenmek için sebepleri olması gerektiğini varsaymak zorundadırlar. Bununla birlikte, bu “gizlilik argümanı”nın yanlış olduğu gösterildi.²⁷

Lemaître'in önermesi, büyük ölçüde spekülasyondur. Nicel bir model sunmadı. O zaman en fazla söylenebilecek şey; Hubble yasasının ($v = Hr$), tam olarak bir patlamadaki parçacıklar için bekleyeceğimiz şey olduğudur. Eğer patlamadan sonra birbiriyle çarpışmazlarsa, daha hızlı hareket eden, belirli bir zamanda daha ileride olacaktır ve r 'nin, v ile doğrusal orantılı olması gerekir. Elbette şekil 8.3'teki veri noktalarıyla yapılabilecek en iyi şey, onları düz bir çizgiye uydurmaktır. Verilerin çok daha kesin hale geldiği yeni bin yıldan yalnızca iki yıl öncesine kadar, yirminci yüzyılın büyük kısmı için işler bu şekilde oldu. Ancak biz buna daha sonra geleceğiz.

H 'nin bir sabit olduğu doğrusal modelde, bu durumda bunun karşıtı, evrenin yaşıdır. Beş yüz kilometre/saniye/milyon parsek'lik Hubble değeri, $T = 1/H =$ iki milyar yıla dönüştürülür. O zaman bu, en az üç milyar olduğu tahmin edilen, radyoaktif bozunumdan belirlenen Yeryüzünün yaşından daha azdı. Evrenin Yeryüzünden daha yaşlı olduğunu beklerdiniz.

Başka sorunlar da vardı. Hubble yasasından belirlendiği gibi, uzaklıklarına dayanarak yargıya vararak, bizimkinin dışındaki galaksilerin tamamı, Samanyolu'ndan daha küçüktür. Özellikle de, Andromeda, beklenenden daha küçük, yıldızları da daha

26 Jean-Pierre Luminet, “Editorial Note to: Georges Lemaître, The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory,” (Georges Lemaître, Kuantum Teorisinin Bakış Açısından Dünyanın Başlangıcı'na Editörden Not) *General Relativity and Gravitation (Genel Görelilik ve Kütleçekim)* 43 (2011): 2911–28.

27 J. L. Schellenberg, *Divine Hiddenness and Human Reason (İlahi Gizlilik ve İnsan Aklı)* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1993).

sönüktü. Bizim çok özel olduğumuz gene pek mümkün görünmüyordu. Yıllarca bunlar, Hubble yasasındaki başlıca kusurlardı.

5 m'lik Hale yansıtıcısının, California'daki Palomar Gözlemevi'nde faaliyete geçtiği 1948'e kadar, Hubble yasasındaki nicel sorun çözülmedi. Hale'i kullanarak, 1952'de Walter Baade, Sefelerin iki farklı türü olduğunu gösterdi.²⁸ Hubble Andromeda'ya olan uzaklığı ölçmede bir türü varsaymıştı, oysa Shapley, Samanyolu'ndaki küresel kümelere olan uzaklıkların ölçümleri için bir başka türü kullanmıştı. Dolayısıyla, Andromeda daha küçük değildi, yıldızları da bizim galaksimizdekilerden daha sönük değildi. Yalnızca Hubble'ın düşündüğünden daha uzaktaydı. H değeri yedi kat fazla büyüktü, bu nedenle de uzaklık tahminleri yedi kat fazla küçüktü.

Hubble sabitinin halihazırdaki en iyi değeri, yaklaşık yetmiş kilometre/saniye/milyon parsek'tir; bu da evrenin yaşı için, $T = 1/H =$ on dört milyar yılı verir. Bu tahmin, H 'nin bir sabit olduğu varsayımına dayanır. Daha sonra göreceğimiz gibi, bunun artık doğru olmadığı biliniyor ve 2014'deki bu yazı itibarıyla, evrenin yaşına dair en iyi tahmin, farklı yöntemler kullanan gözlemciler arasındaki, kesin sayı üzerindeki ufak ve istatistiksel olarak önemsiz (medyanın abartmasına rağmen) anlaşmazlıkla birlikte 13,8 milyar yıldır.

“BU NEDENLE, TANRI VARDIR!”

İfade ettiği dileklerine karşı, Lemaître'ın büyük patlaması, teologlar ve inanan bilim insanları tarafından ilahi bir yaratılışın bilimsel kanıtı olarak öne sürmek için kullanılmış, hâlâ da kullanılmaktadır. 22 Kasım 1951'de Papa XII. Pius, Papalık Bilimler Akademisi'nin önünde konuşup modern bilimlerle Kilise'nin aynı temel gerçeklerde birleştiğini ilan etti.²⁹

28 Walter Baade, “A Revision of the Extra-Galactic Distance Scale,” (Galaksi Dışı Uzaklık Ölçeğinin Bir İncelemesi) *Transactions of the International Astronomical Union* 8 (1952): 397–98.

29 Papa XII. Pius, “The Proofs for the Existence of God in the Light of Modern Natural Science,” (Modern Doğa Biliminin Işığında Tanrının Varlığının Kanıtları) Papa XII. Pius'un Papalık Bilimler Akademisi'ne hitabı, 22 Kasım 1951, “Modern Science and the Existence of God,” (Modern Bilim ve Tanrının Varlığı) olarak yeniden basıldı, *Catholic Mind* 49 (1972): 182–92.

Takip eden on yıllar içinde din savunucuları tarafından geliştirilecek olan bir fikri ortaya koyan papa şöyle dedi: “Gelişiminin ölçüsüne göre ve geçmişteki gelişmiş olumlamaların aksine, gerçek bilim Tanrı’yı giderek artan derecede keşfeder; Tanrı, bilim tarafından açılan her kapının ardında bekliyormuşçasına.” Papa, bilimin tüm beklentilerin ötesinde, olağanüstü derecede içyüzünü araştırdığı, doğruladığı ve derinleştirdiği, kozmosun iki temel özelliğini tanımladı; 1) Başlangıçları ve sonları dahil olmak üzere, şeylerin değişkenliği ve 2) Kozmosun her köşesinde kendini gösteren teleolojik (amaçsal) düzen.

XII. Pius, değişkenlik örnekleri verdi, yani maddedeki faz değişimleri ve kimyasal değişimler, atomların ısınım salımı ve çekirdeğin radyoaktivitesi gibi, hem mikrokozma (küçük evren) hem de makrokozmadaki (evren) değişimdir.

Kozmosla ilgili olarak papa şöyle der: “Enerji kaynaklarının tarifsiz derecede engin bolluğuyla olduğu gibi, önce hızla, ardından da artan yavaşlıkla, mevcut durumuna evrilmesi sayesinde olması şartıyla; her şey, maddesel evrenin sınırlı zamanlarda muazzam bir başlangıca sahip olduğuna işaret eder görünüyor.”

Papa şöyle bitirir:

[Modern bilim] kozmik gelişmelerin yönünü ve izlediği yolu takip etti ve tam da bu gelişmelerin dosdoğru götürmekte olduğu dönemi bir an için görebildiği gibi, böylece yaklaşık beş milyar yıl önceki zamandaki başlangıçlarına da işaret etmiştir. [Not: Bu, o zamanda makul bir tahmindir.] Böylelikle, fiziki kanıtların özelliği olan bu somutluk sayesinde, kozmosun Yaratıcı’nın elinde ortaya çıktığı döneme ilişkin, evrenin olumsuzluğunu ve sağlam bir nedene dayanan tündengeli doğrulamıştır.

O zamandan beri on yıllardır sıklıkla alıntılanmakta olan satırlarda şöyle der:

Dolayısıyla yaratılış zaman içinde meydana geldi. Bu nedenle, bir Yaratıcı vardır. Bu nedenle, Tanrı vardır.

İlginçtir ki, konuşmasının hiçbir yerinde papa, spesifik Katolik doktrinlerine ya da Kitab-ı Mukaddes’e atıfta bulunmaz. “Yaklaşık beş milyar yıl önceki zamanın başlangıcı”na işaret eden “kozmik

<http://www.papalencyclicals.net/Pius12/P12EXIST.HTM>’de mevcut (27 Ocak 2013’te erişim yapıldı). Bu bölümdeki papadan alıntıların hepsi bu belgedendir.

gelişmeler”den bahsederken, Genesis’in yaklaşık on bin yıl gibi çok daha yakın bir yaratılışı ifade ettiğinden bahsetmez. Genesis’te şüphe götürmez bir şekilde var olan, türlerin değişmezliği doktrininden de bahsetmez.

Elbette bu, papa olmanın avantajıdır. Katolik Kilisesi’nin resmî doktrinlerini belirleyen odur, Kitab-ı Mukaddes değil. Zavallı Protestanlar. İsa’ya uzanan aynı sürekli yetki çizgisi onlar için geçerli değildir ve binlerce yıllık kusurlu olduğu apaçık mitler kitabına güvenmek zorundalar.

Yine de, 1951’de Büyük Patlama için hâlâ ikna edici kanıt bulunmuyordu, yani hiçbir şeyin kanıtı değildi. Kragh’ın işaret ettiği gibi, “Papa kozmoloji sunumunu yaptığı sırada, söz konusu alan, uyumlu anlaşmayla nitelendirilmeyordu, tam tersine şiddetli bir anlaşmazlıkla nitelendiriliyordu.” Papanın mesajı aslında oldukça yanıltıcıydı, meslekten olmayan insanlar arasında, “Kitab-ı Mukaddes’e ait Genesis’in, Büyük Patlama kozmolojisi tarafından kelimenin tam anlamıyla kanıtlanmış” olduğu izlenimini bırakıyordu. Lemaître, durumun böyle olmadığını biliyordu ve papaya sonraki konuşmalarda görüşlerini kısmen yumuşattırmayı başardı.³⁰

YORGUN IŞIK

Eğer Hubble genişleyen evreni bütünüyle kabul etmediyse, ötekilerinin de etmediğinden emin olabilirsiniz. Onlar sonuçta, bilim insanları olarak sadece işlerini yapıyorlardı: Bir teoriyi destekleyen veriler, tamamen ikna edici olana kadar her şeyi sorgula. Böylece kozmologlar, galaksilerin tayflarındaki kızıla kaymaların inkâr edilemez deneysel gerçeği için başka açıklamalar aradılar. Eğer kızıla kaymalar, gerileyen hızların Doppler etkisi değilse, o halde neydiler?

Makul bir açıklama, astronomi tarihindeki daha ilginç karakterlerden biri olan Caltech (California Teknoloji Enstitüsü) astronomu Fritz Zwicky tarafından öne sürüldü. Zwicky 1898’de babasının İsviçre büyükelçisi olduğu Bulgaristan, Varna’da dünyaya geldi. 1925’te Caltech fakültesine girip, hayatının büyük bölümünde Palomar ve Wilson Dağı Gözlemevleri’nde çalıştı.

30 Kragh, *Conceptions of Cosmos*, (Kozmos Kavramları) sf. 150–51.

Zwicky, galaksilerin kümeler halinde meydana geldiği gibi, zamanının ilerisinde birçok fikre sahipti.

1929'da Zwicky, kızıla kaymalara *yorgun ışığın* sebep olduğunu ileri sürdü; uzun mesafelerden gelen fotonlar, yol boyunca belki öteki fotonlarla da olmak üzere, maddeyle etkileşime girerek enerji kaybeder kısaca. Fotonlar enerji kaybettikçe, karşılık gelen dalga boyları, kızıla doğru artacaktır.

Bu fikir çeşitli biçimlerde onyıllar boyunca var olmaya devam ettiyse de sonunda Amerikalı teorik fizikçi Richard Tolman tarafından ortaya konulan yüzey-parlaklık testiyle çürütüldü. Durağan bir evrende, bir yıldızdan ya da galaksiden gelen ışığın yoğunluğu $1/r^2$ oranında düşecektir; burada r galaksiye olan uzaklıktır, görünür alan da aynı şekilde düşer; böylece birim alan başına gözlemlenen parlaklık, sabit olacaktır. Genişleyen bir evrende, parlaklık uzaklıkla iki sebepten daha hızlı düşer. Birincisi, fotonları yayınlayan nesne uzaklaşmakta olduğundan, her bir foton bir öncekinden daha uzun bir mesafe almak zorundadır, bu da daha düşük hıza ve azalan yoğunluğa neden olur. İkincisi, nesne gerçekte olduğundan daha büyük görünür, çünkü gözlemlediğimiz ışık, daha yakın olduğunda yayınlanmıştır. Yüzey parlaklığının en iyi ölçümleri, genişlemekte olan bir evreni destekleyip yorgun ışık hipotezini elemiştir.

DEĞİŞKEN SABİTLER

Gözlemlenen kızıla kaymalar için yapılan bir başka öneri, ışığın hızının zamanla düşüyor olmasıydı. Eddington, bunun, c 'nin sabit olduğunu varsayan özel görelilikle çeliştiğine dikkat çekti. 6. Bölümde gördüğümüz gibi, vakum içerisindeki ışığın hızının bir sabit olduğu varsayımı, artık fiziğin ayrılmaz parçası haline gelmiştir. Ancak her zamanki gibi, devamızı teoriden çok veriye dayandırmalıyız. Özel görelilik, yüzyıldan fazladır yapılan binlerce deneyle tutarlı olduğundan, veriler aksini yapmamızı söyleyene dek, onun temeli üzerinde rahatça oturabiliriz.

1938'de Paul Dirac, Newton'ın kütleçekim sabitinin (G) zamanla değiştiği bir model ileri sürdü.³¹ Bu, genel göreliliğin varsayımlarıyla çelişip, sadece yedi yüz milyon yaşında bir evre-

31 Paul Dirac, "A New Basis for Cosmology," (Kozmoloji için Yeni Bir Temel) *Proceedings of the Royal Society A* 165 (1938): 199–208.

ne yol açtı. Bunu fark ettiğinde, Dirac fikri terk etti. Bugün G ile c 'nin, sayısal değerleri yalnızca çalıştığımız birimleri belirleyen, keyfi sabitler olduklarını biliyoruz.³²

MILNE'NİN KOZMOLOJİSİ

1930'larda Winnie-the-Pooh'nun yaratıcısı A. A. Milne'nin kardeşi Edward Arthur Milne, genel göreliliğe dayanmayan kendisine ait bir kozmoloji ileri sürdü.³³ Uzayın kavisli olduğunu ya da genişlediğini reddetti. Aslında, uzay fiziksel bir şey değil, sadece bir referans sistemi idi.³⁴

2006'daki kitabım *The Comprehensible Cosmos*'da (Anlaşılabilir Kozmos), sadece bir saatle gözlemler yapabileceğimiz Milne'nin anahatlarıyla çizdiği yöntemi betimledim.³⁵ Milne'nin, bireysel kişiliklerimizin ötesindeki dünyada ne olduğunu gerçekten ortaya çıkarmamızın ve bunu uzay zaman modeli bakımından betimlememizin yoluna dair, kesin ve tarafsız bir uygulama ortaya koyduğunu düşündüm. Gözlemciler olarak tek yaptığımız, sinyal gönderip almak. Milne'i takip ederek, sadece bir saat, darbeli ışık kaynağı ve bir dedektörle, dünyanın bir resmini nasıl oluşturabileceğimizi gösterdim. Yalnızca, radar yankılarına benzer sinyaller gönderip cevaplar alıyoruz. Uzaklıkları ölçmek için cetvel ya da başka aletler kullanmadan, sadece

- 32 Bkz. Victor J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe Is Not Designed for Us'daki (İnce Ayar Safsatası: Evren Niçin Bizim İçin Tasarlanmamış) tartışma* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2011), sf. 59–62.
- 33 Edward Arthur Milne, *Relativity, Gravitation and World-Structure (Görelilik, Kütleçekim ve Dünya-Yapısı)* (Oxford: Clarendon, 1935); Edward Arthur Milne, *Kinematic Relativity: A Sequel to Relativity, Gravitation and World Structure (Kinematik Görelilik: Görelilik, Kütleçekim ve Dünya Yapısı'nın Devamı)* (Oxford: Clarendon, 1948).
- 34 Milne'nin bilim, felsefe ve teolojisi ile bilim, felsefe ve teoloji camiasının cevabı konusunda ayrıntılı bir tartışma için bkz. Helge Kragh, *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology (Evrendeki Madde ve Ruh: Modern Kozmolojiye Bilimsel ve Dini Girişler)* (Londra: Imperial College Press, 2004), sf. 200–29.
- 35 Victor J. Stenger, *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From? (Anlaşılabilir Kozmos: Fizik Yasaları Nereden Geliyor?)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2006), sf. 39–45.

zamanları ölçerek, dış dünyanın bir modelini formüle edebileceğimiz “uzaklık” adını verdiğimiz bir nicelik belirleyebiliriz. Bu düzende, ışığın hızı genel kabulle sabittir, bu yüzden de özel görelilik hemen ortaya çıkar.

Milne’nin model evreni, bir gazdaki moleküller gibi, rastgele hareket eden parçacıklardan meydana gelmişti. Ayrıca evrenin bütün gözlemcilere aynı görünmesi gerektiğine dair makul varsayımı yaptı. Bu *kozmolojik ilkenin* izi, on beşinci yüzyıldaki Cusali Nicolas’a kadar sürülebilir (bkz. 2. Bölüm).³⁶

Bu modelden Milne, Hubble yasasını ($v = Hr$), dolayısıyla da genel görelilik olmaksızın evrenin genişlemesini elde edebildi. Ancak, başka pek bir şey elde etmedi. Newton’ın kütleçekim sabitinin (G) zamanla artacağını ama bunun saptanamayacak kadar yavaş olacağını tahmin etti. Aslında, bu zaman değişimini deneysel testlere tabi olarak görmedi, çünkü saatlerle ölçülmeyen, icat ettiği başka bir tür zamanı, *kinematik zamanı* içeriyordu.

Oldukça alışılmadık olmasına rağmen, Milne’nin kozmolojisi, 1930’larda büyük ilgi çekti. Özellikle Hubble, taraftarıydı ve *The Realm of the Nebulae*’nin (Nebulaların Alanı) sonuna doğru teoriden birkaç sayfa boyunca bahseder.³⁷

Ancak Milne, kozmoloji ile oldukça (ayrıca) alışılmadık teolojisi karışımıyla, çok sayıda insanı usandırmıştır. 1935’teki kitabında, kozmolojinin nihai sorularının Tanrı’ya başvurmayı gerektirdiğini söyler. Konuşmalarında ve diğer yazılarında Tanrı’dan sıkça bahsetmiştir. Dini, biliminin dışında bırakmaya dikkat eden Lemaître’ın aksine, Milne teolojik ve metafiziksel argümanların, bilimde özellikle de evrenin yaratılışı konusunda bir rol oynadığına inanmıştır.³⁸ Şöyle yazmıştır: “Evrenin *var olma sebebi* Tanrı’yı dışarıda bırakan araştırmacılar, kozmolojik sorularla uğraşırken kendilerini ağlanacak halde yetersiz bulurlar.”³⁹

36 Kragh, *Matter and Spirit in the Universe (Evrendeki Madde ve Ruh)*, sf. 169–72.

37 Hubble, *Realm of the Nebulae (Nebulaların Alanı)*, sf. 199.

38 Kragh, *Matter and Spirit in the Universe (Evrendeki Madde ve Ruh)*, sf. 212–19.

39 Edward Arthur Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God (Modern Kozmoloji ve Hristiyanlıkta Tanrı Fikri)* (Oxford: Clarendon, 1952), sf. 62.

Deneyssel bilim camiasının bakış açısından, Milne'in teolojisinden daha da fenası, aşırı akılcılığıydı. Milne, mantık ve akıllı, gözlem ve deneyin üzerine yerleştirmişti. Şöyle yazmıştı:

Sıradan fizikteki salt gözlemin ve deneyin göklere çıkarılan etkisi ve hâkimiyetine rağmen, filozofun şu gerçekten dolayı içi rahat olabilir; dünya-fiziği, tarafsız, metafiziksel olmayan bir karakterin sorularını ortaya koyar, ki bu sorular gözlemle cevaplanamaz ancak hiç değilse salt akılla cevaplandırılmalıdır; doğal felsefe, akla yatkın gözlemlerin bütününden daha büyük bir şeydir.⁴⁰

Milne'in teorisi, akıl, mantık ve matematiğe (ve onun durumunda olduğu gibi, vahye) çok fazla vurgu yapan, verilere ise yeterince yapmayan çoğu teorinin akıbetine uğradı: Çürütülebilir bir deneyssel testi sağlayamadı. Bilimde çürütülebilir olmayan bir teori, tarihtir (ya da öyle olması gerekir) ve böylece Milne'in kozmolojisi, submikroskobik fizikteki gelişmelerin öne çıkmasının yardımıyla, genel görelilik kozmolojisi ve Büyük Patlama gibi en sonunda yok sayıldı. Ancak şimdi göreceğimiz gibi, bu bir gecede olmadı.

KAYIP KÜTLE

1930'lar, evrenin bir başka beklenmeyen ve son derecede önemli özelliğinin ne olacağına dair ilk ipuçlarını da verdi. 1932'de, Hollandalı astronom Jan Oort, yıldızlar ve galaksideki toz gibi parlak nesnelerin kütlelerinin, yıldızların gözlemlenen yörüngesel hareketlerini açıklamak için yetersiz olduğunu keşfetti. Ertesi yıl, Zwicky, galaksi kümeleri içerisindeki galaksilerin yörüngesel hızında aynı etkiyi fark etti. Ölçümlerinden ve Newton'ın yasalarını uygulayarak, Saç kümesinin kütlesinin, parlak kütlesinin dört yüz katı olduğunu hesapladı. Bu görünmez, çöken maddeyi *duncle materie* –kara madde– olarak adlandırdı.⁴¹

1939'da, Amerikalı astronom Horace Babcock, Andromeda galaksisinin *dönme eğrisini* ölçtü; ki bu, yıldızların galaksinin merkezine olan uzaklığına karşı yıldızların hızının bir grafiğidir.

40 Milne, *Relativity, Gravitation and World-Structure*, (Görelilik, Kütleçekim ve Dünya-Yapısı) sf. 266.

41 Kara maddenin tarihine dair meslekten olmayan birinin araştırması için, bkz. Jeremiah P. Ostriker ve Simon Mitton, *Heart of Darkness: Unraveling the Mysteries of the Invisible Universe* (Karanlığın Kalbi: Görünmez Evrenin Gizemlerini Çözme) (Princeton, NJ; Oxford: Princeton University Press, 2013).

Newton'ın kütleçekim yasasına dayanarak, güneş sistemindeki gezegenler için olduğu gibi, bu hızın uzaklıkla düşmesi gerekir. Ancak, 1960'lar ve 1970'lerdeki sonraki ölçümlerin doğruladığı gibi, galaksinin ana parlak kısmını hayli geçmiş dönme eğrisi düz kalır; bu da, yıldızların, görünmez maddenin aşağı yukarı düzgün olan dağılımı boyunca hareket etmekte olduklarını göstermektedir.

Optik teleskoplarla gördüğümüz tüm parlak madde sadece %0,5'i meydana getirirken, kara maddenin, evrenin kütlelerinin %26'sını oluşturduğunu artık biliyoruz. Ayrıca bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi, kara maddenin büyük kısmı, tanıdık atomik maddenin yanı sıra, hâlâ tanımlanmamış bir şeyden meydana gelmektedir.

RADYO ASTRONOMİ

1930'lar ayrıca, evrende yeni bir pencerenin açılışını gördü. 1933'te Bell Telefon Laboratuvarları mühendisi Karl Jansky, Yeryüzü ötesinden radyo dalgaları tespit etti.⁴² Bu, görünür bölgeden uzaktaki bir tayfsal alandaki evreni keşfeden ve kozmolojide önemli bir rol oynayan yeni bir alana, radyo astronomiye yol açacaktı.

42 Açıklayıcı bir girişle yeniden basılan Karl G. Jansky, "Electrical Disturbances of Extraterrestrial Origin," (Dünya Dışı Kökenin Elektriksel Bozulmaları) *Proceedings of the IEEE* 86, no.7 (1988): 1510–15.

IX - ÇEKİRDEK KOZMOLOJİSİ

DAHA FAZLA AYRINTI TAMAMLAMA

Kozmolojinin yirminci yüzyılın ortalarındaki durumunu inceleyelim. 1930'ların başlarına gelindiğinde, birbirlerinden yüksek hızlarla uzaklaşan yıldızlardan oluşan galaksilerden meydana gelen uçsuz bucaksız ve genişleyen bir evrende yaşadığımızı dair büyük keşif tamamen doğrulanmıştı ve astronomlar daha fazla ayrıntı tamamlamakla meşguldüler. 1908'de faaliyete geçmiş olan Wilson Dağı'ndaki 2,54 m'lik yansıtıcı, dünyadaki en güçlü teleskop olarak kaldı. Sonunda yerini Palomar Gözlemevi'ndeki 5 m'lik yansıtıcının aldığı 1948'e kadar, yani kırk yıl boyunca bu konumunu korudu. Elbette, mevcut teleskoplar sadece bunlar değildi; başka birçoğu, onları belirli türde gözlemler için çok faydalı kılan özel tasarımlara sahipti.

Bu aletlerle, astronomlar gökleri taramaya ve galaksileri kataloglamaya başladılar; birçok şaşırtıcı ve dramatik sonucu olan, yıllarca devam edecek bir süreçti bu. En üretken katalogculardan biri, kendine özgü bir astrofizikçi olan Fritz Zwicky'di. Zwicky, galaksilerin kızıla kayması için başarısız yorgun ışık mekanizmasını ileri sürmesiyle ve galaksilerin kayıp kütlelerini gözlemlemeyle zaten önceden tanınıyordu. Ayrıca, yüksek enerjili kozmik ışınların, güneş sisteminin dışından geldiği ve bunların, süper kütleli yıldızların patlamalarından kaynaklandığı varsayımında da bulundu. Bunlara *süpernova*lar adını verdi. Zwicky süpernova-ları aramak için, 1930'da Alman optik mühendisi Bernard Schmidt tarafından icat edilen Palomar 45,72 cm'lik Schmidt teleskobunu kullandı. Schmidt, geniş gökyüzü parçalarını doğru olarak tarayabiliyordu. Teleskobun 1936'da faaliyete geçmesinin ardından, Zwicky bir düzine süpernova keşfetti.¹

1 Jeremiah P. Ostriker ve Simon Mitton, *Heart of Darkness: Unraveling the*

1948’de 1,22 m’lik daha büyük Schmidt teleskobu National Geographic Palomar Gökyüzü Araştırması için kullanıldı. Teleskop, 8. Bölümde bahsedilen, galaksilerin kümeler halinde toplandıklarına dair Zwicky’nin önermesini olağanüstü bir şekilde doğruladı. 1958’de UCLA astronomi profesörü George Abell, kuzey göğündeki 2712 kümeden oluşan bir katalog oluşturdu ve 1989’a kadar, bütün göğün her tarafındaki 4073 zengin kümeyi kataloglamıştı. 1970’lere gelindiğinde, astronomlar, kümelerin kendilerinin, delikleri, iplikçikleri ve duvarlarıyla kendi “sünger-si” yapılarını oluşturduklarını görmeye başladılar.

SICAK, YOĞUN BİR GEÇMİŞ

Bu sırada, kozmolojik fiziğin odağı, genel görelilikten çekirdek fiziğine kaymıştı. Eğer evren genişliyoorsa, çekirdek tepkimelerinin önemli rol oynadığı geçmişteki çok küçük, sıcak ve yoğun bir bölgeden doğmuş olması gerektiği fark edilmeye başladı. Georges Lemaître, bunu anlamış olan ilk kişi olabilir. Bununla birlikte, ilksel süper çekirdeğin radyoaktif olarak bozunarak bugün sahip olduğumuz evreni meydana getirmesine dair önermesi salt spekülasyon olup deneysel ya da teorik hiçbir temeli bulunmamaktaydı.

Sonuç olarak, o zaman birkaç kişi düşünceyi ciddiye aldı. Lemaître’ın sağladığı şey, genişleyen bir evren için genel göreliliğe kozmolojik bir çözümdü. Bu, Friedmann denklemlerinin içinde zaten saklı olduğundan, artık *Friedmann-Lemaître çözümü* olarak adlandırılmaktadır. Modelin kendisi, Eddington daha da geliştirdiği için, *Lemaître-Eddington modeli* olarak tanındı.

Her şekilde, Lemaître belirli bir başlangıcı olan sınırlı bir evren resmetti. Bu, bir yaratıcıya olan dini inancı tarafından ona aşılannmış olabilirken, daha önce bahsedildiği gibi, argümanlarını hiçbir zaman teoloji üzerine dayandırmamış ve gerçekten de böyle bir yoruma karşı çıkmıştır.

Öte yandan, Eddington’ın evrenin bir başlangıcı olması fikrini “itici” bulduğunu 7. Bölümde görmüştük. Onun evreni

Mysteries of the Invisible Universe (Karanlığın Kalbi: Görünmez Evrenin Gizemlerini Çözme) (Princeton, NJ; Oxford: Princeton University Press, 2013), sf. 147–48.

genişliyordu ancak sonsuzdu ve zamanın çoğu fizikçisi, aynı fikirde olma eğilimindeydi. Gözlem yapan astronomlara gelince, onlar teleskoplarına sadık kalmışlardı.

Lemaître, modelini geliştirmeye devam etti, onu test edilebilir hale getirme gereksiniminin farkındaydı. Fark etti ki; eğer evren bir zamanlar sıcak, yoğun ve radyoaktifse, bugün belki gözle-
nebilir olan bir ışıınım kalıntısını geride bırakmış olmalıydı. Ancak bu ışıının elektromanyetik, yani fotonlar olduğunu düşünmedi, onun yerine, yüklü parçacıklardan meydana gelmiş olacağını düşündü. Bir kez daha çoğu fizikçi ikna olmamıştı, gerçi Einstein hafif bir ilgi göstermişti. Ancak kanıt yoktu işte.²

Ayrıca sınırlı evren hipotezi için önemli bir sorun, verilerin işaret ettiği zaman ölçeğinde yatmaktadır. Hubble yasasının, evrenin yaşının Hubble sabitinin tersine eşit olduğunu ifade ettiğini hatırlayın. Bu değer iki milyar yılın altında çıkmaktaydı, ki bu jeolojiden ve çekirdek fiziğinden gelen Yeryüzünün yaşı tahminlerinden azdı. Aslında, Hubble'ın kendisinin genişleyen evreni sorguladığını duy-
mak şaşırtabilir; bu, sonunda ona büyük ün getirecekti. Şöyle yaz-
mıştı, “Genişlemenin hiçbir etkisi –hiçbir gerileme faktörü– tespit edilemiyor. Mevcut veriler, hızla genişleyen bir evrenden çok, hâlâ durağan bir evren modelinin lehinde.”³

Ancak evrenin yaşının $T = 1/H$ olduğu varsayımı, sıfır kozmo-
lojik sabite dayanmaktadır. Lemaître'ın modeli, kozmolojik bir
sabit içeriyor ve çok daha yaşlı bir evrene olanak sağlıyordu. Maalesef Einstein, kozmolojik sabiti reddetmişti ve onunla yap-
acağı başka hiçbir şey olamazdı.⁴

Bu noktaya kadar, 1930'ların sonlarında, teorik kozmolojiye
dahil edilen tek fizik, genel görelilikti. Lemaître'ın ilk atomu,
nicel bir model geliştirmek için bazı deneysel girişimlerle birlikte,
esas olarak spekülasyondur. Ancak öte yandan, 1938-1939'da

2 Helge Kragh, *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology* (Mitlerden Hızlanan Evrene Kozmos Kavramları: Kozmolojinin Tarihi) (Oxford; New York: Oxford University Press, 2007), sf. 155–57.

3 Edwin Hubble, “Problems of Nebular Research,” (Nebular Araştırma Problemleri) *Scientific Monthly* 51 (1940): 391–408.

4 Kragh, *Conceptions of Cosmos* (Kozmos Kavramları), sf. 160.

Alman fizikçiler Hans Bethe (Amerika’da çalışıyordu) ile Carl Friedrich von Weizäcker’ın, birbirlerinden bağımsız olarak, yıldızların enerjisinden çekirdek birleşmesi (nükleer füzyon) mekanizmalarının sorumlu olduğunu ileri sürmeleriyle, büyük bir ilerleme kaydedilmiş oldu. Bethe’nin yöntemi özellikle basitti. Sadece temel parçacıkları; proton, nötron, elektron, foton ve (bugün bildiğimiz gibi) nötrinoları içeren iki cisimli bir çarpışmalar dizisiyle, helyum oluşturmak üzere dört proton birleşir. Weizäcker’ın mekanizması daha karmaşıktı; karbon, oksijen ve nitrojen izotoplarını içermekteydi.⁵

Weizäcker ayrıca, teorisinin elementlerin oluşumunu açıklayabileceğini iddia etti.⁶ Ancak modeli, elementlerin kozmik bolluklarını tam olarak açıklamada başarısız oldu.⁷ Yine de nükleer fizikçilerin, kozmolojik araştırmalarda yer almaya başlamaları için yeterince merakları uyanmıştı.

YLEM

Büyük Patlama modelinin geçerliliğinin tesis edilmesi yönünde büyük bir adım, Birleşik Devletler’e göç eden Rus-Ukraynalı fizikçi George Gamow tarafından atıldı.⁸ 1924’de Alexander Friedmann, “Görelilik Teorisinin Matematiksel Temelleri” başlıklı bir dizi konferans verdiğinde, Gamow sınıftaydı. Gamow, Friedmann’a bağlı olarak öğrenim görmek istedi, ancak Friedmann ne yazık ki yalnızca bir yıl sonra genç yaşta hayata veda etti.

- 5 Güzel bir açıklama için, bkz. John N. Bahcall’ın Nobel Ödülü konuşması, “How the Sun Shines,” (Güneş Nasıl Parlar) http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/articles/fusion/ (24 Şubat 2013’te erişim yapıldı).
- 6 Carl Friedrich von Weizäcker, “Element Transformation inside Stars,” (Yıldızların içindeki Element Dönüşümü) *Physicalische Zeitschrift* 39 (1938): 633–46, çeviren: Richard H. Milburn, Kenneth R. Lang ve Owen Gingerich, *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900–1975 (Astronomi ve Astrofizik Kaynak Kitabı, 1900-1975)* içinde (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1979), sf. 309–18.
- 7 Kragh, *Conceptions of Cosmos (Kozmos Kavramları)*, sf. 162–63.
- 8 Gamow’un güzel, kısa bir biyografisi için: Alexander Vilenkin, *Many Worlds in One: The Search for Other Universes (Birçok Dünya Bir arada: Öteki Evrenleri Aramak)* (New York: Hill and Wang, 2006), sf. 29–31.

Gamow, atom çekirdeği üzerine bir tezle Göttingen’de kuantum teorisinde doktora yaptıktan sonra, Kopenhag’da Niels Bohr’la, Cambridge’de Ernest Rutherford’la çalıştı ve 1931’de yirmi sekiz yaşında SSCB Bilimler Akademisi üyesi oldu. Çekirdek fiziğindeki birçok başarısının arasında, çekirdeksel alfa bozunumunun (helyum çekirdeklerinin yayınımlı, helyum çekirdekleri *alfa parçacıkları* olarak da adlandırılır) *kuantum tünellemeden* kaynaklandığının anlaşılabilceğinin nicel olarak gösterilmesi de bulunmaktadır. Bu süreç, yıldızlardaki füzyon tepkimelelerinde de önemli rol oynar. Bu eşsiz kuantum mekanik sürecinin, kozmolojide evrenimizin meydana gelmiş olabileceği mekanizma olarak nasıl kabul edildiğini daha sonra göreceğiz.

1934’de Gamow, Birleşik Devletler’e taşınıp, Washington DC’de, Washington Üniversitesi’nde Edward Teller’la çalıştı. II. Dünya Savaşı sırasında Teller, Manhattan Projesi’nde çalışmak üzere işten ayrıldı. Ancak Gamow’un nükleer bomba üzerinde çalışmasına izin verilmemişti, çünkü Sovyet askerî akademisinde ders verebilmesi için Kızıl Ordu’da subay yapılmıştı. Washington’da kalıp, ABD Donanması için danışmanlık yaptı. Savaşın sonra, Gamow’a Los Alamos’taki nükleer araştırma için izin verildi.⁹

Çekirdek fiziği üzerinde çalışmaya devam etmesinin yanı sıra, astrofiziğe merak sarmasıyla birlikte Gamow, *One, Two, Three... Infinity* (Bir, İki, Üç... Sonsuzluk), *The Birth and Death of the Sun* (Güneşin Doğumu ve Ölümü), *Mr. Tompkins in Wonderland* (Bay Tompkins Harikalar Diyarında) (altı kitaplık bir dizi) ve diğer birçokları gibi, çok satan ve popüler kitapların yazarı olarak ün kazandı. Gençken onları bir solukta okumuştum ve hiç kuşkusuz, fizikçi olmama katkıda bulundular. Bu, Gamow’un dehasının bir başka göstergesiydi yalnızca; üniversiteye kadar İngilizce bile konuşmuyordu.

1948’de Gamow, Ralph Alpher ve Hans Bethe, *Physical Review*’da (Fiziksel İnceleme) “Kimyasal Elementlerin Kökeni” başlıklı kısa bir mektup yayınlarak, kimyasal elementlerin periyodik tablosunu oluşturan atomların çekirdeklerinin ilk evrende üretildiği düşüncesini canlandırdılar.¹⁰ Makale “Alpher, Bethe ve

9 Ralph Alpher ve Robert Herman, *Genesis of the Big Bang (Büyük Patlamanın Doğuşu)* (New York: Oxford University Press, 2001), sf. 71.

10 Ralph A. Alpher, Hans Bethe ve George Gamow, “The Origin of the Chemi-

Gamow” olarak adlandırılabilirdi diye Bethe’nin ismi eklenmişti. Asıl yazar olmamakla birlikte, Bethe değerli katkılarda bulundu. Makalede Lemaître ya da Weizäcker’den bahsedilmez.

Alpher, Bethe ve Gamow, başlangıçta, yüksek yoğunluk ve sıcaklıktaki nötronlardan meydana gelen ilksel maddeden oluşan yoğun bir çekirdeğin var olduğunu ileri sürdüler; daha sonra bu maddeye “ylem” adını vereceklerdi. Bazı nötronlar beta bozunumuyla protonlara bozunup, bir elektron ile (artık biliyoruz ki) bir karışık elektron nötrino yayınlamaya, bu parçacıklardan oluşan bir banyo bıraktılar geriye.

Ardından, fotonların yayınlanarak karışıma eklendiği *ışınal kapma* olarak bilinen bir süreçle protonlar ve nötronlar yeniden birleşirken, elementler meydana geldi. Bu şekilde, bir proton ile bir nötron, döteron (iki nötronlu bir hidrojen çekirdeği) oluşturmak için birleşir. Bir başka nötron eklediğinizde, triton (üç nötronlu bir hidrojen çekirdeği) elde edersiniz. Bir triton ile bir proton ya da iki döteron, helyum oluşturmak için birleşebilir, bu sırada büyük miktarda enerji salımı olur.

Bu arada, kontrollü çekirdek birleşmesi (nükleer füzyon) denemelerinde, yıldızların çekirdeklerinde meydana gelen tepkimelerden daha düşük sıcaklıklar gerektiren bu tepkimeler kullanılır. Buna rağmen, bu sıcaklık hâlâ inanılmaz derecede yüksektir, 100 milyon derece civarındadır ve yarın asrın üzerindeki çabaya rağmen, bu enerji kaynağı gerçekleştirilmekten hâlâ çok uzaktır.

Gamow ile ortakları, evrenin başındaki bir dizi çekirdek tepkimesiyle bütün periyodik tabloyu oluşturmayı tasarladılar. Ancak, yoğun çabalarına rağmen, sürecin devam etmeyeceği anlaşıldı. Helyuma bir nötron ya da bir proton eklemek, beş nükleonlu kararlı bir çekirdek meydana getirmeyi. İki helyum çekirdeğini birleştirmek de sekiz nükleonlu kararlı bir durum oluşturmaz.

Göreceğimiz gibi, daha sonra Fred Hoyle ile ortakları, ilk Arthur Eddington tarafından ileri sürülen ve Bethe’nin de araştırdığı bir süreç olan *yıldız nükleosentezi* denilen şeyle, nasıl daha ağır çekirdeklerin yıldızların içerisinde oluştuğunu göstermeyi başardılar. Gamow’un *ilksel nükleosentezi*, elementlerin tam peri-

cal Elements,” (Kimyasal Elementlerin Kökeni) *Physical Review* 73, no. 7 (1948): 803–804.

yodik tablosunu açıklamayı başaramayınca, Büyük Patlama bir kez daha gözden düştü.

Ancak Ralph Herman'ın da katkıda bulunduğu Alpher-Bethe-Gamow modeli, 1949'da Alpher ve Herman tarafından yayınlanan önemli bir makalede fark edilen bir başka çıkarıma sahipti. Hubble parametresince (H) verilen ilgili tepkime hızları, evrenin genişleme hızına oranla yeterince hızlıdır, böylece etkileşen parçacıkların plazmasında yavaşça düşen sıcaklığa sahip bir tür yarı-ısı dengesi oluşur. Alpher ile Herman, “nötron kapım süreci önemli hale geldiğinde” sıcaklığın 600 milyon derece civarında olacağını tahmin ettiler.¹¹ O sırada karışıma eklenen fotonlardı. Kozmolojik genişleme teorisini uygulayarak, bugün bu sıcaklığın “5 K civarı”na, yani 5 Kelvin'e ($-268,15^{\circ}\text{C}$) soğumuş olacağını tahmin ettiler.¹²

Pek de açık olmamalarıyla birlikte, Alpher ile Herman, dünyayı sarsan tahmini yapmışlardı; evren ısı ışınımında, yani mikrodalga bölgesinde olan 5 K'daki bir kara cismin tayfını takibeden ışınımında yikanıyor olmalıydı. Bu, madde genişlemediği halde evren genişlediğinden ısı dengede kalmış olan fotonlar için geçerlidir sadece. 5 K'lık bir kara cisim tayfı, yaklaşık bir metrelik bir dalga boyunda tepe yapar. Kıyaslama yaparsak, güneşin optik tayfı (5000 K), metrenin 550 milyarda birinde tepe yapar.

Bu tahmin fizikçiler ve astronomlar arasında herhangi bir ilgi uyandırmadı, muhtemelen sebebi, periyodik tablonun ilk birkaç elementinin ötesine geçemeyen Büyük Patlama nükleosentezi mekanizmasına bağlı olmasıydı.

Ayrıca yaş paradoksu vardı hâlâ. Bu yüzden bir kez daha Büyük Patlama unutuldu. Papa XII. Pius'un hevesine rağmen, 1953'ten sonra on yıllık bir dönem boyunca, Büyük Patlama üzerine yalnızca bir makale yayımlandı.¹³ Onun yerinde, belki de öne sürenlerin itibarından dolayı, hakettiğinden çok daha fazla ilgi çeken sonsuz, değişmeyen bir evren modeli vardı.

11 Unutmayın ki, bir milyon derece gibi sıcaklıklardan bahsederken, birimleri belirtmek gereksizdir.

12 Ralph A. Alpher ve Robert C. Herman, “Remarks on the Evolution of the Expanding Universe,” (Genişleyen Evrenin Evrimi Üzerine Yorumlar) *Physical Review* 75 (1949): 1089–95.

13 Kragh, *Conceptions of Cosmos (Kozmos Kavramları)*, sf. 180–84.

KARARLI DURUM İDDİASI

Bahsedildiği gibi, “büyük patlama” 1948’de BBC’deki bir röportajda Fred Hoyle tarafından icat edilen alaycı bir terimdi. O yıl Hoyle,¹⁴ Hermann Bondi ve Thomas Gold’la¹⁵ birlikte, büyük patlamaya, *kararlı durum evreni* adı verilen bir alternatif geliştirdi. James Jeans 1928’de bir kararlı durum kozmolojisini ilk kez ileri sürmüştü.¹⁶ Margaret ve Geoffrey Burbidge ile Jayant Narlikar’ın yardımıyla Hoyle, büyük patlama için deneysel kanıtlar baskın hale geldikten epey sonra bile, kararlı durum modelini desteklemeye devam etti.¹⁷

Bu yazarlar, evrenin, *kusursuz kozmoloji ilkesi* adını verdikleri şeye uymak zorunda olduğunu güçlü bir şekilde hissediyorlardı; bu ilkeyi, evrenin her yerde ve her zaman aynı görünmesi gerektiği anlamına geldiği şeklinde yorumluyorlardı. Uzayda evrenin merkezi olarak görebileceğimiz özel bir yer olmadığı gibi, zamanda her şeyin başladığı özel bir an da yoktur.

Şimdi, sabit bir toplam kütleli genişleyen bir evrende, kütle yoğunluğu zamanla düşmelidir. Kararlı durum yazarlarının akıllarında, evrenin ortalama kütle yoğunluğu sabit kalmalı aksi halde evren “farklı görünür” olduğundan, madde sürekli ve homojen bir biçimde yaratılmalıdır. Ancak hız çok küçüktü, sadece 10^{-43} gram/cm³/saniye idi.

Yazarların fark ettiği gibi, bu, enerjinin korunumunu ihlal edecek gibi görünüyordu. Bununla birlikte, modelin yıllar boyunca ortaya konulan çeşitli versiyonları, negatif bir basınç alanının

-
- 14 Fred Hoyle, “A New Model for the Expanding Universe,” (Genişleyen Evren için Yeni Bir Model) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 372–82.
 - 15 Hermann Bondi ve Thomas Gold, “The Steady-State Theory of the Expanding Universe,” (Genişleyen Evrenin Kararlı Durum Teorisi) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 252–70.
 - 16 James Jeans, *Astronomy and Cosmogony (Astronomi ve Kozmogoni)* (Cambridge: Cambridge University Press, 1928).
 - 17 Fred Hoyle, Geoffrey R. Burbidge ve Jayant Vishnu Narlikar, *A Different Approach to Cosmology: From a Static Universe through the Big Bang towards Reality (Kozmolojiye Farklı Bir Yaklaşım: Durağan Bir Evrenden Büyük Patlama yoluyla Gerçekliğe doğru)*, karton kapaklı baskı (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2005).

uygulanmasıyla, enerjinin korunumunu sağladı. Bu özel alanın kozmolojik sabite eşdeğer olduğu dikkate alındı. Pozitif bir kozmolojik sabit, genişleyen bir gazda sabit bir negatif basınç oluşturur, bu da iç enerjide bir artışa neden olur ki enerjinin korunumuyla tamamen tutarlıdır. İsten yeni kütle yaratma enerjisi, sistemde sistemin kendi negatif basıncıyla yapılır. Ancak bu yorum, kararlı durumcular tarafından reddedilmiş görünüyor.¹⁸

Her şekilde, sayısız gözlem yakında kesin olarak evrenin farklı zamanlarda oldukça farklı göründüğünü kanıtlayacaktı. 1950’lerde, radyo astronom Martin Ryle ve Cambridge’deki ekibi, birtakım tartışmalardan sonra (Hoyle’un ofisi koridorun sonundaydı), büyük mesafelerdeki ve bu yüzden ilk zamanlardaki radyo kaynaklarının yoğunluğunun, şimdikinden daha büyük olduğunu gösterdi. Bu bölüm içerisinde daha sonra ele alacağımız gibi, kuasarlar ve öteki etkin galaksiler keşfedildiğinde, onların da uzak geçmişte çok daha bol oldukları bulundu.

Ryle, 1974 Nobel Fizik Ödülü’nü, öğrencisi Jocelyn Bell ilk pulsarı keşfeden (birazdan buna değineceğiz) Cambridge’den meslektaşı Anthony Hewish’le paylaşacaktı. Bu, astronomik başarılar için o güne kadar verilen ilk Nobel Ödülü’ydü. Son olmayacaktı.

Evrenin milyarlarca yıl boyunca görünüşünü değiştirdiği gerçeği, Hoyle tarafından tanımlandığı gibi, kusursuz kozmoloji ilkesinin başarısızlığını oluşturur. Ancak, evrenin her zaman ve her yerde aynı görünmesi gerektiğini iddia etmek yerine, uzayın yanı sıra zamanı da içerecek şekilde Kopernik ilkesini genişleterek, Hoyle’un öne sürdüğüyle aynı amaca hizmet eden bir kozmolojik ilke getirebiliriz. Bilim insanlarının oluşturduğu modellerin, evreni tüm zaman ve yerlerde geçerli olacak şekilde betimlemesini isteriz kısaca. Uzak geçmişte de gözlenmekte olan kuasarlar gibi en uzak nesneler, Yeryüzündeki laboratuvar da şu anda ölçtüğümüzle aynı tayfsal çizgileri ve öteki temel fiziksel özellikleri sergileyerek, kozmolojik ilkenin bu versiyonunu doğrular.

18 Helge Kragh, “Quasi-Steady-State and Related Cosmological Models: A Historical Review,” (Yarı Kararlı Durum ve İlgili Kozmolojik Modeller: Tarihsel Bir İnceleme) <http://arxiv.org/pdf/1201.3449v1.pdf> (5 May 2013’te erişim yapıldı).

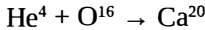
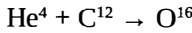
YILDIZ NÜKLEOSENTEZİ

Hoyle ile ortaklarından oluşan ekibi, yıldızlardaki oluşuma dair, yıldız nükleosentezi adı verilen ve 1957’de yayınlanan başarılı bir teori geliştirmeyi başardıklarında, Hoyle’un görüşleri çok büyük övgü aldı.¹⁹ Bu, Büyük Patlama nükleosentezinin başarısızlığı nedeniyle, Büyük Patlama modelini baltaladı.

1952’de fizikçi Edwin Salpeter helyumdan daha ağır elementleri oluşturmadaki beş ve sekiz nükleonluk kararsızlık boşluğunu atlamak için bir yol bulmuştu. Salpeter’in üçlü *alfa sürecinde*, iki alfa parçacığı, yani helyum-4 çekirdekleri (He^4) önce, dört proton ve dört nötron içeren bir çekirdek olan berilyum-8’i (Be^8) oluşturmak üzere birleşir.²⁰ Berilyum çekirdeği kararsızdır, ancak gördüğümüz şey, Büyük Patlama nükleosentezinin daha ileri gitmesini engelleyen büyük darboğazdır. Salpeter, yeterince yüksek sıcaklık ve yoğunlukta, bir Be^8 çekirdeğinin, bozunmadan önce dengeli karbon-12 (C^{12}) oluşturmak üzere, bir başka He^4 çekirdeğini kapabileceğini gösterdi. Tepkimeler şöyledir:



Elbette, bildiğimiz gibi karbon, yaşamın oluşumundaki en önemli elementtir. Oksijen ve kalsiyum gibi yaşam için önemli olan öteki çekirdekler, başka çekirdeklerle birleşen helyumdan da (He^4) oluşturulabilir:



Bu süreçler, ilkesel olarak Büyük Patlamada meydana gelebilir. Ancak sıcaklığın bir milyar derecenin altına düşmesi gerekir, çünkü bu sıcaklığın üzerinde, çekirdekler ısı parçalanmayla, sentez yaptıkları hızla parçalara ayrılırlar. Bu sıcaklıkta, ilk evrenin

19 E. Margaret Burbidge, G. R. Burbidge, William A. Fowler ve F. Hoyle, “Synthesis of Elements in the Stars,” (Yıldızlardaki Elementlerin Sentezi) *Reviews of Modern Physics* 29, no. 4 (1957): 547–650.

20 E. E. Salpeter, “Nuclear Reactions in Stars without Hydrogen,” (Yıldızlardaki Hidrojeniz Çekirdek Tepkimeleri) *Astrophysical Journal* 115 (1952): 326–28.

yoğunluğu 10^{-4} gram/cm³'e düşmüştür; bu da Salpeter sürecinin gerçekleşmesi için fazlasıyla düşüktür.

1954'de Hoyle, bir yıldız tüm hidrojenini yakıp bitirdiğinde ve kütleçekimin altında çöktüğünde, çekirdeğinin yüz milyon derece civarında bir sıcaklığa ve yaklaşık on bin gram/cm³'lük yoğunluğa ulaşacağını, böylece üçlü alfa sürecinin meydana gelmesine imkân vereceğini gösterdi.²¹

KARARLI DURUM ve TANRI

Hoyle, Bondi, Gold ve kararlı durum evreninin öteki destekçilerinin Büyük Patlama modeline olan güçlü itirazlarından biri, Hoyle'un "estetik" olarak isimlendirdiği şeydi. Ani bir başlangıç için her türlü açıklama, "bilime yabancı sebepler"e güvenmek zorunda kalırdı.²² Bununla metafiziği kastediyordu. Hoyle açık bir şekilde ateistti ve ancak 1982'de, Büyük Patlamayı destekleyen bilim insanlarına saldırıyordu, o zamana kadar çoğunluk, onlara haksız bir şekilde dini gerekçeler atfediyordu:

Daima şunun ilginç olduğunu düşündüm; çoğu bilim insanı dinden sakındığını iddia ederken, din aslında düşüncelerine ruhban sınıfına olduğundan daha fazla hükmeder. Büyük Patlama kozmolojisinin, kurumsal bilim kucağını aşırı bir çılgınlıkla sıkı sıkıya kavraması, besbelli Genesis'in ilk sayfasına olan köklü bağılıktan kaynaklanmaktadır, dini tutuculuk en güçlü noktasındadır.²³

1994 yılındaki otobiyografisinde, açıkladı, "Büyük Patlama kozmolojisi, dini tutuculuğun bir şeklidir."²⁴

- 21 Fred Hoyle, "On Nuclear Reactions Occurring in Very Hot Stars. I. The Synthesis of Elements from Carbon to Nickel," (Çok Sıcak Yıldızlarda Meydana Gelen Çekirdek Tepkimeleri Üzerine. I. Karbondan Nikele Elementlerin Sentezi) *Astrophysical Journal Supplement* 1 (1954): 121-46.
- 22 Fred Hoyle, "A New Model for the Expanding Universe," (Genişleyen Evren için Yeni Bir Model) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 372-82.
- 23 Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," (Evren: Geçmiş ve Bugünkü Yansımalar) *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* 20 (1982): 1-35.
- 24 Fred Hoyle, *Home Is Where the Wind Blows: Chapters from a Cosmologist's Life (Yuva Rüzgârın Estiği Yerdır: Bir Kozmoloğun Yaşamından Bölümler)* (Mill Valley, CA: University Science Books, 1994), sf. 413.

Ancak şimdi göreceğimiz gibi, kararlı durum modeli başarısız olurken, Büyük Patlama modeli zaferle çıktı, her ikisi de en doğru sebeplerle. Büyük Patlama modeli verilere uyuyordu, kararlı durum ise uymuyordu. Hoyle ve ortaklarının bitmez tükenmez kredisiyle, yıldız nükleosentezi de zafer kazandı. Ancak bunun, daha en başta kararlı durum evreniyle hiçbir ilgisi yoktu ve onun başarısı hiçbir zaman Büyük Patlama modelinin aleyhinde kullanılmamalıydı.

Belki de Hoyle'un ateizmi, onu Büyük Patlamanın aleyhine çevirmiş ve nükleosentez için, ilk evrendeki element oluşumundan farklı bir açıklama arayışı için harekete geçirmiş olabilir. Her durumda, bugün yıldız nükleosentezi, yıldızlarda üretilmeyi tamamlamak için daha hafif elementlerin tam doğru miktarını sağlayan Büyük Patlama nükleosenteziyle, kozmolojinin ayrılmaz bir parçasıdır. Bilimde ve Denver Broncos futbolunda, işler her zaman sizin umduğunuz gibi gitmez.

ETKİN GALAKSİLER

Belki de, bir sonraki bölümde ele alınacak olan 1964'deki kozmik mikrodalga ardalanının keşfinden önceki kozmolojik önem açısından en önemli keşif, şimdi popüler olarak *kuasarlar* olarak bilinen *yıldızsı nesnelerin* gözlenmesiydi. 1960'a gelindiğinde, radyo astronomi gelişmeye başlamış ve dar açılı büyüklüğe sahip görünen, yüz kadar nadir radyo nesnesi kaydedilmişti. Bunlardan biri, 3C 48, John Bolton tarafından optik bir kaynağa bağlandı. 1963'te Maarten Schmidt, Palomar Gözlemevi'ndeki 5 m'lik Hale teleskobunu kullanarak, radyo kaynağı 3C 273'ü optik olarak tanımladı.²⁵ Aslında 3C 273, görece ufak, amatör teleskoplarla görülebilir; tıpkı bir yıldız gibi görünür (bu yüzden "yıldızsı").

Schmidt, optik tayfı ölçerek, hidrojenin tayfsal çizgilerinin saniyede 47.400 kilometre ya da ışık hızının % 15,8'i oranında kaydığını buldu. Eğer kaynağın kızıla kaymasından ölçülen hız, Hubble yasasıyla uzaklığını belirlemek için kullanılırsa, 3C 273, gözlemlenen ışığı yayınladığında iki milyar ışık yılı uzaklıktaydı. Bütün bu zaman boyunca evren genişlemekte olduğundan, şimdi çok daha uzakta olduğu unutulmamalıdır. Besbelli tek bir yıldız değildi.

25 Maarten Schmidt, "3C 273: A Star-like Object with Large Red-Shift," (Büyük Kızıla Kaymaya Sahip Yıldızsı bir Nesne) *Nature* 197 (1963): 1040.

Schmidt, nesnenin, eğer Hubble yasasıyla gösterilen mesafede ise, şimdiye kadar radyo kaynaklarıyla ilişkilendirilmiş olan galaksilerin hepsinden yüz kat daha parlak olması gerektiğini ve ışığın, üç ışık yılından az genişlikteki bir çekirdekten gelmekte olduğunu tahmin etti. Palomar'da amatör bir aletten biraz fazlasına sahip olan Schmidt ayrıca, bir radyo özelliğiyle ilişkilendirdiği, yaklaşık 150 ışık yılı uzunluğunda bir optik jet de gözlemledi. Nesnenin galaksi boyutlarında olduğu sonucuna vardı.

Nature'daki, Schmidt'inkinden hemen sonra gelen makalede, Jesse Greenstein ile Thomas Matthews, 3C 48 için, saniyede 110.200 kilometrelik gerileme hızına, ışık hızının %37'sine karşılık gelen ve neredeyse beş milyar ışık yıllık bir uzaklığı gösteren bir kızıla kayma bildirdiler.²⁶

Kuasarları Yeryüzünün çok daha yakınına yerleştiren alternatif açıklamalar bir süre tartışılmış olmakla birlikte, kısa süre içinde, muazzam, benzeri görülmemiş enerji salımına sahip gerçekten de uzak nesneler oldukları saptandı.²⁷

En sonunda kuasarlar, *etkin galaksiler* adı verilen astronomik nesneler sınıfının üyeleri olarak tanımlandılar. Bunlar, radyo ve x-ışını salımlarının yanı sıra genellikle merkez çekirdekle ilişkilendirilen güçlü salım çizgilerine sahip, normal galaksilerden çok daha parlak olan galaksilerdir. Sıklıkla, merkezden çıkan binlerce ışık yılı uzunluğunda radyo jetlerine sahiptirler. Ayrıca galaksi boyutlarındaki bir nesne için çok sıradışı olan, birkaç gün içinde iki kat değişebilen, oldukça değişken bir parlaklık sergilerler çoğunlukla. Bu da, etkin galaksilerin muazzam enerjilerinin kaynaklarının, yalnızca birkaç ışık günü büyüklüğündeki bölgelerle sınırlı olduğu anlamına gelmektedir ki bu, yüz bin ışık yılı çapındaki Samanyolu gibi bir galaksinin büyüklüğüyle karşılaştırıldığında ufaktır. Bu kaynakların süper kütleli kara delikler olduğu şimdi anlaşılmaktadır.

Etkin galaksiler, üç alt sınıfa ayrılır:

- 26 Jesse L. Greenstein ve Thomas A. Matthews, "Red-Shift of the Unusual Radio Source: 3C 48," (Olağandışı Radyo Kaynağının Kızıla Kayması: 3C 48) *Nature* 197 (1963): 1041-42.
- 27 Jesse L. Greenstein ve Maarten Schmidt, "The Quasi-Stellar Radio Sources 3C 48 and 3C 273," (Yıldızsı Radyo Kaynakları 3C 48 ve 3C 273) *Astrophysical Journal* 140 (1964): 1-34.

Seyfert galaksileri

Bunlar, 1943'te onları ilk fark eden astronom Carl Seyfert'in adıyla anılır. Seyfertler, geniş hidrojen, helyum, nitrojen ve oksijen salım çizgileri içeren çok parlak çekirdeklere sahip galaksilerdir. Genişleme, saniyede beş yüzden dört bin kilometreye değişen hızlarda hareket eden gazlardan Doppler kaymaları olarak yorumlanmaktadır.

Radyo galaksiler

Bunlar, genellikle optik bir çekirdekten zıt yönlerde fırlayan, devasa çift-loblu radyo salımı yapıları yayınlayan, çok parlak radyo kaynaklarıdır. Jetler, Yeryüzüne doğru bir çizgi boyunca yöneldiğinde, böylece onları göremeyiz, bunlara *blazarlar* adı verilir. *BL Lac nesneleri*, blazarların alt sınıfını oluşturur. Göreceğimiz gibi, blazarlar Yeryüzüne çok yüksek enerjili gama ışınları ve belki de nötrinolar göndermektedir.

Kuasarlar

Kuasarların, çok uzak oldukları için nokta kaynaklar şeklinde görünen etkin galaksiler oldukları artık biliniyor.

Bizim yerel grubumuzu oluşturan galaksilerin hepsi "normal"-dir. En yakın etkin galaksi, on milyon ışık yılı uzaklıktaki Centaurus A (Erboğa A)'dır. Çoğu, oldukça uzaktır. Aslında, etkin galaksilerin üstünlüğü, Büyük Patlamadan sonra iki milyar yıl kadar sürdü. Popülasyonları, altı milyar yılda %10'nun altına düştü.²⁸

Eğer kararlı durum evrenine karşı kesin kanıt varsa, bu odur. Etkin galaksileri araştırırken gördüğümüz evren, yakındaki galaksileri araştırırken gördüğümüz evrenden oldukça farklı görünür. Anlaşılan, galaksiler ilk oluştuklarında, bugünün galaksilerinden çok daha parlak oldukları, *parlak faz* olarak bilinen bir dönemden geçtiler. Çok daha iyi huylu olan bu ilk galaksiler, sonraki galaksiler oluşurken, teker teker öldüler. Açıklama basit. İlk galaksiler, bugünkü

28 Dmitri Pogossian, "Astronomy 122: Astronomy of Stars and Galaxies," (Astronomi 122: Yıldızların ve Galaksilerin Astronomisi) 2013, http://www.ualberta.ca/~pogossian/teaching/ASTRO_122/lect27/lecture27.html (21 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

galaksilerin sahip olduğundan çok daha fazla dev yıldız içeriyordu. Bunlar daha fazla ışık yayar, ancak daha kısa ömürlüdürler.

PULSARLAR

1960'lardaki bir başka beklenmedik keşif, bu kitabın bakış açısından büyük kozmolojik önem taşımasa da bahse değerdir. 1967'de, Cambridge'de Antony Hewish'in danışmanlığını yaptığı, astronomi yüksek lisans öğrencisi Jocelyn Bell, 1,33 saniye arayla radyo sinyalleri yayan bir astronomik nesne olan ilk *pulsar*'ı keşfetti.²⁹ Kısa süre içinde birçoğu daha gözlemlendi, bazıları milisaniyeler kadar düşük sinyal periyotlarına sahipti, en sonunda da *nötron yıldızları*yla ilişkilendirildiler.

Bir nötron yıldızı, kütesinin büyük bölümünü atıp, arkasında, çoğunlukla, kütleçekimsel çöküşle oluşan nötronlardan meydana gelen, oldukça yoğun bir küre bırakan bir süpernovanın kalıntısıdır. Tipik olarak, yaklaşık on iki kilometre yarıçaplı, 1-3 güneş kütlesi kadardır. Yoğunluğu, bir atom çekirdeğinkine denktir. Eğer güçlü bir manyetik alana sahip ve hızla dönüyorsa, gözlemlendiği gibi kısa periyotlu elektromanyetik sinyaller yayar.

29 A. Hewish ve ark., "Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source," (Hızla Titreşen Radyo Kaynağının Gözlenmesi) *Nature* 217 (1968): 709-13.

X. BÜYÜK PATLAMANIN KALINTILARI

GÖKYÜZÜNDEN GELEN RADYO PARAZİTİ

Önceki bölümde gördüğümüz gibi, 1949'da Ralph Alpher ile Robert Herman şu tahminde bulunmuşlardı; eğer ilk evren, Büyük Patlama modelinin ifade ettiği kadar sıcak ve yoğunduysa, o halde, milyarlarca yıldan beri süregelen evrenin genişlemesi nedeniyle yaklaşık beş Kelvin'e soğumuş olan evren, bugün ısı ışınımda yıkanıyor olmalıdır. O zamanki çoğu fizikçi ve astronom, tahmini görmezden geldi. Belki de en fazla, lityum ve berilyumun eser miktarları hariç, helyumun ötesinde kimyasal elementlerin oluşumunu açıklayamamasından dolayı, Büyük Patlamayı ciddiye almadılar.

Ya da, Fred Hoyle ile ortaklarında olduğu gibi, papa dahil din savunucuları tarafından yapılan, Büyük Patlamanın ilahi yaratılış için bilimsel kanıt sağladığına dair çıkarıma karşı çıkmış olabilirler.

Büyük Patlama için olan bu heves yokluğu, Hoyle, William Fowler, Margaret Burbidge ve Geoffrey Burbidge'in, ölmekte olan yıldızların çekirdeklerindeki daha ağır elementlerin oluşumunu açıklamadaki büyük başarısıyla daha da güçlendi. Bu yıldızlar, yakıt olarak kullandıkları hidrojenin hepsini tükettikten sonra, kütleçekimsel olarak çökerler. Nükleosentez için gereken yüksek sıcaklık-yüksek yoğunluk kombinasyonu, bu çökmekte olan çekirdeklerin içinde bulunur, ancak ilk evrende bulunmaz.

Bununla beraber, kozmik ardalan ışıınımı fikri, anlaşılan Alpher ile Herman'ın çalışmasından habersiz araştırmacıların akıllarında ortaya çıkmaya devam etti. 1960'ların başlarında, Princeton'da fizikçi Robert Dicke, evrenin bir dizi büyük patlama ve büyük çöküş halinde salınım yapabilme ihtimalini araştırıyor-

du; ki bu, Friedmann'ın kozmolojik denklemlerinin izin verilen çözümlerinden biridir. Salınımın mevcut fazı sırasında, evrenimizin bir zamanlar şimdi olduğundan çok daha sıcak olduğu sonucuna vardı. Şu durumda, evrenin genişlemesiyle o zamandan beri soğumuş olan ısı ışınım üretiyor olabilir.

1964'te Dicke'nin eski öğrencisi James Peebles, bu kalıntı ışınımın sıcaklığının mikrodalga bölgesinde on Kelvin civarında olması gerektiğini tahmin etti.

Üç santimetrelik dalga boyunun mikrodalgalarını ölçebilen bir radyometre yapmış olan Peter Roll ile David Wilkinson da, o zaman Princeton'daydı. Böylece, kozmik mikrodalga ardalanı için kanıt aramak üzere bir işbirliği oluşturuldu.

Ancak, başta Nobel ödüllü fizikçi Steven Weinberg'in çok satan kitabı *The First Three Minutes*'de (İlk Üç Dakika)¹ olmak üzere, hep anlatılan bir hikâyede, 64 km uzaklıktaki New Jersey'nin Holmdel ilçesindeki Bell Laboratuvarlarında çalışan iki araştırmacı, Princeton fizikçilerinden şans eseri erken davranmıştır. 1963'te radyo astronomlar Arno Penzias ile Robert Wilson, huni antenli ve bir maser kuvvetlendiriciyi de içeren en son kriyojenik teknolojiye sahip, oldukça hassas, 7,35 santimetre mikrodalga verici-alıcısıyla çalışmaya başlamışlardı. Alet aslında Bell System uydusu Telstar'la iletişim için tasarlanmıştı. Bell'in projesindeki Avrupalı ortakları, benzer bir sistem geliştirmişlerdi, Bell'in aleti ise bir yedekti. Yedeğin gerekmediği anlaşıncı, Penzias ile Wilson da onu radyo astronomi için kullanabildi.

Radyo astronomlar, galaksimizden galaksi düzleminin dışındaki, yani Samanyolu'ndan uzaktaki ışınım yoğunluğunu ölçmeyi denemeye karar verdiler. 1964 baharında, antenlerinin ya da elektronik devrelerinin sorumlu tutulamayacağı bir parazit fazlası tespit ettiler. Gürültünün aygıtsal kaynağını bulmak için, güvercinler tarafından antenin üzerine bırakılan "beyaz yalıtkan madde"yi temizlemek de dahil, ellerinden gelen her şeyi yaptılar ve parazitin bir dış kaynaktan olduğu sonucuna vardılar. Sinyal, her yönden homojen bir biçimde gelmekte olduğundan; kaynağın,

1 Steven Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe* (İlk Üç Dakika: Evrenin Kökeninin Modern Bir Görünümü), güncellenmiş baskı (New York: Basic Books, 1993).

Yeryüzünün atmosferi ya da Samanyolu olma ihtimali elenmiş oluyordu.

Radyo mühendisleri, belirli bir dalga boyundaki gürültüyü, gürültünün aynı miktarını verecek olan kara cismin sıcaklığı üzerinden ifade ediyorlar. Penzias ile Wilson'ın sonuçları, 3,5 Kelvin'lik (3,5 K) anten sıcaklığına eşdeğerti.

Fısıltı gazetesi sayesinde, iki New Jersey'li grup, birbirlerinden haberdar olup iletişim kurmaya başladı. 1965'te Penzias ile Wilson, gözlemlerini "4080 Mc/s'deki Fazla Anten Sıcaklığının Ölçümü" gibi iddiasız bir başlıkla, *Astrophysical Journal*'de bir makale halinde sundular.² Verilerin yorumlanmasıyla ilgili olarak ise, yazarlar, derginin aynı sayısındaki Dicke, Peebles, Roll ve Wilkinson'a ait "Kozmik Kara Cisim Işınımı" başlıklı bir önceki makaleye atıfta bulundular.³ Penzias ile Wilson, 1978 Nobel Fizik Ödülü'nü alacaktı.

Bilim camiasının, er geç galaksilerin kızıla kaymasından beri en önemli kozmolojik keşif anlamına gelecek olan şeyin önemini fark etmesi uzun sürmedi. Bununla birlikte, tespit edilen şeyin aslında ısı ışınım olduğunun doğrulanması için daha fazla ölçüme ihtiyaç vardı. Yalnızca bir dalga boyu gözlenmişti. 1966 başlarında, Roll ile Wilkinson, 3,2 santimetrede gözlemler bildirerek, mikrodalga ışınımının aslında orada olduğunu doğruladılar. Ancak daha fazlası gerekiyordu.

TAYF

Kara cisim için 3 K'daki Planck tayfı, Şekil 10.1'de gösterilmektedir. Şeklin, Şekil 6.1'den farklı olduğuna dikkat edin; çünkü o grafik frekansa karşı yapıldı, oysa burada grafik dalga boyuna karşıdır. Ayrıca burada her iki eksen de logaritmiktir.

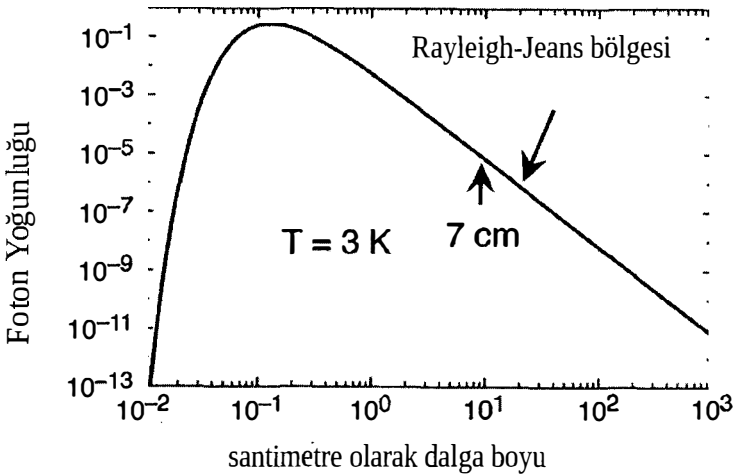
Birkaç noktanın göz önünde tutulması gerekir: iki New Jersey ekibinin ölçümleri, 5. Bölümde betimlenmiş olan klasik dalga

2 Arno A. Penzias ile Robert W. Wilson, "A Measurement of Excess Antenna Temperature At 4080 Mc/s," (4080 Mc/s'deki Fazla Anten Sıcaklığının Ölçümü) *Astrophysical Journal* 142 (1965): 41921.

3 R. H. Dicke, P. J. E. Peebles, P. G. Roll, ve D. T. Wilkinson, "Cosmic Black-Body Radiation," (Kozmik Kara Cisim Işınımı) *Astrophysical Journal* 142 (1965): 414-19.

teorisiyle belirlenen, tayfın Rayleigh-Jeans parçası adı verilen şeye denk düşmektedir. Kara cisim ışınlamını görmekte olduklarından emin olmak için, tam tayfı çıkarmak gerekliydi. Bununla birlikte, atmosfer, mikrodalgalar için görece şeffafken, tayfın kızılaltı bölgesine indikçe, gitgide opaklaşır, tam 3 K'da klasik dalga teorisinden sapma meydana gelir ve tayf, kuantum etkileri nedeniyle düşer.

Geçmişte, 1941'de, iki optik astronom, Walter Adams ile Andrew McKellar, siyanojen (CN) molekülüyle özdeşleştirilen yıldızlararası soğurma çizgisinin üç çizgiye bölündüğünü gözlemlediler. McKellar, bölünmüş çizgilerin ikisinin, 2,3 K'lık sıcaklığa karşılık gelen bilinmeyen bir pertürbasyonun sonucu olduğunu tahmin etti. Mikrodalga ardalanının keşfinden sonra, bu bölünmenin, Şekil 10.1'deki Planck tayfının tam tepesindeki 0,263 santimetrelik dalga boyuna sahip kara cisim fotonlarından kaynaklandığı anlaşıldı.⁴



Şekil 10.1. 3K'daki tahmin edilen Planck kara cisim tayfı. Dikey ölçek, santimetre dalga boyu aralığı başına santimetre-küp hacim başına foton olarak verilmiştir. Dalga boyunun dördüncü kuvveti olarak düşen doğrusal parça, klasik Rayleigh-Jeans tayfıdır. 7,35 santimetredeki Penzias-Wilson ölçümü gösterilmiştir. 3,2 santimetredeki Roll ve Wilkinson ölçümü ise, onun hemen altındadır. Her ikisi de, kuantum bölgesini kapsamaz. Görsel yazara aittir.

4 Weinberg, *First Three Minutes (İlk Üç Dakika)*, sf. 68–69.

Büyük Patlama, işe geri dönmüştü. Patlamanın, evreni meydana getiren kalıntısı, muhtemelen tespit edilmişti. Elbette, hâlâ birkaç şüpheli vardı. Fred Hoyle ile onun sadık kararlı durumcuları takımı, gözlemlenen ışıınım için başka açıklamalar aramada şeytanın avukatlığını yapmak için gerçekten ellerinden geleni yaptılar. Ancak bunlar tamamen geçici ve deneysel destekten yoksundu. Yavaş yavaş, kararlı durum modeli kalan güvenilirliğini kaybetti, gerçi Hoyle ve Geoffrey Burbidge, Büyük Patlamanın doğrulanmış olduğuna ikna olmamış olarak kaldılar. Daha da fazla kanıt talep ettiler.

BÜYÜK PATLAMA NÜKLEOSENTEZİ YENİDEN DOĞUYOR

Geçmişte, 1953'te, Alpher, Herman ve James Follin, ilk evrenin koşulları hakkında o günkü eldeki fizik bilgisinin diyeceklerini detaylandıran fazlasıyla uzun bir makale yayınlamışlardı.⁵ Weinberg bunu, “evrenin erken tarihinin derinlemesine ilk modern analizi” olarak adlandırdı.⁶ Ancak, yazarlar ne nükleosentezi göz önüne aldılar ne de mikrodalga ışıınımından bahsettiler.

Kozmik mikrodalga aralanının (CMB) keşfiyle, 1965'te, Büyük Patlama ön plana geçti ve Büyük Patlama nükleosentezinin yeni, bağımsız hesaplamaları, Rusya'da Yakov Zel'dovich, İngiltere'de Hoyle ile Roger Taylor ve Birleşik Devletler'de Peebles tarafından gerçekleştirildi. (Bilimin nasıl işlediğine dair bir başka ufak bilgi: Hoyle Büyük Patlamaya şiddetle karşı olmasına rağmen, modeli varsayan ciddi, tarafsız hesaplamalar yapmanın dışında kalmadı).

O zamana kadar helyumun üzerindeki elementlerin büyük ölçüde yıldızlarda üretildiği kesin olmakla birlikte, bunlar evrendeki atomların toplam kütesinin yalnızca %1'ini temsil etmektedir. Geri kalan, yaklaşık %75 hidrojen ve %25 helyumdur ve Hoyle, yıldızlardaki koşulların %25'lik bir helyum bolluğu üretecek nitelikte olmadığını kabul etti. Yine de, Büyük Patlamayı

5 Ralph A. Alpher, James W. Follin Jr. ve Robert C. Herman, “Physical Conditions in the Initial Stages of the Expanding Universe,” (Genişleyen Evrenin İlk Evrelerindeki Fiziksel Koşullar) *Physical Review* 92 (1953): 1347–61.

6 Weinberg, *First Three Minutes (İlk Üç Dakika)*, sf. 124.

kabul etmeye hazır değildi ve başka açıklamalar aramaya devam etti. Ancak yeni bir kozmolog kuşağı, Büyük Patlamanın meydana geldiğini kesin surette ispatlayacaktı.

DAVID SCHRAMM: KOZMOLOJİNİN NAZİK DEVİ

The First Three Minutes'de (İlk Üç Dakika) Weinberg, şaşırtmaca yaparak, bilgi ve teknoloji daha öncesinde oradayken, CMB'nin keşfinin neden bu kadar uzun sürdüğünü ve tesadüfen gerçekleştiğini anlamaya çalışarak bir bölüm harcar.⁷ Bahsettiği bir sebep, Büyük Patlama üzerinde çalışan teorisyenlerle radyo astronomlar arasındaki iletişimsizliktir. Daha önce benzer bir durumu görmüştük; Alexander Friedmann gibi görelî kozmologlar, gözlemlere itibar etmezken, Edwin Hubble ve öteki astronomi gözlemcileri, görelî kozmoloji konusunda çok az bilgiye sahipti. Georges Lemaître, bir istisnaydı. Kendisi gözlem yapmasa da en azından teorilerini verilerle ilişkilendiriyordu.

1960'larda ve 1970'lerde gelişen, benim de yer aldığım heyecan verici fizik alanında, tam tersini gördüm. O zamana kadar, disiplinlerarası iletişim çok ilerlemişti. Hâlâ internete sahip olmakla birlikte, birbirimizle görüşüp konuşmamızı mümkün kılan telefon, faks, fotokopi makinesi ve jet yolcu uçaklarına sahiptik. Teorisyenler ve deneyciler, birbirlerinin seminerlerine gidip, birlikte öğle yemeği yediler, laboratuvarında aynı kahve makinesini paylaştılar. İki uzun ücretli iznimi, Oxford Üniversitesi'ndeki Çekirdek Fiziği Laboratuvarı'nda geçirdim; herkes sabah bir kez kahve, bir kez de öğleden sonra çay (kasabadaki en iyi ve en ucuz çay) molası verir, büyük öğretmenler odasındaki alçak masalarda oturup fizikteki son gelişmeleri konuşurduk. Sık sık seçkin bir ziyaretçi, bize katılırdı.

1979'a gelindiğinde, fizikteki ve astronomideki uzmanlık alanları arasındaki sınırlar da yıkılmaya başlamıştı. Bilim yapmanın yeni bir yolunun baş yaratıcılarından biri, bu kitabın da ithaf edildiği, David Norman Schramm adlı gerçeküstü, 1,93 boyunda, 109 kiloluk, kıvılc saçlı, dağcı, Olimpiyat Greko-Romen güreş finalistiydi. Schramm doktorasını, gördüğümüz gibi Fred

7 Ibid., sf. 122–25.

Hoyle'un yıldız nükleosentezindeki ortaklarından biri olan ve geleceğin Nobel Ödülü sahibi Willy Fowler'ın hocalığında, 1971'de Caltech'te yaptı.

1974'te Chicago Üniversitesi fakültesine giren Schramm, 1978'den 1984'e kadar Astronomi ve Astrofizik Bölümü'nün başkanıydı ve 1995'te Araştırma Başkan Yardımcısı oldu. Chicago'da Schramm, çekirdek fiziği, temel parçacık fiziği, astrofizik ve görelî kozmolojide yüksek lisans yapmış, yeni bir tür teorik fizikçilerden meydana gelen bir ekibin akıl hocası ve lideriydi. Bu ekibin üyeleri, bu birleşik bilgiyi, ilk evrenin çok ayrıntılı bir resmini elde etmek için çalışmakta kullanacak ve bunun, özellikle uzay teleskoplarından gelen, giderek artan kesinlikteki astronomik verilere karşı başarıyla test edildiğini göreceklerdi. *Parçacık astrofiziği* adında yeni bir alan doğdu, David Schramm da, onun babasıydı.

Geleceğin bir başka Nobel Ödülü sahibi ve Chicago yakınlarındaki Fermi Ulusal Laboratuvarı'nın (Fermilab) müdürü olan Leon Lederman'ın yardımıyla, 1982'de Schramm, laboratuvar da bir parçacık-astrofiziği merkezi kurdu; burası, Chicago Üniversitesi'yle birlikte çalışarak, bu olağanüstü çalışmanın çoğuna öncülük edecekti. Fermilab hızlandırıcısında nötrino deneyleri üzerinde çalıştıktan sonra, çok yüksek enerjili gama ışını ve nötrino astrofiziğine girdiğimde, Schramm ve ekibini tanıma fırsatı buldum. Daima nazik, sabırlı ve güler yüzlüydü ve hem halka açık hem de teknik konferanslarını deneyimlemek keyifliydi. Onu bir dost olarak gördüm; fakat zaten o yüzlerce sine sahipti.

Schramm, 1980'de Colorado, Aspen'de bir ev satın almıştı ve zaman zaman benim de katıldığım, düzenli yaz seminerleri düzenleyen Aspen Fizik Merkezi'yle ilgilenmeye başladı. Genellikle, orasıyla Chicago arasında, Big Bang Airlines (Büyük Patlama Havayolları) olarak şirketleşmiş olan kendi uçağıyla uçardı. (Lisanslı ticari pilottu). 19 Aralık 1997'de, tatil için Aspen'e doğru giderken, Denver'da yakıt ikmali yaptıktan hemen sonra, uçağı arızalanarak düştü. Dave yalnızca elli iki yaşındaydı. Lederman, onun cennette, "Büyük Patlamadan önce ne olduğuna dair Tanrı'yla müthiş bir tartışma" yapıyor olduğunu söyledi.

Bu kısmın başlığını, Dennis Overbye'in *New York Times*'daki bir makalesinden ödünç aldım.⁸ Sevgi dolu ancak yine de oldukça bilgilendirici bir biyografik anı yazısı, Dave'in önde gelen doktora sonrası dostlarından biri olan Michael Turner tarafından yazıldı. Artık Chicago Üniversitesi'nde daimi profesörlük sahibi olan Turner, parçacık fiziğinde büyük bir lider oldu ve Amerika Fizik Topluluğu'nun 2013 yılı başkanıydı.⁹ Turner, Fermilab ve Chicago'da, Edward ("Rocky") Kolb'la yakın çalıştı ve 1990'da, parçacık astrofiziği üzerine olan *The Early Universe* (İlk Evren) adlı klasik monografı birlikte yazdılar.¹⁰

Schramm ile ortakları, yalnızca temel parçacık fiziğinde görülen nadir süreçlerin, hem bugünkü hem de ilk evrende kritik bir rol oynadığını gösterdiler. Örneğin 1975'te, henüz keşfedilen zayıf nötr akım etkileşiminin, süpernova patlamaları üreten devasa yıldızların çöküşünde ilgisi olduğunu gösterdiler.¹¹

Schramm'ın daima nötrinoları bir ilgisi olmuştu; ki o günlerde benim de ana çalışma alanım buydu, bu nedenle onun çalışmasını yakından takip ettim. 1987'deki iki yeraltı deneyiyle Büyük Magellan Bulutu'ndaki bir süpernovadan (SN1987A) yapılan nötrino gözlemi, bu yakalanması ve anlaşılması zor parçacıkların süpernovalarda oynadığı önemli rolü doğruladı.

1977'de basılan önemli bir makalede, Schramm, Gary Steigman ve James Gunn, kozmolojinin, lepton tiplerinin sayısına bir sınır koyduğunu gösterdi.¹² *Lepton*, negatif yüklü elektrona (e)

8 Dennis Overbye, "Essay; Remembering David Schramm, Gentle Giant of Cosmology," (Deneme: Kozmolojinin Nazik Devi David Schramm'ı Hatırlamak) *New York Times*, 10 Şubat 1998, <http://www.nytimes.com/1998/02/10/science/essay-remembering-david-schramm-gentle-giant-of-cosmology.html?pagewanted=all&src=pm> (6 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

9 Michael S. Turner, "David Norman Schramm 1945–1997," 2009, <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/schramm-david.pdf> (6 Şubat 2012'de erişim yapıldı).

10 Edward W. Kolb ve Michael S. Turner, *The Early Universe* (İlk Evren) (Reading, MA: Addison-Wesley, 1990).

11 D. Z. Freedman, D. N. Schramm, ve D. L. Tubbs, "The Weak Neutral Current and Its Effects in Stellar Collapse," (Zayıf Nötr Akım ve Yıldız Çöküşündeki Etkileri) *Annual Reviews of Nuclear Science* 27 (1977): 167–207.

12 Gary Steigman, David N. Schramm ve James E. Gunn, "Cosmological Limits

ve onun daha ağır iki arkadaşı, müon (μ), tauon (τ) ile bağlı nötrinolarına (ν_e , ν_μ ve ν_τ) verilen genel addır. Her bir leptona, bir karşıparçacık eşlik eder. Bu arada, ilgili kuark nesillerinin yanı sıra, bu üç lepton “nesli” belirlendi ve fizikçilerin, daha fazlasının olmayabileceğini düşünmek için bir nedenleri yoktu.

Schramm ile ortaklarının 1977 tarihli makalesi, ilave nötrinoların He^4 üretimini hızlandıracağını gösterdi ve o zaman ölçülen helyum bolluğuna dayanan beş nötrino tipinde sınırı koydu. 1989’a kadar, bolluk ölçümleri, sınırı üç nesilde koymak için yeterince gelişmişti. Bu, çarpışan-ışın hızlandırıcısı deneylerindeki kayıp enerji ölçümleriyle uyumluydu. Daha fazla nötrino, daha fazla kayıp enerji, yani tespit edilen parçacıklarda açıklanmayan enerji demektir. Kayıp miktar, üç nesille tutarlıydı, daha fazlasıyla değil.

Ve böylece bir sonraki bölümde ele alınacak olan temel parçacıkların ve kuvvetlerin standart modeli, hem kuarkların hem de leptonların yalnızca üç nesilde bulundukları bir düzene oturtuldu. Bu, tam da Schramm’ın öngörmüş olduğu gibiydi. Kozmolojinin, en küçük ölçekte maddenin doğası hakkındaki temel gerçekleri bize söyleyeceğini, böyle bir hayalperest dışında, kim hayal edebilirdi? Ve bu süreç, günümüze kadar sürüyor, yıllarca da sürmesi muhtemeldir.

GENİŞLEYEN EVRENDEKİ SICAKLIK

Büyük patlama çekirdek fiziğinin ayrıntılarını derinlemesine araştırmadan önce, sadece çekirdek fiziğinde değil, her bir evredeki fizikte de geçerli olduklarından, evrenin tarihindeki çeşitli evrelerdeki ilgili enerjilere dair bir fikir edinmenin yardımı olacaktır.

Evren çok hızlı bir şekilde genişlemekte olmasına rağmen, ilk zamanlardaki parçacıklar, birbirleriyle çok daha hızlı etkileşiyordu, böylece *yarı-denge* durumunda olmak için yine de yeterli ısı dengesine kavuştular. Bu, parçacıklar, evren genişledikçe buna rağmen zamanla düşen mutlak sıcaklığa (T) sahip olarak betimlenebilir demektir.

Bu konuda yazan çoğu yazar, çeşitli evrelerdeki sıcaklıkların değerlerini size Kelvin olarak verecektir; büyük ihtimalle bunun

to the Number of Massive Leptons,” (Büyük Kütleli Leptonların Sayısına Getirilen Kozmolojik Sınırlar) *Physics Letters B* 66, no. 2 (1977): 202–204.

sebebi, bu birimlerin okuyucu için daha tanıdık olduğunu düşünmeleridir. Ancak ilk evrendeki asıl sıcaklık rakamları, bizim deneyimimizce çok anlamlı olmayacak kadar yüksektir.

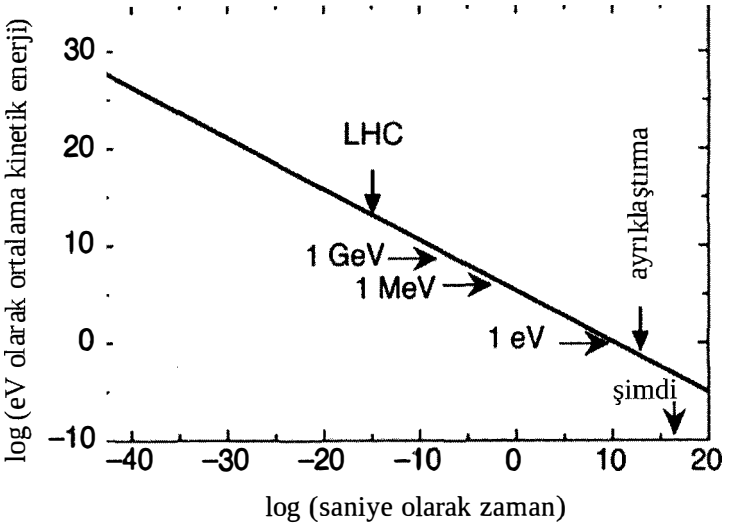
Daha bilgilendirici olan ise, herhangi bir zamanda evrendeki parçacıkların ortalama kinetik enerjisidir; bizim amaçlarımız için yeterli bir kesinlik, $K = k_B T$ ile sağlanır, burada k_B Boltzmann sabitidir. Yani, bir cismin sıcaklığı kısaca, cisimdeki parçacıkların ortalama kinetik enerjisidir. k_B yalnızca Kelvin'i enerji birimlerine çeviren gelişigüzel bir sabit olduğundan, $k_B = 1$ olarak belirleyip sıcaklığı enerji birimlerinde ölçebiliriz.

Atomik, çekirdeksel ve çekirdekaltı süreçlerle uğraşırken, en faydalı enerji ve sıcaklık birimi, bir elektronun, bir voltluk elektrik potansiyeli boyunca düştüğünde kazandığı kinetik enerji olan elektron voltur (eV). Atomik süreçler, birkaç eV ya da keV'un enerjileriyle nitelendirilir; burada $1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV}$ 'tur. Çekirdeksel süreçler, MeV bölgesindeki enerjilerle nitelendirilir; $1 \text{ MeV} = 1 \text{ milyon eV}$ 'tur. Çekirdekaltı süreçler, GeV ve TeV bölgelerinde meydana gelir; burada $1 \text{ GeV} = 1 \text{ milyar eV} (10^9)$ ve $1 \text{ TeV} = 1 \text{ trilyon eV} (10^{12})$ 'tur.

Unutmayın ki; çarpışan-ışın hızlandırıcıları, evrenin çok erken dönemlerinin fiziğini araştırabilmemizi mümkün kılar. Örneğin, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LCH), 2015'te 14 TeV 'lik bir toplam enerjiye yükseltildiğinde, fizikçilerin, sıcaklığın o kadar yüksek olduğu büyük patlamadan 10^{-15} saniye sonra, maddenin özelliklerini ölçmelerine imkân verecek.

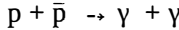
Şekil 10.2, evrenin 10^{-43} saniyeden, Planck zamanından, şimdiki zamana kadarki ortalama kinetik enerjisinin ya da sıcaklığının grafiğini göstermektedir. Planck zamanı ve ondan önce neler olagelmış olabileceği hakkında daha sonra söyleyecek çok şeyimiz olacak. Şimdilik, o noktadaki şeylerden başlayalım.

Büyük Patlamadan sonraki 380.000 yıla kadar, evrendeki tüm parçacıklar, evren genişleyip soğudukça, düşmekte olan aynı sıcaklıktaki yarı dengede idi. O zaman, fotonlar ve nötrinolar yarı dengede kalırken, atomik madde dengeden uzaklaştı, buna *ayrıklaştırma* adı verilir. Logaritmik ölçeğin sizi kandırmasına izin vermeyin. Ayrıklaştırma ile şimdi arasındaki zaman, pratik amaçlar için hâlâ 13,8 milyar yıldır.

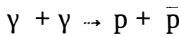


Şekil 10.2 Tam logaritmik grafik halinde, Büyük Patlamadan sonra zamanın bir fonksiyonu olarak, evrenin parçacıklarının ortalama kinetik enerjisi. Bu, sıcaklığın elektron volt (eV) olarak gösterildiği, mutlak sıcaklığın zamana karşı grafiği olarak da düşünülebilir. Görsel yazara aittir.

Evren genişleyip soğudukça, çeşitli parçacıklar dengeden ayrılır. Bunu, karşı-protonlar örneğiyle göstermeme izin verin. Protonlarla çarpışırlar ve ikisi, fotonlara ve başka daha hafif parçacıklara parçalanır. Fotonlara çift yokoluşu düşünün. Tepkime şöyledir:



Burada $\bar{p}$ bir karşı-protondur, γ ise bir fotondur. Fotonlar, proton ve karşı-protonun durgun enerjisini ve ilk kinetik enerjileri her neyse onu alıp götürecektir. Ters tepkime de meydana gelip, karşı-protonları yeniden üretebilir

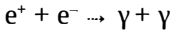


Bununla birlikte, fotonlar sıfır durgun enerjiye sahip olduklarından, toplam kinetik enerjileri, en azından proton ve karşı-protonun toplam durgun enerjisi olan 1876 MeV'a eşit olmalıdır. Bu nedenle,

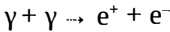
evrenin sıcaklığı bundan fazla olduğu sürece, karşı-protonlar ve protonlar, her birinin yaklaşık aynı sayısıyla dengede kalacaktır. Ancak, evrenin sıcaklığı bir kez 1876 MeV'un altına düştü mü, ki bu yaklaşık 10^{-7} saniye yaşında olduğunda gerçekleşir, fotonlar artık proton/karşı-proton çiftlerini üretecek yeterli enerjiye sahip olmazlar ve ikisi gitgide karışımdan sayıca azalacaktır.

Şimdi, 11. Bölümde göreceğimiz gibi, madde ile karşı-madde arasında hafif bir asimetri bulunur, bu yüzden karşı-protonların tamamı yok olduğunda, birtakım protonlar artakalır. Bunlar, geriye kalan fotonlar, elektronlar, pozitronlar ve nötrinoların milyarda biri kadardır. Eğer bu asimetri olmasaydı, bütün protonlar yok olur, geriye yıldızların, gezegenlerin atomlarını, sizin ve benim atomlarımızı yapmak için hiçbir şey kalmazdı.

Tıpkı karşı-protonların, sıcaklık onları yeniden üretmek için gereken değerin altına düştüğünde, ilk evrenden yok olmaları gibi, pozitronlar da, evren daha da soğumuş olduktan sonra yok oldu. Benzeşen süreci düşünelim, elektronların fotonlara çift yokoluşu:



Pozitronları yeniden üretmek için, ters tepkime gerçekleşmelidir:



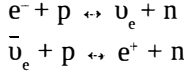
Burada fotonlar, en az pozitron ve elektronun toplam durgun enerjisine, yani 1,022 MeV'a eşit bir toplam enerjiye sahip olmalıdır. Evrenin sıcaklığı, bu değerin altına düştüğünde, ki bu yaklaşık 0,15 saniye yaşındayken gerçekleşir, fotonlar artık çifti üretmek için yeterli enerjiye sahip değildi ve pozitronlar yok oldu. Protonlarda olduğu gibi, milyarda bir elektron, parçacık/karşı-parçacık asimetrisi nedeniyle geriye kaldı. En sonunda, ancak bir 380.000 yıl daha değil, bu elektronlar, hidrojen atomlarını oluşturmak için protonlarla birleştiler. Bu olmadan önce ise, hafif çekirdekler meydana geldi.

HAFİF ÇEKİRDEKLER

He^4 , Büyük Patlamada oluşan tek hafif çekirdek değildi. Aslında, daha ufak miktarlardaki Li^7 , Be^7 ve Li^6 'nın yanı sıra, önemli miktarlarda H^2 (döteron), H^3 (triton) ve He^3 üretildi. 1970'lerde, Schramm ile çekirdek ve parçacık astrofizikçilerin-

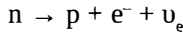
den oluşan ve dünya çapında başkalarının katılımıyla gittikçe büyüyen ekibi, hafif elementlerin ilksel bolluklarını hesaplamayı ve bunları verilerle karşılaştırmayı içeren yoğun bir program başlattılar. Önemli mutabakatlar elde ettiler. Bu program günümüze kadar süregelmektedir, özellikle de gözlemlerdeki eşlik eden büyük gelişmeler sayesinde ilerleme kaydedilmiştir.¹³

Çekirdekleri oluşturmak için, nötronlara ihtiyacımız var. Nötron, protondan 0,782 MeV daha kütlelidir ve şu zayıf etkileşimlerle üretilir:



Burada ν_e ve $\bar{\nu}_e$ sırasıyla, elektron nötrinosu ve elektron karşı-nötrinosudur. Zayıf etkileşimleri, nötrinoları ve öteki temel parçacıkları bir sonraki bölümde ele alacağız. Bu tepkimelerin tersinir olduklarını göstermek için çift yönlü ok kullandığıma dikkat edin.

Tepkimelerin sağ tarafındaki toplam kütle (durgun enerji), sol taraftakinden, sırasıyla 0,271 MeV ve 1,293 MeV daha büyük olduğundan, evrenin ortalama kinetik enerjisi bu değerlerin altına düştüğünde, her bir tepkime için nötron üretimi durdu. Önce, daha yüksek enerji farkına sahip ikinci tepkime, yaklaşık 0,1 saniyede durdu, ilk tepkime ise, yaklaşık 2 saniyeye kadar nötron üretmeye devam etti. Bundan sonra, nötronlar, beta bozunumu yoluyla protonlara dönüştüğünden, nötron sayısı proton sayısının yaklaşık altıda birine düşmeye başladı:



Ortalama nötron ömrü, yaklaşık 880 saniyedir; tam değer hâlâ tartışmalıdır. Büyük Patlama nükleosentezi, bu sayıya çok duyarlıdır.

Artık 1 MeV'un altında olan sıcaklıkla, çekirdekler, toplanan yüksek enerjili birçok foton tarafından hemen parçalanmadan oluşabildi. O zamana kadar, tüm pozitronlar yukarıda betimlen-

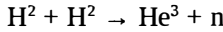
13 Daima güncel kozmolojik bilgiler için müthiş bir kaynak, Ned Wright'ın "Cosmological Tutorial," ıdır (Kozmolojik Eğitim) <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm> (14 Şubat 2013'te erişim yapıldı). Daha fazla ayrıntı için, bkz. Bu bölümdeki, Wright'ın "Big Bang Nucleosynthesis" (Büyük Patlama Nükleosentezi) linki.

diği gibi yok olmuştu ve nötrinoların (ve karşı-nötrinoların) artık bir ilgisi yoktu, böylece kalıntı bir ısı buluta dönüştü; çok daha sonra oluşacak foton ardalanınıninki gibi. Bugün bu bulut, 1,96 K'lık sıcaklıkla ve yakın gelecekte doğrudan tespit edilmemesine dair ufak bir umutla, kozmik nötrino ardalanını (CνB) oluşturur.

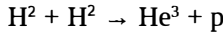
Şimdi daha hafif çekirdeklerin nasıl oluştuğunu görelim. Bir proton ve nötron, bir döteron ve foton üretmek için çarpışabilir:



Önce, hafif bağlı döteronlar, yukarıdaki tepkimenin tersiyle ayrıldı. Ancak her şey yeterince soğuduğunda, iki döteron, bir nötron ve He^3 ,

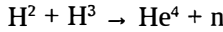


ya da bir triton ve bir proton

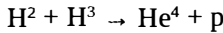


üretmeye yetecek kadar bir süre orada kalabildi.

O zaman şu tepkimeyle:

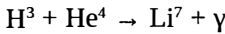


ya da şu tepkimeyle:

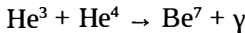


He^4 üretildi.

Bu sırada Li^7



ve Be^7 üretildi.

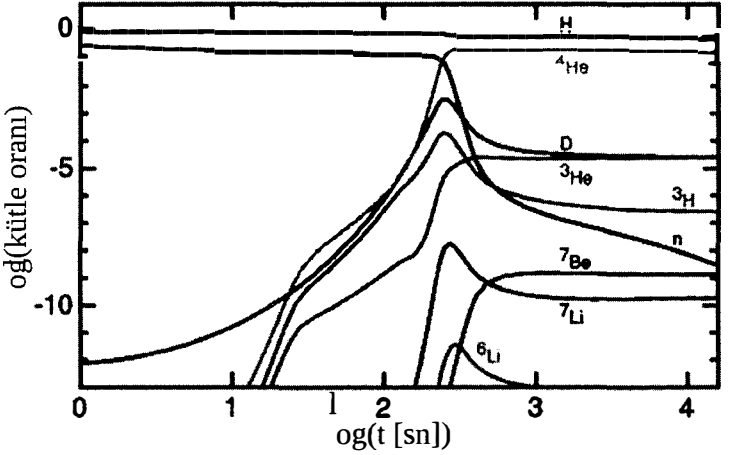


Ve benzerleri. Bu, tepkimelerin tam listesi değildir, ancak fikir vermiş olmalıdır.

Unutmayın ki; bütün bu tepkimelerde, hem atom sayısı (element sembolüyle verilen), hem de nükleon sayısı korunur. İlki sadece yük korunumudur. İkincisi, daha sonra ele alacağımız baryon sayısının daha genel korunumuna dair özel bir durumdur.

Protonlara ilişkin çeşitli hafif elementlerin kütle oranının zaman evrimi, Şekil 10.3'te gösterilmektedir. Bu şekil, Edward

Wright'ın internetten kozmolojik eğitimindendir¹⁴ ve Burles, Nollett ve Turner'ın makalelerine dayanmaktadır.¹⁵ Gördüğümüz gibi üretimdeki tepe noktası yaklaşık iki yüz saniyedir ve çoğu bolluk yaklaşık bin saniyede yatay hale gelmiştir. Li⁶ sadece kısa bir süreliğine görünür ve nötronlar çekirdekleri oluşturmada kullanılırken hızla gözden kaybolur ya da bozunur. Yalnızca He⁴ önemli miktarda üretilir.



Şekil 10.3 İlk evrende, zamanın fonksiyonu olarak, protonlara göre nükleonların ve çekirdeklerin kütle oranı. Görsel, Edward L. Wright'ın izniyle.

Daha fazla çekirdek inşası, beş ya da sekiz nükleona sahip kararlı çekirdeklerin yokluğuyla kesildi. Gördüğümüz gibi, daha ağır çekirdekler, çökmekte olan yıldızların daha yüksek yoğunluk ve sıcaklığında daha sonra oluşacaktı.

14 Edward L. Wright, "Big Bang Nucleosynthesis," (Büyük Patlama Nükleosentezi) 2012, <http://www.astro.ucla.edu/~wright/BBNS.html> (7 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

15 S. Burles, K. M. Nollett ve M. S. Turner, "Big-Bang Nucleosynthesis: Linking Inner Space and Outer Space," (Büyük Patlama Nükleosentezi: İç Uzayla Dış Uzayı Birbirine Bağlamak) 1999, <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9903300v1.pdf> (7 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

Çoğu çekirdek kozmoloğu tarafından kullanılan Büyük Patlama nükleosentezinin geleneksel modeli, sadece tek bir parametreye bağlıdır; 10^{-9} civarında olan, baryonların fotonlara oranı (η). *Baryon*, parçacık fiziğinde protonları ve nötronları içeren belirli bir parçacık sınıfı için genel bir terimdir (bkz. 11. Bölüm). İlk evrenin bu evresinde, bunlar ve onlardan meydana gelmiş çekirdekler, mevcut olan tek baryonlardır.

He^4 bolluğu, kütle olarak protonların %25 kadarı, ilk evrenin koşullarına yalnızca zayıf bir biçimde bağlıdır. Bu nedenle, bu koşullar az bilindiğinde yapılan en erken tahminler dahi, beklenenle aynı orandaydı. Öte yandan, kalan hafif çekirdekler, özellikle döteronlar (H^2) çok hassas bir şekilde baryon kütle yoğunluğuna (ρ_B) bağlıdır, ki bu zamanda sadece nükleon yoğunluğuydu.

Baryon yoğunluğu genellikle $\Omega_B = \rho_B / \rho_c$ oranı olarak ifade edilir; burada ρ_c *kritik yoğunluktur*, yani pozitif kinetik enerji ile negatif kütleçekimsel enerji arasında tam dengede olduğunda evrenin ortalama yoğunluğudur. Geçerli en iyi değer, $\rho_c = 9,467 \times 10^{-30}$ gram/cm³'tür. 8. Bölümde betimlenen Friedmann modelinde, bu, eğrilik parametresinin $k = 0$ ve evrenin Öklitçi olduğu durumdur, bununla birlikte, göreceğimiz gibi, $k = \pm 1$ elenmez.

Şekil 10.4'de, elementlerin teorik ve ölçülen bollukları, protonların sayısının bir oranı olarak sayılarıyla verilir. Bantlar, ölçüm belirsizliklerini gösteren bantların genişlikleriyle ölçülen nicelikleri temsil eder.¹⁶ Eski teorilere ve verilere bakmak yerine, bu grafik bu yazı itibarıyla en yeniyi göstermektedir; burada, Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlüğü Sondası (WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) uydusundan alınan veriler önceki sonuçlardan önemli bir iyileşme sağlamıştır.¹⁷ Planck uydusundan

16 Bu şekil, Ned Wright'ın "Cosmological Tutorial"ından (Kozmolojik Eğitim) uyarlanmıştır.

17 D. N. Spergel, R. Bean, O. Dore, M. R. Nolte, C. L. Bennett, J. Dunkley, G. Hinshaw, N. Jarosik, E. Komatsu ve L. Page, "Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology," (Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlüğü Sondası (WMAP) Üç Yıllık Sonuçları: Kozmoloji için Çıkarımlar) *Astrophysical Journal Suppl.* 170 (2007): 377, ön baskı; <http://arxiv.org/abs/astroph/0603449> (16 Şubat 2013'te erişim yapıldı); Richard H. Cyburt, Brian D. Fields ve Keith A. Olive, "Primordial Nucleosynthesis in Light of WMAP," (WMAP'ın Işığında İlk Nükleo-

daha da kesin sonuçlar artık geliyor olmakla birlikte, WMAP verileri bizim amaçlarımız için yeterli olmaktadır.

Bolluklar $\Omega_B h^2$ 'nin bir fonksiyonu olarak gösterilir, burada h , Hubble sabitinin (H_0) deneysel değerindeki muhtemel değişimlere izin veren boyutsuz bir faktördür (buradaki h Planck sabitiyle karıştırılmamalıdır). Yani, kozmologlar $H_0 = 100h$ kilometre/saniye/megaparsek yazarlar. Geçerli tahmin $h = 0,71$ 'dir.

Elementlerin ilksel bolluklarını tahmin etmek, kolay bir iş değildir. Bugünkü evrende yapılan ölçümlere güvenilmeli, ardından da ilkselin ne kadar olduğu bulunmalıdır.

He^4 , yıldızların çekirdeklerinde devam eden temel füzyon süreçlerinde de üretilir, ancak yıldızlar, patlayıp süpernovalara dönüşmedikçe hiç He^4 yaymazlar ve bu yalnızca en ağır yıldızlarda meydana gelir. He^4 , öteki galaksilerde ve metalce zayıf yıldızlarda sıcak, iyonlaşmış gazda gözlenir; burada astronomlar “metal” terimini genel olarak helyumun üzerindeki tüm elementleri ifade etmek için kullanmaktadır, bu yüzden bu, muhtemelen daha çok ilkseldir. Protonlara göre He^4 'ün tam oranı konusunda bazı anlaşmazlıklar hâlâ mevcuttur ve hesaplamalar iyileşmeye devam etmektedir.¹⁸ Gerçekten de, daha önce bahsedilen, kozmolojinin nötrino türlerinin sayısı üzerine koyduğu kısıtlamada olduğu gibi, helyum bolluğu nötronun tam ömrüne duyarlıdır, böylece bir kez daha, atomaltı fiziğinin kozmolojide, kozmolojininse atomaltı fiziğinde oynadığı önemli rolü görmekteyiz.¹⁹

Döteryum (H^2), bir proton ve bir nötrondan meydana gelen, çok gevşek bağlı bir çekirdektir; birçok astrofiziksel süreçle kolayca yok olur. Döteryumun ilksel bolluğuna ait en iyi son tah-

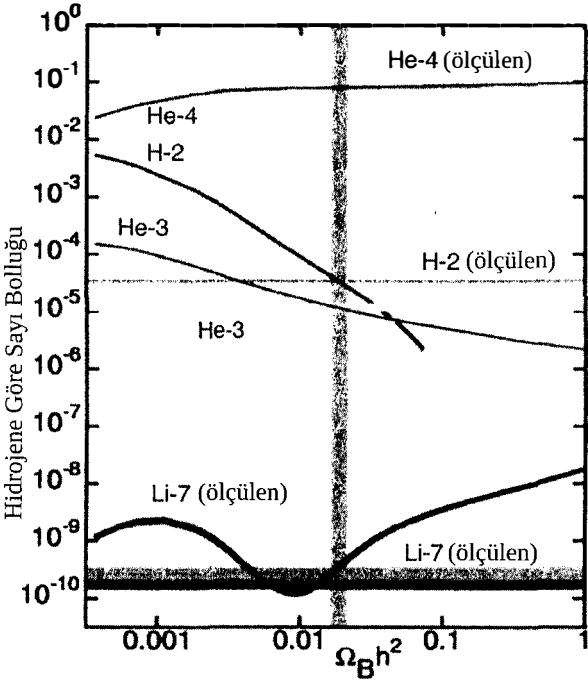
sentez) *Physics Letters B* 567 (2003): 227–34, ön baskı; <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0302431v2> (16 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

18 Keith Olive ve Evan D. Skillman, “A Realistic Determination of the Error on the Primordial Helium Abundance: Steps toward Non-Parametric Nebular Helium Abundances,” (İlksel Helyum Bolluğu Konusundaki Hatanın Gerçekçi Bir Tespiti: Parametre Dışı Nebular Helyum Bolluklarına Doğru Adımlar) *Astrophysical Journal* 617 (2004): 29–49.

19 J. G. Matthews, T. Kajino ve T. Shima, “Big Bang Nucleosynthesis with a New Neutron Lifetime,” (Yeni Bir Nötron Ömrüne Sahip Büyük Patlama Nükleosentezi) *Physical Review D* 71 (2005): 021302.

min, kaynakların kuasarlar olduğu çok uzak galaksilerarası bulutlardaki soğurma çizgilerinin gözlenmesinden gelmektedir.

Li^7 , yıldızlarda hem üretilir, hem de yok olur. Li^7 'nin ilksel bolluğu, galaksimizin halesindeki en eski yıldızların atmosferlerindeki bolluğundan tahmin edildi; ki lityumlarını pek tüketmediklerine inanılmaktadır.



Şekil 10.4 Baryon yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, çeşitli çekirdeklerin protonlarına göre sayı bolluğu. Bantlar, en son ölçülen nicelikleri göstermektedir. Bantların genişliği, ölçüm hatalarını işaret etmektedir. Görsel, Edward L. Wright'ın izniyle.

Yıldızlar, ilk H^2 'yi yakarak He^3 'e dönüştürürler, ancak ölçümler ikisinin toplamının görece sabit olduğunu göstermektedir, bu yüzden He^3 bolluğu, başka yerde tahmin edilen H^2 bolluğu çıkarılarak tahmin edilir.

Şekil 10.4'ten görebileceğimiz gibi, Büyük Patlama nükleosentezi modelinin, verilerle uyuşması gerçekten kayda değerdir. Dört çekirdeğin ilksel bollukları, tek bir parametreden, baryon yoğunluğundan kesin olarak hesaplanır. He^4 dışında hepsi, bu parametreye çok duyarlıdır, bununla birlikte doğru bolluk hesaplanır. Beş niceliğin hepsi, verilerle tam uyum içindedir.

David Schramm, öğrencileri ve ortakları sayesinde, Büyük Patlama modeli bu sonuçlarla kesin olarak doğrulanmaktadır. Bu aralar hâlâ ortaya atılmakta olan alternatiflerin hiçbirisi, bu sonuçla eşleşmenin yanına dahi yaklaşmamaktadır. Gerçekten de bunun nasıl yapılacağına dair hiçbir fikirleri yok. Kabul edelim. Büyük Patlama oldu.

ATOMLARA DOĞRU

Evrenin ilk ortaya çıkışından sonraki otuz dakika, her şey sesizleşti. O sırada sıcaklık üç yüz milyon dereceydi, ortalama kinetik enerji ise yaklaşık 25 keV'tu ve düşmekteydi. Çekirdeksel süreçler durdu, çünkü sıcaklık artık fazla düşüktü. Bir zamanlar fotonlar kadar yaygın olan elektronlar, madde ile karşı-madde arasındaki hafif asimetrinin sonucu olarak bir milyarda birinin artakalması dışında, pozitronlarla birlikte neredeyse tamamen yok olmuştu. Bu asimetri; ki onsuz evrene sahip olamazdık, bildiğimiz gibi, henüz tamamen anlaşılmadı. Bu konu, 11. Bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacak.

Bu noktada, evrenin büyük kısmı (kara madde dışında), artık fotonlar (%69) ve nötrinolar (%31), bir milyar kat daha az protonlar, elektronlar ve He^4 çekirdekleriyle, çok daha az sayıda döترونlar, He^3 , Li^7 ve Be^7 idi. Nötronlar, beta bozunumuyla ya da çekirdeklerin içerisine soğurularak yok olmuştu.

Protonlarla (artı öteki çekirdekler) elektronların sayısının eşleşmesi tesadüf değildir, bununla birlikte bazı din savunucuları, bunun Tanrı tarafından ayarlanmış bir başka ince ayar tesadüf olduğunu iddia ettiler.²⁰ Aslında eşitlik, gözlemlerle doğrulanan,

20 Hugh Ross, "Big Bang Model Refined by Fire," (Ateşle Artılmış Büyük Patlama Modeli), *Mere Creation: Science, Faith & Intelligent Design*, editör: William A. Dembski (Downers Grove, IL: Intervarsity, 1988), sf. 363–83.

evrenin toplam yükünün sıfır olduğu makul varsayımıyla, elektrik yükünün korunumundan çıkmaktadır.²¹

Evrenin şimdiye kadar betimlediğimiz dönemi, *ışınım baskınlığı* çağı olarak adlandırılır, çünkü fotonlar, nötrinolar dışında başka her şeyden sayıca daha fazla olmaya devam etmektedir. Nötrinoların aksine, bu fotonlar hâlâ maddenin geri kalanıyla önemli biçimde etkileşime giriyordu.

Açıklayıcı bir not: Kozmologlar, “ışınım” dedikleri şeyle, “madde” dedikleri şey arasında bir ayrım yapıyorlar. Bir parçacığa, kinetik enerjisi durgun enerjisinden çok daha büyük olduğunda, *ışınım* adı verilir, böylece ışık hızında ya da ona çok yakın bir hızda yol alır. Bu durumda, hareketi, Einstein’ın özel görelilik teorisinin kinematığıyla betimlenmelidir. İlk evrendeki en yüksek kütle parçacıkları, birkaç GeV’un altında durgun enerjilere sahip çekirdekler olduğundan, şekil 10.2’ye göre, yaklaşık 10^{-10} saniyeye kadar, her şey ışıınımdı.

Sıfır durgun enerjisi olduğu için, bir foton daima bir ışıınımdır. Bir nötrino, kinetik enerjisi, 0,1 eV civarından daha fazla olmayan, yani elektronun kütlesinden beş milyon kez daha küçük olan durgun enerjisinin altına düşene kadar bir ışıınımdır (bkz. 13. Bölüm).

Bir parçacığın durgun enerjisi, kinetik enerjisinden çok daha büyük olduğunda, ona *madde* adı verilir, bununla birlikte fotonlar ve ışıınım olarak isimlendirilen başka malzeme dahi, tamamen maddeseldir, bu nedenle ayrım oldukça yanıltıcıdır. Bu parçacıklar, *c*’den çok daha düşük hızlara sahiptir.

Evrenin sıcaklığı yaklaşık 100 MeV’un altına düştükten sonra; ki bu, evren yaklaşık 10^{-5} saniye yaşında olduğunda gerçekleşir, protonlar ve çekirdekler gibi parçacıkların kinetik enerjileri, durgun enerjilerinden çok daha düşük hale gelir ve görelili olmayan Newton kinematığı tarafından yeterli şekilde betimlenebilir.

Binlerce yıl boyunca, fotonlar halindeki ışıınım, evrene hükmetmeye devam edecekti. Bahsedildiği gibi, bu çağ, ışıınım baskınlığı olarak anılır. Ancak, maddenin enerji yoğunluğu (tüm durgun enerji) yalnızca $1/a^3$ oranında düşerken, ışıınının enerji

21 Victor J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe Is Not Designed for Us* (İnce Ayar Safsatası: Evren Niçin Bizim için Tasarlanmamış) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2011), sf. 205.

yoğunluğu (tüm kinetik enerji) $1/a^4$ oranında düşer; burada a , evrenin ölçek faktörüdür. Böylece, Büyük Patlamadan yetmiş bin yıl kadar sonraya gelindiğinde, maddenin enerji yoğunluğu, ışınının enerji yoğunluğunu yakalayıp geçti ve evren, *madde baskınlığı* çağına girdi.

Bu zamana kadar, evren opaktı çünkü fotonlar, etkileşime girmek için bütün bu elektrikle yüklü elektronlara ve çekirdeklere sahipti. Evrenin içerisindeki bir gözlemci (besbelli insan değil), kalın bir sisin içinde gibi, fotonlar çok uzağa gitmediğinden, herhangi bir dalga boyundaki ışık aracılığıyla göremeyecektir. Ardından, sıcaklık birkaç bin derece soğumuş olduğunda ve kinetik enerji, bir elektron voltun birkaç onda birine düştüğünde, elektronlar ve çekirdekler birleşerek atomları oluşturmaya başladılar.

Bu süreç, *yeniden birleşim* olarak adlandırılır; ki bu aptalcadır çünkü çekirdekler ve elektronlar, daha en başta atomlar olarak hiç birleşmediler. Ancak, atomların genellikle ilk sırada olduğu kimyada, bu ad veriliyor. Her durumda, zıt yüklü parçacıkların hepsi, nötr atomlar (eşit sayılar olduğunu hatırlayın) olarak birleştiler ve fotonlar, etkileşime girmek için artık kendileri dışında hiçbir şeye sahip değildi. Büyük Patlamadan 380.000 yıl sonra gerçekleşen, tarihteki gördüğümüz bu önemli an, *ayrıklaştırma* olarak adlandırılır. Evren saydam hale geldi ve fotonlar, bundan 13,8 milyon yıl sonra 3 K'e soğuyarak kozmik mikrodalga ardalanını meydana getirecek, ısı dengede bir bulut oluşturdu.

XI - PARÇACIKLAR ve KOZMOS

GÖRÜNÜR EVREN

1970'lerdeki astronomi, 20 Temmuz 1969'da Apollo 11'le başlayıp, bunu beş tanesi daha takip edip, 11 Aralık 1972'de Apollo 17'yle sona eren, ilk insanlı aya inişli uzay programıyla manşetlere çıktı. 1977'de fırlatılan insansız araçlar Voyager 1 ve 2, Jüpiter ve Satürn'ü ziyaret ederek, dış güneş sistemine devam etti, şimdi de yıldızlararası uzaya girmekteler. 1974'de Mariner 10, Venüs'ü geçip, Merkür'ü ziyaret etti. 1976'da Viking uzay aracı Mars'a indi.

Uluslararası Morötesi Kaşifi (IUE), tayfın UV bölgesindeki astronomik nesneleri gözlemlemek üzere 1978'de fırlatıldı; atmosferik soğurma nedeniyle bunun Yeryüzünden yapılması imkânsızdır. Neredeyse on sekiz yıl dayanan IUE, gezegenlerden kuasarlara her türden 104.000'in üzerinde nesneyi gözlemledi.

NASA Yüksek Enerjili Astronomi Gözlemevi programındaki üç uydu, kozmosta üç yeni ilave pencere keşfetti: x-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar. 1977'de fırlatılan HEAO 1, x-ışını gökyüzünü tarayıp, 1.500 kaynak keşfetti. Ertesi yıl fırlatılan ve Einstein Gözlemevi'nin adını değiştiren HEAO 2, birkaç bin kaynak daha keşfeden ve tam konumlarını saptayan bir x-ışını görüntüleme teleskobuydu. Einstein projesinin baş araştırmacısı Riccardo Giacconi, 1962'de, Scorpius X-1 olarak adlandırılan ve daha sonra bir nötron yıldızı olarak tanımlanan, güçlü bir x-ışını kaynağı keşfeden bir ekibe liderlik etmişti daha önce. Bu kaynağın x-ışını salımı, ışık salımından on bin kat daha güçlüdür. Giacconi, 2002 Nobel Fizik Ödülü'nü alacaktı. 1979'da fırlatılan HEAO 3, x-ışını ve gama ışını kaynaklarının tayflarını ve izotropisini ölçüp, kozmik ışınların izotop kompozisyonunu belirledi.

Yerde, yeni büyük yansıtmalı teleskoplar, Arizona, Şili, Avustralya, Hawai ve Rusya'daki dağ tepelerinde faaliyete geçti. Fotoğraf plakası, yerini yavaş yavaş, otomatik dijital okuma sağlarken, foton toplama duyarlılığını ve verimliliğini büyük ölçüde iyileştiren, ana dedektör olarak *yük-bağlaşık aygıt* (CCD) bıraktı. Yeni yüksek-hızlı dijital bilgisayarlar, hızla ve büyük miktarlarda veriyi işleyip aynaların otomatik kontrolünü sağladılar. Artık astronomlar, teleskoplarının kafeslerinde uzun, soğuk saatler geçirip onları manuel olarak hedeflerinde tutmak zorunda kalmayacaklardı.

On yılın sonuna gelindiğinde, teleskopların toplama alanı, toplanan ışığı senkronize eden bilgisayarlarla birlikte birçok aynayı birbirine bağlayarak, tek bir aynayla mümkün olanın üzerinde artırıldı. Çoklu-Ayna Teleskobu (MMT) adı verilen bu türdeki ilk aygıt, Arizona'da, Hopkins Dağı'nda faaliyet gösteriyordu; o sırada çok yüksek enerjili gama ışınlarını ölçen dağdaki bir başka projede işbirliği yapıyordum.

Hawaii Üniversitesi'ndeki yıllarım sırasında, dünyanın en iyi karada-yerleşik astronomi alanını yaratan, uluslararası teleskopların Hawaii Büyük Adası'ndaki 4205 metrelik dağ olan Mauna Kea'ya sabit kurulumuna şahit oldum. Yukarıdaki son derece kuru havasıyla, yüksek rakımı nedeniyle, Mauna Kea, görünür banttaki gözlemler için üstün bir konum olmasının yanı sıra, kızılaltı gökyüzünün keşfedilmesini de mümkün kılmaktadır.

Bu muhteşem aletlerle yapılan olağanüstü gözlemleri ne listelemeye ihtiyacım var, ne de onların hakkını verebilirim. Astronomi kitaplarını ve NASA'nın web sitelerini dolduran fotoğraflar, doğanın, haşmet ve güzellik yaratmak konusunda, her türlü beşeri sanat biçimiyle ya da dinle rekabet edebileceğini göstermektedir. Bu noktadaki amaçlarım için, evrendeki parlak maddeyle, CMB'nin birbirlerine bundan daha zıt olmalarının mümkün olmadığını söylemek yeterlidir. Optik olarak görünür evren karmaşık, değişken ve düzensizdir. Yüz binde bir olarak, CMB, basit, pürüzsüz ve düzenlidir. Bu hassasiyet seviyesinde, betimlemek için yalnızca bir rakam gerektirir; sıcaklığı, 2,725 K. Yine de CMB'nin pürüzsüzlükten ufacık sapmalarına dair gözlemlerin, bütün bu karmaşık harikaların nasıl doğduğunu bize söyleceği ortaya çıkacaktır.

YAPI PROBLEMİ

CMB'nin keşfinden çok önce, evrendeki yapının kökeni konusunda astronomların kafaları karışmıştı. Önde gelen Britanyalı fizikçi ve astronom James Jeans, pürüzsüz bir gaz bulutunun yoğun bir yığın meydana getirmek için kütleçekim altında daralacağı mekanizmayı geliştirmişti. Jeans, kütleçekimsel çöküşün, gazın dışa doğru basıncını aştığı minimum kütle için bir ifade elde etti. Buna *Jeans kütlesi* adı verildi; gazdaki ses hızına ve gazın yoğunluğuna bağlıdır.

Jeans mekanizması, yıldızların oluşumu için oldukça iyi çalıştı, ancak galaksiler için çalışmadı. 1946'da Rus fizikçi Evgenii Lifshitz, Jeans'in hesaplamasını genişleyen evreni kapsayacak şekilde genişleterek, tek başına kütleçekimsel kararsızlığın, galaksilerin etrafındaki ortamdan oluşumunu açıklayamayacağını ispatladı.¹ Temel olarak, genişleme, kütleçekimi yenmek için, ışıyım basıncıyla birleşir. Galaksi oluşumunun anlaşılamaması, 1980'lere kadar astronomide yersiz bir korku olarak kaldı.

1970'lere girildiğinde, birtakım yazarlar, ilk evrendeki ilksel maddenin yoğunluğundaki dalgalanmaların, galaksileri meydana getirmek üzere hareket ettiğini ileri sürdü. Bir ortamın basıncı, yoğunluğuyla, bir *durum denklemi*yle bağlantılı olduğundan; yoğunluk dalgalanmaları, yalnızca ses adını verdiğimiz şeyler olan basınç dalgalanmalarını üretir. Uzaydaki patlamalar ses çıkarmadığından, "Büyük Patlama"nın yanlış isim olduğunun söylendiğini sıkça duyarsınız. Aslına bakılırsa, Büyük Patlama, işitilebilir bir gürültü yaptı.

İlk kez Pisagor tarafından ifade edildiği gibi, müzik aletlerinden çıkan sesler, her bir armonik sesin, tek bir frekansın ya da ses perdesinin saf bir sesi olduğu armonik seslere ayrıştırılabilir. Bu, her tür ses için geçerlidir, ancak armonik sesler genellikle, müzik aletlerinde olduğu kadar saf değildir. Ses yoğunluğunun çeşitli frekanslar arasında dağılımını, onun *güç tayfı* verir.

Büyük Fransız matematikçi Jean Baptiste Fourier (1768-1830) tarafından geliştirilen *Fourier dönüşümleri* adı verilen matematiksel metot, sesin yanı sıra birçok uygulamada fizikçiler ve mühendisler

1 Evgenii Lifshitz, "On the Gravitational Stability of the Expanding Universe," (Genişleyen Evrenin Kütleçekimsel Kararlılığı Üzerine) *Journal of Physics—USSR* 10 (1946): 116.

tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Fourier dönüşümü, uzaysal konumun ya da zamanın her türlü fonksiyonunu alıp dalga boyunun ya da frekansın bir fonksiyonuna çevirmeyi mümkün kılar. Eğer fonksiyon, uzayda ya da zamanda periyodik ise tayf belirli dalga boylarında ya da frekanslarda tepe noktaları içerir.

1970’lerde, Edward Harrison² ve Yakov Zel’dovich³ birbirlerinden bağımsız olarak, evrendeki yoğunluk dalgalanmaları tarafından üretilen seslerin tayfının, *ölçek değişmezliği* olarak bilinen bir özellik sergilemesi gerektiğini öngördüler. Genel olarak, ölçek değişmezliği, fizikten ekonomiye birçok alanda uygulanan bir ilkedir. Bir sistemin, her ne zaman sistemin değişkenleri aynı faktörle değiştirildiğinde, değişmeyen herhangi bir özelliğini ifade eder. Örneğin, Newton’ın mekanik yasaları, uzaysal birimler foot’tan (ayak) metreye çevrildiğinde değişmez. Ölçek değişmezliği, bir başka simetri ilkesidir.

Ancak ölçek değişmezliği her zaman geçerli olmaz. Benzer yapı ve biyoloji göz önüne alındığında, bir hayvanın atlayabileceği yükseklik, hayvanın ne kadar büyük olduğundan neredeyse bağımsızdır. Yani, orantılı değildir. Bu, *Borelli yasası* olarak bilinir; Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) tarafından getirilmiştir. 1917 tarihli klasiği *On Growth and Form*’da (Büyüme ve Biçim Üzerine) D’Arcy Wentworth Thompson şöyle yazmıştır, “Çekirge de pire gibi zıplamak üzere tasarlanmış görünür... ancak pirenin zıplaması kendi boyunun yaklaşık 200 katıdır, çekirgeninki ise en fazla 20-30 katı.”⁴

Makalelerinde daha teknik terimlerle ifade etmiş olsalar da, Harrison ile Zel’dovich esas olarak, evrenin ufkunun içerisindeki yoğunluk dalgalanmalarının, evren genişlediği için, evrenin ölçeğinden bağımsız olması gerektiğini ifade ettiler. Eğer yoğunluk dalgalanmaları daha önceki ya da daha sonraki bir zamanda daha büyük olsaydı, evrenin kısımları çökerek, kara deliklere dönüşürdü.

- 2 Edward R. Harrison, “Fluctuations at the Threshold of Classical Cosmology,” (Klasik Kozmolojinin Eşiğindeki Dalgalanmalar) *Physical Review D* 1, no. 10 (1970): 2726.
- 3 Yakov B. Zel’dovich, “A Hypothesis, Unifying the Structure and the Entropy of the Universe, 1972,” (Evrenin Yapısıyla Entropisini Birleştiren Bir Hipotez) *Mon. Not. R. Astron. Soc* 160 (1972): 1–3.
- 4 Darcy Wentworth Thompson, *On Growth and Form (Büyüme ve Biçim Üzerine)* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992), ilk basım 1917, sf. 28.

Harrison-Zel'dovich güç tayfı, *dalga sayısı (uzaysal frekans* olarak da adlandırılır) $k = 2\pi/\lambda$ üzerinden ifade edilir, burada λ dalga boyudur. (Bu k 'yı, kozmik eğrilik parametresi olan k 'yla karıştırmayın). Güç tayfının, k^n ile orantılı olduğu varsayılır; n , *tayf indisidir*. Ölçek değişmezliği $n = 1$ olmasını gerektirir.

Şimdi, şu ilksel sesleri “dinlemeyi” nasıl bekleyebilirdik? 1966'da kozmik mikrodalga ardalanının keşfinden sonra, Ranier Sachs ile Arthur Wolfe, daha yüksek kütleçekimsel potansiyeller kanalıyla yol alan fotonların kızıla, daha düşük potansiyeller kanalıyla yol alanların ise maviye kayması nedeniyle, evrendeki yoğunluk değişimlerinin, CMB'nin sıcaklığının gökyüzü boyunca dalgalanmasına sebep olması gerektiğini gösterdiler.⁵

Sachs ile Wolfe, ilksel dalgalanmaları düşünmüyorlardı, ancak bilim tarihindeki en önemli başarılarından birinde, CMB'nin, bu ilksel dalgalanmaları, evrenin yalnızca 10^{-35} saniye yaşında olduğu zamana kadar okuyabileceği ve galaksilerin ve öteki madde yığınlarının milyarlarca yıl sonra bu dalgalanmaların bir sonucu olarak nasıl bir araya geldiğini tam olarak gözlemleyebileceği ortaya çıkacaktı. Galaksi oluşumunu açıklamak için, halihazırda gözlemlenen ışıınım sıcaklığından kısmi sapmanın en az $\Delta T/T = 10^{-5}$ olması gerektiği öngörülmüştür.⁶

KÜTLEÇEKİMSEL MERCEKLENME

Genel göreliliğin çarpıcı öngörülerinden biri, ışığın, güneşin kütleçekimsel alanı tarafından saptırılmasıydı. 1936'da Einstein, astronomik cisimler tarafından bükülen ışığın çoklu görüntüler üretebildiğine dikkat çekti. 1937'de Fritz Zwicky, galaksi kümele-

- 5 Rainer K. Sachs ve Arthur M. Wolfe, “Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background,” (Kozmolojik Modelin Pertürbasyonları ve Mikrodalga Ardalanının Açısal Değişimleri) *Astrophysical Journal* 147 (1967): 73.
- 6 Joseph Silk, “Cosmic Black-Body Radiation and Galaxy Formation,” (Kozmik Kara Cisim Işınımı ve Galaksi Oluşumu) *Astrophysical Journal* 151 (1968): 459–71; Rashid A. Sunyaev ve Ya B. Zel'dovich, “Small-Scale Fluctuations of Relic Radiation,” (Kalıntı Işınımın Küçük-Ölçek Dalgalanmaları) *Astrophysics and Space Science* 7, no.1 (1970): 3–19; Philip J. E. Peebles ve J. T. Yu, “Primeval Adiabatic Perturbation in an Expanding Universe,” (Genişleyen Bir Evrende İlk Adyabatik Pertürbasyon) *Astrophysical Journal* 162 (1970): 815–36.

rinin *kütleçekimsel mercekle* olarak davranabildiğini öne sürdü. Bununla birlikte, ancak 1979’da, Arizona’daki Kitt Peak Gözlemevi’ndeki astronomlar etkiyi gözlemledi. Birbirine aşırı derecede yakın, aslında aynı nesne olduklarını gösteren, aynı kızıla kayma ve tayfa sahip, iki kuasar olarak görünen şeyi fotoğrafladılar. O zamandan beri, merceklenmenin birçok örneği saptanmıştır.

2013’te, yeterince uygun olarak Güney Kutbu Teleskobu olarak adlandırılmış Güney Kutbundaki bir teleskop, CMB’nin polarizasyonunda, evrendeki araya giren yapının merceklenmesinden kaynaklanan, B modu adı verilen istatistiksel olarak önemli bir kıvrım örüntüsü gözlemledi.⁷ Bu gözlem, Şili’deki POLARBEAR (kutup ayısı) adlı bir deneyle 2013 ve 2014’te doğrulandı.⁸ Kütleçekimsel merceklenmeden 14. Bölümde daha fazla bahsedeceğiz, ayrıca CMB’deki B modu polarizasyon tespitlerini de içeren, kütleçekimsel dalgalarla ilgili Güney Kutbundan en son sonuçları ele alacağız.

GÖRÜNMEZ EVREN

Astronomların 1930’larda, evrende, galaksilerdeki parlak maddeyle, yani yıldızlar ve sıcak gazla açıklanabilenden çok daha büyük miktarda madde olduğunu nasıl keşfettiklerini gördük. Gözlemler, yalnızca Newton’ın mekanik ve kütleçekim yasalarıyla uyuşmamakla kalmadı, birkaçı da, bunların her anlamda çürütülmüş olduğunu söylemeye hazırdı. Fritz Zwicky, bu görünmez çöken maddeyi *dunkle materie* ya da kara madde olarak adlandırmıştı.

Hollanda, Groningen’deki radyo astronomların, çeşitli galaksilerden nötr hidrojen molekülleri tarafından yayınlanan 21 santimetrelilik aşırı ince tayfsal çizgiyi araştırdıkları 1970’lere kadar, soru konusunda pek bir şey yapılmadı. Onların ölçümleri, çok sayıda galaksi örneği için düz *dönme eğrileri* gösterdi.⁹ Bir

7 D. Hanson ve ark., “Detection of B-mode Polarization in the Cosmic Microwave Background with Data from the South Pole Telescope,” (Güney Kutbu Teleskobundan Verilerle Kozmik Mikrodalga Ardalanındaki B Modu Polarizasyonun Tespiti) *Physical Review Letters* 111 (2013): 141301.

8 P. A. R. Ade ve ark., “A Measurement of the Cosmic Microwave Background B-Mode Polarization Power Spectrum at Sub-Degree Scales with POLARBEAR,” (POLARBEAR’le Alt-Derece Ölçeklerdeki Kozmik Mikrodalga Ardalanı B Modu Polarizasyon Güç Tayfının Bir Ölçümü) (2014): basılacak.

9 Albert Bosma, “The Distribution and Kinematics of Neutral Hydrogen in

dönme eğrisinde, yıldızların dönme hızları gösterilir; ki bu, galaksilerinin merkezine olan uzaklıklarına karşı, gözlemlenen tayfsal çizgiyi, Doppler kaymasına uğratar. Tıpkı güneş sistemindeki gezegenlerin hızlarının, güneş sisteminin kütesinin büyük kısmının yer aldığı güneşten uzaklaştıkça düşmesi gibi, Newton yasalarına göre, bunların, merkezden daha uzaktaki yıldızlarda düşmesi gerekir. Bunun yerine, hızlar büyük ölçüde sabit kaldı.

Bu gözlemin açıklaması, galaksilerin, ışık yayan merkezlere daha yakın olan daha yoğun bölgelerin hayli ötesine uzanan, görünmeyen kara maddeden halelere sahip olduğuydu. Bu görünmez madde, pek ihmal edilebilir değildir. Aslında, bu maddenin, araştırılmış olan galaksilerin kütlelerinin %90'ını oluşturduğunu artık biliyoruz. Sonraki bir bölümde göreceğimiz gibi, önceki kısımda betimlenen kütleçekimsel mercekleme, kara maddenin varlığına doğrudan kanıt sağlamakta kullanıldı.

Bu sırada, Amerikalı astronom Vera Rubin ile ortakları, optik tayftaki sarmal galaksilerin dönmelerine dair sistematik bir çalışma yaparak, aynı etkiyi gözlemliyorlardı.

Astronomlar, gezegenler, kahverengi cüceler, kara delikler, nötron yıldızları gibi birçok astronomik cismin, varsa da doğrudan pek saptanabilir ışık yayınlamadığının pekâlâ farkındaydılar. Bununla birlikte, bunların, Newton mekaniğinden çıkarılan toplam kütleli açıklamak için yeterli olduğu pek mümkün görünmüyordu.

Ayrıca kara maddenin büyük bölümünün tanınmış atomik maddeden oluşmuş olamayacağına, ancak henüz tanımlanmamış bir şey olması gerektiğine dair bağımsız kanıt vardı. Bu kanıt, 10. Bölümde gördüğümüz, büyük patlamanın güçlü doğrulamasını sağlayan aynı kaynaktan geliyordu; Büyük Patlama nükleosentezi.

Şekil 10.4'te, baryon yoğunluğunun kritik yoğunluğa oranı Ω_B 'nin bir fonksiyonu olarak, hafif çekirdeklerin teorik ve ölçülmüş bolluklarını karşılaştırdık. Kesin rakamlar hâlâ değişmekle birlikte, en son ölçümler, evrenin kütesinin %26'sı, tanınmış atomlardan meydana gelmiş olması mümkün olmayan kara maddeye, Ω_B 'nin %5'ten az olduğunu gösteriyor.

Spiral Galaxies of Various Morphological Types" (Çeşitli Morfolojik Tipteki Sarmal Galaksilerde Nötr Hidrojenin Dağılımı ve Kinematiki) (doktora tezi, Gronigen Üniversitesi, Gronigen, Hollanda, 1978). <http://ned.ipac.caltech.edu/level5/March05/Bosma/frames.html> (2 Eylül 2013'te erişim yapıldı).

PARÇACIK FİZİĞİNİN DOĞUŞU

CMB'nin 1964'deki keşfi, yeni bir alan olan temel parçacık fiziğinin doğuşuyla aynı zamana rastladı. Ben de ilk kez UCLA'da (Los Angeles'taki California Üniversitesi) yüksek lisans öğrencisi olarak, 1963'te doktoramı bitirdikten sonra ise, Heidelberg, Oxford, Roma ve Floransa Üniversitelerinde misafir öğretim üyeliği ile birlikte, Hawaii Üniversitesi'nde otuz yedi yıl boyunca fizik profesörü olarak bu alanda yer aldım. Eninde sonunda parçacık fiziği kozmolojide önemli bir rol oynayacaktı, bu nedenle bir an için dikkatimizi çok büyükten çok küçüğe yöneltmemeye izin verin.

Giderek artan enerjiye sahip parçacık hızlandırıcıları ve giderek artan hassasiyete sahip parçacık dedektörleri kullanılarak, *temel parçacıklar ve kuvvetlerin standart modelinin* geliştirilmesiyle 1970'lerde doruğa ulaşan tamamen yeni bir atomaltı dünya ortaya çıkarıldı. Tüm bu parçacıklar için olan bu modelde, birbirleriyle nasıl etkileşime girdiklerini başarıyla betimleyen bir yer bulundu.

10 Nisan 2014'te, bu kitap yapım aşamasındayken, Cenevre'deki CERN laboratuvarı (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi), bir başka işbirliği tarafından daha önce bildirilen, Z(4430) adlı "egzotik" bir negatif yüklü parçacığın varlığını yüksek önemle doğruladı. Basındaki hikâyeler, standart modelin ihlal edildiğini öne sürdü. Bununla birlikte, durum böyle değildi. Z(4430), besbelli dört kuarktan oluşmaktadır, türünün ilk örneğidir. Ancak bu, standart modeli, dört nükleonlu helyum çekirdeğinin varlığının çekirdek modelini çürütmesinden daha fazla çürütmez.

Standart modele göre temel parçacıkları ve kütlelerini gösteren tablo 11.1'e bakın. Her bir parçacığın kütlesi, enerji birimleri MeV (milyon elektron volt) ya da GeV (milyar elektron volt) olarak verilir; ki yalnızca parçacığın durgun enerjisidir ve c sadece gelişigüzel bir sabit olduğundan, $E = mc^2$ ile kütlesine eşdeğerdir.

Fermionlar olarak sınıflandırılan parçacık grubunu düşünün. Bunların hepsi, $1/2$ 'lik iç açısız momentuma ya da *spine* sahiptir.¹⁰ Üç "nesil" halinde bulunurlar; tabloda, u , c ve t başlıklı kolonlar halinde gösterilmiştir. Her bir nesil, iki *kuark* ve iki *lepton*a sahiptir. Soldaki ilk nesil, $+2e/3$ yüklü bir u kuarkla, $-e/3$

10 Spin, açısız momentumdur ve genellikle $\hbar = h/2\pi$ birimleriyle ifade edilir, burada h Planck sabitidir.

yüklü bir d kuarktan meydana gelir, burada e birim elektrik yüküdür. Aşağıda, kuarklar birinci nesil leptonlardır: sıfır yüke sahip elektron nötrino (ν_e) ve $-e$ yüküne sahip elektron (e). Fermionların her birine, tabloda gösterilmeyen, zıt yükün bir karşı-parçacığı eşlik eder. (Karşı-nötrinolar, nötrinolar gibi, yüksüzdür.)

Nötrinoların kütlelerini 13. Bölümde ele alacağım. Şimdilik, yalnız şu kadarını söyleyeyim ki; en az bir nötrino 0,1 eV civarında bir kütleye sahiptir. Bu, kütlesi 511.000 eV olan, sıfır olmayan en hafif kütleli en yakın parçacıkla, elektronla karşılaştırılacaktır.

Fermionlar (Karşıparçacıklar gösterilmemiştir)				Bozonlar
Kuarklar	u 2.3 MeV	c 1.27 GeV	t 173 GeV	γ 0
	d 4.8 MeV	s 95 MeV	b 4.18 GeV	g 0
Leptonlar	ν_e <i>metne bakınız</i>	ν_μ <i>metne bakınız</i>	ν_τ <i>metne bakınız</i>	Z 90.8 GeV
	e 0.511 MeV	μ 106 MeV	τ 1.78 GeV	W 80.4 GeV

Tablo 11.1 Standart modelin parçacıkları. Kütleler, enerji birimleri olarak verilmiştir. Karşı-parçacıklar ve Higgs bozonu gösterilmemiştir.

İkinci ve üçüncü nesiller, hepsi daha ağır ve kararsız olup, hızla daha hafif parçacıklara bozunmaları dışında, benzer yapıdaki kuarklara ve elektronlara sahiptirler. Örneğin, ortalama 2,2 mikrosaniyelik bir ömre sahip olan müon (μ^-), 106 MeV'luk bir kütleye sahip, esasen yalnızca daha ağır bir elektrondur. Ana bozunum süreci şöyledir:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

Burada $\bar{\nu}_e$ bir karşı-elektron nötrinosudur.. Karşı-müon (μ^+), benzer bir bozunuma sahiptir:

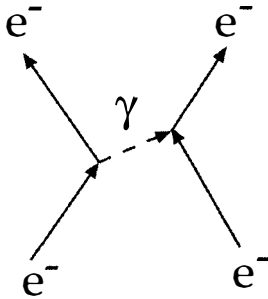
$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

Unutmayın ki, t kuarklar, protonlardan (kütle 938 MeV) 184 kat daha kütlelidir.

Standart model, üç kuvveti içerir: elektromanyetizma, zayıf çekirdek kuvveti ve güçlü çekirdek kuvveti. Atomaltı seviyede ihmal edilebilir etkiye sahip olan, büyük ölçekte ise genel görelilikle zaten iyi betimlenmiş olan kütleçekim, dahil değildir. Yalnızca Planck ölçeğine yani 10^{-35} metreye indiğimizde, genel görelilik çöker. Bundan daha sonra bahsedeceğiz.

Tablo 11.1'in en sağ kolonundaki parçacıklar, kuvvetlerin aracılarıdır. Bunlar, tamsayı spinli parçacıklar olarak tanımlanan *bozon*lardır. Bu durumda, hepsi spin 1'e sahiptir. Standart modelin bozonları, bazen "kuvvet parçacıkları" olarak adlandırılır, çünkü standart modelin temelinde olan, kuvvetlerin kuantum alan teorilerinde, bu parçacıklar, kuvvet alanlarıyla ilişkilendirilen *kuantum*dur. Örneğin, foton (γ) (gama ışınları için) elektromanyetik alanın kuantumudur.

Kuvvet parçacıkları standart modelde, birbiriyle etkileşimde bulunan kuark veya leptonlar arasında değiş tokuş edilen, birinden diğerine momentum ve enerji taşıyan parçacıklar olarak resmedilir. Şekil 11.1, bir fotonu değiş tokuş ederek etkileşime giren iki elektronu gösteriyor. Bu, 1948'de fizikçi Richard Feynman tarafından getirilen *Feynman diyagramının* kanonik örneğidir.¹¹ Feynman diyagramları, esas olarak hesaplama araçlarıdır ve fazla ciddiye alınmamalıdır.¹²



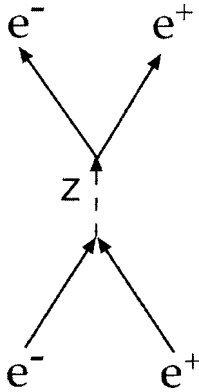
11 David Kaiser, "Physics and Feynman's Diagrams," (Fizik ve Feynman'ın Diyagramları) *American Scientist* 93 (2005): 156-65.

12 Gerçi, 2000 tarihli kitabım *Timeless Reality*'de (Zamanüstü Gerçeklik), Feynman diyagramlarının nasıl genelde varsayıldığından daha ciddiye alınabileceğini ortaya koymaktayım.

Şekil 11.1 Bir fotonu değiş tokuş ederek etkileşime giren iki elektronu gösteren Feynman diyagramı. Görsel yazara aittir.

Dolayısıyla, standart modelde foton, elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısıdır. Nötrinolar dışında bütün temel parçacıklar, elektromanyetik olarak etkileşime girerler. Elektromanyetik kuvveti başarıyla betimleyen *Kuantum elektrodinamiği* (QED) adlı kuantum alan teorisi, 1940'ların sonlarında Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger, Richard Feynman ve Freeman Dyson tarafından geliştirildi.¹³ İlk üçü, üç ödül alanla sınırlı 1965 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşacaklardı.

Şekil 11.2'de, bir elektron ile pozitron çarpışıp Z-bozonuna dönüşerek yok olmaktadır; ardından bu, çifti yeniden yaratır. Bunlar, parçacık etkileşimlerini betimleyen birçok diyagrama yalnızca iki örnektir.



Şekil 11.2 Ardından çifti yeniden yaratan Z-bozonu aracılığıyla yok olan bir elektron ile pozitron çifti. Görsel yazara aittir.

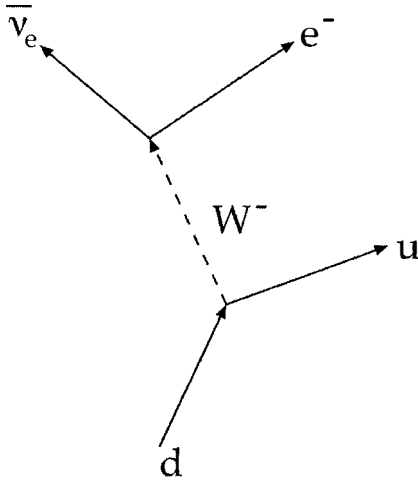
- 13 Sin-Itiro Tomonaga, "On a Relativistically Invariant Formulation of the Quantum Theory of Wave Fields," (Dalga Alanları Kuantum Teorisinin Görelî Olarak Değişmez Formülasyonu Üzerine) *Progress in Theoretical Physics* 1, no. 2 (1946): 27–42; Julian Schwinger, "On Quantum-Electrodynamics and the Magnetic Moment of the Electron," (Elektronun Kuantum Elektrodinamiği ve Manyetik Momenti Üzerine) *Physical Review* 73, no. 4 (1948): 416–17; Richard Feynman, "Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics," (Kuantum Elektrodinamiğine Uzay Zaman Yaklaşımı) *Physical Review* 76, no. 6 (1949): 769–89; Freeman J. Dyson, "The Radiation Theories of Tomonaga, Schwinger, and Feynman," (Tomonaga, Schwinger ve Feynman'ın Işınım Teorileri) *Physical Review* 75, no. 3 (1949): 486–502.

W bozonu, iki elektrikle yüklü durumda görünür; $+e$ ve $-e$. Sıfır yüke sahip Z bozonuyla birlikte, bu “zayıf bozonlar”, foton ve *gluon* dışında tüm temel parçacıklar üzerinde etkili olan zayıf çekirdek kuvvetine aracılık ederler. Gluon birazdan ele alınacak.

En bilinen zayıf etkileşim, bir elektron ve karşı-nötrinin yayımlandığı, çekirdeklerin beta bozunumudur. Standart modelde, temel süreç, kendileri çekirdeklerin içerisinde olan nükleonların (protonlar ve nötronlar) içerisindeki kuarkları içermektedir.

$$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$$

W bozonunun oynadığı rolü görmek için, şekil 11.3’e bakın.



Şekil 11.3. d kuarkın beta bozunumu. Bu resimde, d kuark bir W^- bozonuna ve bir u kuarka bozunur. W^- uzayda kısa bir mesafe (yaklaşık 10^{-18} metre) yayılır, ardından da bir elektron ve bir karşı-elektron nötrinosa bozunur. Görsel yazara aittir.

Tablo 11.1’de g olarak sınıflandırılan parçacık, *gluon*dur. *Renk yükü* adı verilen şeyin sekiz farklı halinde bulunur; bu, elektrik yüküne benzer ancak mecazi olarak “renkler” denilen sekiz çeşit halindedir. Gluon, çekirdekleri bir arada tutmaktan sorumlu *güçlü çekirdek kuvvetine* aracılık eder. Sadece kuarklar güçlü bir şekilde etkileşir. Standart modelde yeğün kuvvet, Feynman tarafından *kuantum kromodinamiği* olarak adlandırılan bir kuantum alan teorisiyle betimlenmiştir.

1960'larda keşfedilen yüzlerce yeni parçacığın çoğu, güçlü bir şekilde etkileşen parçacıklardı. Bunlar türsel olarak hadronlar olarak adlandırılır. İki tür hadron tanımlanmıştır: yarım tamsayı spine sahip olan *baryonlar* ve tamsayı spine sahip olan *mezonlar*. Protonlar ve nötronlar, baryonlardır. En hafif mezon, *pion* ya da pi-mezonudur, üç yük halinde bulunur; π^+ , π^0 ve π^- . Doktora tezi çalışmamı, K-mezon ya da *kaon* üzerine yaptım. Kaon, dört çeşit halinde bulunur; K^+ , K^- , K^0 , $\bar{K}^0$. Kuarklardan birinin s ya da onun karşı-parçacığı olduğu, kuark/karşı-kuark çiftlerinden oluşurlar. Daha fazla ayrıntıya girmeme gerek yok.

Nükleonlar dışında tüm hadronlar, son derece kararsızdır; bazılarının ömrü o kadar kısadır ki çekirdeğin çapını bozunmadan zar zor aşabilirler. Yaklaşık on beş dakikalık ortalama yaşam süresiyle, nötron, beta bozunumuna doğru kararsızdır. Nötronlar içermesine rağmen, çoğu çekirdek, enerji korunumu onları parçalanmaktan koruduğu için karardır. Yüksek enerjili kozmik ışın çarpışmalarıyla anlık üretilen birkaçı dışında, artık dış uzayda dolaşan çok fazla serbest nötron (ya da protonlar dışındaki diğer hadronları) bulamazsınız.

Proton belli ki son derece karardır, yoksa 13,8 milyar yıl sonra evrende bu kadar hidrojene sahip olmazdık. Bununla birlikte, birazdan göreceğimiz gibi çok uzun yaşam süresiyle dahi proton bozunumu ihtimali, muazzam kozmolojik sonuçlara sahiptir.

Temel parçacıklar ve kuvvetlerin standart modeli, kısmen, bu birçok yeni parçacığı basit bir düzene uydurma çabasından ortaya çıktı. Harikulade bir şekilde başarılı oldu. Düzen şöyledir: Baryonların hepsi üç kuarktan oluşur. Karşı-baryonlar, üç karşı-kuarktan meydana gelir. Mezonlar, bir kuark ve bir karşı-kuarktan oluşur. Tablo 11.1'deki kuarklardan ve onların karşı-kuarklarından meydana gelemeyen hiçbir hadron şimdiye kadar gözlenmemiştir.

Tanıdık maddeyi oluşturan atomların çekirdekleri, yalnızca *u* ve *d* kuarklardan meydana gelir. Proton, *uud*, nötron ise *udd*'dir. Günlük hayatlarımızda ilgilendiğimiz her fiziksel nesne ile parçacık fiziği ve parçacık astrofiziği dışında tüm disiplinlerdeki bilim insanlarının ilgilendiği her nesne, yalnızca üç temel parçacıktan yapılmıştır; atom çekirdeklerini meydana getiren *u* ve *d* kuarklar ile atomları oluşturmak için onların etrafında bulutlar halinde toplanan elektronlar.

2012'deki, neredeyse kesinlikle uzun süredir beklenen Higgs bozonunun keşfi, standart modelin son cilasıydı. Higgs bozonu, lepton ve zayıf bozon kütlelerini üretmekten sorumlu olan spin-sıfır parçacıktır (H). Kuarklar kütlelerinin bir kısmını bu şekilde elde ederler, ancak büyük bölümü, yağın kuvveti içeren, detayına girmeme gerek olmayan bir başka mekanizmayla elde edilir. Foton ve gluon kütsesizdir.

Şimdi standart modelin ardındaki teorik fikirlere bakalım. Fiziksel yasanın anlamına dair sahip olduğumuz kavramın bütünü için olan o belirli örneğin hayli ötesine geçtiklerini göreceğiz.

SİMETRİ ve DEĞİŞMEZLİK

Görelilik ile kuantum mekaniğinden standart modele, modern fiziğin ana kavramları, simetri ilkeleri ve bu simetrilerin kırıldığı biçimdir. Hem bugünkü hem de ilk evreni anlamamızda, bunların bize büyük yardımı oldu.

Simetri, bir başka kavramla bağlantılıdır; *değişmezlik*. Kusursuz bir küre herhangi bir eksen etrafındaki dönmeye göre değişmezdir. Yani, her açıdan aynı görünür. Bu nedenle *küresel simetriye* sahip olduğunu söyleriz.

Eğer yumuşak bir maddeden yapılma küre biçiminde bir topu (Yeryüzü gibi) alıp, hızla döndürmeye başlarsanız, ekvator kısmı şişmeye başlayacak ve küresel simetrisi kırılacaktır. Bununla beraber, top, dönüş eksenini etrafındaki dönme simetrisini koruyacaktır.

İşte ben, “fizik yasaları” denilen matematik ilkelerinin içinde saklı olanlara göre geometrik nesnelerin simetrileriyle daha az ilgiliyim. Bunlar, fizikçilerin gözlemleri betimlemek için tasarladıkları modellerde ortaya çıkan ilkelerdir.

Bir gözlem, gözlemin yapıldığı açıdaki bir değişim gibi bir işleme göre değişmez olduğunda, bu durumda bu işlemi doğru bir şekilde betimleyen model, uygun simetriye sahip olmalıdır. Özellikle, model, eksenlerin belirli yönleri gösterdiği bir x, y, z koordinat sistemini varsayamaz.

1950'lerde, zayıf çekirdek kuvvetinin, teknik olarak *parite* olarak adlandırılan ayna simetrisini ihlal ettiği gösterildi. Yani, zayıf süreçler, tıpkı elleriniz (ya da hatta yüzünüz) gibi, sol-sağ

değiş tokuşuna göre değişmez değildir. Matematiksel olarak, *parite* işlemcisi adı verilen bir işlemci (P), sistemin durumunu ayna görüntüsüne çevirir.

Parçacık fizikçileri, bir parçacığı onun karşı-parçacığıyla değiştiren bir başka işlemci (C) ile zamanı tersine çeviren bir işlemci (T) tanımlamaktalar. 1960’larda, CP birleşik simetrisinin, nötr kaonların bozunumunda, çok az ihlal edildiği keşfedildi. CPT birleşik simetrisinin temel olduğuna inanılmaktadır. Bu durumda, CP’nin ihlali, T’nin ihlali anlamına gelmektedir. Doğrudan T ihlali deneysel olarak doğrulanmıştır, oysa CPT, gözlemlenen herhangi bir fiziksel süreçte hiçbir zaman ihlal edilmemiştir.

Unutmayın ki etki küçük, %0,1 kadar olduğundan ve zamanın tersine çevrilmesine engel olmadığından; T ihlali, zamanın okunun kaynağı olarak yorumlanmamalıdır. Yalnızca zamandaki bir yönü, diğerinden biraz daha muhtemel yapar.

CPT değişmezliği spesifik olarak şunu söyler; eğer herhangi bir tepkimeyi alıp tüm parçacıklarını karşı-parçacıklara çevirir, tepkimeyi zıt zaman yönünde yürütüp, bunu bir aynada görüntülerseniz, bunu ilk tepkimeden ayırt etmeniz mümkün olmayacaktır. Şimdiye kadar, durum bu görünüyor.

Kısaca, fizik yasaları sadece belli simetrilere uymakla kalmaz, aynı zamanda birkaçı da (hepsi değil), genellikle kendiliğinden, yani rastlantı sonucu bu simetritelerin bir kısmını ihlal edebilir.

Gençlerin parti oyunu “şişe çevirme”yi düşünün. Bir oğlan, kızlardan oluşan çemberin ortasında bir şişeyi yerde döner hale getirir. Dönmekte olan şişe, düşey bir eksen etrafında dönme simetrisine sahiptir. Ancak sürtünme, onu durma noktasına getirir, simetri kendiliğinden kırılır ve şişe gelişigüzel bir şekilde oğlanın öpeceği belirli kıza işaret eder.

SİMETRİLER ve “FİZİK YASALARI”

6. Bölümde betimlendiği gibi, 1915’te Emmy Noether, fiziğin üç büyük korunum ilkesine; doğrusal momentum, açısal momentum ve enerjiye, sırasıyla uzay öteleme simetrisi, uzay dönme simetrisi ve zaman öteleme simetrisine sahip her teoride otomatik olarak uyulduğunu kanıtladı. Korunum ilkeleri, genellikle fizik derslerinde ve kitaplarında öğretildiği gibi, maddenin davranışı

üzerindeki kısıtlamalar değildir. Fizikçilerin davranışı üzerindeki kısıtlamalardır. Eğer bir fizikçi, tüm zamanlar, yerler ve yönelmelerde geçerli olan bir model oluşturmak isterse, bu durumda başka seçeneği yoktur. Söz konusu model, otomatik olarak üç korunum ilkesini içerecektir.

Temel parçacık fiziğinin standart modeli, Noether'in özgün çalışmasından uzak olmakla beraber, fizik yasaları dediğimiz şeyin en önemli kısmının basitçe, modellerimizi nesnel yani belirli herhangi bir gözlemcinin bakış açısından bağımsız hale getirmek için, onlara yerleştirilen mantıksal gereklilikler olduğuna dair genel fikri doğruladı. 2006 tarihli kitabım *The Comprehensible Cosmos*'ta (Anlaşılabilir Kozmos), bu ilkeye *bakış açısı değişmezliği* adını verdim ve neredeyse bütün klasik ve kuantum mekaniğinin bundan elde edilebileceğini gösterdim.¹⁴

Kitabın alt başlığı: *Where Do The Laws of Physics Come From?* (Fizik Yasaları Nereden Geliyor?) Cevap: Hiçbir şeyden gelmediler. Onlar, ya bakış açısı değişmezliğini koruyan simetritlerin zorunlu gereklilikleri olan *meta yasalardır*, ya da bazı simetritler belirli koşullar altında kendiliğinden kırıldığında meydana gelen kazalar olan *içtüzüklerdir*. Unutmayın ki, eğer çoklu evrenler varsa, hepsinin aynı meta yasalara, ancak muhtemelen farklı içtüzüklere sahip olmaları gerekir.

Yaygın bir şekilde tanınmamakla birlikte, Noether'in simetritler ile yasalar arasındaki bağlantısı, uzay zamanın ötesine, kuantum alan teorisinde kullanılan soyut iç uzaya genişletilebilir. Bu fikre dayanan teorilere *ayar teorileri* adı verilir. Yirminci yüzyılın başlarında, yük korunumu ve Maxwell'in elektromanyetizma denklemlerinin doğrudan ayar simetrisinden elde edilebileceği gösterildi.

1940'ların sonlarında, ayar teorisi, daha önce betimlenmiş olan elektromanyetik alanın kuantum teorisi, kuantum elektrodinamiğine uygulandı. Bilim tarihindeki en kesin tahminleri üreten bu yaklaşımın büyük başarısı, öteki kuvvetlerin de simetritlerden elde edilebileceğini ortaya koydu. 1970'lerde, Abdus Salam, Sheldon

14 Victor J. Stenger, *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From?* (Anlaşılabilir Kozmos: Fizik Yasaları Nereden Geliyor?) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2006).

Glashow ve Steven Weinberg, çoğunlukla birbirlerinden bağımsız çalışarak (aynı makaleleri okumuş olmalılar), elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin tek bir *elektrozayıf* kuvvet halinde birleştirilmesini mümkün kılan bir ayar simetrisi keşfettiler. Bu, standart modelin teorik tarafının gelişimindeki ilk adımdı. Salam, Glashow ve Weinberg, 1979 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşacaklardı.

İki kuvvet birleştirilmiş dediğimizde, bunun ne anlama geldiğini açıklayayım. Newton'dan önce, (modern bir bağlamda ifade edilirse) Yeryüzü için bir kütleçekim yasası, gökler içinse başka bir yasa olduğu düşünülüyordu. Newton, ikisini birleştirerek, bunların, elmaların ve gezegenlerin hareketlerini tek bir kütleçekim yasasına dayanarak betimleyen aynı kuvvet olduğunu gösterdi. On dokuzuncu yüzyılda, Michael Faraday ve James Clerk Maxwell elektromanyetizma adı verilen tek bir kuvvet halinde birleştirene kadar, elektrik ve manyetizmanın farklı kuvvetler oldukları düşünülüyordu.

Ancak elektromanyetizma ve zayıf çekirdek kuvveti, çok yakın zamana kadar mevcut olan hızlandırıcı enerjilerde pek de aynı kuvvet gibi görünmüyordu. Gözlemlenen ışığı yayınladıklarında on üç milyar ışık yılını aşan uzaklıkta olan galaksileri görebildiğimiz gerçeğiyle ispatlandığı gibi, elektromanyetik kuvvet, evrenin bir ucundan bir ucuna ulaşır. Zayıf kuvvet, bir çekirdeğin çapının binde biri kadarına uzanır yalnızca. Bunların aynı kuvvet olabileceğini düşünmek, muazzam bir hayalgücü becerisi gerektiriyordu! Bilhassa Feynman'ın kuşkulu olduğunu hatırlıyorum.

Feynman diyagram düzeninde, bir kuvvete, kütlesi kuvvetin aralığıyla ters orantılı olan bir parçacığın değiş tokuşu aracılık eder. Elektromanyetizma aralığı sınırsız görüldüğünden, onun aracı, foton, sıfıra çok yakın kütleyle sahip olmalıdır. Gerçekten de, bir fotonun kütlesi ayar değişmezliğine göre aynı şekilde sıfırdır. Öte yandan, zayıf kuvvete aracılık eden parçacıklar, 80,4 ve 90,8 GeV'luk kütlelere sahip olmalıdır. Yani, protondan (0,938 GeV) neredeyse yüz kat daha kütlelidirler.

Salam-Glashow-Weinberg modeline göre, yaklaşık 100 GeV'un üzerinde bir yerde (artık 173 GeV olduğu bilinmekte), elektromanyetik ve zayıf kuvvetler birleşir. Bu enerjinin altında, simetri kendiliğinden, yani rastlantı sonucu, iki farklı simetriye kırılır; biri elektromanyetik kuvvete, diğeri ise zayıf kuvvete kar-

şılık gelir. Üç “zayıf” bozon; sırasıyla $+e$ ve $-e$ elektrik yüküne sahip W^+ ve W^- ile nötr Z , zayıf kuvvetin kısa aralığının gerektirdiği kütlelere sahipken, foton, kütsesiz olarak kalır.

Elektrozayıf simetri kırılma sürecinde, leptonların yanı sıra zayıf bozonlar, standart modelin geliştirilmesinden epey önce yayınlanan üç bağımsız makaledeki altı yazar tarafından ilk kez 1964’te ortaya konulan Higgs mekanizmasıyla kütlelerini kazanırlar. Söz konusu yazarlar; Edinburgh Üniversitesi’nden Peter Higgs, Serbest Brüksel Üniversitesi’nden Robert Brout (artık yaşamıyor) ile François Englert, Brown Üniversitesi’nden Gerry Guralnik, Rochester Üniversitesi’nden Dick Hagen ve Imperial College London’dan Tom Kibble’dı.¹⁵ Mahcubiyetine rağmen, sürece altıdan yalnızca birinin, mütevazı Britanyalı fizikçi Peter Higgs’in adı verildi.

Higgs mekanizmasında, kütsesiz parçacıklar Higgs bozonu adı verilen spin-sıfır parçacıklar saçarak kütle elde ederler, bu da, on yıl sonra geliştirilen standart modelin ana parçası haline geldi.

Esas olarak bunu şu şekilde düşünebilirsiniz: Evren, uçuşarak var olup yok olan kütleli Higgs parçacıklarıyla dolu bir ortamdır. Sıfır-kütleli temel bir parçacık, ışık hızında bu ortamda ilerlemeye çalıştıkça, Higgs parçacıklarından seker, böylece ortamdaki ilerleyişi yavaşlar. Bu, eylemsizlikte etkin bir artış meydana getirir, kütle de eylemsizliğin bir ölçüsüdür.

Standart model, zayıf bozonların tam kütlelerini tahmin etti; $W_\pm$ ’ler için 80,4 GeV ve Z için 90,8 GeV. Ayrıca, sıfır-yüklü Z bozonunun değış tokuşundan kaynaklanan süpernova patlamalarında rol oynadığı 10. Bölümde bahsedilen, zayıf nötr akımların varlığını da tahmin etti. 1983’e kadar, bu tahminler, harikulade bir şekilde doğrulanmıştı.

Hem güçlü hem de elektrozayıf kuvvetleri içeren tam standart model, bir dizi birleşik simetriye dayanmaktadır. Yeğın kuvvet

15 Peter W. Higgs, “Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons,” (Kırık Simetriler ve Ayar Bozonlarının Kütleleri) *Physical Review Letters* 13 (1964): 508; F. Englert ve R. Brout, “Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Bosons,” (Kırık Simetri ve Ayar Vektör Bozonlarının Kütleleri) *Physical Review Letters* 13 (1964): 321; G. G. Guralnik, C. R. Hagen, ve T. W. Kibble, “Global Conservation Laws and Massless Particles,” (Küresel Korunum Yasaları ve Kütsesiz Parçacıklar) *Physical Review Letters* 13 (1964): 585.

ayrı olarak ele alınır ve bahsedildiği gibi sekiz kütesiz gluon ona aracılık eder. Yeğin kuvvetin yaklaşık 10^{-15} metre olan kısa aralığı, gluonların sıfır olan kütlelerinden farklı bir kaynaktan ileri gelmektedir; ancak bu konuya girmemiz gerekmiyor.

Yirminci yüzyılın sonuna kadar, hızlandırıcı deneyleri 100 GeV'un altındaki enerjilerde standart modelin bol bol deneysel doğrulamasını üretmiş ve bazı durumlarda kusursuz kesinlikle, onun yirmi kadar ayarlanabilir parametresinin ölçümlerini sağlamıştı. Model, ilk ortaya konulduğundan itibaren on yıllardır fizik laboratuvarlarında yapılan tüm gözlemlerle uyumaktadır.

4 Temmuz 2012'de, CERN'de LHC üzerinde çalışan binlerce fizikçiyi içeren iki milyar dolarlık deneylerde, standart model Higgs bozonu için gerekli tüm koşulları karşılayan, 125-126 GeV kütle aralığındaki sinyallerin bağımsız tespiti, yüksek istatistiksel anlamlılıkla bildirildi.¹⁶ Altı mucidinin ikisi, Peter Higgs ve François Englert, 2013 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı.

Elbette bütün modellerde olduğu gibi, standart model, son söz değildir. Ancak Higgs bozonunun doğrulanması ve daha yüksek enerjilerin mevcudiyetiyle, artık nihayet maddenin temel doğasını anlamanın bir sonraki seviyesine geçmeye ve göreceğimiz gibi, Büyük Patlamanın daha da derinlerine inmeye hazırız. LHC halihazırda enerjisini 14 TeV'a artırıyor, ancak fizik konusunda bu enerjide ne ortaya çıkaracağını bulmak için, bir ya da iki yıl beklemek zorunda kalacağız.

Bu yazıda, hem verilere, hem de, evren yalnızca 10^{-12} saniye (bir saniyenin trilyonda biri) yaşındayken meydana gelmiş olan, evrenin sıcaklığı 1 TeV (10^{16} derece) olduğunda evrenin fiziğini güvenle bize bildirmek için mevcut verileri betimleyen bir teoriye sahibiz artık.

16 ATLAS İşbirliği, "Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC," (LHC'deki ATLAS Dedektörüyle Standart Model Higgs Bozonu Araştırmasında Yeni bir Parçacığın Gözlenmesi) *Physics Letters B* 716, no. 1 (2012): 1-29; CMS İşbirliği, "Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC," (LHC'deki CMS Deneyiyle 125 GeV'luk bir Kütledeki Yeni bir Bozonun Gözlenmesi) *Physics Letters B* 716, no. 1 (2012): 30-61.

PARÇACIKLAR YA DA ALANLAR?

Görelilik ve kuantum mekaniği ile onların ürünü olan kuantum alan teorisi ve standart model, tüm zamanların en başarılı bilimsel teori dizisini meydana getirmektedir. Birçok durumda inanılmaz kesinlikle, deneysel verilerle uyushmaktadırlar. Buna rağmen, eğer popüler bilimsel medyayı takip ederseniz, bu teorilere ilişkin birtakım dev krizler olduğu izlenimine kapılırsınız, çünkü hiç kimse bunların “gerçekten ne anlama geldiğini” tatmin edici biçimde açıklayabilmiş değildir.

Şarlatanlar, sıradan, meslekten olmayan çok sayıda insanı, modern fiziğin “yeni gerçekliği”nin, dünyanın eski materyalist indirgemeci resmini bozduğuna ikna ederek, bu kriz algısını istismar ettiler. Onun yerine evrenin temel malzemesinin akıl olduğu bütünsel bir gerçeklik; evrensel kozmik bir bilinç algılamaktayız artık. Ben buna *kuantum mistisizmi* diyorum.¹⁷

Maalesef bazı teorik fizikçiler, kendi mistik gerçeklik düşüncelerini uyandırarak, farkında olmadan bu yeni metafiziği teşvik ettiler. David Tong, Aralık 2012 *Scientific American*’da (Bilimsel Amerikan) şöyle yazarak, tipik bir örnek sergilemektedir:

Fizikçiler rutin olarak, doğanın yapı taşlarının, elektron ya da kuark gibi farklı parçacıklar olduğunu öğretirler. Bu bir yalandır. Bizim teorilerimizin yapı taşları, parçacıklar değil, alanlardır; kesintisiz, sıvımsı nesneler uzay boyunca yayılır.¹⁸

Bu son derece yanıltıcıdır. Hiç kimse bugüne kadar bir kuantum alanı gözlemlememiştir. Bununla birlikte, daima basitçe ve kesin olarak noktamsı parçacıklar olarak betimlenebilen şeyler gözlemlemekteyiz.

Kuantum alanları, kuantum alan teorisi içerisindeki bütünüyle soyut, matematiksel yapılardır. Teoride, her kuantum alanı, onu “alanın kuantumu” adı verilen bir parçacıkla bağdaştırmıştır. Foton,

17 Bu problemi iki kitapta ele aldım: Victor J. Stenger, *The Unconscious Quantum: Metaphysics in Modern Physics and Cosmology (Bilinçsiz Kuantum: Modern Fizikte ve Kozmolojide Metafizik)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 1995); Victor J. Stenger, *Quantum Gods: Creation, Chaos, and the Search for Cosmic Consciousness (Kuantum Tanrıları: Yaratılış, Kaos ve Kozmik Bilinç Arayışı)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2009).

18 David Tong, “Is Quantum Reality Analog after All?” (Kuantum Gerçekliği Her Şeye Rağmen Analog mu?) *Scientific American* (26 Kasım 2012).

elektromanyetik alanın kuantumudur. Elektron, Dirac alanının kuantumudur. Higgs bozonu, Higgs alanının kuantumudur. Başka bir deyişle, aşk ve evlilik gibi, birine diğeri olmadan sahip olamazsınız. Bizim teorilerimizin yapı taşları, alanlar ve parçacıklardır.

Ancak unutmayın ki; bizim teorilerimizin gerçek yapı taşları alanlarken, doğanın yapı taşlarının kesikli parçacıklar olduğu düşüncesi Tong'un "yalan" dediği şeydir. Yani, nihai gerçeklikle, halihazırdaki en moda teorinin matematiksel soyutlamasını aynı kefeye koyuyor. Bu, modalar değiştiğinde, onun da değişeceği anlamına geliyor.

Tong, bugünün teorik fizikçileri arasında var olan yaygın bir anlayışı benimsediğini gösteriyor. Kendi matematiksel denklemlerinde görünen sembollerin hakiki gerçekliği temsil ettiğine, oysa daima yerel parçacıklar gibi görünen bizim gözlemlerimizin yalnızca, o gerçekliğin kendini gösterdiği yol olduğuna inanıyorlar. Kısaca, onlar Platonculardır. Yirminci yüzyıl büyükleri Paul Dirac ve Richard Feynman'ın, o okulun parçası olmadıklarını unutmamak gerekir. Ayrıca çağdaş teorisyenlerin hepsi de "alan Platoncusu" değildir.

2011 tarihli kitabı *Hidden Reality*'de (Saklı Gerçeklik), fizikçi ve çok satan yazar Brian Greene, parçacıklar ve gerçeklik hakkında şunları söylemektedir:

Bir fiziksel sistemin, tamamen parçacıklarının düzeniyle belirlendiğine inanıyorum. Bana yeryüzünü, güneşi, galaksiyi ve başka her şeyi oluşturan parçacıkların nasıl düzenlendiğini söylerseniz, *gerçekliği bütünüyle açık bir şekilde ifade etmiş olursunuz*. İndirgeyici görüş, fizikçiler arasında yaygındır, ancak aksini düşünen insanlar vardır kuşkusuz.¹⁹

Standart modelin parçacıklarının klasik bilardo topları gibi düşünülmesi gerektiğini hiç kimse iddia etmemektedir. Ancak filozof Meinhard Kuhlmann'ın dikkat çektiği gibi, kuantum alanları, bir gazın yoğunluğu gibi klasik alanlar olarak da düşünülmemelidir. Kuhlmann şöyle yazar:

Kuantum alan teorisi gibi deneysel olarak başarılı olan bir teori hakkında bu kadar temel anlaşmazlık nasıl olabiliyor? Cevap basit. Teori

19 Brian Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (Saklı Gerçeklik: Paralel Evrenler ve Kozmosun Derin Yasaları) (New York: Alfred A. Knopf, 2011), sf. 33.

bize ne ölçebileceğimizi söylemekle birlikte, gözlemlerimizi meydana getiren her türlü varlığın doğası söz konusu olduğunda bilmece gibi konuşur. Teori, gözlemlerimizi kuarklar, müonlar, fotonlar ve çeşitli kuantum alanları üzerinden açıklar, ancak bize bir foton [alanının] ya da kuantum alanının gerçekten ne olduğunu söylemez. Söylemek zorunda da değildir, çünkü fizik teorileri, bu gibi metafiziksel sorunları çözmeden, deneysel olarak büyük ölçüde geçerli olabilmektedir.²⁰

Bu görüşü kendisi için ileri sürmeyip lehte ve aleyhte tüm alternatifleri ortaya koymakla birlikte, Kuhlmann uzlaşmaz deneyseller arasında rastlanan yaygın konumları betimler:

Birçok fizikçi için, bu yeterlidir. Araççı bir tavrı benimserler; bilimsel teorilerin öncelikle dünyayı temsil etmeleri gerektiğini reddederler. Onlar için, teoriler, deneysel tahminler yapmak için araçlardır yalnızca.

Oysa ötekileri biraz daha esnektir,

Yine de, çoğu bilim insanı, biz bir ölçüm yapmadan önce olduğu gibi, teorilerinin en azından doğanın bazı görünüşlerini tasvir ettiğine dair güçlü sezgiye sahiptir. Zaten, dünyayı anlamak için değilse, başka ne için bilim yapılır?

Yalnızca şunu eklerdim; eğer bir teori en azından ilkesel olarak gözlenebilir bir etki göstermiyorsa test edilemez ve gerçekliği doğru olarak modellediğini düşünmek için de pek az sebebimiz vardır. Böyle bir teori matematiksel ya da felsefi olarak ilginç olabilirse de ögeleri “doğanın görünüşleri” için pek de iyi adaylar değildir.

Parçacıkların, nihai gerçekliğin ögeleri olduğunu kanıtlamamasam da en azından deneyler yaptığımızda gözlemlediğimiz şeyler, başka dünyaya ait kuantum alanlarından çok daha yerel parçacıklar gibi görünüp anlaşılmaları da çok daha basittir. Zaten, astronomik cisimler, yeterince uzaktan bakıldığında parçacıklar gibi görünürler ve biz de gerçekliklerini sorgulamayız. Bu nedenle, her bakımdan, veriler bize aksini söyleyene kadar, parçacıkları gerçek olarak düşünebiliriz.

Ayrıca, 6. Bölümde gördüğümüz gibi, kuantum mekaniği ve kuantum alan teorisindeki, parçacıklarla ilişkilendirilen dalga fenomenleri, tekil parçacıkların değil, parçacık topluluklarının özellikleridir. “Dalga-parçacık ikiliği” ifadesi, gözlemleri tam olarak betimlemez. Tek bir parçacık asla bir dalga değildir.

20 Meinhard Kuhlmann, “What Is Real?” (Gerçek Olan Nedir?) *Scientific American* (Ağustos 2013): 40–47.

Kuantum mekaniğinin, indirgemeciliği ortadan kaldırıp, yerine her şeyin diğer her şeyle bağlantılı olduğu yeni bir “bütünsel” dünya görüşünü koyduğunu da sıkça duyarız. Bu doğru değildir. Fizikçiler ve aslında tüm bilim insanları, özellikle de hekimler, maddeyi bağımsız olarak araştırılabilir parçalara ayırmaya devam etmektedirler. 1960’lardaki bütünsellikle kısa bir oyalanmanın ardından, standart modelin başarısı, fizikçileri, Thales ve Demokritos’tan günümüze, bilim tarihi boyunca onlara çok iyi hizmet etmiş olan indirgemeci yönetime döndürmüştür.

PARÇACIK ASTROFİZİĞİNİN DOĞUŞU

10. Bölümde gördüğümüz gibi, 1990’lara kadar, çekirdek astrofizikçileri, Büyük Patlama nükleosentezi modelini uygulayarak, evren bir saniye yaşındayken hafif çekirdeklerin oluşumunu başarılı bir şekilde betimlemişlerdi. Hesaplanan bolluklar, döteron bolluğuyla baryon yoğunluğu arasındaki çok hassas ilişki dahil olmak üzere, verilerle tam uyuşmuştur. Bu sonucu gören herkesin, Büyük Patlamanın gerçekten meydana geldiğine ikna olmuş halde çıkması gerekir.

Bu sürerken, parçacık astrofizikçileri (çoğu durumda, yol gösteren David Schramm’le aynı insanlar), 1 saniye öncesinde meydana gelmiş olabilen şeyi betimlemek için temel parçacıkların yeni standart modelini uyguluyordu. İlk tanımlanabilir andan başlayarak bir faz geçişleri dizisi tanımlamak için, fizikte temel hale gelmiş olan simetri kırılması fikrini benimsediler. Her bir kritik sıcaklıkta, yeni simetri tarafından betimlendiği gibi ortaya çıkan farklı parçacık ve kuvvet dizileriyle birlikte, donarak buz haline geçen su gibi, daha yüksek simetriden daha düşük simetriye, evren faz değiştirdi.

Sıcaklığın 1 MeV’un üzerinde olduğu 1 saniye öncesinde, evrenin, evren soğuyup, dengeleri artık korunamadığında hafif çekirdekleri meydana getirecek olan bir milyar kat daha az proton ve nötronlarla birlikte, aşağı yukarı eşit sayıda elektron, nötrino, karşı-nötrino ve fotonların yarı denge karışımı olduğunu hatırlayın.

Şimdi zamanda daha geriye, sıcaklığın 1 GeV olduğu 10^{-6} saniyeye gidelim. Bu hâlâ, bilinen fizikle teorik olduğu kadar deneysel olarak da betimleyebileceğimiz bir dönemdi, bu nedenle yalnızca tahmin yürütmüyoruz. Bu zamanın hemen öncesinde,

evren, Tablo 11.1’de listelenmiş olan temel parçacıklardan oluşuyordu ve hiç proton, nötron ya da herhangi bir tip bileşik hadron bulunmuyordu. Kuarklar serbest değildi (kuantum kromodinamiğinde hiçbir zaman değildirler), ancak gluonlarla birlikte, *kuark-gluon plazması* adı verilen, evreni kaplayan bir çorbaya hapsolmuşlardı. Sıcaklık 1 GeV civarına düştüğünde, meslektaşlarım ve benim 1960’larda parçacık hızlandırıcılarıyla araştırdığımız renksiz hadronları üreten, kendiliğinden bir faz geçişi meydana geldi. Ancak protonlar ve nötronlar dışında az miktarda hadron, kısa yaşam süreleri nedeniyle ilk evrende geziniyordu.

Fizik ölçümlerimiz şimdiye kadar 1 TeV civarına ilerlemiş olmakla birlikte, ki bunun altında güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuvvetler ayrıdır, standart model, Büyük Patlamanın başlangıcından sonraki bir saniyenin trilyonda birinden önce, bu enerjinin üzerinde, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin birleştiği temel varsayımını yapar. LHC, ilk kez olarak daha yüksek simetri bölgesini deneysel olarak derinlemesine incelememize ve 10^{-12} saniyeden önceki evrenin fiziğine dair veriler sağlamamıza izin vermektedir.

MADDE/KARŞI-MADDE ASİMETRİSİ

Başarısına rağmen, standart model evrenimizin oldukça önemli bir özelliğini açıklamaz; maddenin karşı-madde karşısındaki üstünlüğünü.

Standart modelin içerdiği ilkelerden biri, *baryon sayısı korunumu*dur. Her bir baryon, bir baryon sayısına sahiptir $B = +1$; karşı-baryonlar $B = -1$ ’e sahiptir. Kuarklar $B = +1/3$ ’e, karşı-kuarklar $B = -1/3$ ’e sahiptir. Leptonlar, ayar bozonları (yani, kuvvet araçları) ve Higgs bozonu sıfır baryon sayısına sahiptir. Baryon sayısı korunumu, bir etkileşimde bulunan parçacıkların toplam baryon sayısının, tepkime meydana geldikten sonra öncesiyle aynı olduğunu söyler. Parçacık fiziği, çekirdek fiziği ve kimyada bu kuralı ihlal eden hiçbir tepkimeye bugüne kadar rastlanmamıştır.

Eğer evren oluştuğunda toplam baryon sayısının sıfır olduğunu mantıken varsayarsak, bu durumda eşit sayılarda baryon ve karşı-baryona sahip olması gerekir. Şimdiye kadar birbirlerini tamamen yok etmiş olurlardı, atom çekirdeklerini yapmak için de hiç proton ve nötron olmazdı.

Standart model ayrıca, lepton sayısı korunumu ilkesine sahiptir. Leptonlar $L = +1$ 'e, karşı-leptonlar $L = -1$ 'e sahiptir. Baryonlar ve ayar bozonları, sıfır lepton sayısına sahiptir. Bu nedenle, aynı şekilde, tüm yüklü leptonlar ve karşı-leptonlar yok olurdu ve geriye hiç elektron kalmazdı. Kısaca, standart model, evrenin yalnızca fotonlar ve nötrinolardan ibaret olması gerektiğini söyler. Bu, atomların, kimyanın, biyolojinin, sizin, benim ya da ailenin kedisinin olmaması anlamına gelir.

Ancak işte buradayız. Protonlar ve elektronlar, karşı-protonlar ve pozitronlardan bir milyar kat fazladır. Evrenin çok başlarında-ki bir yerde, çekirdekler ve atomlar meydana gelmeden önce, baryon ve lepton sayılarının korunumları ihlal edildi ve madde ile karşı-madde arasındaki büyük asimetri oluştu.

Eğer baryon sayısı korunumu ihlal edilirse, bu durumda protonların en nihayetinde kararsız olması gerekir. Elektronların kararsız olması konusunda endişe etmemiz gerekmez, çünkü o kadar hafiftirler ki, bozunabilecekleri daha hafif yüklü parçacık yoktur; yük korunumu, fotonlara ve nötrinolara bozunmalarını engeller. Aksine, protonların bozunabileceği birçok yüklü lepton vardır. Temel parçacıkların bütün özelliklerini listeleyen parçacık veri tabloları, düzinelerce muhtemel bozunum şekli sağlar.²¹ İşte sadece bir örnek:

$$p \rightarrow e^+ + \gamma$$

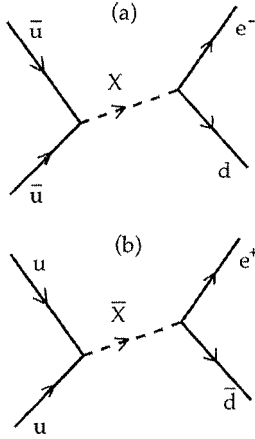
Burada e^+ pozitronudur. Baryon sayısı korunumunun yanı sıra lepton sayısı ihlaline dikkat edin.

Standart modelin 1970'lerde tamamlanmasından bile önce, teorisyenler genişletilebilmesinin yollarını arıyorlardı. Düşünülen modellerin bir sınıfı, GUT'ler (*büyük birleşme teorileri*) olarak adlandırıldı. Standart model, elektromanyetik ve zayıf kuvvetleri tek bir elektrozayıf kuvvet halinde birleştirmişti, ancak yeğin kuvvet bağımsızdı. GUT'ler, yeğin kuvveti ötekileriyle birleştirmeye çalıştı.

Çoğu GUT, lepton asimetrisinin oluşumu *leptojenezin* yanı sıra, baryon oluşumu *baryogenez*i sağladı. Tanınmış Rus fizikçi

21 J. Beringer ve Parçacık Veri Grubu ve ark., "The Review of Particle Physics," (Parçacık Fiziğinin İncelenmesi) *Physical Review D* 88 (2012): 010001, <http://pdg.lbl.gov/> (22 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

ve siyasi muhalif Andrei Sakharov²² tarafından 1967’de ortaya konulan özgün önermeye dayanan muhtemel bir mekanizma, Şekil 11.4’te gösterilmiştir; X adlı yeni bir ayar bozonunu ve onun karşı-parçacığını içermektedir.



Şekil 11.4 B ve L ihlali için bir mekanizma. Şekil 11.4 (a)’da, iki karşı-kuark, bir X bozonuna yok olarak, baryon ve lepton sayılarında her biri bir birimlik net kazanç karşılığında, bir kuark ve bir elektron üretir. (b)’de aynı tepkime, her biri bir birimle B ve L ’deki karşılık gelen azalmayla, yerlerine karşı-parçacıkları geçen parçacıklarla gösterilmektedir. CP-ihlali, (a) için (b)’den daha büyük bir oranda sonuçlanarak, bir baryon ve lepton fazlası üretir. Görsel yazara aittir.

İlk GUT’lerin en basiti, 1974’de Howard Georgi ile Sheldon Glashow tarafından ortaya konuldu.²³ Ben ona GG-GUT adını vereceğim. (Teknik olarak *minimal* SU(5) adı verilmiştir.) Proton ömrü için 10^{32} yıllık bir öngörü sağlama üstünlüğüne sahipti.²⁴

- 22 Andrei Sakharov, “Violation of CP Invariance, C Asymmetry, and Baryon Asymmetry of the Universe,” (CP Değişmezliğinin İhlali, Evrenin C Asimetrisi ve Baryon Asimetrisi) *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 5 (1967): 24–27. İngilizce çevirisi için: http://www.jetpletters.ac.ru/ps/1643/article_25089.pdf Amerikan Fizik Enstitüsü’nün izniyle (28 Şubat 2013’te erişim yapıldı).
- 23 Howard Georgi ve S. L. Glashow, “Unity of All Elementary-Particle Forces,” (Tüm Temel Parçacık Kuvvetlerinin Birliği) *Physical Review Letters* 32 (1974): 438–41.
- 24 T. J. Goldman ve D. A. Ross, “A New Estimate of the Proton Decay Lifetime,” (Proton Bozunumu İçin Yeni Bir Tahmin), *Physical Review Letters* 32 (1974): 129–31.

PROTON BOZUNUMU ARAYIŞI

GG-GUT'den tahmin edilen bu proton bozunum ömrü, mevcut teknolojinin pekâlâ kapsamı içerisindeydi ve proton bozunumunu araştırmak üzere dört deney hızla başlatıldı. Bu deneyler, özellikle yeryüzünün derinliklerine nüfuz edebilen yüksek enerjili kozmik ışın müonlarından gelen, ardalan ışınımını azaltmak için, yeraltının derinliklerinde madenlerin içinde yapıldı. Deneylerin en az ikisi, eğer protonun yaşam süresi 10^{32} yıl ya da daha az olsaydı, proton bozunumunu görme tam yeterliliğine sahipti. Biri, Cleveland yakınındaki tuz madenindeydi, dahil olan üç ana kurumun (California-Irvine Üniversitesi, Michigan Üniversitesi ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarı) baş harflerinden oluşan IMB adı verilmişti. Hawaii Üniversitesi'ndeki meslektaşlarım da deneyde yer almıştı. Diğer hassas deney, Japonya, Kamioka'daki bir çinko madenindeydi ve KAMIOKANDE (Kamioka Nükleon Bozunum Deneyi) adı verilmişti.

1982'ye kadar, dört deneyin hepsi de, GG-GUT beklenen hızında bozunum görülmediğini bildirdi, dolayısıyla modeli çürüttü. (Bazı filozofların aksine iddialarına rağmen, bilimde çürütme olmaktadır.) Maalesef, ortaya konulan öteki GUT'lerin hiçbiri, ölçülebilir proton yaşam sürelerini ya da başka uygulanabilir deneysel testleri tahmin etmedi.

En hassas olanı, Süper-Kamiokande adı verilen Kamioka'daki yükseltilmiş bir deney olan deneyler iyileşmeye devam etti. 2000'de araştırmadan emekli olmadan önce, Süper-K'de ufak bir rol oynadım. Süper-K, proton bozunumunda şimdiye kadarki en düşük limiti sağladı; 2011 itibarıyla $1,01 \times 10^{34}$ yıl, bu, GG-GUT tahmininden yüz kat daha yüksektir.²⁵

Bazen olumsuz sonuçlar, olumlular kadar önemlidir. Çeşitli bozunum kanallarındaki proton bozunum yaşam süreleri için daha düşük limitleri bilmek, standart modelin ötesindeki fiziği aradıklarından, teorisyenler için paha biçilmez girdi sağlamakta-

me,” (Proton Bozunum Ömrünün Yeni Bir Tahmini) *Physics Letters B* 84, no. 2 (1979): 208–11.

25 Super-Kamiokande İşbirliği, “Proton Lifetime Is Longer Than 1034 Years,” (Proton Ömrü 1034 Yılda Daha Uzun) 2011, <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/whatsnew/new-20091125-e.html> (22 Şubat 2013'te erişim yapıldı).

dır. Bu limitin ihlallerini tahmin eden modelleri eleyebilirler. Proton bozunumu gözlemlenirse ve gözlemlendiğinde, çeşitli kanallara bozunduğu hızlar, standart modelin ötesindeki fiziğin yapısını belirlemeye yardım edecektir.

Yeraltı deneylerinin, neredeyse proton bozunumunu göremek kadar önemli olan bazı olumlu yardımcı keşifleri de oldu. 10. Bölümde bahsedildiği gibi, 1987’de, Cleveland ve Kamioka’daki deneyler, Büyük Magellan Bulutu’ndaki SN 1987A süpernovasından nötrinolar tespit etti.²⁶ Bu, güneş sisteminin dışından nötrinoların ilk gözlemiydi.

GUT FAZ GEÇİŞİ

Standart modelin başarısı göz önüne alındığında, sıcaklık olarak halen tahmin edilen 173 GeV’ta, yaklaşık 10^{-11} saniyede meydana gelen elektrozayıf faz geçişi öncesinde, evrenin standart model tarafından elektrozayıf birleşmeyle betimlenebileceğini mantıken varsayabiliriz. Yani, yeğin kuvvet hâlâ ayırdır ancak elektromanyetizma ve zayıf kuvvet birleşmiştir. Bu sıradaki evren, hâlâ tablo 11.1’deki kuarkları, leptonları ve ayar bozonlarını içeriyordu ancak bunların hepsi kütesizdi ve Higgs bozonları yoktu. Parçacıklar karşı-parçacıklardan hâlâ bir milyar kat daha fazlaydı. Daha yüksek bir enerjide ve daha önceki bir zamanda, kendisi daha da yüksek bir simetrik durumdan bir faz geçişinin sonucu olan, daha yüksek bir simetri durumundan bir faz geçişi neredeyse kesinlikle olmuş olmalıydı.

En iyi aday olarak geriye, güçlü ve elektrozayıf kuvvetlerin birleştiği ve hem baryon hem de lepton sayısı korunumunun ihlal edildiği bir tür GUT kalıyor. Bu GUT, dolayısıyla, B ve L ’nin korunduğu daha yüksek enerjideki bir başka simetriden doğdu.

Ortaya konulmuş olan çoğu GUT, bu özellikleri sergilemektedir. Burada simetri, kuarklarla leptonlar arasında hiçbir ayrım yapılmaksızın gösterilir, böylece Şekil 11.4’te gösterilenler gibi tepki-

26 K. Hirata ve ark., “Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A,” (SN1987A Süpernovasından Bir Nötrino Patlamasının Gözlenmesi) *Physical Review Letters* 58 (1987): 1490–93; IMB İşbirliği, “Neutrinos from SN1987A in the IMB Detector,” (IMB Dedektöründeki SN1987A’dan Nötrinolar) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 264 (1988): 28–31.

meler meydana gelebilir. Şekildeki değiş tokuş edilen X parçacığı, kuark ile leptonun bir bileşimi, “leptokuark” olarak düşünülebilir. B ve L ’nin kırılması, Sakharov’a göre, CP ihlalinin sebep olduğu tepkime hızlarındaki farklar nedeniyle meydana gelir.

GUT faz geçişinden önceki daha simetrik durumda, CP değişmezdir ve B ile L korunumunun her biri yeniden sağlanır. Böylece evren, bütün simetriler ve eşit sayıdaki parçacık ve karşı-parçacıklarla başlar. Madde ile karşı-maddenin asimetrisi, bu daha önceki durumdan GUT durumuna olan faz geçişinden sonra oluşturulur.

Bu nedenle tek yapmamız gereken, gitgide daha güçlü çarpışan-ışın hızlandırıcıları inşa etmeye devam etmek, böylece GUT düzenine ulaşana kadar zamanda gittikçe daha geriye doğru derinlemesine araştırmayı sürdürebiliriz. Işın kötüsü, yeterli enerjiye sahip olmaya yakın dahi değiliz. GUT faz geçişinin, LHC’nin enerjisinin 10^{12} katı olan yaklaşık 10^{25} eV’ta meydana geldiği tahmin ediliyor. GUT ile evrenin elektrozayıf durumun kırılmamış fazında kaldığı elektrozayıf faz geçişleri arasında, uçsuz bucaksız bir “çöl” olabilir.

En azından LHC, kırılmamış fazı keşfetmemizi sağlayacak. Ancak bu durumun ötesine hiç inebilecek miyiz? Hızlandırıcılarla bu, uzak ihtimaldir, en azından yakın geçmişte. Bununla birlikte, çok erken evrene açılan bir başka pencereye sahibiz, o da proton bozunumudur. Süper-K, proton bozunumunun gözlemlendiği noktaya yaklaşıyor olabilir. Çeşitli GUT’ler, Süper-K’nın ya da daha büyük bir dedektörün menzili içerisindeki bozunum şekillerini tahmin etmektedir.

SÜPERSİMETRİ (SUSY)

Teorik parçacık fizikçileri kuşağının ilgisini çekmiş olan, standart modelin ötesindeki fiziğe gelecek vaat eden bir yaklaşım, SUSY olarak anılan *süpersimetridir*. Bu, fiziksel modellerin fermionlarla bozonları ayırmadığı bir simetri ilkesidir. Fermionların yarım tamsayı spinlere, oysa bozonların tamsayı ya da sıfır spinlere sahip olduğunu hatırlayın.

SUSY’a göre, her temel parçacığa, zıt spin özelliğinde bir *sparçacık* eşlik eder. Dolayısıyla, spin-1/2 elektrona bir spin-sıfır

selektron, spin-1 fotona $\frac{1}{2}$ spinlik bir *fotino*, spin-1/2 kuarka bir spin-sıfır *skuark* eşlik eder.

Eğer SUSY kusursuz bir simetri olsaydı, sparçacıklar eşleriyle aynı kütlelere sahip olurdu ve onları yalnızca görmekle kalmaz, bozonları fermionlardan ayıran Pauli dışarlama ilkesi gibi kurallara da uymazlardı. O durumda, kimya olmazdı. Sparçacıklar henüz görülmediği ve kimya var olduğuna göre, simetri, yaşayabildiğimiz düşük enerjilerde (ilk evrendekilere oranla düşük) kırılmıştır. Eğer sparçacıklar mevcutsa, çok yüksek kütlelere sahip olmalılar.

13. Bölümde göreceğimiz gibi, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, beklenen sparçacıklardan hiçbirini şimdiye kadar tespit edemeyerek, bütün düşünceyi büyük şüphe içerisinde bıraktı.

M-TEORİSİ

Süpersimetri, kütleçekimi, bu bölümde betimlenen doğanın öteki kuvvetleriyle birleştiren bir teori bulma ihtimalini sundu; bu, sıklıkla *her şeyin teorisi* (TOE) olarak anılır. İlk olarak *sicim teorisi* adı verilen bu teoriyle, evrenin, üçten fazla uzay boyutuna sahip olduğu varsayılmıştır; bu ekstra boyutlar, tespit edilemeyecek kadar sıkıca bükülmüşlerdir. Sicim Teorisi, sıfır boyutlu parçacıkların yerine, bir boyutlu sicimleri koymuştur.

En sonunda, *zar* denilen daha yüksek boyutlu nesnelerin dahil edildiği *M-teorisi* adı verilen daha fazla bir genelleştirme ortaya kondu. İki boyutlu bir *zara membran* adı verilir. Bir *p*-boyutlu *zara*, yeterince uygun olarak *p-zar* denir. Bir parçacık 0-zar, bir sicim 1-zar ve bir membran 2-zardır. *M-teorisi*, $p = 9$ 'a kadar izin verir.²⁷ *M-teorisyenleri* her şeyin teorisi arayışlarında birçok önemli matematiksel keşif yapmakla birlikte, deneyle test edilebilir ampirik tahminle ortaya çıkmayı henüz başaramadılar. Ayrıca, az önce bahsedildiği gibi, süpersimetri, LHC'de olması beklendiğinden, henüz doğrulanmadı. Çok tanınarak, meslekten olmayanların, TOE'nin eli kulağında olduğunu düşünmelerine yol açsa da, *M-teorisi* doğrulanmaktan çok uzakta olmayı sürdürmektedir, yakında da çürütülebilir.

27 Brian Greene, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory* (Zarif Evren: Süpersicimler, Saklı Boyutlar ve Nihai Teori Arayışı) (New York: W. W. Norton, 1999).

XII - ŞİŞME

BÜYÜK PATLAMA HATALARI

1970'lerde Büyük Patlama kuramının neredeyse kesin bir biçimde kökleşmiş hale nasıl geldiğini gördük. Ancak bilimde çok sık olarak, tüm verilerle güzelce uyumlu olabilen ve görünürde başka hiçbir uygun rakibi olmayan bir model, yine de teorik ya da felsefi problemlerle karşılaşır. Ne de olsa, düz bir Yeryüzü, bir zamanlar ilkel insanların elindeki tüm verilerle uyumluydu. Ayrıca güneş sisteminin yer merkezli modelinin ne kadar sürdüğüne bakın; sadece mit olarak değil, gezegen hareketlerinin kesin bir öngörücüsü olarak da.

1980'den itibaren, Büyük Patlama modeli konusundaki şu teorik problemler, kozmologlar arasında yaygın olarak biliniyordu:

Düzlük Problemi

Kozmologların bir yoğunluk parametresi tanımladıklarını hatırlayın, $\Omega = \rho / \rho_c$; burada ρ evrendeki bir bileşenin ortalama kütle yoğunluğudur, ρ_c ise evrenin, kütleçekimden çökmeye sonsuza dek genişleme arasındaki sınırda tam dengede olduğu kritik yoğunluktur. Eğer ρ tüm bileşenlerin ortalama yoğunluğunu ifade ediyorsa, bu durumda $\Omega = 1$ ve evrenin geometrisi düz, yani Öklitçidir.

Şimdi, problem şu: Friedmann denklemlerine göre, evrenin yoğunluğu onun genişleme hızını belirler. Planck zamanını düşünün, $t = 10^{-43}$ saniye. Eğer o sırada Ω , 1'den sadece $1/10^{60}$ kadar daha büyük olmuş olsaydı, evren derhal çökerdi. Eğer Ω , 1'den sadece $1/10^{60}$ kadar daha küçük olsaydı, evren o kadar hızla genişlerdi ki, görünür evren hiçbir yaşamın mümkün olamayacağı kadar seyreltik hale gelirdi çabucak. Büyük Patlama modelinde, yaşam ancak, eğer mükemmel kesinlikle $\Omega = 1$ ve evren son derece düzse, var olabilir.

Bu, Hıristiyanlık savunucularının, yaşamı mümkün kılmak için bir yaratıcı Tanrı tarafından ince ayar yapılmış olması gerektiğini iddia ettikleri parametrelerden biridir.¹ 2009'daki kitabı *Life after Death: The Evidence*'ta² (Ölümden sonraki Yaşam: Kanıt) Dinesh D'Souza, *A Brief History of Time*'dan (Zamanın Kısa Tarihi) Stephen Hawking'den alıntı yapar: "Eğer genişleme hızı, büyük patlamadan bir saniye sonra yüz bin milyon milyonda bir dahi daha küçük olmuş olsaydı, evren bugünkü büyüklüğüne hiç erişmeden yeniden çökerdi."³ William Lane Craig de, sayısız tartışmada bu ifadeye atıfta bulunmuştur.⁴

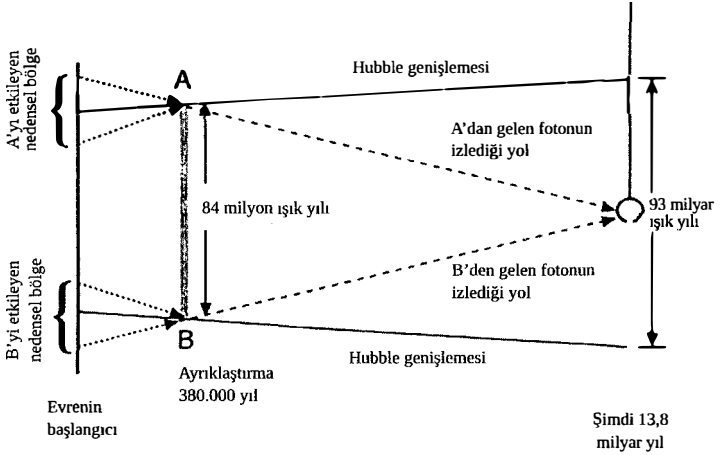
Ufuk Problemi

Gökyüzünde zıt yönlerde baktığımızda, CMB için her iki bölgede de aynı sıcaklık ve tayfı görürüz. Bu, daha önceki bir zamanda birbirleriyle *nedensel temasta* bulunmuş iki kaynaktan geldikleri, böylece birbirleriyle etkileşime girerek, dengeye erişebildikleri anlamına gelir. Uzaydaki iki nokta, ancak bir sinyalin aralarında yol alması için yeterli zaman olduğunda nedensel temasta olabilir. En son rakamlara göre, şimdi bu noktalar birbirlerinden doksan üç milyar ışık yılı uzaktadır.

10. Bölümde, evren 380.000 yaşında saydam hale geldiğinde, CMB'deki fotonların yayınlandığını gördük. Eğer standart Büyük Patlama modelini doğrusal Hubble genişlemesiyle uygularsanız şunu bulursunuz; evrenin yaşı 380.000 olduğunda evrenin ters tarafındaki iki nokta arasındaki uzaklık, Şekil 12.1'de gösterildiği

- 1 Hugh Ross, "Big Bang Model Refined by Fire," (Ateşle Arıtılmış Büyük Patlama Modeli) *Mere Creation: Science, Faith & Intelligent Design*'da (Salt Yaratılış: Bilim, İnanç ve Akıllı Tasarım), editör: William A. Dembski, sf. 363–83 (Downers Grove, IL: Intervarsity, 1998), sf. 372–75.
- 2 Dinesh D'Souza, *Life after Death: The Evidence (Ölümden sonraki Yaşam: Kanıt)* (Washington, DC: Regnery, 2009), sf. 84.
- 3 Stephen Hawking, *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes (Zamanın Kısa Tarihi: Büyük Patlamadan Kara Deliklere)* (Toronto; New York: Bantam Books, 1988), sf. 121–22.
- 4 William Lane Craig, "The Craig-Pigliucci Debate: Does God Exist?" (Craig-Pigliucci Tartışması: Tanrı Var mı?) <http://www.leaderu.com/offices/billcraig/docs/craig-pigliucci2.html> (12 Temmuz 2013'te erişim yapıldı).

gibi, yaklaşık seksen dört milyon ışık yılı olurdu. Bu, ışığın Büyük Patlamadan beri yol alabildiği mesafeden çok daha büyüktür, bu nedenle A ve B'deki bozulmaların kaynakları, ısıl dengeye ulaşabilmeleri için hiçbir zaman nedensel temasta bulunmuş olamazlardı.



Şekil 12.1 Ufuk probleminin gösterimi. Zaman yatay eksen boyunca akar ve evrendeki iki nokta arasındaki mesafe dikey eksen boyunca gösterilir. A ve B noktaları, birbirlerinden yaklaşık seksen dört milyon ışık yılı uzakta, ayrıklaştırmadaki evrenin zıt taraflarındadır, bugün bir CMB gözlemcisi tarafından gökyüzünde iki zıt yönden tespit edilen, kesik çizgilerle gösterilen fotonlar yaymaktadırlar. Evrenin genişlemesi nedeniyle, bugün birbirlerinden doksan üç milyar ışık yılı uzaktadırlar. Noktalı oklar, A ve B'yi etkileyebilecek olan bölgelerin hiçbir zaman nedensel temasta olmadığını gösteren ışık demetleridir. Çizim, ölçeksizdir. Görsel yazara aittir.

Yapı Problemi

10. Bölümde, kozmologların, görünür evrendeki karmaşık yapıların nasıl bir araya gelmeye başladığını açıklamaya çalışmak için yıllarca mücadele vermiş olduklarını gördük. Problem durağan bir evren için yeterince kötüydü. Genişleyen bir evren için daha da kötüydü; çünkü daha büyük mesafeler üzerine madde saçarak, ayırık bulutların kütleçekim etkisi altında çökmelerini daha da düşük ihtimal haline getiriyordu.

Tek Kutup Problemi

Klasik elektromanyetik teoride, en basit elektrik yükü, elektrik alanının merkezden dışarı doğru ışın yayan kuvvet çizgileri halinde görselleştirildiği bir noktasal parçacıktır. Pozitif ve negatif iki zıt noktasal yük, bir *elektrik çift kutbunu* oluşturur. Dolayısıyla bir noktasal yüke *elektrik tek kutbu* diyebiliriz. Dört kutup, sekiz kutup, vb de vardır. Eğer bir elektrik çift kutbunu alıp, yükleri ayırırsak, iki elektrik tek kutbu elde ederiz.

Çubuk mıknatıs, kuzey ve güney kutupla, *manyetik çift kutbu* örnektir. Bununla birlikte, manyetik çift kutbu ikiye bölerseniz, iki *manyetik tek kutup* elde etmezsiniz; sadece iki çift kutup daha elde edersiniz. Klasik teoride manyetik tek kutuplar bulunmaz, deneysel olarak da hiç gözlenmemiştir.

Fransız fizikçi Pierre Curie'nin 1894'te söylediği gibi, manyetik tek kutupların yokluğu, elektrikle manyetizma arasındaki tek farktır. 1931'de Paul Dirac, manyetik tek kutupların, kuantum mekaniğiyle tutarlı olduğunu ve elektrikle manyetizma arasındaki simetriyi yeniden sağladığını gösterdi.⁵

1974'te, Hollandalı fizikçi Gerard 't Hooft⁶ ve Rus fizikçi Alexander Polyakov⁷ birbirlerinden bağımsız olarak, elektromanyetizmayı kapsayan birleşik ayar teorilerinin, manyetik tek kutupları içereceğini ispatladılar. 1976'da Britanyalı fizikçi Thomas Kibble (1964'te Higgs mekanizmasını ortaya koyan altı yazardan biri, bkz. 11. Bölüm), ayar simetri-kıran faz geçişinde, yeni fazın düzgün olmasının gerekmediğini, ancak bir demir mıknatısta görünen gibi *topolojik kusurlar* sergileyebildiğini gösterdi. Bu kusurlar, bölgecik duvarları, sicimler ve tek kutupları içermektedir.⁸

5 Paul A. M. Dirac, "Quantised Singularities in the Electromagnetic Field," (Elektromanyetik Alandaki Belirli Dereceye Kadar Enerji İçeren Tekillikler) *Proceedings of the Royal Society of London*, ser. A, bir matematik ve fizik karakterinin makalelerini içermektedir (1931): 60–72.

6 Gerard 't Hooft, "Magnetic Monopoles in Unified Gauge Theories," (Birleşik Ayar Teorilerinde Manyetik Tek Kutuplar) *Nuclear Physics B* 79, no. 2 (1974): 276–84.

7 Alexander M. Polyakov, "Particle Spectrum in Quantum Field Theory," (Kuantum Alan Teorisinde Parçacık Tayfı) *Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 20 (1974): 194–95.

8 T. W. B. Kibble, "Topology of Cosmic Domains and Strings," (Kozmik Böl-

1979'da Harvard yüksek lisans öğrencisi John Preskill, bir protondan 10^{16} kat daha kütleli olan tek kutupların, GUT faz geçişi sırasında protonlarınkine benzer sayılarda üretilmiş olması gerekirdi diye hesapladı.⁹ Eğer durum böyle olmuş olsaydı, o sırada evrenin kütlesi, o kadar büyük olurdu ki, 1200 yıldan daha az bir zaman içinde çökerdi.¹⁰

1980'ler boyunca, manyetik tek kutuplar için sayısız araştırma yapıldı ve hiç bulunamadı.¹¹ 1987'de, altı aylık ücretli iznimi, İtalya'da, Gran Sasso Yeraltı Laboratuvarı'nda, MACRO (Tek Kutup, Astrofizik ve Kozmik Işın Gözlemevi) üzerinde çalışarak geçirdim. Laboratuvar, 2009 depreminin olduğu yer olan L'aquila yakınlarındaki dağların içerisinde bir otoyol tünelinin içinde bulunmaktadır (deprem, laboratuvarı etkilemedi). MACRO, esas olarak manyetik tek kutupları araştırmak üzere kuruldu ve o güne kadar gerçekleştirilmiş en duyarlı tek kutup araştırmasıydı. Hiç tespit edemedi ve 2002'ye kadar tek kutup akısında çok sıkı bir üst sınır belirlemişti; bu, galaksi manyetik alanlarında sahip olmuş olmaları gereken etkilere dayanarak mevcut olması gerekenin oldukça altındaydı.¹²

Ama yine de, en kötü ihtimalle, manyetik tek kutupların tespit edilememesi, GUT'ler için bir problemdi, Büyük Patlama için değil. Bundan tarihsel sebeplerle bahsetmekteyim, çünkü tek

gecikler ve Sicimlerin Topolojisi) *Journal of Physics A: Mathematical and General* 9, no. 8 (1976): 1387–98.

- 9 John P. Preskill, "Cosmological Production of Superheavy Magnetic Monopoles," (Süper ağır Manyetik Tek Kutupların Kozmolojik Üretimi) *Physical Review Letters* 43, no. 19 (1979): 1365–68.
- 10 İyi, matematiksel olmayan bir tartışma için, bkz. Alan H. Guth. *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (Şişen Evren: Kozmik Kökenlere Dair Yeni bir Teori Arayışı) (Reading, MA: Addison-Wesley, 1997), sf. 147–65.
- 11 Hem teori hem de deneye dair referansların tam bir listesini içeren güncel bir inceleme için, bkz. D. Milstead ve E. J. Weinberg, "Magnetic Monopoles," (Manyetik Tek Kutuplar) 2011, <http://pdg.web.cern.ch/pdg/2011/reviews/rpp2011-rev-mag-monopole-searches.pdf> (9 Mart 2013'te erişim yapıldı).
- 12 MACRO İşbirliği, "Final Results of Magnetic Monopole Searches with the Macro Experiment," (Macro Deneyiyle Yapılan Manyetik Tek Kutup Araştırmalarının Nihai Sonuçları) *European Journal of Physics* C25 (2002): 511–22.

kutuplar, temel parçacık fizikçilerinin ilk evren kozmolojisine girmelerinde, önemli bir itici güç sağladı.

ŞİŞME, ESKİ ve YENİ

1980’de, birtakım fizikçiler ve astrofizikçiler birbirlerinden bağımsız olarak, geleneksel Büyük Patlamayla ilgili problemlere eninde sonunda uygulanabilir çözümler sağlayacak, ilk evren için bir senaryo geliştirmeye başladılar. 11 Ocak’ta, Cambridge’te Stephen Hawking’le çalışan Rus fizikçi Alexsei Starobinsky, *Physics Letters*’a, ilk evrendeki kuantum etkilerinin, bir de Sitter evrenine, böylelikle de şimdi *şişme* dediğimiz üstel bir genişlemeye yol açabileceğini gösteren bir makale gönderdi.

1970’te, Hawking ile Roger Penrose, evrenimizin, bir tekillik, sonsuz yoğunluktaki bir sonsuz küçük nokta olarak başladığını kanıtlamak için genel göreliliği kullanmışlardı.¹³ O zamandan beri bu sonuç, teologlar tarafından, evrenimizin bir başlangıcı olmuş olması ve bunun sonucu olmasa da, şahsi bir Yaratıcı olmuş olması gerektiğini iddia etmek için kullanılmıştır.¹⁴ Starobinsky, ilk evrendeki kuantum etkilerinin tekilliği elediğini gösterdi, hem Hawking hem de Penrose bunu kabul etti. Bir kuantum teorisi olmayan genel görelilik, Planck uzunluğundan (10^{-35} metre) daha küçük mesafelerde çöker.¹⁵

5 Mayıs 1980’de, o zaman bir tanıdığım olan, NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi’nden astrofizikçi Demonsthenes Kazanas, *Astrophysical Journal*’a, “Dynamics of the Universe and Spontaneous Symmetry Breaking” (“Evrenin Dinamikleri ve Kendiliğinden Simetri Kırılması”) başlıklı bir makale gön-

- 13 Stephen Hawking ve Roger Penrose, “The Singularities of Gravitational Collapse,” (Kütleçekimsel Çöküşün Tekillikleri) *Proceedings of the Royal Society of London*, ser. A, 314 (1970): 529–48.
- 14 William Lane Craig ve James D. Sinclair, “The *Kalam* Cosmological Argument,” (*Kelam* Kozmolojik İddiası) *The Blackwell Companion to Natural Theology*, editör: William Lane Craig ve James Porter Moreland (Chichester, Birleşik Krallık; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009), s.101–201.
- 15 Stephen Hawking, *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes* (*Zamanın Kısa Tarihi: Büyük Patlamadan Kara Deliklere*) (Toronto; New York: Bantam Books, 1988), sf. 50.

derdi.¹⁶ Makalede, ilk evrendeki kendiliğinden simetri kırılmasıyla bağlantılı bir faz geçişinin, evrenin gözlenen izotropisini açıklayabilecek üstel bir genişlemeyle sonuçlanacağını ileri sürüyordu. Sanırım bu, ufuk problemi olarak adlandırılan, geleneksel Büyük Patlamayla ilgili ana problemlerden birine çözüm olarak üstel genişlemeyi açıkça kabul eden, yayınlanan ilk makaleydi.

9 Eylül 1980’de Japon fizikçi Katsuhiko Sato, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*’ye yine birinci dereceden bir faz geçişinin, katlanarak genişleyen bir evrene yol açabileceğini gösteren bir makale gönderdi.¹⁷ Dalgalanmaların, galaksilerin kökenini açıklayabileceğini öne sürdü, ancak öteki Büyük Patlama problemlerinden bahsetmedi.

Bununla birlikte şişme üzerine ufuk açıcı makale, o sırada Stanford Doğrusal Hızlandırıcısı’nda doktora sonrası araştırmacı olarak çalışan, fizikçi Alan Guth tarafından 1 Ağustos 1980’de *Physical Review*’a gönderildi.¹⁸ Guth, üstel şişmenin erken bir döneminin tam önemini kavrayarak, bunun hem düzlük, hem de ufuk problemlerini nasıl çözdüğünü vurguladı, ayrıca tek kutup problemine de muhtemel bir çözüm ortaya koydu.

Düzlük ve ufuk problemleri, Guth’un kısa zamanda fark ettiği gibi, açık ara en önemlileridir. Herhangi bir çözümün mümkün olduğu kanıtlanmamış olduğundan, ikisi de, büyük patlama senaryosunu çürütebilir değildi. Öte yandan, manyetik tek kutup problemi kritik değildi. Ne klasik ne de kuantum elektrodinamiğinde hiç manyetik tek kutup mevcut değildir ve doğada hiç görülmemiştir. Olsa olsa elektromanyetizmaya biraz simetri eklemektedirler, ancak yalnızca GUT’lerde gerekli oldukları görünmektedir.

16 Demos Kazanas, “Dynamics of the Universe and Spontaneous Symmetry Breaking,” (Evrenin Dinamikleri ve Kendiliğinden Simetri Kırılması) *Astrophysical Journal* 241 (1980): L59–L63.

17 Katsuhiko Sato, “First-Order Phase Transitions of a Vacuum and the Expansion of the Universe,” (Bir Vakumun ve Evrenin Genişlemesinin Birinci Dereceden Faz Geçişleri) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 195 (1981): 467–79.

18 Alan Guth, “Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems,” (Şişen Evren: Ufuk ve Düzlük Problemlerine Muhtemel Bir Çözüm) *Physical Review D* 23, no. 2 (1981): 347–56.

Guth, 1997 tarihli mükemmel popüler kitabı *The Inflationary Universe*¹⁹'de (Şişen Evren), şişme düşüncesine tek kutup problemiyle nasıl kapıldığını anlatır ve o sırada kozmoloji hakkında çok az şey bildiğini itiraf eder. Aralık 1979'a kadar ufuk problemini hiç duymamıştı. Ancak hızlı öğrendi, makaleyi yazana kadar da, hem düzlük hem de ufuk problemlerinin derin önemini bütünüyle kavramıştı.

Guth kitabında özgün modelini güzelce açıklar, ancak kısa süre içinde, o ve başkaları, modelin geliştirilmesi gerektiğini fark ederler. Son derece teknik olan o tarihi incelemektense, üstel şişmenin, genel göreliliğin doğal bir sonucu olduğunu ileri süreceğim.

Eğer bir de Sitter evreni için bir pozitif kozmolojik sabitle Friedmann denklemlerini yazarsanız, çözümün bir üstel genişleme olduğunu kanıtlamak için, yalnızca üniversite birinci sınıf matematiği gerekir. Belirli model ne olursa olsun, şişme, düzlük, ufuk ve tek kutup problemlerini çözer ve yapı problemini çözmek için zemini hazırlar.

Düzlük Problemi Çözüldü

8. Bölümde, genişleyen üç boyutlu uzayı, şişmekte olan (!) bir balonun genişlemekte olan iki boyutlu yüzeyinin yaygın benzerliği üzerinden betimlediğimi hatırlayın. Balonun küçük olarak başladığını, ardından da pek çok kat genişlediğini hayal edin. Yüzeydeki ufak bir parça, çok düz hale gelecektir. Işık ufukumuz içerisindeki evren, şişmenin gerçekten çok düz yaptığı bu ufak parça gibidir.

Şimdi bu genellikle, evrenin geometrisinin Öklitçi olması durumunda, evrenin $\Omega = 1$ 'e sahip olduğu, yani yoğunluğun (ρ) kritik değere (ρ_c) tam olarak eşit olduğu anlamına geldiği şeklinde yorumlanır. Bu durumda kozmolojik eğrilik parametresinin $k = 0$ olduğunu hatırlayın. Halihazırdaki deneysel değer $\Omega = 1,002 \pm 0.011$ 'dir. Eğer ρ, ρ_c 'den yalnızca çok hafifçe, diyelim $1/10^{100}$ kadar daha az olduğu çıkarsa, bu durumda hafifçe negatif eğriliğe sahip ($k = -1$) bir evrene sahibiz, ki o da süresiz olarak genişleyecektir.

Öte yandan, eğer ρ, ρ_c 'den yalnızca çok hafifçe, diyelim $1/10^{100}$ kadar daha büyükse, bu durumda hafifçe pozitif eğriliğe sahip ($k =$

19 Guth, *Inflationary Universe* (Şişen Evren).

+1) bir evrene sahibiz. Klasik kozmolojide, kozmolojik sabitin sıfır olduğu varsayıldığında, $k = +1$, bir gün “büyük bir çöküş” halinde yıkılacak “kapalı bir evren”i ifade ediyordu. Bununla beraber, göreceğimiz gibi, pozitif bir kozmolojik sabitin hâkim olduğu “kapalı bir evren” bile genişlemeye devam edecektir.

Daha sonra $k = +1$ 'e sahip bir evrenin, evrenimizin başlangıcı için, mevcut bilgiyle tamamen tutarlı ve bütünüyle matematiksel olarak geliştirilmiş makul bir mekanizma sağlamakta olduğunu göreceğiz.

Daha önce bu bölümde, Hıristiyanlık savunucuları Dinesh D'Souza, William Lane Craig ve diğerlerinin Stephen Hawking'den, genişleme hızının “yüz bin milyon milyonda bire” ince ayar yapıldığı alıntısını yaptıklarından bahsetmiştim. Bu, *A Brief History of Time*'ın (Zamanın Kısa Tarihi) 121-122. sayfalarından alınmıştır. Ancak, Hawking'in birkaç sayfa sonra, 128. sayfadaki açıklamasını işlerine geldiği gibi yoksaymışlardır:

Evrenin genişleme hızı, evrenin enerji yoğunluğu tarafından belirlenen kritik hıza otomatik olarak çok yakın hale gelecektir. Bu da bu durumda, evrenin ilk genişleme hızının çok dikkatlice seçilmiş olduğunu varsaymak zorunda kalmadan, genişleme hızının neden hâlâ kritik hıza çok yakın olduğunu açıklayabilir.²⁰

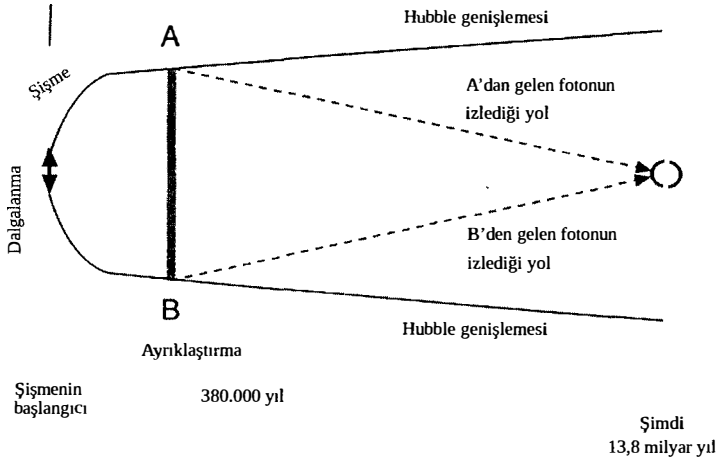
Bir başka deyişle, şişme, evrenin genişlemesinin, altmış hanelere varan kritik hıza eşit olduğu gerçeğini açıklamaktadır.

Ufuk Problemi Çözüldü

Ufuk problemi, CMB'nin, aynı kara cisim tayfı ve sıcaklıkla, gökyüzü boyunca son derece düzgün olduğuna dair gözlemlenen gerçekten kaynaklanır. Şekil 12.1'de görüldüğü gibi, gökyüzünün zıt yönlerinden gözlemlenen fotonlar, Hubble genişlemesinin geriye, evrenin başlangıcına dışdeğerlediği büyük patlama modeline göre, hiçbir zaman nedensel temasta bulunmuş olamazdı.

Şekil 12.2'de gösterildiği gibi, şişme, problemi çözer. Evrenin başlangıcından sonraki, ancak şişmeden önceki zamanda, A ve B noktaları birbirine yakındı ve böylece yarı ısı dengeye ulaştılar. Şişme, aralarındaki mesafeyi pek çok kat uzattı, böylece onlardan gelen fotonlar, bugün gökyüzünün zıt yönlerinden ilintili sinyaller olarak görünmektedir.

20 Hawking, *Brief History of Time (Zamanın Kısa Tarihi)*, sf. 128.



Şekil 12.2 Şişme ufuk problemini nasıl çözer. Uzayın ufak bir bölgesindeki bir dalgalanma, zıt yönlerde fotonlar gönderir. Şişme, aralarındaki mesafeyi uzatır, böylece gökyüzünün zıt yönlerinden ilintili sinyaller sağlarlar. Görsel yazara aittir.

Tek Kutup Problemi Çözüldü

Bahsedildiği gibi, Guth, GUT'lerdeki tek kutup problemini çözmeye çalışırken, şişmeye doğru sürüklendi. Ancak, tek kutuplar zaten hiçbir zaman görünmediğinden, büyük birleşme teorileri için bu sadece teorik bir problemdir. Eğer hiç çözüm bulunmamışsa, tek kutup görememek, GUT'leri çürütmüş olabilir ancak büyük patlamayı öldürmezdi.

Guth kendi özgün makalesinde tek kutup problemini çözmeyi iddia etmedi, ancak bir çözüm önerdi. O ve ortağı Henry Tye, aşırı soğumanın meydana gelerek, GUT faz geçişinin tamamlanmasını ve tek kutupların çekirdeklenmesini geciktirdiği fikrini ortaya atmışlardı. Aşırı soğuma ve aşırı ısınma, günlük hayatın yanı sıra termodinamikte tanıdık fenomenlerdir ve aslında *birinci derece* faz geçişleri adı verilen en yaygın faz geçişi türlerini oluştururlar. Tanıdık bir örnekte, suyu kaynatığınızda, hemen buhara dönüşmez ancak kabarcıklar oluşturur. Bütün suyun buhara dönüşmesi için uzun bir süre gerekir. Eğer bir fincan çok saf suyu mikrodalganıza koyarsanız, kaynamadan, kaynama noktasının

üzerindeki bir sıcaklığa ısıtabilirsiniz; aşırı ısınmıştır. Ardından, birinin fincana dokunmasıyla olduğu gibi, sarsıldığında, suyun hepsi kendiliğinden buhara dönüşecektir (dikkat edin, bu olayla insanlar haşlanmıştır). Benzer şekilde, eğer suyu donma noktasının altındaki bir sıcaklığa soğutursanız, tane mevcutsa, buz kristalleri çekirdekleneyecektir. Ancak eğer su çok safsa, homojen çekirdeklenme meydana gelir ve oluşan buz, cam gibi düzgündür.

GUT faz geçişinin kesinlikle birinci derece olduğu zaten saptanmıştı. Sıcaklık yeterince düşene kadar, alanlar karışmış olarak kaldığından, faz geçişinde oluşan GUT fazının kabarcıkları, hemen tek kutupları oluşturmayacaktır. Guth ve Tye, aşırı soğuyan faz sırasında, kabarcıkların yeterince genişleyeceğini, böylece tek kutuplar sonunda oluştuğunda son derece seyrek olacaklarını öne sürdüler.

Guth başta, evrenimizin, kabarcıklar çarpıştığında ve kabarcık duvarlarında yoğunlaşmış enerjileri parçacıklara dönüştüğünde oluştuğunu varsaydı. Ancak Guth ve Erik Weinberg tarafından yapılan hesaplamalar, kabarcıklar arasındaki boşluğun devam eden genişlemesi nedeniyle, hiçbir zaman düzgün bir kütle halinde toplanmayacaklarını, ancak sonlu kümeler oluşturacaklarını gösterdi.²¹ Evrenin tek bir kabarcık içerisinde olduğu ihtimalini düşündüler, ancak herhangi bir gerçek evreni andırmak için fazla boş olacağı sonucuna (erken) vardılar.²²

Ancak bu, Guth-Weinberg modeli içindi. Hiç deneysel veri olmadan, bir model seçmek, bilgiye dayalı tahmin meselesidir. Aynı zamanda, Rus fizikçi Andrei Linde²³ ve Amerikalı fizikçiler Andreas Albrecht ile Paul Steinhardt²⁴, kendi modelleriyle ortaya

21 Alan H. Guth ve Erick J. Weinberg, "Could the Universe Have Recovered from a Slow First-Order Phase Transition?" (Evren Yavaş bir Birinci Derece Faz Geçişini Atlamış Olabilir mi?) *Nuclear Physics B* 212, no. 2 (1983): 321-64.

22 Guth, *Inflationary Universe (Şişen Evren)*, sf. 203.

23 Andrei D. Linde, "A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems," (Yeni Bir Şişen Evren Senaryosu: Ufuk, Düzlük, Homojenlik, İzotropi ve İlkkel Tek Kutup Problemlerinin Muhtemel Bir Çözümü) *Physics Letters B* 108 (1982): 389.

24 Andreas Albrecht ve Paul J. Steinhardt, "Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking," (Işınımsal Olarak İndüklenmiş Simetri Kırılmasına Sahip Büyük Birleşme Teorileri için Koz-

çıkılmışlardı. Bunlar, evrenimizin, kabarcıkların yalnızca birinden oluşmuş olmasının mümkün olduğunu gösterdi. Bu modeller, *yeni şişme* olarak isimlendirildi. Linde kısa bir süre sonra daha iyi bir fikir ortaya attığından, bunları da ele almayacağım.

KAOTİK ŞİŞME

Andrei Linde, Guth'un makalesi çıktıktan sonra çabucak fark edilen, şişmeyle ilgili birçok özgün ve üretken kozmoloğun en özgün ve üretkenlerinden biriydi. Guth, Linde'nin şişen evren teorisinin büyük kısmını, 1970'lerde bağımsız olarak icat ettiğini zarif bir şekilde kabul eder, bununla birlikte Linde, teorisinin önemini hemen farkına varmadığını itiraf etti.²⁵

1983'te Linde, *kaotik şişme* adı verilen bir başka model tasarladı; çok basit ve doğal olan bu model, muhtemelen ayrıntıda tam olarak doğru olmamakla birlikte, muhtemelen çok da yanlış değildir ve asgari varsayımlarla ve teknik ayrıntıların en azıyla, süreci anlamamızı mümkün kılar. En son gözlemleri iyi bir şekilde desteklemektedir.

Öteki şişme modellerinin aksine, kaotik şişme, dayandıracak gözlemsel rehberliğe ve temel ilkelere sahip olmadığımız, GUT'lerden ya da başka bir dinamik teoriden şişme potansiyelinin şeklini tahmin etmeye çalışmaya bel bağlamaz. Basitçe, neredeyse hiçbir şeyle yola çıkar ve kuantum mekaniği ile istatistiğin işlerini yapmalarına izin verir.

En son düzeni izleyip, şişmeden sorumlu alanı, *inflaton* (şişme) alanı olarak adlandıracığım, böylece GUT'lere ya da başka gereksiz özel modele bağlı olmayız. Ortaya çıkan her alanın basitçe bir skaler alan olduğunu varsayıyoruz sadece; bu alan, üstel bir genişleme üreteceğini gördüğümüz de Sitter uzayında bir kozmolojik sabite eşdeğerdir.

Bir kez daha, Planck zamanına (10^{-43} saniye) geri dönelim ve daha önce ne olmuş olabileceğini sonra merak edelim. Yarıçapı Planck uzunluğuna (10^{-35} metre) eşit bir küre olan evrenin o sırada, işlevsel olarak tanımlanabilecek kadar küçük olduğunu var-

moloji) *Physical Review Letters* 48, no. 17 (1982): 1220–23.

25 Guth, *Inflationary Universe*, (Şişen Evren) sf. 206.

saymama izin verin (bu seviyede 10'un katları yeterlidir). Küre, Planck enerjisine (10^{28} elektron-volt) eşit istatistiksel bir standart sapmayla normal (Gauss ya da çan eğrisi) bir dağılımı takip eden rastgele bir değere sahip olacak bir vakum enerjisi dışında boş olacaktır. Bunun küçük bir sayı olmadığını göz önünde bulundurun; 10^{32} derecelik bir sıcaklığa ve bir toz parçacığınınkinin yaklaşık otuz katı bir durgun enerjiye eşdeğerdir.

Pozitif bir kozmolojik sabite eşdeğer pozitif bir enerji dalgalanması, katlanarak genişleyen bir de Sitter evreni üretecektir. Negatif bir dalgalanma, üstel çöküşle sonuçlanacaktır, ki bunu düşünmemiz gerekmiyor. de Sitter vakumunun sabit enerji yoğunluğu nedeniyle, evren genişledikçe iç enerji kazanır. Bu, şişmenin "tohumu" olarak adlandırabileceğimiz bir kütleye eşdeğerdir. Vakumun negatif basıncı yüzünden evren "yukarı düşerken", enerji korunur ve iç enerji ya da kütle, kütleçekimsel enerjinin kaybından gelir. Tohumun kütlesi, şişmeyi sürdürmek için yeterli belirli bir sınırı geçmelidir, yoksa kütlenin normal kütleçekimi onun çabucak çökmesine sebep olur.

Hem klasik hem de kuantum alan teorisinde, alanlar, basit bir sarkaç gibi bir boyutlu basit harmonik osilatörün matematiksel özelliklerine sahiptir. Alan değeri ($\emptyset$), bir sarkacın denge konumundan kaymasına benzer. Belirsizlik ilkesi sebebiyle, kuantum harmonik osilatörü hiçbir zaman durmaz, ancak *sıfır-noktası enerjisi* adı verilen minimum bir enerjiyle denge noktasının civarında salınır. Dolayısıyla $\emptyset$ 'deki herhangi bir değişim, doğru bir şekilde "kuantum dalgalanması" olarak adlandırılabilir.

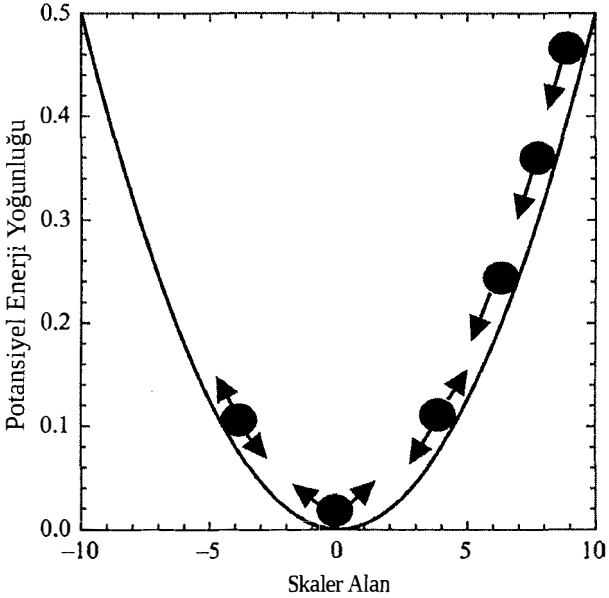
Şekil 12.3'te gösterildiği gibi, osilatörü, bir çanağın yan yüzünde aşağı yukarı yuvarlanan bir top gibi mecazi olarak gözümüzde canlandırabiliriz. Bu durumda, eğer çanağın şekli parabolikse, top basit armonik hareket sergileyecektir, dolayısıyla bu, $\emptyset$ 'in davranışı için iyi bir model teşkil eder. Matematik aynı olacaktır.

Normalde top, çabucak tekrar aşağı yuvarlanır. Bununla birlikte, genişleyen bir evrendeki osilatör için hareket denklemi, uzayın genişlemesi yüzünden, dengeye dönüşün sürtünmeyle yavaşlayacağını tahmin eder. Bu, pekmezle doldurulmakta olan kavanoza benzer. Aslında, kavanozun içindekiler, daha çok, havaya binen suya binen pekmez gibidir.²⁶ Bundan dolayı, ufak kay-

26 Bu benzetme için Mark Whittle'a teşekkürler.

malar için, top yalnızca çanağın dibine yakın bir yerde ileri geri salınır. Bununla beraber, Linde, kayma büyük olduğunda, zaman zaman pekmezin topu yavaşlatacağını ve dengeden büyük bir kaymayla bir süre kalacağını belirtti.

Bu “yavaş rulo”, çoğu şişme modelinin gerekli bir özelliğidir ve daha önce bahsedilen “yeni şişme” modellerinin içerisine yapay olarak yerleştirilir. Doğal olan şudur. Yavaş rulo, top sonunda dibe ulaşmadan önce, ilk tohumun pek çok kat genişlemesine zaman tanır. Dibe vardığında, durmadan azalan genlikle ileri geri salınır, hiçbir zaman tamamen durmaz. Sürtünmeyle kaybedilen enerji, çok geçmeden evrenimizi yaratan temel parçacıkları yaratır.

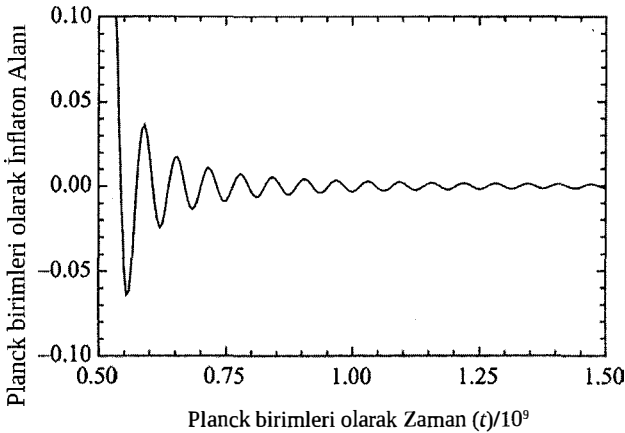


Şekil 12.3 Kaotik şişmenin bir çizimi. Potansiyel enerji yoğunluğunu, $u(\phi) = m^2\phi^2/2$ verir; burada ϕ skaler alan ve m şişmenin kütesidir. $\phi = 10$ Planck biriminde başladığı varsayılır. İnflaton alanının evrimi, sönümlü basit bir sarkacınki gibi, bir parabolik kuyudan aşağı yuvarlanan birim kütle topa eşdeğerdir. Görsel yazara aittir.

En azından çizim için, bunu tamamen sayısal hale getirebiliriz. İnflaton alanı (ϕ) için, potansiyel enerji yoğunluğunu harmonik osilatör formunda yazabiliriz, $u(\phi) = m^2\phi^2/2$; burada m alanın kuantu-

munun kütlesidir, onu inflaton parçacığı olarak düşünebiliriz. m 'nin değeri bilinmemektedir, bu yüzden de, modelde tek olan, ayarlanabilir parametre olarak muamele görür. Eğer şimdi u 'yu hareket denkleminin içerisine koyarsak, $\emptyset$, H ve zamanın bir fonksiyonu olarak kozmolojik ölçek faktörünü (a) hesaplamak için sayısal yöntemler kullanabiliriz. Üniversite matematiği seviyesinde kullanılan tüm denklemlerin türetimleri dahil olmak üzere, bunu tamamen çözülmüş olarak, *The Comprehensible Cosmos*'ta (Anlaşılabilir Kozmos) bulabilirsiniz.²⁷ Burada yalnızca sonuçları göstereceğim.

$\hbar = h/2\pi = c = G$ (Newton'ın kütleçekim sabiti) = 1 olduğu, "Planck birimleri"yle çalışalım. Çizim için, 10 Planck birimlik $\emptyset$ 'de ve Planck biriminde $m = 10^{-7}$ (10^{11} GeV) olan bir ilk dalgalanma seçtim. Oradan, tepeden aşağı yuvarlanırken topun hareketi, şekil 12.3'te gösterilmiştir. Top yavaşça alçalırken, evrenin hacmi katlanarak artar. Hareketi, uzayın genişlemesiyle sönümlenir, böylece top, aşağı yuvarlandıkça enerji kaybeder, ardından da azalan genlikle potansiyelin dibi civarında ileri geri salınır.

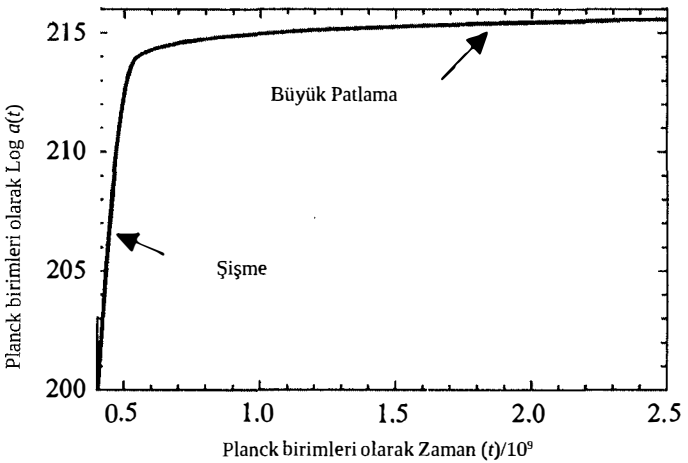


Şekil 12.4 Kaotik şişme için inflaton alanının $\emptyset(t)$ zamanla evrimi. Zaman skalası, yaklaşık olarak, saniyeler $\times 10^{-34}$ 'tür. $t < 0,5$ bölgesi çıkartılmıştır. Görsel yazara aittir.

27 Victor J. Stenger, *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From?* (Anlaşılabilir Kozmos: Fizik Yasaları Nereden Geliyor?) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2006), matematiksel ek G.

Şekil 12.4, alanın zamanla (t) nasıl evrildiğini Planck zamanının birimlerinde göstermektedir. Alanın sönümlü salınımını göstermek için, $t < 0,5$ bölgesi gösterilmemiştir. $t < 0,6$ sırasında, alan 10 birimden (ölçeksiz) sıfıra düşer ve ardından durmadan azalan genlikle sıfır civarında salınır.

Şekil 12.5, evrenin ölçek faktörünün (a) evrimini göstermektedir; amacımız için bunu, evrenin yarıçapı olarak düşünebiliriz. 10^{214} 'lük üstel şişmeyi, geleneksel Hubble genişlemesine pürüzsüz bir geçiş takip eder. Bu sadece tasvir edicidir ve evrenimizi tam olarak modellemek için değildir.



Şekil 12.5. $m = 10^{-7}$ ile 10 Planck birimlik ilk inflaton alanına sahip kaotik şişme için evrenin ölçek faktörünün zamanla evrimi. Zaman skalası, yaklaşık olarak, saniyeler $\times 10^{-34}$ 'tür. Zaman ekseninin sıfırı, çizim amaçlı çıkartılmıştır. Eğrinin "Büyük Patlama" olarak işaretlenen kısmı, normal Hubble genişlemesini ifade eder. Görsel yazara aittir.

BÜYÜK ÖLÇEKLİ YAPI

Parçacık astrofizikçileri seksenlerde, evrenin, ilk saniyesinin çok ufak bir kısmında, pek çok kat genişlediğine dair inanılmaz fikirle oynuyorlarken, gözlemci astronomlar en yeni teleskoplarıyla ortaya çıkan kozmosun başlı başına inanılmaz olduğunu keşfediyorlardı.

1970'lerde, evrenin genel resmi, Hubble akışıyla birbirlerinden homojen bir biçimde uzaklaşan galaksi kümelerinin hemen

hemen homojen dağılımından biri olmuştu. Ancak 1980'lere kadar, milyonlarca ışık yılı boyunca olan bir uzay bölgesi üzerindeki binlerce galaksinin, evrenin genişlemesinden geldiği beklenen, yalnızca radyal gerileme hızlarından ufak ama ölçülebilir sapmalar gösterdiğine dair kanıtlar birikmeye başladı. Yerel kümemizdeki galaksilerin hareketleri, Hydra-Centaurus (Suyulanı-Erboğa) süperkümesinin merkezinde, yaklaşık iki yüz milyon ışık yılı uzaklıkta olan bir gökyüzü bölgesine doğru yönlendirilmiş gibi görünüyordu. Bu, Büyük Çekici olarak adlandırıldı.²⁸

Birkaç yıl içerisinde, kümeler, süperkümeler (kümelerin kümeleri) ve komplekslerin (süperkümelerin kümeleri) dağılımlarındaki öteki beklenmeyen yapılar, kendilerini göstereceklerdi. 1987'de, Hawaii Üniversitesi'nden meslektaşım Brent Tully, Pisces-Cetus (Balıklar-Balina) Süperküme Kompleksi adını verdiği, bir milyar ışık yılı uzunluğunda ve 150 milyon ışık yılı genişliğinde bir ipliksi yapı gözlemledi. Bu yapı, bizim de parçası olduğumuz 10^{15} güneş kütlelik Virgo (Başak) süperkümesini de içeren, 10^{18} güneş kütlelerinin toplam kütlelerine sahip beş süperküme içermeaktadır.

Gördüğümüz gibi, mesafeleri ölçmek daima astronomlara büyük bir zorluk getirmiştir. Yıllar içinde *kozmetik mesafe merdiveni* adını verdikleri bir yöntem dizisi geliştirdiler; bu yöntemlerin her biri belirli bir mesafe için geçerlidir, o noktada yeterli örtüşmeyle yeni bir yöntem devralır, böylece her bir yöntem komşu yöntemin ayarlanmasına yardım eder.

Kullanılan bütün yöntemlere girmeme gerek yok. Yaklaşık yüz ışık yılına kadarki yakın yıldızlar için çalışan paralaks ile on üç milyon ışık yılına kadarki galaksiler için çalışan Sefeler'i daha önce ele almıştım. 1977'de Tully ile ortağı Richard Fisher, sarmal galaksilere olan mesafeleri belirlemek için, iç parlaklıklarını dönme hızlarıyla ilişkilendiren yeni bir yöntem yayınlamışlardı.²⁹ Öteki yöntemlerde olduğu gibi, Yeryüzünde gözlemlenen parlak-

28 Alan Michael Dressler, *Voyage to the Great Attractor: Exploring Intergalactic Space (Büyük Çekici'ye Yolculuk: Galaksiler Arası Uzayı Keşfetmek)* (New York: A. A. Knopf, 1994).

29 R. Brent Tully ve J. Richard Fisher, "A New Method of Determining Distances to Galaxies," (Galaksilere Olan Mesafeleri Belirlemek İçin Yeni Bir Yöntem) *Astronomy and Astrophysics* 54 (1977): 661-73.

lığı ölçerek mesafeyi belirliyorsunuz ve gözlemlenen değeri vermek için mesafenin karesi alındıkça, düştüğünü varsayıyorsunuz. Tully ve Fisher, “yakın” galaksiler dedikleri şeylerin bir atlasını hazırlamak için, bu yöntemi ve diğerlerini kullandılar.³⁰

Ancak temel olarak, kızıla kayma, astronomların gerçekleştirebileceği en kesin ölçüm olarak kaldı ve Hubble yasası hâlâ yaklaşık bir mesafe verebilmektedir. Astronomi tarihindeki en son döneme, görünür evren için önemli bir ağımsı yapı ortaya çıkaran, galaksilerin kapsamlı kızıla kayma araştırmaları damga vurmuştur.

İlk kapsamlı kızıla kayma araştırması, Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi (CfA) tarafından 1977’de başlatılıp, 1982’de tamamlandı. Bunu, 1985’ten 1995’e kadar süren bir başka CfA araştırması izledi. Bu verileri kullanan Margaret Geller ile John Huchra, 1989’da, kızıla kaymaları, yaklaşık iki yüz milyon ışık yılı uzaklıkta olduklarını gösteren, beş yüz milyon ışık yılı uzunluğunda, üç yüz milyon ışık yılı genişliğinde ve on altı milyon ışık yılı kalınlığında bir galaksi iplikçığı keşfettiler. Buna Çin Seddi adı verildi.³¹ Bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi, 2000’den beri, çok sayıda kapsamlı kızıla kayma araştırması yapılmıştır.

Temelde, görünür evren, astronomların gruplar, kümeler, süperkümeler, levhalar, iplikçikler ve duvarlar halinde düzenledikleri, yüz milyardan belki de trilyona varan sayıda galaksiden oluşmuştur. Bunlar, otuz ila beş yüz milyon ışık yıllık çaplara sahip, birkaç galaksiyi içeren *boşluklar*la ayrılmıştır. 2013’te, Tully ve ortakları, bu yapıyı çarpıcı biçimde sergileyen dikkate değer bir video hazırladılar.³²

Ama yine de, gözlerimizle ve teleskoplarımızla gördüğümüz enginlik, güzellik ve karmaşıklık, bize, kozmosun son derece karmaşık, bu nedenle de karmaşık olarak tasarlanmış olduğuna dair

30 R. Brent Tully ve J. Richard Fisher, *Nearby Galaxies Atlas (Yakın Galaksiler Atlası)* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1987).

31 Margaret J. Geller ve John P. Huchra, “Mapping the Universe,” (Evreni Haritalamak) *Science* 246, no. 4932 (1989): 897–903.

32 H  lene Courtois ve ark., “Cosmography of the Local Universe,” (Yerel Evrenin Kozmolojisi) <http://irfu.cea.fr/cosmography> (18 Aralık 2013’te erişim yapıldı).

yanlış bir izlenim vermektedir. Aslında, evren bütününde basit ve neredeyse rastlantısalıdır. Evrenin kütesinin görünmez %99,5'i, neredeyse hiçbir yapıya sahip değildir. Kara madde olan %26'nın yapısı, etrafında kümelenmiş olan görünür madde kadar ince bir şekilde ayrıntılandırılmış değilken, kara enerji olan %69'da hiçbir şey yoktur. Ayrıca, evren diğer parçacıklara oranla bir milyar kat daha fazla olan foton ve nötrinolardan meydana gelmiş olup, bunlar da 100.000'de bir oranında rastlantısal hareket içindedir.. Sonsuz zekâya sahip yüce bir varlık tarafından tasarlanmış gibi görünmekten uzak olan evrenimiz, yalnızca şansın ürünüymüş gibi görünür.

YAPI ve ŞİŞME

Önceleri, şişmenin yapı problemini daha da kötü hale getirdiği düşünüldü. Ne de olsa, şişmenin zaferlerinden biri, kozmik mikrodalga ardaalanının olağanüstü pürüzsüzlüğünü açıklamaktı. Dolayısıyla, etrafımızdaki tüm görünür maddenin –galaksiler, yıldızlar, gezegenler, Rocky Dağları– bariz bir şekilde pürüzsüzlükten yoksun oluşunu açıklaması nasıl beklenebilirdi?

Şişmeye dair kozmolojinin ortaya konulmasından önce, çeşitli yazarların, evrendeki yapı oluşumunun, ilk evrendeki ilksel yoğunluk dalgalanmalarının sonucu olduğunu öne sürmüş olduklarını belirtmiştim. Ancak ilksel maddenin doğasına dair herhangi bir bilgi olmadan, tahmin yürütmekten pek fazlasını yapamazlardı.

Şişmeyle ilgili kozmologlar, inflaton alanındaki kuantum mekaniksel sıfır noktası dalgalanmalarının sebep olduğu ufak yoğunluk pertürbasyonlarının, şişme sırasında pek çok kat arttığı ve kütleçekimsel kümelenme ve galaksilerin oluşumu için gereken yoğunluk değişimlerini sağlayabildiği düşüncesine kapıldılar.

1980'lerdeki kozmologlar, farklı şişme modellerini uygulayarak, inflaton alanındaki kuantum dalgalanmalarından kaynaklanan yoğunluk değişimini hesaplamaya çalıştılar. Guth, Cambridge'te Stephen Hawking ile Gary Gibbons tarafından düzenlenen 21 Haziran-9 Temmuz 1982 tarihleri arasındaki üç haftalık ilk evren üzerine olan semineri ve herkesin, galaksileri üretmek için çoğu pek çok kat fazla küçük farklı tahminlerle ortaya çıktığını betimler.³³ Bununla birlikte, çok geçmeden, James

33 Guth, *Inflationary Universe (Şişen Evren)*, sf. 222–43.

Bardeen, modelden bağımsız olan özgün bir hesaplama tekniği kullandığı 1983 tarihli makalesinde, 10^{-3} – 10^{-4} civarındaki şişmeden dolayı bir yoğunluk dalgalanmasının mantıksız olmadığını öne sürdü.³⁴

Büyüklikteki belirsizliğe rağmen, şişmenin, en azından yaklaşık olarak, 11. Bölümde gördüğümüz gibi, yapı oluşumu için gerekli sayılan ölçek-değişmez dalgalanmaları vermesi bekleniyordu. İnflaton alanının bir de Sitter evrenindeki düzgün skaler alan olduğu en basit modelde, ölçek değişmezliği, üstel çözümün zaman öteleme değişmezliğinin sonucu çıkar. Şişmenin belli modelleri daha karmaşıktır, ancak hepsi ölçek değişmezliğine çok yakın bir şey verir. Aslında, kaotik şişme dahil olmak üzere bunların, şişme modeli için şimdiye kadar bir başka riskli test görevi gören ölçek değişmezliğinden, hafif ama önemli bir değişim öngördüğünü göreceğiz.

Şişme dönemi sırasında, inflaton alanının yoğunluğundaki minik kuantum dalgalanmaları, pek çok kat genişledi. Şişme durduğunda, evren, temel parçacıklardan oluşan sıcak, son derece yoğun bir gazdı, ardından bunu daha sakin Hubble genişlemesi izledi. Dalgalanmalar, genişleyen gaz küresinin, titreşerek, tüm yönlerde ses hızıyla yayılan ses dalgaları üretmesine yol açtı. Titreşen ortam, çoğunlukla fotonlar olduğundan, ses hızı esasen, $\sqrt{3}$ 'e bölünmüş ışık hızıydı. Daha sonra ele alacağımız gelişmiş modellerde, ses hızı, baryon-foton oranı değiştikçe değişebilir, böylece görelî katkılarını ölçmek için bir araç sağlamış olur.

Evren genişlemeye ve soğumaya devam ettikçe, 10. Bölümde betimlenen çeşitli süreçler gerçekleşti. Bütün bu süre boyunca, parçacıklar, Şekil 10.2'de gösterilen log-log grafiğindeki düz çizgiyi takibeden şişmenin sonunda 10^{27} dereceden evren genişledikçe eksilen iyi tanımlanmış bir sıcaklığa sahip yarı dengede sıkıca bağlı kaldılar.

Astronomlar ve kozmologlar tarafından yapılan, ışıınım ile madde arasındaki yapay ayrımı hatırlayın. Her ikisi de, maddesel

34 James M. Bardeen, Paul J. Steinhardt ve Michael S. Turner, “Spontaneous Creation of Almost Scale-Free Density Perturbations in an Inflationary Universe,” (Şişen Bir Evrendeki Neredeyse Ölçeksiz Yoğunluk Pertürbasyonlarının Kendiliğinden Yaratılışı) *Physical Review D* 28, no. 4 (1983): 679.

parçacıklardan oluşmuştur, ancak madde göreliliği değilken ($v \ll c$), ışınım aşırı görelidir ($v \gg c$). Fotonlardan oluşan ışınım, elli yedi bin yıl boyunca evrenin baskın bileşeni olarak kaldı, öyle ki bu döneme ışınım baskınlığı adı verilir. Ancak, evrenin genişlemesinin yol açtığı kızıla kayma nedeniyle, ışınımın enerji yoğunluğu, maddenin enerji yoğunluğundan daha hızlı düşer ve evren de, ışınım baskınlığından madde baskınlığına geçti. Göreceğimiz gibi, madde baskınlığı yaklaşık beş milyar yıl önce sona erdi. O zamandan beri, gayet evrenin hızlanarak genişlemesine sahip bir kozmolojik sabit gibi davranan, *kara madde* olarak adlandırılan bir şey, gittikçe evrene hâkim olmuştur.

Şimdi burada sayı yoğunluğu değil, kütle/enerji yoğunluğu hakkında konuşuyoruz. Sıfır-kütleli fotonlar ve düşük-kütleli nötrinolar, madde baskınlığı sırasında diğer her şeyden sayıca üstün olmaya devam ettiler. Ardından, 380.000 yılda, sıcaklık, atomların oluşabildiği noktaya düştü. Bu, “yeniden birleşim” olarak ifade edilir.³⁵ Pozitif yüklü çekirdekler ve negatif yüklü elektronlar atomların içinde birbirlerini nötralize ettiklerinden, yeniden birleşim, evreni yüklü parçacıklarının çoğundan arındırdı. En önemlisi de, fotonlar artık çarpışacak yüklü parçacıklara sahip olmadıklarından, evrenin geri kalanından “ayrıklaştılar”, ardından da evren saydamlaştı. Sonraki 13,8 milyar yıl boyunca, bu fotonlar 2,725 K’ye soğuyup, bugün gözlemlediğimiz kozmik mikrodalga aralanı haline geleceklerdi.

Halihazırda, fotonlar hâlâ atomlardan milyarda bir oranında sayıca daha üstündür. Nötrinolar, 1,95 K’de kendi kalıntı aralanlarını oluşturmak üzere, çok daha önce, iki saniyede ayrıklaştılar. Her santimetreküpde yüzlerce olmalarına rağmen, bu nötrinolar, en azından şimdiki teknolojiyle, hiçbir ölçülebilir etki üretmezler, genellikle de yok sayılırlar. Göreceğimiz gibi, bunların, kara maddenin bileşeni olmaları mümkün görünmemektedir.

Ayrıklaştırma ayrıca, kütleçekimi etkisizleştirmeye yarayan ve maddenin çökmesini engelleyen, maddedeki foton basıncının serbest bırakıldığı ve kütleçekim düşüşüyle yapı oluşumu sürecinin başlayabileceği anlamına geliyordu. Başından beri orada

35 Bu bir kimya terimidir. Örneğin, eğer hidrojen atomlarını, proton ve elektronlara iyonize ederseniz, atomlar halinde “yeniden birleşeceklerdir”.

olan, ancak daha önce fotonları ve yüklü parçacıkları dengede tutmuş elektromanyetik etkileşimlere katılmamış olan kara madde buna yardım ediyordu. Bu nedenle de, fotonlar küresi ayrıklaştırmada hangi titreşim örüntüsüne sahip olmuş olursa olsun, sürekli donmuş haldeydi. Daha yüksek yoğunluklu bölgeler de daha sıcaktı ve daha az yoğun bölgeler daha soğuktu, dolayısıyla gazdaki sıcaklık dalgalanmaları, yoğunluk dalgalanmalarının izinden gitti ve bu örüntü bugün gökyüzü boyunca bir CMB sıcaklık değişiminde görünmektedir.

DÖNÜP BAŞLANGICA BAKMAK

1980’lerde, CMB’nin evrenin en erken anları üzerinde bilgi taşıdığının fark edilmesi, şimdiye kadar gözlenmiş olan bütün gökyüzü boyunca olan pürüzsüz dağılımdan muhtemel sapmaların daha kesin ölçümlerini yapmaya dair birçok çabayı teşvik etti. Şişme bu pürüzsüzlüğü açıkladı, bundan başka, değişimlerin ya da “kırıksıklıklar”ın yaklaşık yüzbinde bir seviyede görünmesi gerektiğini akla getirdi. Bu eşyönsüzlükler, teoriyi oluşturacak ya da bozacak kritik bir test olacaktı.

Bu gözlemsel çabanın önderlerinden biri, California Üniversitesi, Berkeley parçacık fizikçisi George Smoot’tu. O sırada başka projeler nedeniyle sıkça ziyaret ettiğim Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı’ndaki Nobel ödüllü Luis Alvarez ve diğerleriyle çalışan Smoot ile meslektaşları, gökyüzünde iki yönden CMB’nin sıcaklık farklarını ölçen bir *diferansiyel mikrodalga radyometre* geliştirmişlerdi.

1976’da Berkeley aygıtı, Lockheed U-2 “casus uçağı”nda bir dizi uçuş yaptı. Ardalan ışıınım alanı boyunca saniyede altı yüz kilometrede, güneşimizi ve Yeryüzümüzü içeren Samanyolu’nun hareketinin sebep olduğu sıcaklık farkını tespit etti. Bu, Doppler etkisi nedeniyle yaklaştığımız tarafta maviye kaymakta olan, uzaklaştığımız tarafta ise kıızıla kaymakta olan CMB’nin frekansına sahip *çift kutup eşyönsüzlüğü* olarak adlandırılır.³⁶

36 Smoot hikâyesini çok satan George Smoot ile Keay Davidson’ın *Wrinkles in Time*’da (Zamandaki Kırıksıklıklar) anlatır (New York: W. Morrow, 1993).

1970'lerin ortalarında, Smoot ile meslektaşları, COBE, Kozmik Mikrodalga Ardaan Kaşifi olarak adlandırılacak bir uydu geliştirdiklerini NASA'ya sundu. Uzay aracı üç aygıtı taşıyacaktı:

- 3,3 mm, 5,7 mm ve 95 mm'lik üç dalga boyunda gökyüzü boyunca CMB'nin sıcaklık değişimlerini ölçmeye yarayan Smoot'un önceki aygıtının iyileştirilmiş bir versiyonu olan DMR, Diferansiyel Mikrodalga Radyometre.
- 0,1'den 10 mm'ye dalga boyu tayfını ölçecek olan FIRAS, Uzak-Kızılaltı Mutlak Spektrofotometre.
- 1,25'ten 240 mikrona kadarki dalga boyu aralığındaki kozmik kızılaltı ardaanını araştırarak olan DIRBE, Yayılmış Kızılaltı Ardaan Deneyi.

Challenger felaketinin ve öteki sorunların neden olduğu hatırı sayılır gecikmenin ardından, COBE 18 Kasım 1989'da, bir Delta roketinin arkasında fırlatıldı. Ve böylece insanlığın kozmosu kavrayışındaki bir sonraki inanılmaz bölüm başladı.

XIII - YUKARI DÜŞMEK

ZAMANDAKİ KIRIŞIKLIKLAR

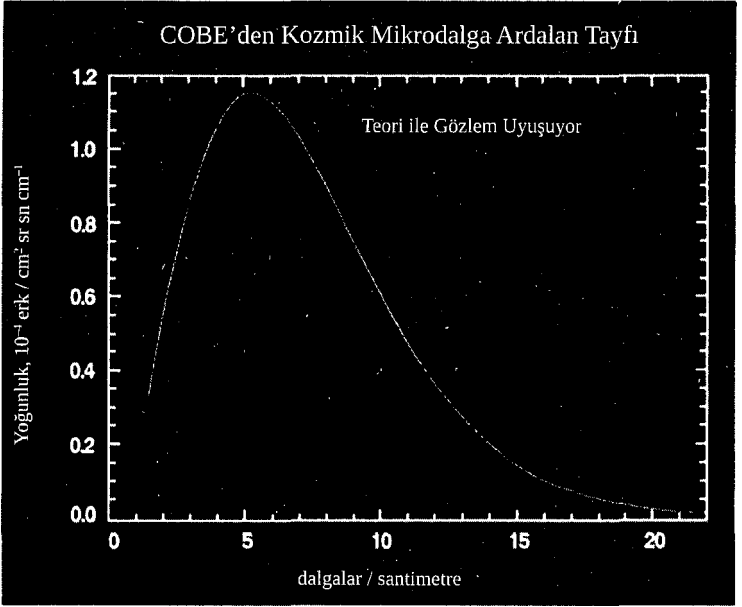
Doksanlar başladığında, kendi gözde teorileri olan kuşkuçular, hâlâ hem büyük patlamayı hem de şişmeyi sorguluyorlardı.¹ Ocak 1990'da, Virginia, Arlington'da düzenlenen Amerikan Astronomi Topluluğu'nun bir toplantısında, COBE'den ilk sonuçlar, araç üzeri üç aygıttan biri olan FIRAS, Uzak-Kızılaltı Mutlak Spektro-fotometre'nin baş araştırmacısı John Mather tarafından sunuldu. George Smoot ve Keay Davidson tarafından *Wrinkles in Time*'da (Zamandaki Kırışıklıklar) betimlendiği gibi, Mather Şekil 13.1'deki grafiği gösterdiğinde; "Projeksiyon, ekranı aydınlattığında, bir anlık sessizlik havada asılı kaldı. Ardından izleyiciler ayağa kalktı ve bir alkış tufanı koptu."² CMB'nin kara cisim doğası, kesin olarak doğrulanmıştı.³

Bu noktada büyük patlamadan artık şüphe duyulamayacak gibi görünüyordu. Önerilen başka hiçbir alternatif, geçici varsayımlar olmadan bu sonucu açıklayamıyordu. Bununla birlikte, şişme hâlâ düzlüğe çıkmamıştı.

Önde gelen astronomlar Fred Hoyle ile Geoffrey Burbidge gibi yıldız nükleosentezine olan büyük katkıları azımsanmayacak amansız rakipler, konuşmaya ve deneysel doğrulamanın yokluğuyla şişmenin zaten çürütüldüğünü dahi iddia etmeye devam ettiler.

Ancak biraz erken davranmışlardı.

- 1 Bkz, örneğin, Eric J. Lerner, *The Big Bang Never Happened (Büyük Patlama Hiç Olmadı)* (New York: Times Books/Random House, 1991).
- 2 George Smoot ve Keay Davidson, *Wrinkles in Time (Zamandaki Kırışıklıklar)* (New York: W. Morrow, 1993), sf. 241.
- 3 John C. Mather ve ark., "Measurement of the Cosmic Microwave Background Spectrum by the COBE FIRAS Instrument," (COBE FIRAS Aygıtı tarafından Kozmik Mikrodalga Aralan Tayfının Ölçümü) *Astrophysical Journal* 420 (1994): 439-44; şekil NASA'nın sitesindendir: http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/firas_image.cfm (24 Aralık 2013'te erişim yapıldı).



Şekil 13.1 FIRAS tarafından ölçülen CMB tayfı. Taban ölçeği, frekansla orantılı olan ters dalga boyudur. Eğri, 2,75 K’lık sıcaklık için Planck kara cisim tayfına uymaktadır. Görsel: NASA/GSFC’nin izniyle.

23 Nisan 1992’de, Smoot, Washington DC’deki bir Amerika Fizik Topluluğu toplantısında kalabalık bir izleyici kitlesi karşısında CMB göğünün bir dizi haritasını gösterdi. İki yıl önce meslektaş John Mather için yapılabenzer bir başka ayakta alkışlamayla, Smoot, şişme tahminlerini tamamen doğrulayan “zaman-daki kırışıklıklar” adını verdiği şeyleri gösterdi.

Stephen Hawking biraz abartıyla, buna “tüm zamanların olmasa da yüzyılın bilimsel keşfi” dedi. Smoot, bunun “Tanrı’yı görmek gibi” olduğunu söyledi.⁴ *The National Enquirer* (ya da benzer bir yayın), verilere dair kendi versiyonunu gösterdi; gökyüzünde İsa’nın yüzü.

Şişmeye dair kozmoloji tarafından tahmin edilen CMB’nin sıcaklık değişimleri, on yıllık yoğun bir çabanın ardından, nihayet

4 Smoot ve Davidson, *Wrinkles in Time*’ın kapağında alıntılандığı gibi.

doğrulandı.⁵ Mather ve Smoot, 2006'da Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşacaklardı.

The Inflationary Universe'de (Şişen Evren) Alan Guth, şekil 13.2'de kendisinin izniyle kopyalanan, daha az teknik biçimde yeniden çizilmiş bir COBE sonuçları grafiği sunar.⁶ Grafik, 0'dan 180 dereceye diferansiyel radyometreyle ölçülen iki yönün ayırma açısının bir fonksiyonu olarak, gökyüzündeki tüm yönler üzerinden ortalamasının karesi alınan CMB sıcaklık farkını göstermektedir. Veriler, şişmenin öngördüğü şekilde tam uyuşmaktadır, gerçi kitapta Guth, şekilde verilere uyması için ayarlanmış olan etkinin büyüklüğü hakkında herhangi bir iddiada bulunmaz.

Bununla birlikte, kısa süre içinde fark edildi ki; eğer eşyönsüzlük yaklaşık yüz binde bir büyüklüğünde gelmemiş olsaydı, şişmenin, çürütülme de, başı gerçekten büyük belada olurdu.

Bilimde, çürütülebilir olmayan bir model, bilim değildir. Ancak bir model, bunun olduğu gibi, çok riskli, çürütülebilir bir testi geçtiğinde, ciddiye alınma hakkını kazanır. Yine de, bilim tarihine dayanarak, bir ikaz notu eklenmelidir. Bir model onu çürütebilecek olan bir testi geçtiğinde bile, bu, modelin kesin olarak kanıtlanmış olduğu ve bir gün yerine daha iyi bir modelin geçmeyeceği anlamına gelmez. Ancak göreceğimiz gibi, tam gelişmiş bir kozmolojik modelin bir parçası olarak dahil edildiğinde, şişme hâlâ, herhangi bir alternatifin boy ölçüşebileceğinden daha fazlasını sunmaktadır.

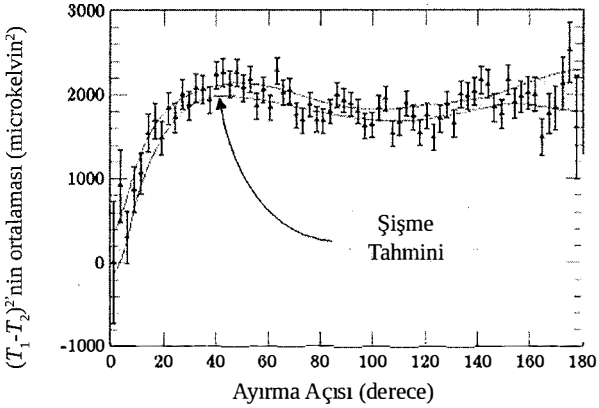
Sonuçlarını yorumlayan bir makalede, COBE ekibi, gözlemlerini, ortaya atılan birçok modelle karşılaştırarak, temel olarak, galaksi araştırmalarında gözlemlenen homojensizliklere kıyasla, ölçülen eşyönsüzlüklerinin çok büyük olduklarını, bu nedenle de ilksel olmaları gerektiğini buldu. COBE'nin, "evrenin başlangıcı hakkındaki, büyük patlamadan sonra 10^{-35} saniyeye kadar geriye giden, en erken gözlemsel bilgi"yi sağladığı sonucuna vardılar.⁷

5 George F. Smoot ve ark., "Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps," (COBE Diferansiyel Mikrodalga Radyometre İlk Yıl Haritalarındaki Yapı) *Astrophysical Journal* 396 (1992): L1-L5.

6 Alan H. Guth, *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (Şişen Evren: Kozmik Kökenlere Dair Yeni bir Teori Arayışı) (Reading, MA: Addison-Wesley, 1997), sf. 242.

7 E. L. Wright ve ark., "Interpretation of the Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropy Detected by the Cobe Differential Microwave Radio-

Başta, şişme sırasındaki yaklaşık 10^{-5} 'lik ilksel dalgalanmaların, gözlemlenen madde yoğunluğu göz önüne alındığında, galaksileri meydana getirmek için yetersiz oldukları düşünülürdü. Ancak cevap çabucak bulundu (Smoot'un izleyicileri arasından biri, bunu gerçekten haykırmıştı): "Kara madde!"



Şekil 13.2 Şişme tahminiyle kıyaslanan COBE diferansiyel mikrodalga radyometrenin ayırma açısının bir fonksiyonu olarak gökyüzü boyunca ortalamasının karesi alınan CMB sıcaklık farkı. Büyüklük, verilere uyması için ayarlanmıştır. Görsel: Alan H. Guth'un izniyle.

Ne kadar gerekliydi? Göreceğimiz gibi, tam olarak mevcut görünen miktar; görünür madde tarafından taşınan kütle için yaklaşık beş katı.⁸

Şekil 13.2'de gösterildiği gibi, yaklaşık otuz derecenin üzerindeki ayırma açıları için, dağılım temel olarak düzdür, bu da ölçek değişmezliği tahminini doğrular. Daha ayrıntılı şekle girmemiz gerekmez, çünkü henüz ele alınmamış olan takip eden deneyler, büyük ölçüde iyileştirilmiş veriler sağlayacaktı ve daha küçük

meter," (Cobe Diferansiyel Mikrodalga Radyometre Tarafından Tespit Edilen Kozmik Mikrodalga Arda Alan Işınım Eşyönsüzlüğünün Yorumlanması) *Astrophysical Journal* 396 (1992): L13–L18.

8 Jeremiah P. Ostriker ve Simon Mitton, *Heart of Darkness: Unraveling the Mysteries of the Invisible Universe (Karanlığın Kalbi: Görünmez Evrenin Gizemlerini Çözmek)* (Princeton, NJ; Oxford: Princeton University Press, 2013), sf. 201.

açılar, ilk evreni son derece detaylı biçimde tanımlayan önemli yapıyı ortaya çıkaracaktı.

EVRENDEKİ YENİ PENCERELER

CMB gözlemleri, astronomi ve kozmoloji için bir başka fevkalade on yıl olan 1990'ların tek önemli başarıları değildi. Kozmolojiyle doğrudan en fazla ilişkili birkaç seçili örnekten kısaca bahsedeceğim yalnızca.

1990'da, Hubble Uzay Teleskobu (HST), uzay mekiği *Discovery* tarafından yörüngeye taşındı. Maalesef, ana ayna ciddi biçimde çatlamıştı ve yörüngede tamir edilmek zorundaydı. Bu, 1994'te mekik astronotları tarafından başarıldı; aklımda tüm mekik programı tarafından bilime yapılmış en önemli katkı olan olağanüstü bir başarı. Öteki Hubble servisi görevleri, 1997, 1999, 2002 ve 2009'da gerçekleştirildi.

Tayfın yakın morötesi, görünür ve yakın kızılaltı bölgelerini kapsayan Hubble, astronomi tarihinde o zamana kadar kaydedilmiş en ayrıntılı görüntüleri sağladı ve evreni ufka kadar haritaladı. Yirmi üç yıl sonra bu yazı yazılırken hâlâ faaliyette olan HST, Hubble sabiti ve öteki kilit parametrelerin geniş ölçüde iyileştirilmiş tahminlerini sağlayarak, kozmolojiye katkıda bulundu. Derin alan gözlemlerinde, HST en uzak, en eski galaksilerin, daha yakın, daha genç sarmallardan daha ufak ve daha kaotik olduğunu göstererek, zaten gayet ölü olan kararlı durum modeline bir darbe daha vuracaktı.

1990 yılı ayrıca, Keck I çoklu-ayna on metre optik teleskobunun Mauna Kea'ya kurulmasını gördü. Ona 1998'de Keck II katıldı. Mauna Kea'nın Yeryüzündeki en iyi gözlem yeri olduğunu ve tayfın görünür kısmının yanı sıra kızılaltıya da dikkatle bakabilir olduğunu hatırlayın. Son yılların en üretken karada-yerleşik astronomi projelerinden biri olan Keck teleskopları, (güneşin yanı sıra) yıldızların etrafındaki gezegenler için kanıt bulmada ilklerin arasındaydı. Galaksimizin merkezine yakın yıldızların yörünge hızlarını tespit ederek, Keck teleskopları, Samanyolu'nun merkezinde dört milyon güneş kütleli bir kara deliğin bulunduğu-nun saptanmasına yardım etti.

1993'te, on radyo teleskobundan oluşan Çok Geniş Tabanlı Diziliş (VLBA), Hawaii'den Virgin Adaları'na dağıtıldı ve uzaktan

New Mexico'dan çalıştırıldı. Diziliş, geniş-tabanlı girişim ölçümü kullanarak, 0,7 santimetreden 90 santimetreye on dalga boyluk bir bant boyunca 0,17 miliaçısalsaniyeden 22 miliaçısalsaniyeye açısal çözünürlüklere ulaşabildi. Diziliş, her biri güneşten 150 milyon kat daha kütleli ve birbirlerinden yalnızca yirmi dört ışık yılıyla ayrılmış iki dev kara delik keşfetti! Yeryüzünden 750 milyon ışık yılı uzaklıktaki galaksi 0402+379'un merkezinde bulunuyorlar.

Gerçekten de, hepsi olmasa da çoğu büyük galaksinin merkezinde süper kütleli kara deliklerin bulunduğu artık kesindir.

1995'te, Kızılaltı Uzay Gözlemevi (ISO), yörüngeye yerleştirildi. 1,5'tan 196,8 mikrona kadarki tayf bölgesini incelemek üzere tasarlanmıştı. ISO, 1998'de arızalanana kadar, yirmi altı bin başarılı gözlem yaptı.

Tayfın gama ışını bölgesine geçerse, geçmişte, 1967'de, amacı Yeryüzündeki nükleer silah denemelerini tespit etmek olan Vela uyduları, şans eseri, gökyüzünde gelişigüzel konumlanmış tekrarlamayan gama ışını patlamaları tespit etmişti. Parlaklıkları nedeniyle, bunların galaksimizin içinden oldukları varsayıldı genel olarak.

1991'de, Compton Gama Işını Gözlemevi uzaya fırlatıldı. Üzerindeki aygıtlardan biri olan BATSE (Patlama ve Geçici Kaynak Deneyi), gama ışını patlamalarını tespit ve analiz etmek üzere tasarlanmıştı. Günde bir ortalamayla, toplam 2.700 belirleme yaptı. Bu gözlemlerden, gama ışını patlamalarının, uzak galaksilerden kaynaklandığı, dolayısıyla da muazzam miktarlarda enerji yaymakta oldukları belirlendi.

Yakın zamanda NASA, Hubble Uzay Teleskobu'nun böyle bir patlama tespit ettiğini ve hesaplamalara göre bunun, iki nötron yıldızının çarpışması olarak belirlendiğini duyurdu.⁹

ÇOK YÜKSEK ENERJİ ASTROFİZİĞİ

Radyo teleskopları tarafından ölçülen sinyaller, genellikle radyo dalgaları olarak betimlenmiş olsa da tıpkı herhangi bir elektromanyetik dalga gibi foton parçacıklarından oluşmaktadır.

9 NASA Bilim Haberleri, "Hubble Sees the Fireball from a 'Kilonova,'" (Hubble bir 'Kilonova'dan gelen Ateş topunu Görüyor) http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/03aug_kilonova/ (4 Ağustos 2013'te erişim yapıldı).

lar. Bir elektromanyetik dalgayı oluşturan foton demetindeki bir fotonun enerjisini (E), $E = hc/\lambda$ verir, burada λ dalga boyudur. λ metre cinsinden olduğunda, bunu, $E = 1,97 \times 10^{-7}/\lambda$ eV şeklinde yazabilirsiniz. VLBA için en uzun dalga boyu yaklaşık bir metre olduğundan, bu durumdaki foton enerjisi, bir elektron-voltun milyonda birinden azdır.

Tayfın öteki ucunda, Compton uzay aracının üzerindeki EGRET (Enerjik Gama Işını Deneyi Teleskobu) dedektörü, 10^{-17} metre civarındaki bir dalga boyuna karşılık gelen, $30 \text{ GeV} = 3 \times 10^{10}$ eV'luk maksimum saptanabilir bir foton enerjisine sahipti.

Bu sırada, aranacak hem daha yüksek enerji hem de parçacık tipinde daha da ileri gitmek için çabalayan ben dahil birkaç kişi bulunuyordu. Yetmişlerin ortalarında, Hawaii Büyük Adası'nın güney kıyısının (Kona) açığında, 4,8 kilometrelik derinlikte, okyanusun dibine büyük bir dedektör yerleştirilmesine dair bir projeye dahil oldum. Adı, DUMAND, yani Derin Denizaltı Müon ve Nötrino Dedektörü'ydü. Amaç, 1 TeV'tan (10^{12} elektron volt) daha büyük enerjilere sahip, çok yüksek enerjili nötrinoları kozmostan araştırarak, evrende bütünüyle yeni bir pencere ("nötrino penceresi") açmaktı. Projenin asıl lideri, 1956'daki nötrinin ortak keşfi nedeniyle, 1995 Nobel Fizik Ödülü'nü Clyde Cowan'la paylaşacak olan Fred Reines'di.

Çok yüksek enerjili nötrinoların, etkin galaksilerin merkezlerinde bulunan muazzam enerji kaynakları tarafından üretildikleri teorisi ortaya atıldı. (Bkz. 9. Bölümdeki etkin galaksiler konusu) Fotonlara kıyasla, galaksinin kalbinin daha derinlerinden gelmeleri muhtemel olduğundan, bu büyük enerji kaynakları hakkında bilgi sağlayacaklarını umduk. 1984'te, *Astrophysical Journal*'da, etkin galaksilerin belirli koşullar altında, saptanabilir çok yüksek enerjili nötrinolar üretebildiğini gösteren bir makale yayınladım.¹⁰

Ortaya konulan yöntem, proton bozunumu deneyleriyle birlikte, halen yapılmakta olan çok yüksek enerji astrofiziği konusundaki bütün deneylere hâlâ temel oluşturmaktadır. Yüklü bir parça-

10 Victor J. Stenger, "The Production of Very High Energy Photons and Neutrinos from Cosmic Proton Sources," (Çok Yüksek Enerjili Fotonların ve Nötrinoların Kozmik Proton Kaynaklarından Üretimi) *Astrophysical Journal* 284 (1984): 810–16.

cık, su ya da hava gibi saydam bir ortamda ışık hızından daha hızlı (ancak hâlâ c 'den daha az) hareket ediyor olduğunda, *fotoçoğaltıcı tüpler* adı verilen çok hassas fotodedektörlerle saptanabilir mavimsi bir ışık olan *Cherenkov ışıını* denilen elektromanyetik bir şok dalgası yayar.

DUMAND, bu fotodedektörlerin büyük bir dizilişini, kozmik ışın müonlarından gelen ardalan ışığının en az olduğu okyanusun dibine konuşlandırmak üzere tasarlandı. 11. Bölümde bahsedilen proton bozunum deneyleri Kamiokande ve IMB'de de, yeraltının derinliklerindeki madenlerin içine çok saf su dolu büyük tankların içerisine fotoçoğaltıcı tüplerin yerleştirildiği bu yöntem kullanıldı.

1980'lerde DUMAND üzerinde çalışırken, DUMAND için faydalı tamamlayıcı bilgi sağlayacağını düşündüğüm bir başka deneye dahil oldum. Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi'ndeki, fizikçi Trevor Weekes'in liderliğindeki bir ekip, Arizona'daki Hopkins Dağı'ndaki Whipple Gözlemevi'nde, küre biçiminde yansıtan bir yüzey oluşturan düz plakalardan yapılmış on metre çapındaki çok ucuz bir ayna inşa etmişti. Bu aynanın odağına, birtakım ufak fotoçoğaltıcı tüpler monte edilmişti.

Çok yüksek enerjili bir gama ışını fotonu, atmosferin üst kısmına çarptığında, Yeryüzüne doğru çağlayan gibi dökülen binlerce elektron ve öteki yüklü parçacıktan oluşan bir sağanak oluşur. Whipple teleskobu, bu hava sağanağının ürettiği Cherenkov ışığını tespit etmek üzere tasarlandı.

1989'da, Maui'deki Haleakala Dağı'ndaki, evime daha yakın benzer bir deneyde çalışmak için Hopkins Dağı projesini bırakmamın ardından, Weekes ile ortak yazarları, Yengeç Nebulası'ndan istatistiksel olarak son derece anlamlı bir sinyal rapor ettiler.¹¹ Yengeç, Arap, Çinli, Hintli ve Japon astronomlarca 1054'te kaydedilen bir süpernovanın kalıntısıdır.

Yengeç, daima en muhtemel adayımız olmuştı ve onu yakından izledik. 1968'de, nebulanın merkezinde, dönen bir pulsar keşfedilmiş ve nötron yıldızı olarak tanımlanmıştı. Her 33,5 milisaniyede bir olan yüksek dönme hızıyla, nötron yıldızının manye-

11 Trevor C. Weekes ve ark., "Observation of TeV Gamma Rays from the Crab Nebula Using the Atmospheric Cerenkov Imaging Technique," (Atmosferik Cerenkov Görüntüleme Yöntemi Kullanılarak Yengeç Nebulası'ndan gelen TeV Gama Işınlarnın Gözlenmesi) *Astrophysical Journal* 342 (1989): 379-95.

tik alanı, elektronları çok yüksek enerjiye hızlandırabilir. Çevresindeki gazla çarpıştıklarında, gama ışını fotonları ve umarım, ayrıca nötrinolar üretirler.

Yengeç, bizim galaksimizin içerisinde. 1992’de, Weekes ile arkadaşları, galaksi dışı bir kaynak olan Markarian 421 blazarının tespit edildiğini bildirdiler. Asistan öğrencim Peter Gorham ile ben de, blazarların ışın demetleri Yeryüzünü işaret ettiklerinden, blazarları umut verici kaynaklar olarak görmüştük.

Bu sırada, bir Alman grubu, Kanarya Adaları’nda, HEGRA (Yüksek Enerjili Gama Işını Astronomisi) adlı bir başka gama ışını teleskobu yerleştirdi. Teleskop, Whipple kaynaklarını 1996’da doğruladı, Nisan 1997’de ise, bir başka blazarın, Markarian 501’in tespit edildiğini bildirdi.¹²

Böylece kozmostan gelen gözlemlenen sinyallerin enerji tayfının üst sınırı, EGRET’in bir kat üstüne yükseltildi, bunun pek çok kat daha az bir parasal maliyette olduğunu ekleyebilirim.

Ancak VLBA tarafından tespit edilen radyo fotonlardan 10^{18} kat daha enerjik olan bu trilyon-elektron-volt fotonlar, evrende gözlemlenen en yüksek enerjili nesneler değildir. Parçacık dedektörleri dizilişlerinin Yeryüzü üzerinde büyük alanlara yayılmasıyla, atmosferi vuran kozmik ışınlar tarafından üretilen parçacık sağanakları, $1 \text{ ZeV} = 10^{21} \text{ eV}$ ’a kadar primer kozmik ışınlar gözlenmiştir.

Ancak, kozmik ışınlar parçacıklarının evren boyunca ilerlemeleri için, Greisen-Zatsepin-Kuzmin sınırı adı verilen bir sınır bulunmaktadır. Bu sınırın üzerinde, CMB’yle çarpışmalarla enerji kaybedeceklerdir. Bu nedenle, bu ZeV parçacıkları muhtemelen Yeryüzüne oldukça yakından gelmektedirler. Bir olasılık, “yalnızca” elli üç milyon ışık yılı uzaklıkta ve süper kütleli bir kara deliği içerdiğine inanılan etkin bir çekirdeğe sahip olan Virgo (Başak) takımyıldızındaki Messier 87’dir.

Öte yandan, çok yüksek enerjili nötrinoların bu sınıra tabi olmadığını ve uzun mesafelerdeki bu tür enerjileri gözlemleyebildiğimiz bilinen tek yöntem olduklarını göz önünde bulundurun.

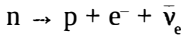
12 F. A. Aharonian, A. N. Timokhin ve A. V. Plyasheshnikov, “On the Origin of Highest Energy Gamma-Rays from Mkn 501,” (Mkn 501’den Gelen En Yüksek Enerjili Gama Işınlarnın Kökeni Üzerine) *Astronomy and Astrophysics* 384, no. 3 (2002): 834–47.

Bu yazıda, süpernova 1987 ve şimdi çok daha yüksek enerjilerdeki bazı heyecan verici yeni sonuçlarla, evrendeki yeni pencere (nötrino penceresi) açılmıştı. Bununla beraber, test aygıtlarının birkaç çok zorlu ve pahalı okyanus konuşlanmasını içeren üstün bir gayretin ardından, DUMAND'ın teknik olarak fazla zor olduğu belirlendi ve 1995'te projenin fonlama kurumu olan ABD Enerji Bakanlığı tarafından iptal edildi. Öte yandan, DUMAND çok yüksek enerjili nötrino astronomisi kavramı için bir deneme alanı görevi gördü ve öğrendiklerimizin üzerine dayanan başka benzer birkaç proje geliştirildi. Sonraki bölümde göreceğimiz gibi, Güney Kutbu'ndaki bir deneyde 30 TeV'un üzerindeki yirmi sekiz nötrinonun gözlenmesine dair 2013'teki raporla, bunlar meyvesini vermeye başlıyor.

NÖTRİNO KÜTLESİ

Süper-Kamiokande, nötrinoların kütlesi olduğuna dair ilk kesin kanıt sağladığında, gökyüzünden gelen nötrinolar 1998'de hâlâ manşetlere çıkıyordu. 2000'de emekli olmadan önceki son araştırma projem olan bu deneyde ufak bir rol oynadım. Bununla birlikte, nötrino fiziği ve astrofiziği konularında yirmi yılın üzerinde çalışmışım, bu keşif için kullanılan yöntem de, 1980'deki nötrino kütlesi seminerinde önerdiğim ve bildirilerde yayınlanan yöntemdi.¹³

Sıfırdan farklı kütleli nötrinoların, *nötrino salınımı* olarak bilinen bir özelliğe sahip oldukları tahmin ediliyordu. Tablo 11.1'de listelenmiş üç tip nötrino ve karşı-parçacıkları, zayıf bozunum süreçleriyle üretilir; beta bozunumu gibi,



burada $\bar{\nu}_e$ karşıelektron nötrinosudur. Ancak, bu nötrinolar sabit kütlelere sahip değildir. Her birinin kuantum durumu, sabit kütleyle sahip ν_1, ν_2, ν_3 olarak ifade edilen öteki üç nötrino durumunun bir karışımıdır. Kütleler (durgun enerjiler) farklıdır, böylece her birinin bir ışın

13 Victor J. Stenger, "Neutrino Oscillations in DUMAND," (DUMAND'da Nötrino Salınımları) *Neutrino Mass: Mini-Conference and Workshop Transparencies (Nötrino Kütlesi: Mini Konferans ve Seminer Slaytları)*, editör: V. Barger ve D. Cline, sf. 174–78 (Madison: University of Wisconsin, 1980). Makalenin taranmış bir kopyası için: <http://www.colorado.edu/philosophy/vstenger/Telemark.pdf> (14 Nisan 2013'te erişim yapıldı).

demetini betimleyen dalga fonksiyonu, farklı bir frekansa sahip olacaktır. Bu fark nedeniyle, zaman ilerledikçe karışım değişir. ν_μ ’lerden oluşan saf bir ışın demetiyle başladığımızı varsayın. Karışım zamanla değişir, böylece bir nötrino tespit ettiğimizde, öteki tiplerden birinin, ν_e ya da ν_τ ’nin olacağına dair bir ihtimal bulunmaktadır. Nötrino salınımı, kütleler sıfır olduğunda meydana gelmez, bu nedenle nötrino salınımı gözlemimiz, nötrino kütlesi için kesin kanıttı.

Üst atmosferi vuran yüksek enerjili kozmik ışın protonları ve öteki çekirdekler, bol miktarlarda kısa yaşam süreli pion ve kaon üretir. Onların bozunum ürünleri, önemli sayılarda müon ve elektron nötrinoları ile daha az tauon nötrinolarını içerir. Yeraltındaki Süper-K dedektörüne ulaşmak için, atmosferin üst kısmından doğrudan aşağı gelen bir nötrino yaklaşık on beş kilometre yol alır. Buna karşın, Yeryüzünün ters tarafından doğrudan yukarı geçen bir nötrino, yaklaşık on üç bin kilometre yol alır, dolayısıyla salınmak için daha fazla zamana sahiptir.

Süper-K, 15 GeV’luk en yüksek enerjide neredeyse %50 olan müon nötrinolarının bir yukarı-aşağı asimetrisini gözlemledi. Nötrino salınımları teorisi uygulandığında, bu, iki nötrino türünün kütle-karelerindeki farkın $5 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ aralığında olması demek oluyordu.¹⁴

İlave deneyler, nötrinolar arasındaki kütle farklarını tam olarak belirledi ve en az birinin 0,1 eV civarında bir kütleyle sahip olduğunu tespit etti. Bu, daha önceki bilinen en hafif sıfırdan farklı kütleli parçacık, kütlesi $5,11 \times 10^5 \text{ eV}$ olan, on milyon kat daha büyük elektronla karşılaştırılır.¹⁵

Ayrıca 1998’de, Süper-K, Şekil 13.3’te gösterilen, güneşin gece yeryüzünden çekilmiş bir nötrino fotoğrafını elde etti; bir yıldızın çekirdeğine o güne kadarki ilk bakıştı bu.¹⁶ Güneşin gece

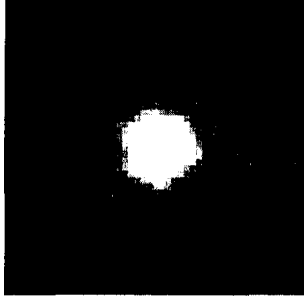
14 Süper-Kamiokande İşbirliği, “Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos,” (Atmosferik Nötrinoların Salınımına Dair Kanıt) *Physical Review Letters* 81 (1998): 1562–67.

15 Bunlar durağan durumlar olmayıp, sürekli birbirleriyle karıştıkları için, standart modeldeki üç nötrino, sabit kütlelere sahip değildir, ancak daha çok, durağan durumlar olan öteki üç nötrino durumunun (ν_1 , ν_2 ve ν_3) karışımlarıdır. Teknik olarak, bunlar, sabit kütlelere sahip olan durumlardır.

16 R. Svoboda ve K. Gordan, “Neutrinos in the Sun,” (Güneşteki Nötrinolar) 1998, <http://apod.nasa.gov/apod/ap980605.html> (26 Şubat 2013’te erişim yapıldı).

ufkun altına düştüğünde kaybolduğunu düşünenler için, resim, onun hâlâ orada olduğunu ispatlıyor.

Masatoshi Koshiba, Kamioka deneylerinin liderliğinden dolayı, 2002 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşacaktı.



Şekil 13.3 Gece güneş, Süper-Kamiokande tarafından nötrinolar içindeki Yeryüzünden görüldüğü gibi. Görsel, R. Svoboda, UC Davis'ten (Süper-Kamiokande İşbirliği).

KARA MADDE

Görmüş olduğumuz gibi, ilk büyük patlama modeline dair en büyük problemlerden biri suydı; eğer evrenimizdeki işlevsel olarak tanımlanabilir en erken anda, evrenin ortalama kütle yoğunluğu, kritik yoğunluktan $1/10^{60}$ daha büyük olsaydı, derhal çökerdi. Eğer aynı miktar daha küçük olsaydı, o kadar hızla genişlerdi ki, bugünkü evren esas olarak boş olurdu. Evrenin geometrisinin neredeyse tamamen Öklitçi olmasını gerektirdiğinden, buna düzlük problemi adı verildi. Şişme, uzayı pek çok kat genişleterek düzlük problemini çözer, böylece düz oldu, yoğunluk da kritik hale geldi.

Ancak, astronomlar, büyük kısmı parlak yıldızlarda ve tozda olan, evrenin görünür maddesinin yoğunluğunun, kritikten çok daha az olduğunu uzun zamandır biliyorlardı. Kara madde adı verilen, evrenin büyük görünmez bir bileşenine dair oldukça iyi kanıtlar, 1930'lara kadar uzanmasına rağmen, çoğu astronom, çok makul bir sebeple; teleskoplarıyla doğrudan görmedikleri için, kara maddenin gerçekliğini geç kabul ettiler. Kayıp kütle, Newton'ın hareket ve kütleçekim yasalarının, galaksilerdeki yıl-

dızların gözlemlenen yörüngesel hareketlerine uygulanmasıyla gösterildi.

Belki de bazıları şöyle düşündü; bu yasalar astronomik ölçeklere göre geliştirilmek zorundaydı ve bazı belirli modeller ileri sürüldü. Ockham'ın usturası, bununla birlikte, başka seçenek bulunmama durumu olmadıkça, mevcut bir teoriyi –özellikle de Newton'ın kütleçekim yasası gibi çok sağlam bir şekilde yerleşmiş bir tanesini– değiştirmek için acele etmemeyi uygun bulur. Ve şimdilik, kara madde, en cimri seçenektir.¹⁷ Unutmayın ki; Newton'ın kütleçekim yasasının yerini genel görelilik almasına rağmen, Newton'ın yasası bu durumda hâlâ geçerli olduğundan, bu, kayıp kütleyle ilgili sonuçları değiştirmez.

Yine de, eğer kara madde ve şişme ayakta kalacaktıysa, çözülmesi gereken problemler bulunuyordu. 9. Bölümde betimlendiği gibi büyük patlama nükleosentezinin, hafif çekirdeklerin, özellikle de döteryumun tam bolluklarını hesaplamadaki büyük başarısı, baryonların yoğunluğunun, yani tanıdık atomik maddenin, kritik yoğunluğun en fazla %5'i olduğunu gösterdi. Buna yalnızca minik bir %0,5 olan parlak madde (galaksiler ve bütün benzerleri) değil, algılanabilir ışık yaymayan, atomlardan yapılmış bütün cisimler de (gezegenler, kahverengi cüceler, kara delikler) dahildir. Kara madde sadece kara değildir; bildiğimiz kadarıyla madde değildir.

Kara madde, fark edilmemiş kalmış olmak için, elektriksel olarak nötr, kararlı ve zayıf etkileşimli olmak zorunda olduğundan, bilinen temel parçacıklar arasında yalnızca nötrinolar, muhtemel kara madde parçacığı adaylarıdır. Baryon değildirler.

Genel olarak iki tip kara madde modeli düşünülmüştür: parçacıkların görelî olduğu, yani ışığa yeterince yakın hızlarda yol aldıkları için görelî kinematikle betimlenmesi gereken *sıcak kara madde*; parçacıkların görelî olmadığı *soğuk kara madde*. Bununla beraber, ikisi arası bir olasılığı yine de açık tutmamız gerekir; *ılık kara madde*. Sıcak kara madde durumunda, durgun enerji ihmal

17 Kara maddenin eğitim amaçlı bir incelemesi için, bkz. Guido D'Amico, Marc Kamionkowski ve Kris Sigurdson, "Dark Matter Astrophysics," (Kara Madde Astrofiziği) *Dark Matter and Dark Energy: A Challenge for Modern Cosmology* (Kara Madde ve Kara Enerji: Modern Kozmoloji için Bir Zorluk), editör: Sabiuno Matarrese, Monica Colpi, Vittorio Gorini ve Ugo Moschella (Dordrecht: Springer, 2011), sf. 241–72.

edilebilir olduğundan, kara madde parçacıklarının kütleçekimsel kütlesi esasen parçacığın kinetik enerjisine eşittir. Kara maddenin sıcaklığının, yani ortalama kinetik enerjisinin, CMB'ninkiyle aynı olması gerekir, çünkü dengededirler ve kendilerine ait ısı üretmezler, bununla birlikte, kalıntı kozmik nötrino ardalanı (CvB), 1,95 K'de hafifçe daha serindir. Ilık kara madde için, hiçbir kütle katkısı ihmal edilemez. Ancak, evrenin sıcaklığı çok hızlı değiştiğinden, kozmik zaman ölçeğinde, herhangi bir belirli parçacık için sıcaktan soğuğa hızlı bir geçiş vardır genellikle.

Nötrinolar, ilk sıcak kara madde adaylarıydı. Önceki kısımda gördüğümüz gibi, en az bir nötrinonun kütlesi, 0,1 eV'tan fazla değildir, geri kalanlar daha da düşüktür. Böylece kozmik nötrinoların sıcak ya da soğuk olması, sıcaklıklarına bağlıdır. Sıcaktan soğuğa geçiş, büyük patlamadan yaklaşık bir milyon yıl sonra meydana geldi. Daha öncesinde, bu kütledeki bir nötrino sıcaktır; daha sonra soğuktur.

Ancak, o kütledeki kritik yoğunluğun kayda değer bir bölümünü sağlamak için gereken, bu kütleyle sahip nötrinoların sayısı, 10^{90} gibi bir şeydir; mümkün görünmeyen bir sayıdır. Kıyasen, “sadece” 10^{88} kalıntı nötrino vardır, CMB'deki fotonlarla hemen hemen aynı sayıdır. Dolayısıyla, tanıdık hafif nötrinolardan oluşan kara madde, en son CMB verilerinden büyük ölçüde elenir, bu nedenle başka kara madde adayları aramamız gerekiyor. Takip edilecek uygun silsile, önce en az yeni hipotez gerektiren olasılıkları incelemektir.

Standart model hiç aday içermemekle birlikte, teoremin tam bir revizyonunu gerektirmeyen, yalnızca ufak eklemeler gerektiren iki tane bulunmaktadır; *steril nötrinolar* ve *axionlar*.

Bilinen nötrinoların kütlesi olduğu keşfedilince, henüz gözlenmemiş olan bir başka nötrino dizisinin onlara eşlik ediyor olması gerektiği anlaşıldı. İlave nötrinoların *steril* olduğu, yani yalnızca kütleçekimsel olarak ya da en fazla çok zayıf bir şekilde etkileştikleri varsayılır. Eğer bunlar kayda değer kütleyle sahiplerse; diyelim birkaç yüz elektron volttan fazla, o zaman, bu durumları betimleyen parametreleri içermesi için hafifçe genişletilmiş standart modelin mevcut fiziğine hâlâ uyan kara madde adaylarıdır.¹⁸

18 Steril nötrinolar hakkında daha fazla okumak için, bkz. Eric Hand, “Hunt for

Bu kitap yapım aşamasındayken, çeşitli yeni gözlemler steril nötrinoları aniden kara madde araştırmasının ön planına çıkartmıştı. Bu, 14. Bölümde ele alınacak.

Standard modelin temel çerçevesine hâlâ uyan bir diğer varsayımsal kara madde adayı, kuantum kromodinamiğiyle ilgili bazı teknik problemleri çözmek üzere geçmişte, 1977’de getirilen axion’dur. 1 eV’tan düşük kütlelere sahip oldukları tahmin edilmektedir.

WIMP’LER ve SUSY

Standart modeldeki yalnızca ufak değişikliklerin izin verdiği başka soğuk kara madde adayı mevcut değildir. Eğer steril nötrino ya da axion değilse, bu durumda tamamen yeni bir şey olmak zorundadır. Türsel olarak, WIMP adı verilen Zayıf Etkileşimli Büyük Kütleli Parçacık, yüksek ihtimalle büyük kütlelidir ve göreceli değildir.

Uzun zamandan beri, fizikçiler arasındaki en gözde aday, 11. Bölümde betimlenen süpersimetriyi (SUSY) içeren standart modelin bir uzantısı tarafından tahmin edilen parçacıklardan biri olmuştur. Süpersimetriden doğacak olan WIMP için kullanılan genel bir terim, *nötralino*’dur. Standart modelin ayar bozonlarının fermiyonik s-ortakları olan dört muhtemel *nötralino* ortaya konmaktadır.

SUSY için kanıtın, LHC’nin ilk seferleri sırasında ortaya çıkarılması tamamen bekleniyordu. Olmadı. Son kırk yıldaki teorik çabanın çoğu, süpersimetriye, özellikle de kuantum kütleçekiminin (süper kütleçekim) çoğu teorisine ve *M*-teorisine dayanmaktadır. Eğer SUSY, 2015’te başlayacak sonraki sefer sırasında doğrulanmazsa, bunlar yıkılmayla sonuçlanabilir.

Eğer bu olursa, birçok fizikçi hayal kırıklığına uğrayacaktır, ancak ben dahil olmak üzere, hepsi değil. Fizikteki önemli keşifler, genellikle daha az ayarlanabilir parametreye sahip daha basit teorilere yol açar. SUSY ayarlanabilir parametrelerin sayısını kabaca ikiye katlar, *M*-teorisi ise, 10^{500} farklı varyasyona sahip-

the Sterile Neutrino Heats Up,” (Steril Nötrino Avı Kızışıyor) *Nature* 464 (2010): 334–35; ayrıca, Patrick Huber ve Jon Link, “White Paper on Sterile Neutrinos,” (Steril Nötrinolar Üzerine Tanıtım Yazısı) http://cnp.phys.vt.edu/white_paper/whitepaper.pdf (10 Eylül 2012’de erişim yapıldı).

tir.¹⁹ Matematiksel güzelliklerine rağmen, bu onları deneysel aklında çirkinleştirmektedir.

Şimdi, Miladi tarihin ikinci bin yılı sona ererken, kozmologların karşısına çıkan tek problemler bunlar değildi. 1998'e kadar, kara maddenin, doğası ne olursa olsun, evrenin kritik yoğunluğunu oluşturmaya yönelik olarak en fazla %25 kadar katkıda bulunabileceği saptanmıştı. Şişmenin gerektirdiği evrenin kütlesinin dörtte üçü, hâlâ kayıptı. Bir kez daha, şişme çürütülmenin eşiğindeydi. Ve bir kez daha, doğa imdadına yetişti.

KARA ENERJİ

Hubble, 1929'da galaksilerin uzaklıklarına karşı gerileme hızlarını ilk belirlediğinden beri, astronomlar adım adım ölçümlerini iyileştirdiler, ancak verileri düz bir çizgiye uymaya devam etti. Yani, evrenin genişleme hızını veren çizginin eğimi (H), sabit görünüyordu. Gerçekten de, buna Hubble sabiti adı verildi.

Bununla birlikte, genişleme hızının (H) sabit olması için bir sebep yoktu. Genişleme karşılıklı kütleçekimsel çekimle yavaşladığından, bir noktada grafiğin aşağı doğru kıvrılmaya başlaması bekleniyordu. Yani, genişlemenin yavaşlaması gerekir.

Öte yandan, 1995'te kozmologlar Lawrence Krauss ile Michael Turner, o sıradaki mevcut verilerin, evrenin, aslında kritik yoğunluğun büyük kısmına katkıda bulunan pozitif bir kozmolojik sabite sahip olduğunu ortaya koyduğuna dikkat çektiler. Bunun, daha büyük mesafelerde gerileme hızında bir artış şeklinde ortaya çıkan, hızlanmış bir genişleme üretmesi gerektiğini, yani grafiğin yukarı kıvrılması gerektiğini belirttiler.²⁰

Pozitif bir kozmolojik sabit olasılığından, daha önce, 1982'de seçkin Fransız astronom Gérard de Vaucouleurs tarafından bahsedilmişti.²¹ Vaucouleurs, kuasarların uzaysal dağılımının, pozitif

19 Leonard Susskind, *Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (Kozmik Manzara: Sicim Teorisi ve Akıllı Tasarım Yanılsaması) (New York: Little, Brown, 2005).

20 Lawrence M. Krauss ve Michael S. Turner, "The Cosmological Constant Is Back," (Kozmolojik Sabit Geri Döndü) *General Relativity and Gravitation* 27, no. 11 (1995): 1137–44.

21 G. de Vaucouleurs, "The Extragalactic Distance Scale and the Hubble

bir kozmolojik sabitten kaynaklanabilen, ufak bir pozitif eğriliği işaret ettiğini belirtti.

Şimdi göreceğimiz gibi, sonraki gözlemler bu etkiyi doğruladı, ancak o zamana kadar bu makalelerin sonuçları yaygın olarak anlaşılıp kabul edilmedi.

Galaksilerin gerileme hızlarını, kızıla kaymalarından ölçmek kolaydır. Ancak, gördüğümüz gibi, mesafeleri ölçmek, astronomlar için daima zorlayıcı bir problem olmuştur. 1990'larda, iki araştırma grubu, bir beyaz cüceyi içeren özel bir tür süpernovaya dayanan yeni bir standart mum uyguladılar. Bu yöntem, en uzak mesafelerdeki galaksilere olan tahmin edilen mesafelerin kesinliğini büyük ölçüde iyileştirdi.

Beyaz cüceler, çekirdeksel yakıtlarının tamamını yakan, görece tipik yıldızların (güneşimiz gibi) kalıntılarıdır. Hâlâ çıkardıkları sönük ışık, depolanan ısı enerjiden kaynaklanmaktadır. Eğer bir beyaz cüce, 1,38 güneş kütesinden daha az kütleyle sahipse, görece kararlı kalacaktır. Bununla birlikte, eğer ikili sistemin bir parçasıysa, eşinden madde toplayıp, bir süpernova gibi patlamak için yeterli kütle kazanabilir. Buna *Tip 1a süpernova* adı verilir. Patlama, özgün bir kütleye ulaşıldığında meydana geldiğinden, patlamanın tepe parlaklığı, bu tür olayların hepsi için hemen hemen aynı olacaktır.

Enerji korunumu nedeniyle, süpernovadan çıkan ışık, mesafenin karesiyle düşecektir. Böylece, ışık eğrisiyle (parlaklığın zamanla değişimi) tanımlanan bir Tip 1a süpernovanın gözlenen parlaklığı ölçülerek, uzaklığı, benzeri görülmemiş kesinlikle tespit edilebilir.

Araştırma gruplarından biri, Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden Brian Schmidt ile NASA Uzay Teleskobu Bilim Enstitüsü'nden Adam Riess'in önderliğindeki Yüksek-Z Süpernova Araştırma Ekibi'ydi. Grup, Şili, La Silla'daki Avrupa Güney Gözlemevi'nden gözlemleri analiz eden, Avustralya, Şili ve Birleşik Devletler'den yirmi beş astronomu içermektedir.

California Üniversitesi, Berkeley'deki Parçacık Astrofiziği Merkezi'nden Saul Perlmutter'in önderliğindeki öteki grubun

Constant," (Galaksi Dışı Mesafe Ölçeği ve Hubble Sabiti) *Observatory* 102 (1982): 178–94.

adı, Süpernova Kozmoloji Projesi'ydi ve Avustralya, Şili, Fransa, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık ve Birleşik Devletler'den otuz bir bilim insanını içeriyordu. Yine Şili'de olan Cerro Tololo Inter-Amerikan Gözlemevi'nde gerçekleştirilen Calán/Tololo Süpernova Araştırması'ndan verileri analiz ediyorlardı.²²

Eylül 1998'de, Yüksek-Z grubu, Hubble eğrisinin büyük mesafelerde yukarı dönmekte olduğuna dair kanıt yayınladı.²³ 1 Haziran 1999'da, Süpernova Kozmoloji Projesi, %99 güvenilirlikle pozitif bir kozmolojik sabit için kanıt olarak yorumlanan sonuçlarını yayınladı.

Yüksek-Z sonuçları Şekil 13.4'te gösterilmektedir. Üst pano, gerileme hızını ölçen kızıla kaymaya (z) karşı çizilen, ölçülen ve beklenen parlaklıklara dayanan, *mesafe modülü* adı verilen, astronomlarca kullanılan bir uzaklık ölçümünü gösterir. Veriler, her biri kritik yoğunluğun bir parçası olarak, maddenin enerji yoğunluğu (Ω_M) ve vakumun enerji yoğunluğuna dair (Ω_Λ) farklı değerler varsayan üç modelle karşılaştırılmaktadır. Alt pano, $\Omega_M = 0,2$ ve $\Omega_\Lambda = 0$ olan bir modelin, ölçülen mesafe modülü ile beklenen değeri arasındaki farkı verir. Tekil noktalar üzerindeki hata çubukları büyük olduğu halde, bir bütün olarak veriler, açık bir şekilde, maddeden ziyade vakum enerjisinin baskın olduğu bir modeli destekler. Büyük mesafelerdeki galaksilerin karşılıklı kütleçekimsel çekimi, daha yavaşça gerilemelerine sebep olacağından, madde baskınlığı, veri eğrisini aşağı doğru indirecektir. Bunun yerine, kütleçekimsel itmeye işaret eden bir hızlanmaya şahit oluruz. Yani, evrenin genişlemesi hızlanmaktadır. Kritik yoğunluğun yaklaşık %70'i olduğu bu verilerle tahmin edilen bir enerji yoğunluğuna sahip, bu itmenin kaynağı, *kara enerji* olarak adlandırılmıştır.

22 Saul Perlmutter ve ark., "Measurements of W and L from 42 High-Redshift-Supernovae," (42 Yüksek Kızıla Kayma Süpernovadan W ve L Ölçümleri) *Astrophysical Journal* 517, no. 2 (1999): 565.

23 Adam G. Riess ve ark., "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant," (Hızlanan Evren ve Kozmolojik Sabit için Süpernovalardan Gözlemsel Kanıtlar) *Astronomical Journal* 116, no.3 (1998): 1009.

Şimdi, bu, enerjinin korunumunu ihlal ediyor görünecektir. Ancak etmez. Termodinamiğin birinci yasasının, temel olarak gaz, sıvı, katı ya da plazma, her türlü maddesel sistem için geçerli olan, enerjinin korunumunun genelleştirilmiş bir şekli olduğunu 5. Bölümden hatırlayın. Tanıdık bir biçimde, genişleyen bir gaz iş yapar, arabanızdaki silindirlere olduğu gibi (içten yanmalı bir motoru olduğunu varsayarak). Bunun sebebi, çoğu gazın, moleküllerinin hareketlerinden ve kabın duvarlarıyla çarpışmalarından kaynaklanan pozitif basınca sahip olmasıdır.

Ancak, genel göreliliğe göre, pozitif bir kozmolojik sabit tarafından endüklenen basınç negatiftir. Bu demek oluyor ki; hacim genişlediğinden, bu basınç tarafından yapılan iş negatiftir. Tanıdık genişleyen gazın aksine, negatif basınca sahip genişleyen bir evren, kendi üzerinde iş yapar. İşin miktarı iç enerjideki artışa eşit olduğundan, enerjinin korunumu muhafaza edilir.

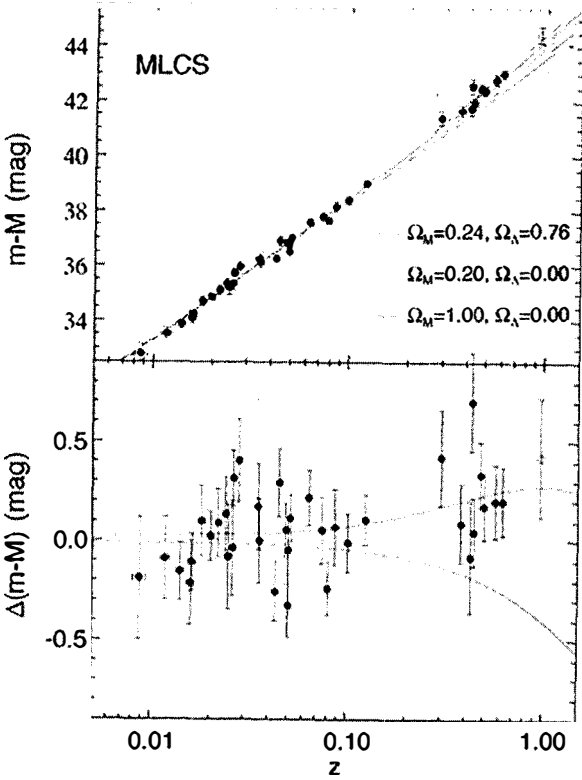
Perlmutter, Riess ve Schmidt, evrenin yukarı düşmekte olduğuna dair çarpıcı kanıt nedeniyle, 2011 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşacaklardı.

Bahsedildiği gibi, bu keşif tamamen şaşırtıcı değildi. Einstein'ın genel göreliliğinde ortaya koyduğu pozitif kozmolojik sabitin, kütleçekimsel itme sağladığı, kozmologlarca iyi biliniyordu. Gerçekten de madde ya da ışıma sahip olmayan, yalnızca bir pozitif sabite sahip olan bir de Sitter evreninin, katlanarak genişlediğini ve ilk evrendeki şişme için basit bir model sunduğunu görmüştük. Şimdi, büyük ölçüde daha yavaş da olsa, şişme bugün de sürüyor gibi görünüyor.

Kısaca ilgili fiziğe bakalım. Kozmolojik sabit (bkz. 6. Bölüm), homojen biçimde evreni dolduran sabit enerji yoğunluğunun skaler alanına eşdeğerdir. Dolayısıyla, evren genişledikçe, hacmi arttığından, toplam iç enerjisi artar.

Evrenin hızlanan genişlemesi, bir kozmolojik sabitin sonucu olabilirse de öyle olması gerekmez. İkinci bir seçenek olarak, evren negatif basınca sahip bir kuantum alanıyla dolu olabilir. Bu alana *en özlü kısım* adı verilmiştir. Negatif basınç, fiziğin öteki dallarında duyulmamış bir şey değildir. Belirli basınç ve sıcaklık aralıkları için, elektron bulutları birbirini iterek uzaklaştırıp, moleküller net

bir çekime maruz kalacak kadar molekülleri birbirine yakın olduğunda, bir Van der Waals gazı negatif basınca sahiptir.



Şekil 13.4 Yüksek-Z süpernova araştırma deneylerinden sonuçlar. Görsel: Adam G. Riess ve ark., “Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant” (Hızlanan Evren ve Kozmolojik Sabite dair Süpernovalardan Gözlemsel Kanıtlar), *Astronomical Journal (Astronomi Dergisi)* 116, no. 3 (1998): 1009. © AAS. İzin alınarak çoğaltılmıştır.

En özlü kısım alanının kuantumu, bozonik, büyük ihtimalle spin-sıfır olacaktır. Bozonların tek bir durumda toplanmaya dair kuantum mekaniksel eğilimi nedeniyle, negatif basınca sahip olması beklenecektir. En özlü kısım ihtimali, bir kozmolojik sabitin hızlanmanın kaynağı olduğunu otomatik olarak varsaymaya-
rak, çoğu ileri kozmolojik modelde bulunmaktadır.

KOZMOLOJİK SABİT PROBLEMİ

1989'da, Steven Weinberg, "kozmozolojik sabit problemi" adını verdiği Şeye dikkat çekti.²⁴ Belirsizlik ilkesi nedeniyle, bir kuantum harmonik osilatörü, sıfır olmayan minimum bir enerjiye sahiptir, çünkü hareketsizlik durumuna hiçbir zaman tam olarak getirilemez. En düşük enerji, bir *sıfır noktası enerjisi*ne sahiptir.

Bir kuantum alanı matematiksel olarak bir kuantum harmonik osilatörüne eşdeğerdir. Dolayısıyla, örneğın bir kuantum elektromanyetik alanı alıp tüm kuantumunu (fotonlar) çıkarırsanız, hiç foton olmasa bile yine de artakalan enerjiniz olacaktır. Weinberg, bir kozmozolojik sabitin içerdigi enerji yoğunluğunu, vakumun kuantum sıfır noktası enerjisiyle ilişkilendirdi. Hesaplamayı yaptığında, en yüksek muhtemel değerdan 120 mertebe daha yüksek ve gözlemlerle tutarlı olduğu ortaya çıktı.

Aslında, Weinberg bozonlar olan fotonları göz önüne aldı yalnızca. Fermionlar negatif sıfır noktası enerjisiine sahiptirler, böylece bu, bozonlardan gelen pozitif enerjinin bir kısmını etkisiz hale getirecektir. Eğer evren süpersimetrik olsaydı, bu etkisiz hale getirme mükemmel olurdu. Ancak öyle değil; en azından düşük enerjilerde. Bu nedenle, farklılık hâlâ 10^{50} mertebededir. Bu, kozmozolojik sabit problemidir.

Gözlemlenenden şimdiye kadarki her hesaplama, kesinlikle yanlıştır ve öne sürülen birçok çözüm bulunmaktadır. Birkaçını *The Fallacy of Fine-Tuning*'de (İnce Ayar Safsatası)²⁵ ele aldım, ancak hiçbirini fizikçilerin çoğunluğunu tatmin etmedi. Bununla birlikte, hesaplamanın neden yanlışı olduğu bence açıktır.

Vakumun enerji yoğunluğunun hesaplanması, uzayın bir hacmindeki tüm kuantum durumlarının bir toplamını içeriordu. Bununla birlikte, bir hacimdeki durumların maksimum sayısı, aynı hacimdeki bir kara deliğın durumlarının sayısına eşittir. Ve bir kara deliğın durumlarının sayısının, kara deliğın hacmiyle

24 Steven Weinberg, "The Cosmological Constant Problem," (Kozmozolojik Sabit Problemi) *Reviews of Modern Physics* 61, no. 1 (1989): 1–23.

25 Victor J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe Is Not Designed for Us* (İnce Ayar Safsatası: Evren Niçin Bizim İçin Tasarlanmamış) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2011), sf. 213–31. Weinberg'ün türetimi de burada bulunabilir.

değil, yüzey alanıyla orantılı olduğunu göstermek kolaydır. Hesaplamayı hacim yerine yüzeydeki durumları toplayarak yaptığınızda, gözlemle tutarlı bir değer elde edersiniz.

KAYNAĞA DÖNÜŞ

Gördüğümüz gibi, bugün gözlemlediğimiz CMB, atomlar büyük patlamadan sonraki 380.000 yılda oluştuğunda ve fotonlar maddenin geri kalanından ayrıştığında üretildi. O sırada, o yüzey, o dönem boyunca özgün kaynaktan evrilen yoğunluktaki dalgacıkları içeriyordu. O zamandan beri evren, 1100 kat genişlemiş, ışıınım ise 3000 K'den 2,725 K'e soğumuştur.

CMB eşyönsüzlük gözlemlerinde, araştırmacılar bir θ açısıyla ayrılan gökyüzünde iki yön arasındaki sıcaklık farklarını ölçer. $\theta = 180^\circ$ ile ayrılan gökyüzünün iki bölgesindeki CMB'ye bakıp, bir sıcaklık farkı bulduklarında, buna *çift kutup eşyönsüzlüğü* denir. CMB'ye göre hareketimizden kaynaklanan bu belirli eşyönsüzlüğün, Smoot ve ekibi tarafından, 1976'da ilk diferansiyel mikrodalga radyometrelerini U-2 casus uçağının üzerinde uçurduklarında gözlemlendiğini hatırlayın. Bu etki, ilk evrenin analizi için çıkarılır.

Araştırmacılar 90° ile ayrılan dört bölgeye bakıp, farklı sıcaklıklar gördüklerinde, bir *dört kutup eşyönsüzlüğüne* sahiptirler. Bu, Samanyolu'ndan bir ardaalan katkısına sahiptir ve bu da yoksayılır. Genel olarak, derece cinsinden bir ayırma açısı (θ_ℓ) için *çoklu kutup indisine* sahibiz; $\ell = 180/\theta_\ell$ ve göreceğimiz gibi, daha yüksek kutuplar, yani daha küçük açılar en önemlileridir.

Kısmi sıcaklık farkının karesi, ℓ 'ye karşı çizildiğinde, *açısal güç tayfı* denilen şeye sahip oluruz. Teorik analizler ve bilgisayar simülasyonları, ilksel dalgalanmalar tarafından üretilen *akustik güç tayfını* yeniden yapmak için bu ölçümleri kullanabiliyorlar. 70° 'lik sınırlı açısal çözünürlüğüyle, COBE yaklaşık $\ell = 20$ 'ye kadar keşfedebildi yalnızca. Bununla birlikte, bu, dalgalanmaların en azından şişme tarafından öngörülen yaklaşık ölçek değişmezliğine sahip olduğunu doğrulamak için yeterliydi. Hesaplamalar, 1° 'den küçük açılarda ya da yaklaşık 200'den büyük ℓ 'de, ilk akustik salınımlardaki armoniklere karşılık gelen açısal tayflardaki tepelerin gözlenmeye başlanması gerektiğini öngördü (bkz. 11. Bölüm).

ÇOĞUNLUĞA KATILMAK

COBE sonuçları ilan edilmeden bile önce, dünyanın her tarafındaki araştırma grupları, şimdiye kadar sunulmuş en büyük bilimsel fırsatlardan biri olarak kabul edilen şeye –geriye evrenin ilk anlarına bakma becerisi– atlamak için acele ettiler. CMB bilimine yönelik Lambda internet sitesinde NASA, eşyönsüzlüğü ölçmek üzere özel olarak tasarlanmış karada-yerleşik teleskopları ya da yüksek irtifa balonlarını kullanan 1990’larda yapılmakta olan yirmi deneyi listeler.²⁶

Çoğu, COBE’nin 7 derecesinden çok daha iyi açısal çözünürlüklere sahipti, ancak yörüngedeki bir uydunun toplayabileceği veri miktarını toplayamadılar. Saskatchewan, Saskatoon’daki Kanadalı SK teleskobu, $\ell = 54\text{--}404$ aralığını kapsayabilmesini mümkün kılan, 26 ile 46 GHz arasındaki altı frekans bandında $0,2^\circ$ ’den 2° ’ye olan bir açısal çözünürlüğe sahipti.²⁷

Daha da etkileyicisi, Doğu-Batı hattında 30,6 metre aralıklı beş adet yirmi iki metre çapında antenden oluşan Avustralya Teleskop Kompakt Dizilişi, ACTA’ydı. Açısal çözünürlüğü, 8,7 GHz’lik bir frekansta, kayda değer bir 2 açısal dakikaydı ($0,03$ derece) ve $\ell = 3350\text{--}6050$ aralığını kapsıyordu.²⁸ Bu deneyler, CMB’den öğrenilecek çok daha fazlası olduğuna, özellikle de tayfın daha küçük açılarda düz olmadığına dair ilk ipuçlarını verdi.

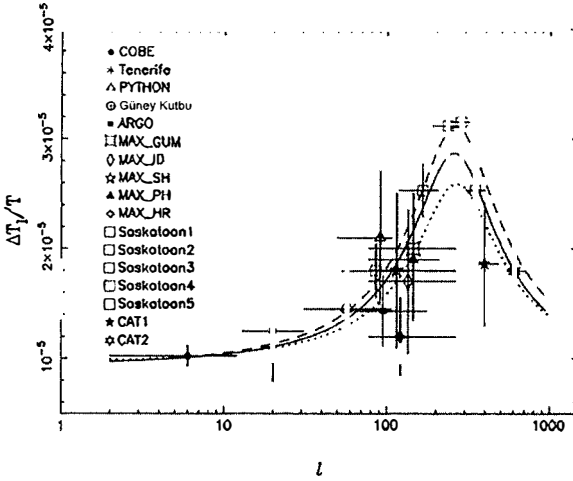
Bu noktada en son sonuçlara atlamak benim için daha hızlı olsa da bu ve sonraki bölümde, hem bilimin nasıl işlediğini göstermek hem de bu önemli ilerlemede öncülük edenlere hak ettikleri övgüyü vermek için, artan kesinlikteki grafiklerin kronolojik bir dizisini sunacağım.

26 NASA Lambda, “Data Center for Cosmic Microwave Background (CMB) Research,” Kozmik Mikrodalga Ardalanı (CMB) Veri Merkezi http://lambda.gsfc.nasa.gov/links/experimental_sites.cfm (21 Nisan 2013’te erişim yapıldı).

27 C. Barth Netterfield ve ark., “A Measurement of the Angular Power Spectrum of the Anisotropy in the Cosmic Microwave Background,” (Kozmik Mikrodalga Ardalanındaki Eşyönsüzlüğün Açısal Güç Tayfının Bir Ölçümü) *Astrophysical Journal* 474, no. 1 (1997): 47.

28 Ravi Subrahmanyam ve ark., “A Search for Arcminutescale Anisotropy in the Cosmic Microwave Background,” (Kozmik Mikrodalga Ardalanında Açısaldakikaölçüğü Eşyönsüzlüğü Araştırması) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 263, no. 2 (1993): 416.

Şekil 13.5, on yedi deneyden elde edilen 1998 itibarı ile $\ell = 1000$ 'e kadarki açısal momentumun durumunu göstermektedir.²⁹ Burada, ilk (temel) akustik tepenin ilk işaretleri görülebilmektedir.



Şekil 13.5 1998 itibarı ile CMB açısal eşyönsüzlük verilerinin bir derlemesi. Görsel, Oxford University Press'in izniyle, S. Hancock ve ark., "Constraints on Cosmological Parameters from Recent Measurements of Cosmic Microwave Background Anisotropy"den kullanılmıştır (Kozmik Mikrodalga Ardalanı Eşyönsüzlüğünün Son Ölçümlerinden Elde Edilen Kozmolojik Parametreler Üzerindeki Kısıtlamalar) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Kraliyet Astronomi Derneği Aylık Duyuruları) 294, no. 1 (11 Şubat 1998): L1-L6.

O zaman, yüksek-irtifa balonlarını kullanan BOOMERANG ve MAXIMA adlı iki istisnai deneyde, tayfı büyük ölçüde iyileştiren veriler toplanıyordu. Bunların ve daha da olağanüstü Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlüğü Sondası'nın (WMAP) ve ardından Planck uzay teleskobunun sonuçlarından, bir sonraki bölümde bahsedeceğiz.

Ve böylece, Miladi Tarihin ikinci binyılı, evrenimizin, yaklaşık 10^{-32} saniye sonra biten, şişme denilen hızlı bir üstel genişle-

29 S. Hancock ve ark., "Constraints on Cosmological Parameters from Recent Measurements of Cosmic Microwave Background Anisotropy," (Kozmik Mikrodalga Ardalanı Eşyönsüzlüğünün Son Ölçümlerinden Elde Edilen Kozmolojik Parametreler Üzerindeki Kısıtlamalar) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 294, no. 1 (1998): L1-L6.

meyle başladığına dair ikna edici kanıtlarla sona erdi. Birkaç milyar yıllık daha sakin bir genişlemenin ardından, evrenimiz, sonsuza dek sürmesi muhtemel çok daha yavaş bir hızda da olsa, şimdi bir kez daha katlanarak şişiyor. Uzak gelecekteki bir noktada, hâlâ bir güneşin ısıttığı bir gezegenin sakinleri, ikisinin birleşmesinden itibaren, Samanyolu'nun ve Andromeda halesinin ötesindeki evrendeki başka her şeyden habersiz olacaklar, çünkü geri kalan, ufuklarının ötesinde olacak.

XIV - EVRENİ MODELLEMEK

GÖKYÜZÜNÜ ARAŞTIRMAK

12. Bölümde, galaksi kızıla kayma araştırmalarının, neredeyse boş boşluklarla ayrılmış iplikçikler halinde düzenlenmiş galaksi kümelerinin inanılmaz ağımsı yapısının damga vurduğu, görünür bir evreni nasıl ortaya çıkardığını betimlemiştım. 2000’den itibaren, veritabanını büyük ölçüde geliştiren düzinelerce yeni araştırma oldu¹

En kapsamlısı olan Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması (SDSS), New Mexico’da, Apache Point Gözlemevi’ndeki 2,5 metrelik geniş açı optik teleskobunu kullanmaktadır. 2000’de başlayan ve hâlâ veri toplayan SDSS, ışığın yedi milyar yıl önce terk ettiği beş yüz bin yeni nesne için tayflar dahil olmak üzere, beş yüz milyon nesnenin gözlemini toplamıştır.

Özel kozmolojik öneme sahip, SDSS araştırmasının bünyesinde de olan, baryon salınım spektrografik tarama (BOSS), ilk evrendeki baryonların (atomik madde) akustik sinyalinı elde etmek için, oldukça kızıla kaymış parlak kırmızı galaksilerin ve kuasarların uzay-sal dağılımını saptar.² Tıpkı ilksel dalgalanmalar tarafından üretilen ses dalgalarının CMB üzerinde iz bırakmış oldukları gibi, bunlar da, ilk galaksilerin dağılımında bir iz bıraktılar. Bu dalgalanmalar, atomik maddede olduğu kadar kara maddede de homojensizlikler ürettikleri halde, atomik madde kütleçekime karşı koyan ışıyım

- 1 Kızıla kayma araştırmalarının bir listesi ve bunların yayınlanmış sonuçlarının linkleri için: <http://www.astro.ljmu.ac.uk/~ikb/research/galaxy-redshift-surveys.html> (29 Mayıs 2013’te erişim yapıldı). Web sayfası, Ivan K. Baldry tarafından yaratıldı.
- 2 Daniel J. Eisenstein ve ark., “Detection of the Baryon Acoustic Peak in the Large-Scale Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies,” (SDSS Parlak Kırmızı Galaksilerin Büyük Ölçekli Korelasyon Fonksiyonunda Baryon Akustik Tepesinin Saptanması) *Astrophysical Journal* 633, no. 2 (2005): 560.

basıncına sahipken, kara madde yüksek yoğunluklu bölgelerin kütleçekimsel çöküşüne direnç göstermez. İki karşıt kuvvet, galaksilerin dağılımını etkileyen bir salınıma sebep olur.

0,16-0,47 kızıla kayma aralığındaki 46.748 parlak kızıl galaksi için verileri kullanarak, 2005'te Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi'nden Daniel Eisenstein'ın liderliğindeki bir ekip, standart kozmolojik modelin tahmin ettiği gibi, yeniden birleşim sırasında akustik salınımın beklenen izinin şeklini ve konumunu karşılaştırarak, beş yüz milyon ışık yılıyla birbirinden ayrılan galaksilerde hafif bir fazlalık bildirdi.³

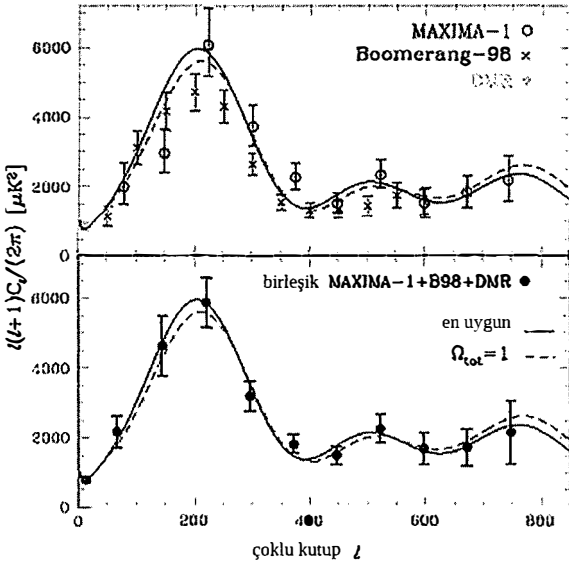
PATLAMAYI DUYMAK

Önceki bölümde, Miladi Tarihin ikinci binyılının son on yılına dair incelememizi, hemen sonra takip eden, daha iyi açısız çözümlüğe, ancak daha düşük istatistiksel kesinliğe sahip on altı karada-yerleşik ya da balon CMB deneyinden açısız tayflarla birlikte COBE'den olanları göstererek, kapatmıştık (bkz. Şekil 13.5). Bunlar, COBE için erişilemez olan beklenen temel akustik tepenin ilk göstergesini sağladılar. Yeni on yılın ilk yılı, bu tepenin güçlü doğrulanmasına, iki olağanüstü yüksek-irtifa balon uçuşu tarafından yapılan iki tepenin daha gözlemlerine ve iki muhteşem uzay teleskobuna daha tanık olacaktı.

Balon deneyleri BOOMERANG (Balonla Galaksi Dışı Milimetrik Işınım ve Jeofizik Gözlemleri) ve MAXIMA'nın (Milimetrik Eşyönsüzlük Deney Görüntüleme Dizilişi) her biri, büyük uluslararası işbirliklerinin ürünüydü. BOOMERANG, 1998 ve 2003'te, Güney Kutbu'nun üzerinde kırk iki bin metrenin üzerindeki irtifalarda uçtu. MAXIMA, 1998 ve 1999'da, Teksas, Palestine'in üzerinde kırk bin metrelerde uçuşlar yaptı. Bunların, Şekil 14.1'de gösterilen birleşik sonuçları, 2001'de ortak bir makalede yayınlandı.⁴ Bunlar, yalnızca $\ell = 220$ 'deki temel tepeyi değil, $\ell = 500$ ve 750'deki daha küçük ikincil tepeleri de doğrulamaktadır.

3 Ibid.

4 Andrew H. Jaffe ve ark., "Cosmology from Maxima-1, Boomerang, and COBE DMR Cosmic Microwave Background Observations," (Maxima-1, Boomerang ve COBE DMR Kozmik Mikrodalga Ardalanı Gözlemlerinden Kozmoloji) *Physical Review Letters* 86, no. 16 (2001): 3475–79.



Şekil 14.1 BOOMERANG ve MAXIMA'dan CMB açısai tayfları. Şekil, Andrew H. Jaffe, P. A. R. Ade, A. Balbi, J. J. Bock, J. R. Bond, J. Borrill, A. Boscaleri, ve ark., "Cosmology from MAXIMA-1, BOOMERANG, and COBE DMR Cosmic Microwave Background Observations,"dan, izin alınarak yeniden basılmıştır (MAXIMA-1, BOOMERANG ve COBE DMR Kozmik Mikrodalga Ardalani Gözlemlerinden Kozmoloji) *Physical Review Letters* 86, no. 16 (2001): 3475–79. © 2001, Amerika Fizik Topluluğu.

Veriler, iki modele uygundu, daha uygun olan; %4 içerisinde kritik yoğunluğa eşit evrenin toplam yoğunluğuyla, %70 kara enerji, %20 soğuk kara madde ve %10 baryonlara sahipti.

Ancak uzay gibisi yoktur (maliyet dahil). 30 Aralık 2001'de, NASA Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası uzay aracı, Cape Canaveral'dan fırlatıldı. Bu daha sonra, 2002'de ölen mikrodalga-astronomi öncüsü David Wilkinson'ın onuruna, Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası (WMAP) olarak yeniden adlandırılacaktı.

WMAP, dokuz yıl boyunca veri topladı, 2013'te de nihai sonuçları yayınlandı.⁵

5 C. L. Bennett ve ark., "Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results," (Dokuz Yıllık Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası (WMAP) Gözlemleri: Nihai Haritalar ve Sonuçlar) arXiv preprint arXiv:1212.5225 (2012).

Şekil 14.2, verilerin ilk yedi yılından açısıl güç tayfını göstermektedir.⁶ İkincil akustik tepeler belirgindir. Eğri, birazdan betimlenecek olan altı parametrelili model için yalnızca bu verilere uygundur.⁷

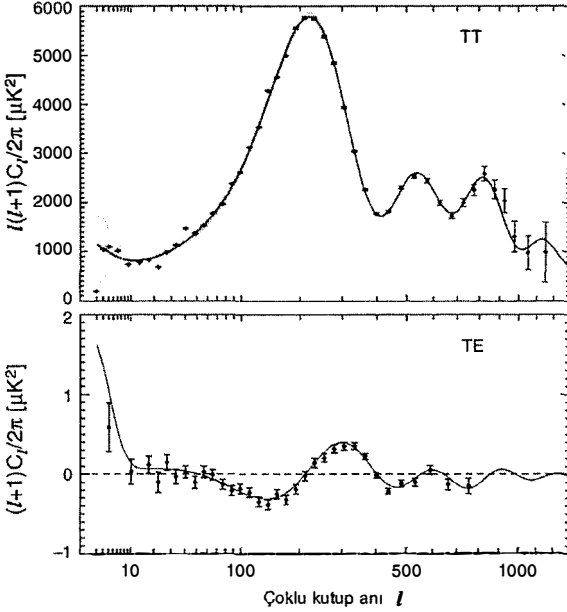
Tıpkı güneşten gelen ışığın polarize olması gibi, mikrodalgalar da olur. Ayrıca gösterilen polarizasyon sonuçları da, WMAP ve öteki deneyler tarafından yayınlanmıştır.

Şimdi, burada çizilen ses tayfının, bir müzik aletinkine tam olarak benzemesinin beklenmemesi önemlidir. Gerçekten de, eğer frekanslar ve yoğunluklar insan kulağının duyabildiği aralıklara kayarsa, gürültüden ayırt edilemezler. Nefis bir gösterim ve kendisinin “kürelerin müziği”ni daha ahenkli hale getirmek üzere çeşitli armonikleri serbest bırakma çabaları için, Mark Whittle’ın *Great Courses* (Harika Dersler) konferansları 15 ve 16’yı izleyip, dinleyin.⁸ Ayrıca, websayfası “Kozmik Akustikler”e de bakın.⁹

Titreşimleri sesi üreten, genişleyen fotonlar ve öteki parçacıklar topunda, birtakım “distorsiyonlar” mevcuttur. Bunlar, boşlukları doldurup, açısıl tayftaki daha yüksek armoniklerdeki gücün bir kısmını azaltırlar. Ancak harika olan, bu distorsiyonların, yalnızca salt tayftan elde edemeyeceğimiz, o ortamın doğası hakkında bize bilgi sağlamalarıdır.

- 6 N. Jarosik ve ark., “Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results,” (Yedi Yıllık Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası (WMAP) Gözlemleri: Gökyüzü Haritaları, Sistematik Hatalar ve Temel Sonuçlar) *Astrophysical Journal Supplement Series* 192, no. 2 (2011): 14.
- 7 G. Hinshaw ve ark., “Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results,” (Beş Yıllık Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası Gözlemleri: Veri İşleme, Gökyüzü Haritaları ve Temel Sonuçlar) *Astrophysical Journal Supplement Series* 180, no. 2 (2009): 225.
- 8 Mark Whittle, *Cosmology: The History and Nature of Our Universe (Kozmoloji: Evrenimizin Tarihi ve Doğası)* (Chantilly, VA: Teaching, 2008), 15 ve 16. konferanslar.
- 9 Mark Whittle, “Big Bang Acoustics,” (Büyük Patlama Akustikleri) 2000, http://www.astro.virginia.edu/~dmw8f/BBA_web/index_frames.html (12 Mayıs 2013’te erişim yapıldı).

Uros Seljak ve Matias Zaldarriaga tarafından yazılan, büyük patlamayı simüle eden, CMBFAST adlı bir program, CMB eşyönsüzlüklerini ve polarizasyonlarını çeşitli modellere uydurmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.¹⁰ Daha karmaşık modeller, veriler iyileştiğinden, daha derinlemesine inceleyecek olsa da, tüm verileri oldukça iyi betimlemeye devam eden bu modele bakalım.



Şekil 14.2 WMAP yedi yıllık sıcaklık ve sıcaklık polarizasyon güç tayfları. Eğriler, metinde betimlenen altı parametrelili Λ CDM modeli verilerine uygundur. Görsel, N. Jarosik ve ark., “Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systemic Errors, and Basic Results,”dan (Yedi Yıllık Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası (WMAP) Gözlemleri: Gökyüzü Haritaları, Sistemik Hatalar ve Temel Sonuçlar) *Astrophysical Journal Supplement Series* 192, no. 2 (2011): 14. © AAS. İzin alınarak çoğaltılmıştır.

10 Uros Seljak ve Matias Zaldarriaga, “A Line of Sight Approach to Cosmic Microwave Background Anisotropies,” (Kozmik Mikrodalga Ardaan Eşyönsüzlüklerine Gözlem Hattı Yaklaşımı) *Astrophysical Journal* 469 (1996): 437–44.

Λ CDM

Hızlanan genişleme ve galaksiler ağı gibi öteki önemli astro-nomik gözlemlerle birlikte, CMB açısız güç tayflarının ve polari-zasyonlarının giderek artan kesinlikteki ölçümleri, büyük gözlem-ci astronom ve astrofizikçi işbirlikleri tarafından üretildikçe, teorik fizikçiler ve kozmologlar, verileri temel fizik açısından betimlemek için modeller geliştiriyorlardı.

2005 WMAP verilerine uygulanan nispeten basit bir model, altı parametrelili Λ CDM modeli olarak adlandırılır. Model, kozmo-lojik sabitten kaynaklanan baryonik (atomik) madde, soğuk kara madde (CDM) ve kara enerjiden (Λ) meydana gelen bir evren varsayar. Model parametreleri şunlardır:

Ω_b : kritik yoğunluğa göre baryonik maddenin yoğunluğu

Ω_c : kritik yoğunluğa göre soğuk kara maddenin yoğunluğu

Ω_Λ : kritik yoğunluğa göre kara enerjinin yoğunluğu

n : ilk dalgalanma güç tayfını niteleyen tayf indisi (bkz. 11. Bölüm)

A : ilk dalgalanmanın genişliği

τ : yeniden iyonlaşma optik derinliği

Yeniden iyonlaşmadan daha önce bahsedilmemişti. Bunu betimlemek için, hikâyenin önemli bir parçası olan, ayrıklaştırmadan ilk yıldızların oluşumuna evrenin evriminin ayrıntılarına girmem gerekir.

İLK YILDIZLAR

380.000 yıldaki foton ayrıklaştırmısından hemen sonra, evren hepsi 3000 K'lik aynı sıcaklıktaki, artık etkileşmeyen foton gazıyla birlikte, çoğunlukla hidrojen ve helyumdan oluş-an bir ısı atomik gaz topuydu. Bu sıcaklık, kara cisim ısı tayfının yakın kızılaltı bölgesinde olan yaklaşık bir mikronluk tepe dalga boyuna karşılık gelir. Bununla birlikte, tayf geniş olduğundan, hâlâ bolca görünür ışık vardır ve gökyüzü parlak turuncudur.

Gaz topu genişledikçe, her iki bileşen de buna bağlı olarak soğuyup, tayfları gittikçe daha uzun dalga boylarında doruğa ulaştı ve yaklaşık altı milyon yılda evren az miktarda görünür

ışık yayana kadar, gökyüzü gitgide daha kızıl hale geldi. “Karanlık Çağ” adı verilen takibeden dönem, ilk yıldızlar oluşana ve nihayet bir kez daha görünür ışık olana kadar, birkaç yüz milyon yıl sürdü.

Kara madde de genişliyordu, soğudukça toplanmaya başladı, çok daha az kütleli atomik maddenin de onunla birlikte toplanmasına sebep oluyordu. Öteki maddeyle olan zayıf etkileşimi nedeniyle, kara madde toplanması herhangi bir enerji yitimiyle sonuçlanmadı. Atomlar, öte yandan, birbirleriyle daha sık çarpıştılar, böylece de enerji harcadılar, yalnızca genişlemenin sebep olacağından daha hızlı soğudular. Bu, atomların kendi kütleçekimlerinin ve karanlık maddeninkinin atomik maddeyi daha da fazla sıkıştırmasını daha bile kolay hale getirdi, böylece daha soğuk bir kuşatıcı ortam içinde, sıcak, yoğun çekirdekler oluştu. Bu çekirdekler sonunda, çekirdek füzyonunu ateşlemek için yeterince yüksek bir sıcaklığa ve basınca ulaştı, böylece ilk yıldızlar oluşabilirdi.

Şimdi bunlar, şimdiki evrenimizdeki yıldızlar gibi değillerdi pek. İlk yıldızlar, bugünün yıldızlarından birkaç yüz kat daha kütleliydi, ayrıca da, neredeyse tamamen sadece hidrojen ve helyumdan meydana gelmişlerdi. Bunun sonucu olarak, çok yüksek sıcaklıklarda yanıp, kuşatıcı ortamı iyonize eden morötesi ışınım yaydılar. Buna, “yeniden iyonlaşma” adı verilir.

Bu yıldızlar toplandıkça oluşan ilk galaksiler, yeniden iyonlaşmaya da katkıda bulunan, merkezde yoğun ışınım yayan süper kütleli kara deliklere sahip kuasarlar ve öteki etkin galaksilerdi.

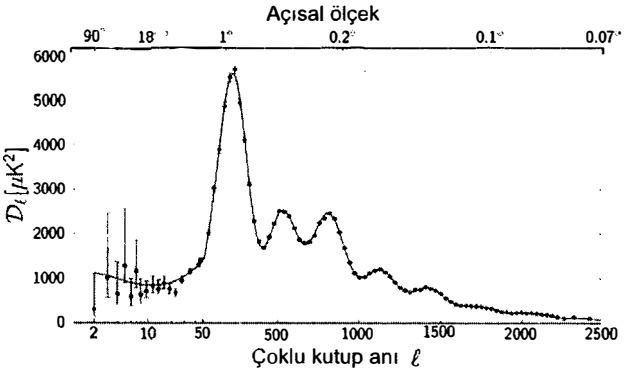
Ve böylece, önceden karanlık, elektriksel olarak nötr olan evren, şimdi bir kez daha yüklü parçacıklar içermekteydi. Yoğunlukları, ayırıklaştırma öncesinde olduğundan çok daha düşük olduğu halde, uzayın, evren nötr hale geldiğinde kazanmış olduğu saydamlığın bir kısmını kaybetmesine sebep olmaya yeterliydi. Yeniden iyonlaşma tarafından üretilen sis, sonunda Yeryüzünde gözlemleyeceğimiz CMB’nin yoğunluğunu azaltmaya yaradı. Bu, Λ CDM’de, sisin kalınlığını ölçen, yeniden iyonlaşma derinlik parametresiyle (τ) ifade edilir. Bundan, yeniden iyonlaşmanın meydana geldiği zamanın, büyük patlamadan yaklaşık dört yüz milyon yıl sonra olduğu tahmin edildi.

PLANCK UYDUSU

14 Mayıs 2009’da, Avrupa Uzay Ajansı Planck uydusu, Fransız Guyanası’ndaki Guyana Uzay Merkezi’nden fırlatıldı. Veri almaya Şubat 2010’da başladı ve ilk sonuçları Mart 2013’te yayınlandı. CMB açısal güç tayfı, şekil 14.3’te gösterilmiştir.¹¹

Basın, başta evrenin biraz daha büyük olan yaşı olmak üzere, sayılardan birkaçının önceki mutabakattan farklı olduğu gerçeğinin üzerinde durdu. Ancak bu sayılar konusunda istatistiksel olarak kayda değer anlaşmazlıklar yoktu.

CMB’nin ayrıştırmada yayımlanmasından çok sonra oluşan galaksileri araştıran, Planck sonuçları, Hubble Uzay Teleskobunun ve öteki aygıtların arasındaki sözde gerilimden ibaretti bunların çoğu. Özellikle de, Planck verilerine uyan yukarıda betimlenen model, kümelerin tüm gökyüzü taramasından ölçülenin yaklaşık %80’i olan galaksi kümeleri için bir kütle tahmin eder.¹² Bunu birazdan daha detaylı olarak ele alacağız.



Şekil 14.3 2013’te yayınlanan Planck uydusundan açısal güç tayfı. Burada olağanüstü bir kesinlikle tespit edilen tam armonik yapıyı görüyoruz. Yedi belirgin tümsek olduğuna dikkat edin. Tablo 14.1’de, detaylandırmama gerek olmayan öteki gözlemlerle birlikte, hem Planck hem de WMAP verilerine uyanlardan

11 Planck İşbirliği, P. A. R. Ade, ve ark., “Planck 2013 Results. I. Overview of Products and Scientific Results,” (Planck 2013 Sonuçları. I. Ürünler ve Bilimsel Sonuçlara Genel Bakış) arXiv preprint arXiv:1303.5062 (2013).

12 Anja von der Linden ve ark., “Robust Weak-Lensing Mass Calibration of Planck Galaxy Clusters,” (Planck Galaksi Kümelerinin Dayanıklı Zayıf-Merceklenme Kütle Kalibrasyonu) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2014): yayınlanacak.

belirlenmiş bir parametreler seçmesi listelenmektedir. Yukarıda betimlenen altı parametrelili Λ CDM, verilere iyi uymaktadır, bununla birlikte daha ayarlanabilir parametreleri içeren kapsamlı modeller test edilmiştir. Görsel, Planck İşbirliği, P. A. R. Ade, ve ark., “Planck 2013 Results. I. Overview of Products and Scientific Results,”tan (Planck 2013 Sonuçları. I. Ürünler ve Bilimsel Sonuçlara Genel Bakış) arXiv preprint arXiv:1303.5062 (2013).

Basın, evrenin genişlemesi, büyük patlama ya da şişmenin icabına bakan yeni teorilerin haberlerini sıkça öne çıkarır. O teorilerden biri, şekil 10.4 ve 14.3'teki gözlemleri, burada betimlenen şişmeye dair büyük patlama modeli kadar kesin ve cimri bir şekilde yeniden üretebilene kadar önemsemeyin. Ve birazdan göreceğimiz gibi, son gözlemler, şişmeyi, neredeyse büyük patlamanın kendisi kadar kesin hale getirdiler.

t_0	Milyar yıl cinsinden evrenin yaşı	13.798 ± 0.037
H_0	Km/sn/mpc cinsinden hubble sabiti	67.80 ± 0.77
Ω_b	Kritik yoğunluğun bir parçası olarak baryon yoğunluğu	0.04816 ± 0.00052
Ω_c	Kritik yoğunluğun bir parçası olarak soğuk kara enerjinin yoğunluğu	0.2582 ± 0.0037
Ω_Λ	Kritik yoğunluğun bir parçası olarak kara enerjinin yoğunluğu	0.692 ± 0.010
n	İlksel dalgalanmaların tayf indisi	0.9608 ± 0.0054
τ	Yeniden iyonlaşma optik derinliği	0.092 ± 0.013
Ω_k	Uzaysal eğriliğin enerji yoğunluğu %95 güvenilirlik düzeyi	-0.0005 ± 0.0066
Σm_ν	eV cinsinden nötrino kütlelerinin toplamı %95 güvenilirlik düzeyi	< 0.230
N_{eff}	Nötrinoların etkin sayısı %95 güvenilirlik düzeyi	3.30 ± 0.53
Y_p	Helyumdaki baryon kütesinin oranı %95 güvenilirlik düzeyi	0.267 ± 0.039
w	Kara enerji durum denklemi faktörü, %95 güvenilirlik düzeyi	-1.13 ± 0.24

Tablo 14.1 Planck, WMAP ve öteki deneylerden 2013 verilerine uyanlar tarafından belirlenen parametreler. Bunların, yalnızca bu yayının tarihi itibarıyla en iyi rakamlar olduğunu ve zaman geçip, veriler iyileştikçe, mutlaka tadil edileceklerini lütfen göz önünde bulundurun.

İlksel dalgalanmaların tayf indisi, yüksek istatistiksel anlamlılıkla, şimdi 1'den biraz daha azdır, bu da şişmeden beklentiye doğrulamaktadır. Dolayısıyla, şişme, bir başka çürütülebilir testi daha geçmiştir. Özel not: Kara enerji durum denklemi faktörü hâlâ $w = -1$ ile tutarlı olup, kozmolojik sabitin kara enerjinin kaynağı olduğuna dair hipotezi desteklemeye devam eder. Bununla birlikte, %21'lik hata hâlâ büyüktür ve en özlü kısmın bir şekli, bir olasılık olarak kalır. Gerçekten de, eğer kara enerji, -1 'e çok yakın w 'ye sahip en özlü kısamsa, bir kozmolojik sabitten herhangi bir farklılığı ayırt etmek ve tam doğasını belirlemek çok zor olacaktır.

Teorik kozmologlar, bir ya da daha fazlası, benim betimlemiş olduğumdan üstün çıkabilecek başka modeller ortaya koymaya devam ediyorlar. Bununla beraber, bu yazıda, hiçbirisi herhangi bir şekilde Λ CDM'nin yerini almaya yakın değildir.¹³

Planck ekibi, şişmeye yol açan potansiyel enerji fonksiyonu için, verilerini birtakım farklı modellerle karşılaştırdı.¹⁴ Birçoğu elenirken, diğerleri uygulanabilir kalır. Özellikle, en doğal ve basit olduğundan spesifik bir örnek olarak kullanmakta olduğum Linde'nin kaotik modeli, hâlâ adaylardan biridir ve hatta birazdan ele alacağımız ilksel kütleçekimsel dalgalar üzerine olan en son sonuçlar tarafından kısmen desteklenmektedir.

Soğutucu olarak kullanılan sıvı helyum stoğunu tüketmesinin ardından, Planck Gözlemevi 23 Ekim 2013'te kapandı.

KÜTLEÇEKİMSSEL DALGALAR

Genel göreliliğin öngörülerinden biri, *kütleçekimsel dalgaların* varlığıdır. Tıpkı bir elektromanyetik dalganın salınımlı bir yük tarafından üretilip, belirli bir mesafedeki bir başka yükün salınmasına sebep olması gibi, kütleçekimsel bir dalga da, salınımlı bir kütle

13 Jean-Christophe Hamilton, "What Have We Learned from Observational Cosmology?" (Gözlemsel Kozmolojiden Ne Öğrendik?) (makale, İspanya, Grenada'daki 22-23 Eylül 2013 tarihlerindeki Modern Kozmolojinin Felsefi Yönleri Toplantısında sunuldu).

14 Bkz. Planck İşbirliği'ndeki şekil 1, "Planck 2013 Results. XXII. Constraintson Inflation," (Planck 2013 Sonuçları. XXII. Şişme Üzerindeki Kısıtlamalar) arXiv preprint arXiv:1303.5082 (2013).

tarafından üretilip, belirli bir mesafedeki bir başka kütlenin salınmasına sebep olur. Ancak kütleçekimsel etki çok daha ufaktır.

Yıllarca, kütleçekimsel dalgaların neden olduğu kütle salınımlarını doğrudan gözlemlemek üzere girişimlerde bulunulmuştur. En sonuncusu, Lazer Girişimölçer Kütleçekim Dalgası Gözlemevi'dir (LIGO). Birbirlerinden 3002 kilometre uzaklıktaki iki yerde, Washington, Hanford ve Louisiana, Livingston'da yer almaktadır, böylece üçgenlemeyle kaynak konumunu sağlamaktadır. Her bir gözlemevi, borunun uçlarındaki aynalar arasında ileri geri seken bir lazer demetine sahip, iki tarafı da beşer kilometre uzunluğunda, yüksek vakumlu L şeklindeki bir borudan oluşmaktadır. Kütleçekimsel bir dalga, Michelson Girişimölçeri'ne benzer iki lazer demeti arasındaki bir girişimle sonuçlanan, bir demetin uzunluğunda ötekine göre hafif bir değişim ürettiğinde tespit edilir. 2002'den beri, sonuçlar negatif olmuştur. Halihazırda gözlemevleri, yükseltilmektedir.

Bir kez daha, kozmik aralan ışıınımı, temel bir fenomene bir başka yaklaşım yolu sağlamaktadır. Bu yazıda, sadece kütleçekimsel dalgalar için ilk önemli kanıtı sunmakla kalmamış, şişme için şimdiye kadarki en güçlü doğrulayıcı kanıtı da sağlamıştır.

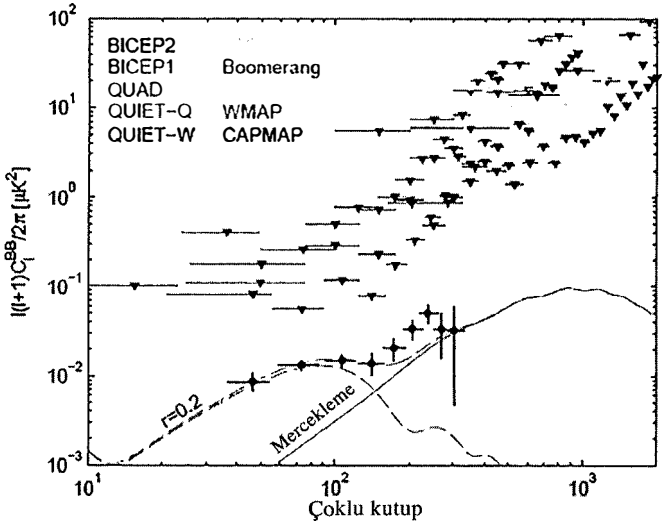
11. Bölümdeki kütleçekimsel merceklenme üzerine olan kısımdaki *B* Modu polarizasyonu konumuzu hatırlayın. *B* Modu polarizasyonu, normal skaler şişme alanı pertürbasyonlarıyla üretilemez. Bununla birlikte, $30 < \ell < 150$ çoklu kutup aralığındaki CMB güç tayfında tespit edilmesi, ilk evrendeki tensör kütleçekimsel alandaki dalgalanmaların, şişme tarafından büyük ölçüde kuvvetlendirildiğine dair neredeyse kesin bir işarettir. *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (Sonsuz Evren: Büyük Patlamanın Ötesi) kitaplarında, Paul Steinhardt ile Neil Turok, *B* Modu polarizasyonunun tespitini, “şişme senaryosunun altıncı dönüm noktası testi” olarak adlandırdılar.¹⁵ 2001'de, Steinhardt, Turok ve başka iki ortak yazar, şişme kozmolojisine, evrenin, “zarlar”ın çarpışmasıyla üretildiği, *Ekiprotik evren* adlı bir alternatif sundular.¹⁶ Zarlar, *M* teorisinde

15 Paul J. Steinhardt ve Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (Sonsuz Evren: Büyük Patlamanın Ötesi) (New York: Doubleday, 2007).

16 Justin Khoury ve ark., “The Ekpyrotic Universe: Colliding Branes and the Origin of the Hot Big Bang, 2001,” (Ekiprotik Evren: Çarpışan Zarlar ve Sıcak Büyük Patlamanın Başlangıcı) *Physical Review D* 64 (2001): 123522.

meydana gelen iki boyutlu nesnelerdir (bkz. 11. Bölüm). *Ekiprotik*, Stoacılar tarafından “ateşe dönüşüm” anlamında kullanılan, Yunanca *ekpyrosis*’ten ($e'k\pi\upsilon' r\omega\sigma\iota\varsigma$) gelmektedir.

$\ell \sim 80$ 'de tepe yapan, beklenen güç tayfına sahip, CMB'deki kayda değer B modu polarizasyonunun keşfi, BICEP2 (Kozmik Galaksi Dışı Polarizasyonunun Ardalan Görüntülemesi) adlı bir başka Güney Kutbu deneyince 17 Mart 2014'te büyük tantanayla duyuruldu.¹⁷ Sıfır hipotezi, en az 3,5 milyonda birlik istatistiksel anlamlılık seviyesinde elendi. Şekil 14.5'te gösterilen veriler, $0,20 \pm 0,06$ 'lık tensör/skaler oranına sahip Λ CDM modeline uymaktadır. Kozmologlar, bağımsız tekrarlamayı ve etkinin diğer bütün muhtemel kaynaklarının tamamen elenmesini bekleyerek, temkinli olmayı elden bırakmadılar. Ancak eğer bu gerçekleşirse, bilim tarihindeki en önemliler arasında yer alacak bir keşfe tanıklık etmiş olacağız.



Şekil 14.4 Çeşitli gözlemlerden, önceki daha düşük limitlerle kıyaslanan B modu polarizasyonu güç tayfı için BICEP2 sonuçları. Daireler, hata çubukları gösterilen, farklı çoklu kutuplardaki (ℓ) veri noktalarıdır. $r = 0,2$ olarak belir-

17 P. A. R. Ade ve ark., “Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2,” (BICEP2 tarafından Derece Açısal Ölçeklerdeki B Modu Polarizasyonunun Tespiti) *Physical Review Letters* 112, no. 24 (2014): 241101.

tilen kesikli eğri, 0,2'lik tensör/skalor oranı için Λ CDM modelinin tahminidir. Kesiksiz eğri, kütleçekimsel merceklenmeden beklentidir. Görsel, P. A. R. Ade ve ark., "Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2," 'dan (BICEP2 tarafından Derece Açısal Ölçeklerdeki B Modu Polarizasyonunun Tespiti) *Physical Review Letters (Fiziksel İnceleme Mektupları)* 112, no. 24 (2014): 241101.

Daha önce başkaları tarafından gözlemlenen merceklenme etkisinin, daha düşük çoklu kutuplarda çok ufak bir katkıya sahip olduğunu göz önünde bulundurun.

CMB polarizasyonunun bu şeklinin tespiti, Steinhardt'ın kabul ettiği gibi, Ekpirotik evren dahil, şişme olmayan kozmolojideki düzlük, ufuk ve homojenlik problemlerinin üzerine eğilmeye kalkışan çoğu modeli elemektedir.¹⁸

KARA MADDE ARAYIŞI

11. Bölümde, galaksi kümesi gibi büyük bir kütlenin, bir kaynaktan gelen ışığı bükebildiği böylece aynı kaynağın çoklu görüntülerinin görüldüğü, kütleçekimsel merceklenme fenomeninden bahsetmiştim. Kütleçekimsel merceklenmeden, kara maddenin varlığının doğrulanmasında ve dağılımının belirlenmesinde yararlanılmıştır, gelecekte de başka birçok örnek bekleyebiliriz.¹⁹

Çoklu görüntüler, merceğin kütlesi çok yüksek olduğunda üretilir. Buna, *güçlü merceklenme* adı verilir. Mercek kütlesi daha düşük olduğunda, çoklu görüntüler değil, sadece kaynağın görüntüsünün bir distorsiyonunu elde ettiğimiz, *zayıf merceklenme* olur. Bu, esnetilebilir ya da büyütülebilir ya da her ikisi de. Tek bir galaksi, şeklen uzatılabilirken, uzatılmış galaksiler dizisi bir şekilde sıralandığında, görünmez bir kütlenin çarpıtıcı bir mercek gibi davrandığına dair iyi bir işarete sahip oluruz. Distorsiyonun miktarından ve çarpıtılmış galaksilerin dağılımından, merceğin kütlesi ve dağılımı tahmin edilebilir. Bu yapıldığında, kara madde için kesin kanıt vardır.²⁰

18 Dennis Overbye, "Space Ripples Reveal Big Bang's Smoking Gun," (Uzay Dalgacıkları Büyük Patlamanın Kesin Kanıtını Ortaya Çıkartıyor) *New York Times*, 17 Mart 2014.

19 Bkz, örneğin, LSST (Büyük Sinoptik Tarama Teleskobu) planları, <http://www.lsst.org/lsst/> (27 Temmuz 2013'te erişim yapıldı).

20 Richard Massey, Thomas Kitching ve Johan Richard, "The Dark Matter of

Ancak, kütleçekimsel mercekleme, kara madde parçacıklarının ne olabileceğini bize söylemez. Bu yazı itibariyle, kara maddeyi tespit etmek ve tanımlamak için, yirmi yıldır otuz kadar deney yapılmış ya da yapılmaktadır.²¹ Yakın zamandaki sonuçlar cezbedicidir, ancak henüz doğrulanmamıştır.

Temel olarak, iki yöntem kullanılmaktadır: kara madde parçacıklarının dedektörler boyunca geçişini tespit etmeye çalışan *doğrudan araştırmalar* ve kara madde parçacıklarının birbirlerini yokettiklerinde üretilen ikincil parçacıkların arandığı *dolaylı araştırmalar*. Şimdiye kadar, her iki yöntem de, axionları tespit etmek için özel olarak tasarlanan birkaç doğrudan araştırmayla birlikte, WIMPS'e, yani zayıf etkileşimli büyük kütleli parçacıklara, özellikle de, süpersimetriden var olduğu tahmin edilen nötralinolara doğru yöneltilmiştir büyük ölçüde. Bununla birlikte, şimdiye kadar LHC'de SUSY parçacıklarının görülmemesiyle, artık tüm dikkat, 13. Bölümde bahsedildiği gibi, steril nötrinolara verilmektedir.

Dolaylı araştırmalar yüksek irtifa balonları ya da uzay araçlarıyla yapılırken, çoğu doğrudan araştırma, ardaalanları kozmik ışınlardan azaltmak için derin yeraltındadır. 30 Ekim 2013'te, ilk sonuçlar, Güney Dakota, Lead'deki "dünyanın en hassas kara madde dedektörü" olarak adlandırılan LUX'ten (Büyük Yeraltı Ksenon deneyi) bildirildi.²² Daha az hassas çeşitli deneylerden olan önceki sinyal "izleri" raporlarını doğrulamayarak, 5-20 GeV'luk kütle aralığındaki WIMP'leri neredeyse elemiş oluyordu.

Kara madde sinyallerinin izleri, birtakım dolaylı araştırmalardan da bildirilmişti. Yine vurgu, WIMP'lerin, özellikle de süpersimetri tarafından ortaya konulanların üzerindedir.

Nötralinoların kendi karşı-parçacıkları olmaları beklenmektedir, bu nedenle yüksek enerjili gama ışınlarına, elektron-pozitron

Gravitational Lensing," (Kütleçekimsel Merceklemenin Kara Maddesi) *Reports on Progress in Physics* 73, no. 8 (2010): 086901.

21 Francesco Arneodo, "Dark Matter Searches" (Kara Madde Araştırmaları) (Makale, Slovakya, Strbské Pleso'daki 12–15 Eylül 2012 tarihindeki 32. Uluslararası Çarpışma Halindeki Fizik Sempozyumu'nda sunuldu [PIC 2012]).

22 D. S. Akerib ve ark., "First Results from the LUX Dark Matter Experiment at the Sanford Underground Research Facility," (Sanford Yeraltı Araştırma Tesisindeki LUX Kara Madde Deneyinden İlk Sonuçlar) 2013, <http://arxiv.org/pdf/1310.8214> (7 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

çiftlerine ya da proton/karşı-proton çiftlerine yok olmaları gerekir. Betimleyeceğim üç deney, nötralino yokoluşunun ürünlerini arayan dolaylı deneylerdir.

PAMELA (Karşı-madde Arama ve Hafif Çekirdekler Astrofiziği için Yük deneyi), Rusya, İtalya, Almanya ve İsveç'ten bir işbirliği tarafından düzenlenen bir deneydir. 15 Haziran 2006'da bir Soyuz füzesinin üzerinde fırlatılan Rus uydusu Resure-DK1'in üzerine monte edilmiştir. Hâlâ faaliyettedir. Ağustos 2008'de, işbirliği, PAMELA'nın, 10 GeV'un üzerindeki kozmik ışınlarda pozitron fazlalığı tespit etmiş olduğunu duyurdu.²³

Kasım 2008'de, Antarktika'dan fırlatılan yüksek irtifa balonu deneyi ATIC (Gelişmiş Zayıf İyonizasyon Kalorimetresi), 300-800 GeV'luk enerji aralığında elektron fazlalığı bildirdi, bununla birlikte pozitronları elektronlardan ayırt edemedi.

Fermi Gama Işını Uzay Teleskobu, NASA ile Fransa, Almanya, İtalya, Japonya ve İsveç'teki ajansların ortak girişimidir. 11 Haziran 2006'da Cape Canaveral'dan bir Delta roketinin üzerinde fırlatıldı. 2009'da, işbirliği PAMELA sonuçlarıyla uyumlu olan pozitron fazlalığı bildirdi.²⁴ Daha da önemlisi, Şubat 2014'te PAMELA, Samanyolu'nun merkezinden yaklaşık on derecedeki bir bölgeden 1-3 GeV'luk gama ışını fazlalığının gözlenmesiyle, “yok olan kara madde için ikna edici bir vaka” rapor etti. Sinyal, 31-40 GeV'luk kara madde parçacığına oldukça uymaktadır.²⁵ Bu, nötralino kara maddesi için şimdiye kadarki en iyi gösterge olabilir. Önceki raporlar tarafından ifade edilen birkaç TeV civarındaki kara madde kütleleri, beklenenden daha yüksektir.²⁶

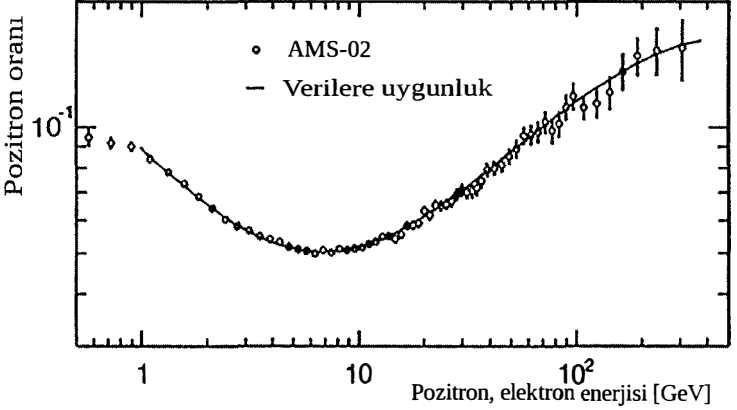
23 Oscar Adriani ve ark., “An Anomalous Positron Abundance in Cosmic Rays with Energies 1.5–100 GeV,” (1,5-100 GeV'luk Enerjilere Sahip Kozmik Işınlarda Anormal Pozitron Bolluğu) *Nature* 458, no. 7238 (2009): 607–609.

24 Aous A. Abdo ve ark., “Measurement of the Cosmic Ray e^+e^- Spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the Fermi Large Area Telescope,” (Fermi Büyük Alan Teleskobuyla, 20 GeV'tan 1 TeV'a Kozmik Işın e^+e^- Tayfının Ölçümü) *Physical Review Letters* 102, no. 18 (2009): 181101.

25 Tansu Daylan ve ark., “The Characterization of the Gamma-Ray Signal from the Central Milky Way: A Compelling Case for Annihilating Dark Matter,” (Samanyolunun Merkezinden Gama Işını Sinyalinin Karakterizasyonu: Yok Eden Kara Madde İçin İkna Edici Bir Vaka) arXiv preprint arXiv (2014): 1402.6703.

26 Arneodo, “Dark Matter Searches.” (Kara Madde Araştırmaları)

Bir başka büyük kara madde araştırma projesi, Uluslararası Uzay İstasyonu üzerindeki NASA Alfa Manyetik Spektrometresi'dir (AMS-02). Bu büyük çokuluslu işbirliğinin baş araştırmacısı, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Nobel ödüllü fizikçi Samuel Ting'dir. AMS-02, 19 Mayıs 2011'de uzay mekiği *Endeavor* tarafından konuşlandırıldı.



Şekil 14.5 AMS-02 tarafından ölçülen pozitron oranı. Veriler, tekil yayılma güç yasa tayfları ile tek bir kaynağın katkısının toplamı olarak, pozitron ve elektron akılarını parametre olarak ifade eden bir modele uymaktadır. Şekil, M. Aguilar ve ark., “First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5–350 GeV,” ‘den, izin alınarak yeniden basılmıştır (Uluslararası Uzay İstasyonundaki Alfa Manyetik Spektrometreden İlk Sonuç: 0,5-350 GeV’lik Birincil Kozmik Işınlardaki Pozitron Oranının Hassas Ölçümü) *Physical Review Letters* (Fiziksel İnceleme Mektupları) 110, no. 14 (2013). © 2013 Amerikan Fizik Topluluğu.

2013’te yayınlanan bir makalede, Ting ile ortakları, şekil 14.5’te gösterilen sonuçları sunarak, $6,8 \times 10^6$ pozitron ve elektron olaylarına dayanan, pozitron oranındaki 10 GeV’tan 250 GeV’a olan çarpıcı artışı gösterdiler.²⁷ Kaynakları kara madde olduğu takdirde

27 M. Aguilar ve ark., “First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5–350 GeV,” (Uluslararası Uzay İstasyonundaki Alfa Manyetik Spektrometreden İlk Sonuç: 0,5-350 GeV’lik Birincil Kozmik Işınlardaki Pozitron Oranının Hassas Ölçümü) *Physical Review Letters* 110, no. 14 (2013): 141102.

beklendiği gibi, pozitron oranı, ayrıntılı yapı göstermez ve zamanla ya da tercih edilen yönle önemli değişimler gözlenmedi. Sonuç, PAMELA'dan alınan sonuçlarla tutarlıdır, ancak daha önce bahsedilen en son Fermi sonucuyla değildir.

Tepenin, yüksek enerjide düzleşiyor görüldüğünü göz önünde tutun. Eğer daha fazla veriyle tepe ters dönerse, bu, birkaç yüz GeV'luk kütleyle sahip bir parçacığın çift yokoluşu için güçlü kanıt olurdu. Bununla birlikte, sonuçlar hâlâ başlangıç niteliğindedir, bekleyip görmemiz gerekecek. Her şekilde, yazarlar, verilerinin özelliklerinin bir tür yeni fenomenin varlığına işaret ettiğini belirtiyorlar.

STERİL NÖTRİNO KARA MADDESİNİN SON İZLERİ

13. Bölümde, kara maddenin steril nötrinolardan meydana geldiğine dair olasılıktan bahsetmiştim. Bunlar, maddenin geri kalanıyla çok zayıf bir şekilde, üç tanınmış nötrino türünden (ν_e, ν_μ ve ν_τ) bile daha zayıf biçimde etkileşen üç nötrino türüdür. Bunların, standart modelin asgari genişlemesiyle var olmaları beklenir. Modelin özgün biçimi, kütsüz nötrinoları varsaymıştır ancak gerektirmemiştir ve nötrino kütleline 1998'deki keşfinden itibaren yer vermek üzere geliştirilmiştir.²⁸

Bu kitap yapım aşamasındayken, üstüste galaksi kümelerinden uydu gözlemlerine bakan birbirinden bağımsız iki grup, ardaanın biraz üzerinden 3,5 keV'luk bir sinyal bildirdiler.²⁹ Bunun doğrulanmış bir keşif olmaktan uzak olarak kalmasıyla birlikte, bu sonuçların 7 keV'luk steril nötrinonun iki fotona bozunumu

28 Zurab G. Berezhiani ve Rabindra N. Mohapatra, "Reconciling Present Neutrino Puzzles: Sterile Neutrinos as Mirror Neutrinos," (Mevcut Nötrino Bulmacalarını Uzlaştırma: Ayna Nötrinolar Olarak Steril Nötrinolar) *Physical Review D* 52, no. 11 (1995): 6607–11.

29 E. Bulbul ve ark., "Detection of an Unidentified Emission Line in the Stacked X-Ray Spectrum of Galaxy Clusters," (Galaksi Kümelerinin Yığılı X-Işını Tayfında Tanımlanamayan bir Salım Çizgisinin Tespiti) *Astrophysical Journal* (baskıda, 2014); A. Boyarsky ve ark., "An Unidentified Line in X-Ray Spectra of the Andromeda Galaxy and Perseus Galaxy Cluster," (Andromeda Galaksisi ve Kahraman Galaksi Kümesinin X-Işını Tayflarında Tanımlanamayan Bir Çizgi) 2014, <http://arxiv.org/pdf/1402.4119v1.pdf> (13 Mart 2014'te erişim yapıldı).

için olduğu tahmin edilmektedir. Galaksi kümeleri, özellikle kara maddenin yoğunlaşmış merkezleridir ve bu kütle kara maddeyi oluşturmak için yeterlidir. Bu nötrinolar, ayırıklaştırma zamanına kadar “soğuk” olacaklardır.

Bir steril nötrinoya muhtemelen başka ikisi eşlik edeceğinden, birkaç eV’luk kütle aralığındaki steril nötrinolar, CMB verilerine uymak için kullanılan modelin tahminleri ile galaksi kümelerinin teleskobik gözlemleri arasında var olan, daha önce bahsedilen deneysel gerilimi de çözebilirler.³⁰ Ayırıklaştırmada, bu nötrinolar hâlâ “sıcak” olacaktır, bu durumda kolayca kümelenmeyeceklerdir. Hâlâ kara maddenin bir bileşeni olacakları için, galaksiler daha sonra oluştuğunda, bu, daha düşük küme oluşumuyla sonuçlanacaktır.

ŞİMDİYE KADARKİ EN YÜKSEK ENERJİLİ NÖTRİNOLAR

Son bölümde, dünyadışı kaynaklardan çok yüksek enerjili nötrinoları aramak üzere, Hawaii Büyük Adası yakınında okyanusun dibine büyük bir nötrino dedektörü yerleştirmeyi amaçlayan DUMAND adlı bir proje üzerinde yıllarca çalıştığımdan bahsetmiştim. Aynı nitelikteki birtakım başka deneyler de, Sibirya’daki Baykal Gölü ve Akdeniz gibi başka yerlerde devam etmekteydi.³¹ DUMAND nihayetinde sonlandırıldı, çünkü derin okyanusta çalışmak fazla zor ve pahalı bulundu. Hawaii açıklarındaki okyanustan daha elverişli bir ortam, Wisconsin Üniversitesi merkezli farklı bir bilim insanları ekibi tarafından bulundu; Güney Kutbu.

30 Richard A. Battye ve Adam Moss, “Evidence for Massive Neutrinos from Cosmic Microwave Background and Lensing Observations,” (Kozmik Mikrodalga Ardalanı ve Merceklenme Gözlemlerinden Büyük Kütleli Nötrinolar İçin Kanıt) *Physical Review Letters* 112, no. 5 (2014): 051303; Mark Wyman ve ark., “Neutrinos Help Reconcile Planck Measurements with the Local Universe,” (Nötrinolar Planck Ölçümlerinin Yerel Evrenle Uzlaşmasına Yardım Ediyor) *Physical Review Letters* 112, no. 5 (2014): 051302.

31 V. Berezhinsky, “High Energy Neutrino Astronomy,” (Yüksek Enerjili Nötrino Astronomisi) *Nuclear Physics B-Proceedings Supplements* 19 (1991): 375–87; C. Spiering, “High-Energy Neutrino Astronomy: A Glimpse of the Promised Land J Arxiv Preprint,” (Yüksek Enerjili Nötrino Astronomisi: Vaat Edilmiş Toprağa Kısa Bir Bakış) arXiv:1402.2096 (2014).

Bir kez daha, yöntem, saydam bir ortamda, bu durumda Antarktik buzunda, çok yüksek enerjili nötrinolar çekirdeklerle çarpıştığında üretilen yüklü parçacıklardan Cherenkov ışığının tespit edilmesini içermektedir. 1990'larda, AMANDA projesi (Antarktik Müon ve Nötrino Dedektör Dizilişi), Amundsen-Scott Güney Kutbu İstasyonu'ndaki buzun derinliklerine fotoçoğaltıcı tüp dizileri konuşlandırdı. 2005'te başlayarak, 1450 metre ile 2450 metre arasındaki bir derinlikteki bir kilometrekübü kapsayacak şekilde genişletilerek, IceCube (Buz Küpü) olarak yeniden adlandırıldı. Yapımı, Aralık 2010'da tamamlandı. IceCube, mevcut tüm deneylerin açık arayla en hassasıdır.

21 Kasım 2013'te, IceCube işbirliği, ikisi 1 PeV'u (10^{15} eV) aşan enerjilere sahip olmak üzere, 30 TeV'un üzerinde yirmi sekiz nötrino tespit etmiş olduğunu duyurdu.³² Eğer gelecekteki veriler kaynakların yerinin tam olarak belirlenmesini sağlarsa, IceCube evrendeki yeni pencereyi (nötrino penceresini) nihayet açmış olacak. Bu kitap yapım aşamasındayken, üçüncü bir PeV nötrino duyuruldu.

Geçmişte birlikte çalıştığım Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nden astrofizikçi Floyd Stecker, PeV nötrinoların, onun ve üç ortağının 1991'de yaptıkları, aşırı yüksek enerjili nötrinoların etkin galaksilerin çekirdeklerinde üretilebildiğine dair tahminle tutarlı olduğunu göstermiştir.³³

BİR UYARI

Önceki kısımdaki gibi, bu bölümde (ayrıca 11. Bölümde) betimlediğim yeni sonuçlardan birçoğu, kitap yayınevine çoktan teslim edilmiş olduktan sonra metne kondu. Kaynakların bir kısmı hâlâ sadece ön baskı halinde mevcuttur. Açıkça görülüyor ki, parçacık fiziği ve kozmolojisi çok hızlı gelişen çalışma alanlarıdır, dolayısıyla buradaki hiçbir şey nihai olarak alınmamalıdır. Ben yalnızca, bu kitap basıldığında var olan durumun anlık bir görüntüsünü sunabilirim.

32 IceCube İşbirliği, "First Observation of PeV-Energy Neutrinos with IceCube," (IceCube'la PeV-Enerjili Nötrinoların İlk Gözlemlenmesi) <http://arxiv.org/abs/1304.5356v2> (2013).

33 Floyd W. Stecker, "IceCube Observed PeV Neutrinos from AGN Cores," (IceCube AGN Çekirdeklerinden PeV Nötrinolar Gözlemlendi) *Physical Review D* 88 (2013): 047301.

XV - SONSUZ ÇOKLU EVREN

BÜYÜK PATLAMADAN GÜNÜMÜZE

Büyük patlamadan şimdiki zamana kadar, bu yazı itibarıyla evrenimizin tarihi hakkında ne bildiğimizi özetlemek üzere bir zaman çizelgesi kullanalım. *Evrenimizle*, bugün teleskoplarımızla görebildiklerimizi ve o evrenin geçmişi hakkında o gözlemlerden çıkarabildiklerimizi kastediyorum. Geleceği sonraki kısımda, öteki evrenlerin ihtimalini ise sonraki bölümde değerlendireceğiz.

Hızlandırıcı deneylerine dayanan halihazırdaki fizik bilimiz “yalnızca” büyük patlamadan sonraki 10^{-12} saniyeye uzandığından, yapabileceğimiz en iyi şey, daha önceki zamanlar hakkında tahmin yürütmektir. Bununla birlikte, tahminlerimizin, eğer onları somut mevcut bilgilere dayandırarsak, sadece kaba tahminler olması gerekmez.

Okuyucu, bir nihai, metafiziksel gerçeklikte aslında var olanları gösterme iddiasında olmadığımı akılda tutmalıdır. Vurgulamış olduğum gibi, felsefi konumum, o gerçekliğin kesin bilgisine erişemediğimiz yolunda. Tek yapabildiğimiz, olabildiğince fazla sayıda gözlem yapıp bunları matematiksel modellerle betimlemektir. Bunlar, zaman, uzay ve sıcaklık gibi işlevsel olarak tanımlanan bizim kendi insani kavramlarımıza dayanır. Aşağıdaki, sıcaklıkların eV cinsinden verildiği, böyle bir betimlemedir. Bunun, basitleştirilmiş bir model olduğunu ve kesinlikle son söz olmadığını unutmayın.

10^{-43} saniye, 10^{28} eV. Planck Zamanı.

Planck zamanında, evrenimiz Planck boyutlu (10^{-35} metre) boş bir küreydi. İnsanın uydurduğu uzay ve zaman kavramları üzerinden boş bir evreni betimlemeyi amaçlayan her model, azami ölçüde simetriktir. Benim “meta yasalar” olarak adlandırdığım, insanların “yasalar” dediği, kastedilen korunum ilkelerini otomatik olarak

içerecektir. Doğal ya da doğaüstü, hiçbir kanun yapıcı işin içinde değildi. Bu modeller otomatik olarak kuantum mekaniğinin ve göreliliğin kurallarına uyarlar; ki onlar da simetrilerden çıkarlar. Bu, özellikle, sonrasında ne olacağını modellemekte kullandığımız, belirsizlik ilkesi ve Friedmann denklemlerini içerir.

Parçacıklardan yoksunken, vakum enerji yoğunluğundaki kuantum dalgalanmaları ya da tercih ederseniz, uzay zaman eğriliği, kürenin genişlemesine ve daralmasına yol açtı. Genellikle yaklaşık 10^{-35} saniye olarak alınan bilinmeyen bir zamanda, pozitif bir dalgalanma şişmeyi tetikleyecek kadar büyüktü. Model tarafından tahmin edilen, genişleyen evrendeki sürtünme, dengeye dönüşü yeterince yavaşlattı ve evrenimiz pek çok kez katlanarak genişledi.

~10–34 saniye, 1024 eV. Şişmenin Sonu
(tam zamanlar bilinmiyor)

Sönümlü bir harmonik osilatör gibi, aynı sürtünme, şişmeyi durma noktasına getirdi ve neredeyse doğrusal Hubble genişlemesi onun yerine geçti. İlk parçacıklar kaybedilen enerjiden üretildi. Hepsi kütesizdi.

Parçacıkların etkileştiği azami ölçüde simetrik olan kuvvetler, tek bir kuvvet olarak birleşti. Azami simetri, her bir parçacığın ve s-ortağının, sıfır kütleyle aynı olduğu süpersimetriyi içerir.

Genişleyen evren soğudukça, parçacıkların ve kuvvetlerin türlerini birbirinden farklılaştıran bir dizi kendiliğinden (rastlantısal, yaratılmamış, önceden planlanmamış) simetri kırılması faz geçişleri meydana geldi. Bu, evrendeki asimmetrik yapının gelişiminin ilk adımıydı. Parçacıklar karşı-parçacıklardan ayrılıp, biraz daha tercih edildiler. Ya da daha doğrusu, tercih edilenleri “parçacıklar”, ötekilerini ise “karşı-parçacıklar” olarak biz sınıflandırıyoruz. Süpersimetri kırıldığından, bozonlar fermiyonlardan ayrıldı. Leptonlar baryonlardan (kuarklar) ayrıldı. Kütleçekim, büyük birleşme teorisi (GUT) modeli tarafından betimlenen kuvvetlerden ayrıldı. Parçacıklar kütesiz olarak kaldı.

Ardından, daha fazla soğumayla birlikte, GUT simetrisi kırıldı ve yeğin kuvvet elektrozayıf kuvvetten ayrıldı. Gluonlar öteki bozonlardan ayrıldı. Öteki parçacıklar serbestçe gezinip çok yoğun bir ortamda birbiri üzerinden saçılırken, güçlü bir şekilde

etkileşen bir *kuark-gluon plazması* oluşturan kuarklar ve gluonlarla, evren artık standart modelin tüm parçacık ve karşı-parçacıklarından oluşmaktaydı.

Not: Daha önceki kitaplarda ve makalelerde göreceğiniz çoğu zaman çizelgesi, şişme alanının GUT Higgs alanı (GUTH?) olduğunu varsaydıklarından, simetri kırılması faz geçişlerini şişmenin öncesine yerleştirmektedir. Ancak, durumun böyle olmuş olması gerekmez, GUT ve faz geçişleri, birlikte çalışılacak parçacıkların mevcut olduğu şişmeden sonra meydana gelmiş olabilirler.

10–10 saniye, 100 GeV. Elektrozayıf Simetri Kırılması.

Bu noktada daha kesin açıklamalar yapmaya başlayabiliriz, çünkü hızlandırıcı deneylerinin bir sonucu olarak, ilgili fiziği zaten anlıyoruz. Bu sıralar, standart modelin elektrozayıf birliği kırıldı ve elektromanyetik kuvvetler ve zayıf çekirdek kuvvetleri ayrılarak, bugün deneyimlediğimiz dört ayrı kuvveti; kütleçekim, elektromanyetizma ile zayıf ve yeğin kuvvetleri bize verdi. Foton ve gluon kütleleri sıfır olarak kalırken, Higgs bozonu ortaya çıkarak, zayıf bozonlara ve leptonlara kütle verdi. Zayıf kuvvet böylece yaklaşık 10^{-18} metrelik bir aralıkla sınırlı hale geldi, oysa elektromanyetik kuvvet aralık olarak sonsuz kaldı. Kuarklar da kütle kazandı; ancak yalnızca kısmi olarak Higgs mekanizmasıyla, esas olarak ise, kendileri kütesiz kalan ve kuark-gluon plazmasının içinde gömülü olan gluonlarla olan güçlü etkileşimlerinden dolayı.

Süpersimetrinin kırılmasıyla geride bırakılan sparçacıklar, en hafif nötr olanı muhtemelen kara madde haline gelerek, büyük kütleler kazandılar. Ancak gördüğümüz gibi, bu senaryo LHC’de beklenen SUSY parçacıklarını henüz üretmedi, dolayısıyla bu, belirsiz kalmaktadır. Belki de, sparçacıklar, o çarpıştırıcıda görülemeyecek kadar kütlece yüksektirler. Bekleyip, görmemiz gerekecek.

10–6 saniye, 1 GeV. Kuark Hapsi.

Evrenin sıcaklığı yaklaşık bir milyar elektron volta düştüğünde, kuarklar ve gluonlar, 1960’lar ve 1970’lerde parçacık hızlandırıcıda keşfedilen nükleonları ve birçok bileşik hadronu meydana getirdi. Çoğu çok kısa yaşam sürelidir, bu nedenle de bozunup gittiler, elektronlar, pozitronlar ve fotonlarla birlikte, yalnızca

protonlar, nötronlar ve onların karşı-parçacıkları kaldı. Hepsi yarı-dengedeydiler.

Aynı sıralarda, karşı-nükleonlar ve nükleonlar birbirlerini yok ederek, geride milyarda bir oranında proton ve nötron kalıntısı bıraktılar. Fotonlar ve leptonlar hâkim oldu.

1 saniye, 1 MeV. Hafif Çekirdeklerin Sentezi.

Nötrinolar ayrıklaşarak, kozmik nötrino ardaanını oluşturuu. Hafif çekirdekler oluşmaya başladı. Serbest nötronların hepsi çekirdeklere soğuruldu ya da protonlara, karşı-nötrinolara ve elektronlara bozundu.

10 saniye, 100 keV. Pozitron Çift Yokoluşu.

Pozitronlar ve elektronlar yok olup, milyarda bir oranında elektron kalıntısı bıraktılar.

3 dakika, 25 keV. Işınım Baskınlığı.

Nükleosentez sona erdi. Fotonların enerji yoğunluğu, çekirdeklerinkini aşarak, ışınım baskınlığına sebep oldu. Fotonlar, yoğun bir siste yaptıkları gibi, etkileştikleri çekirdeklerden ve elektronlardan meydana gelen yüklü bir plazmanın içinde yüz-düklerinden, evren opaktı.

60.000 yıl, 1 keV. Madde Baskınlığı.

Çekirdeklerin yoğunluğu, foton yoğunluğunu aşıp, ışınım baskınlığından madde baskınlığına geçildi. Evren opak olarak kaldı.

380.000 yıl, 700 eV. Foton Ayrıklaştırması.

Atomlar oluşup (“yeniden birleşim”), fotonlar ayrıklaşır ve evren saydam hale gelir. Gökyüzü parlak turuncudur ve evren soğudukça kızılılaşır. Atomik madde, kara maddeyle birlikte kümelenmeye başlar.

5 milyon yıl, 0.01 eV. Karanlık Çağ Başlar.

Evren soğudu, böylece ardaan ışınımı artık tamamen görünür tayfın dışındadır ve gökyüzü kararır.

200 milyon yıl, 0,002 eV. Yıldız Oluşumu Başlar.

İlk yıldızlar oluşur ve Karanlık Çağ sona erer. Yıldızlar güneş-ten çok daha büyüktür ve ağır elementler içermezler, dolayısıyla hızla yanıp tükenirler ve daha ağır elementler sentezleyen birçok süpernovaya sahip oluruz. Süpernova ışınımı, uzayı yeniden iyo-

nize ederek, hafif sisli hale getirir, ancak asla Karanlık Çağ sırasında olduğu kadar değildir. Işık hâlâ geçip ulaşabilir, yine de bir parça sönükleşmiştir. Kuasarlar gibi etkin galaksiler de oluşmaya başlayabilir, bu da iyonlaştırıcı ışınımı arttırır.

~1 milyar yıl, 0,001 eV. Galaksi oluşumu.

Galaksiler oluşur. Sık çarpışmalar olur ve daha sonra gelecek nesil yıldızların bileşenleri haline gelen ağır elementleri uzay boyunca yaymaya devam eden süpernovaları içerirler. Bu yıldızlar, bugün sahip olduğumuz yıldızlar gibi, daha az kütlelidir ve daha yavaş yanmaktadırlar. Etkin galaksi oluşumu yavaşlar.

~6 milyar yıl, 4×10^{-4} eV. Küme Oluşumu.

Daha yoğun bölgeler çökmeye başlayarak, çeşitli galaksi kümesi ve süperküme yapılarını oluşturlar.

~7 milyar yıl, 4×10^{-4} eV. Hızlanma Başlar.

Bu zamana kadar, evrenin genişlemesi, kütleçekime sahip olan madde ve ışınının baskınlığı nedeniyle yavaşlıyordu. Bununla birlikte, kara enerji yoğunluğu sabit kalmışken, onların yoğunlukları düşmekteydi. O yoğunluk artık öteki yoğunlukları aşar ve negatif basınca sahip olduğu için, evrenin genişlemesi yavaşça hızlanmaya başlar.

~8 milyar yıl, 3×10^{-4} eV. Tanıdık Evren Ortaya Çıkar.

İlk sarmal galaksiler oluşur.

9,1 milyar yıl, $3,2 \times 10^{-4}$ eV. Güneş Sistemi Oluşur.

Güneşimiz ve gezegenler oluşur.

13,8 milyar yıl, $2,6 \times 10^{-4}$ eV. Şimdi.

GELECEK

Geleceği öngörmek daima riskli bir görev olmakla birlikte, mevcut bilginin geleceğe doğru nasıl bir zaman çizelgesine işaret ettiğini sorabiliriz yine de.

5 milyar yıl. Güle Güle Yeryüzü.

Güneşimiz son hidrojen yakıtını kullanıp kırmızı bir dev haline gelerek, Yeryüzünü yakıp kül eder. Sonraki milyarlarca yılda, güneş büzülerek beyaz bir cüceye dönüşür.

17 milyar yıl. Birleşme.

Samanyolu ve Andromeda birleşir.

~40 milyar yıl. Yapı Oluşumu Sona Erer.

Kara enerjinin sebep olduğu üstel genişleme, arta kalan her türlü kütleçekimsel kümelenmeyi ortadan kaldırır ve yapı oluşumu durur.

~100 milyar yıl. Güle Güle Öteki Galaksiler.

Öteki galaksilerin hepsi, Samanyolu/Andromeda'nın ufkunun ardına taşınarak, onu evrende yalnız bıraktılar. Sonunda her şey, geri kalan her şeyin ufkunun ötesindedir.

~1 trilyon yıl. Güle Güle Yıldızlar.

Geri kalan yıldızlar yok olmaya başlayarak, geride kara delikler, nötron yıldızları, kahverengi cüceler ve gezegenler bırakır.

1033-1037 yıl. Güle Güle Madde.

Protonlar ve öteki ağır parçacıklar bozunarak, geride, sonsuza dek seyrelmeye devam eden, fotonlar, elektronlar ve nötrinolardan oluşan bir gaz bırakır.

Isı Ölümü Yok

5. Bölümde, on dokuzuncu yüzyıldaki fizikçilerin, evrenin nihai olarak maksimum entropi denge durumuna ulaşması gerektiği “ısı ölümü” kavramını geliştirdiklerini öğrenmiştik. Ancak, onlar evrenin, içindeki cisimlerin birbirlerinden sabit bir ortalama ayrımı korudukları bir sema olduğu varsayımına yanlış yere inanıyorlardı hâlâ. Bu durumda, evrenin entropisi maksimumdur, ki bunun, aynı büyüklükteki bir kara deliğin entropisine eşit olduğunu biz artık biliyoruz (onlar bilmiyordu).

Ancak ısı ölümü asla gerçekleşmez. Tersine, evren süresiz olarak genişlemeyi sürdürüp her bir nedensel parçanın hiçbir zaman maksimum entropiye ulaşmadığı, salt bir de Sitter uzayına evrilir. Şimdi, evrenin nihai olarak kapalı olduğu, yani eğrilik parametresinin $k = 1$ olduğu olasılık sürer. Elbette, şişme, evrenin hâlâ çok düz, 10^{60} 'da bir oranından daha iyi olduğunu gösterir, ancak bu, evrenin ufak bir pozitif eğriliğe sahip olduğu $k = 1$ 'le yine de gerçekleşebilir.

Bununla beraber, genişlemenin durduğu, evrenin daralarak Planck küresine geri döndüğü ve her şeyin yeni baştan başladığı bir “büyük çöküş”ün gerçekleşmesini isteyemeyiz. Bu *salınan*

evren bir zamanlar çok popülerdi, ancak bu, kara enerjinin keşfinden önceydi. Yukarıda belirtildiği gibi, yaklaşık yedi milyar yıl önce (geriye büyük patlamaya doğru yarı yol) maddenin ve ışınının enerji yoğunlukları, kara enerjininkinin altına düştü ve evrenin genişlemesi hızlanmaya başladı. Eğer kara enerjinin kaynağı bir kozmolojik sabit ya da ona çok benzer bir şeyse, ışıınım ve madde yavaş yavaş tükenip, evrense sonsuza dek genişlemeye devam ederken, enerji yoğunluğu sabit kalacaktır.

EVRENİN BİR BAŞLANGICI VAR MIYDI?

1970’de, Stephen Hawking ile Roger Penrose, genel görelilik çerçevesinde, evrenimizin uzaydaki sonsuz enerji yoğunluğunun, *tekillik* adı verilen sonsuz küçük bir noktası olarak başladığını gösterdiler.¹ Başta William Lane Craig olmak üzere teologlar, bunu bağlam dışına çıkararak, uzay ve zamanın o anda yaratılmış olması gerektiğini, dolayısıyla evrenin bir başlangıcı olduğunu iddia etmekte kullandılar. Ardından, teorik delil ya da deneysel kanıt olmaksızın, başlayan her şeyin bir sebebi olduğunu ve evrenin durumunda, koca bir uyuşmazlık hamlesi olarak, bu sebebin Hristiyanlığın kişisel tanrısı olması gerektiğini iddia etmeye geçtiler.²

Ancak, Hawking’in 1988 tarihli çok satan kitabı *A Brief History of Time*’da (Zamanın Kısa Tarihi) işaret ettiği gibi, “Aslında evrenin başlangıcında tekillik yoktu... kuantum etkileri hesaba katıldığında, [teoriden] yok olabilir.”³ Penrose aynı fikirdiydi. Genel görelilik bir kuantum teorisi değildir, bu nedenle de kuantum etkilerinin önemli olduğu her yerde uygulanamaz. Ve buna, özellikle de, evrenin başlangıcı dahildir.

Ancak Craig ile inançlı yoldaşı, asla vazgeçmedi. Purdue Üniversitesi’nde 1 Şubat 2013’te düzenlenen felsefeci Alex

- 1 Stephen Hawking ve Roger Penrose, “The Singularities of Gravitational Collapse,” (Kütleçekimsel Çöküşün Tekillikleri) *Proceedings of the Royal Society of London*, ser. A, 314 (1970): 529–48.
- 2 William Lane Craig, *The Kalam Cosmological Argument (Kelam Kozmolojik Argümanı)* (Londra: Macmillan, 1979).
- 3 Stephen Hawking, *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes (Zamanın Kısa Tarihi: Büyük Patlamadan Kara Deliklere)* (Toronto; New York: Bantam Books, 1988), sf. 50.

Rosenberg’le bir tartışmada ve başka tartışmalar ve yazılarda, Craig, evrenin bir başlangıcı olmuş olması gerektiğini ispatladığını söylediği, Arvind Borde, Alan Guth ve Alexander Vilenkin’in (BGV) 2003 tarihli bir makalesine atıfta bulundu.⁴ Bu makalenin de, sadece genel göreliliğe dayandığı, kuantum mekaniğini hesaba katmadığı dikkate alınmalıdır.

Uzun yıllardır profesyonel anlamda tanıdığım Vilenkin’e sormuştum, “teoremin, evrenin bir başlangıcı olması gerektiğini kanıtlıyor mu?” diye. Şöyle cevap vermişti, “Hayır. Ama evrenin genişlemesinin bir başlangıcı olmuş olması gerektiğini kanıtlıyor. Evrenin bir süre öncesinde daralmakta olduğunu varsayarak teoremden kaçınabilirsin.”⁵ Aynı noktaya Anthony Aguirre ile Steven Gratton⁶ ve Sean Carroll ile Jennifer Chen⁷ tarafından temas edilmişti. Carroll, 21 Şubat 2014’te New Orleans’ta Craig’le ustaca bir şekilde kozmoloji üzerine bir tartışmaya girdi.⁸

Şekil 15.1’de, genişleyen bir evrenin başlangıcından doğan parçacıkların uzay zamandaki yolları olan *dünya çizgilerini* gösteren bir uzay zaman grafiği yer almaktadır.

BGV, bütün dünya çizgilerinin, *bizim* evrenimizin, yani içinde yaşadığımız evrenin başlangıcı olarak yorumlayacağımız bir noktadan kaynaklanması gerektiğini ispatladı. Başka yazarlar, dünya çizgilerinin başlangıç noktası boyunca zaman ekseninin negatif tarafına devam ettirilebileceğini gösterdiler.

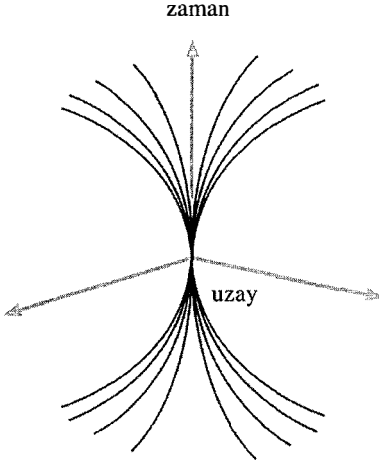
- 4 Arvind Borde, Alan H. Guth ve Alexander Vilenkin, “Inflationary Spacetimes Are Not Past-Complete,” (Şişen Uzay Zamanları Tamamlanmışın Ötesinde Değildir) *Physical Review Letters* 90 (2003): 151301.
- 5 Alexander Vilenkin, yazarla e-posta iletişimi, 21 Mayıs 2010.
- 6 Anthony N. Aguirre ve Steven Gratton, “Steady-State Eternal Inflation,” (Kararlı Durum Sonsuz Şişme) *Physical Review D* 65, no. 8 (2002): 083507; “Inflation without a Beginning: A Null Boundary Proposal,” (Bir Başlangıcı olmayan Şişme: Sıfır Sınır Önerisi) *Physical Review D* 67 (2003): 083515 .
- 7 Sean M. Carrol ve Jennifer Chen, “Spontaneous Inflation and the Origin of the Arrow of Time,” (Kendiliğinden Şişme ve Zamanın Okunun Başlangıcı) <http://arxiv.org/abs/hep-th/0410270> (2004) (22 Mayıs 2010’da erişim yapıldı).
- 8 Sean Carroll ve William Lane Craig, “Greer-Heard Forum: God and Cosmology,” (Greer-Heard Forumu: Tanrı ve Kozmoloji) 2014, <http://www.greer-heard.com> (23 Mart 2014’te erişim yapıldı).

Kısacası, *bizim* evrenimizin bir başlangıcı vardı, ancak bunun *her şeyin* başlangıcı olmuş olması gerekmez.

Craig bir başlangıcı olan her şeyin, bu nedenle de bir yaratıcısı olmasına dair bir başka argümanla ortaya çıkmıştı. Eğer yoksa, sonsuz bir zaman önce başlamış olurdu, ki bu durumda şimdiki zamana hiçbir zaman ulaşamazdık, der Craig.⁹

Aynı argümanın, altıncı yüzyılda John Philoponus ve dokuzuncu yüzyılda Yâkub İbn İshak El-Kindî tarafından ileri sürüldüğünü hatırlayın (bkz. 2. Bölüm). Teolojik argümanlar asla bitmez. Ortadan da kaybolmaz.

Bu bakımdan, çoğu fizikçi ve kozmoloğun (ve hatta birçok matematikçinin), aslında “sonu olmayan” ya da “sınırsız” ya da sıklıkla sadece “çok büyük bir sayı” demek istediklerinde, *sonsuzluk* tabirini kullandıkları dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, matematikçi Georg Cantor’un (1845-1919) muhteşem çalışmasında gösterdiği gibi, sonsuzluk gerçek bir sayı değildir.¹⁰



9 William Lane Craig ve James D. Sinclair, “The *Kalam* Cosmological Argument,” (*Kalam* Kozmolojik Argüman) *The Blackwell Companion to Natural Theology*, editör: William Lane Craig ve James Porter Moreland, sf. 101–201 (Chichester, Birleşik Krallık; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009).

10 James A. Lindsay, *Dot, Dot, Dot: Infinity Plus God Equals Folly* (*Nokta Nokta Nokta: Sonsuzluk Artı Tanrı Eşittir Ahmaklık*) (Fareham, Hampshire, Birleşik Krallık: Onus Books, 2013).

Şekil 15.1 Evrenimizin başlangıcından doğan parçacıkların dünya çizgilerini gösteren bir uzay zaman grafiği. Bunlar, negatif zaman yönünde uzatılabilirler. Görsel, yazara aittir.

1925'te, tanınmış matematikçi David Hilbert (1862-1943) bir konuşma yaptı, konuşmasında, "Sonsuz, gerçeklikte ortada yoktur. Ne doğada mevcuttur, ne de rasyonel düşünce için meşru bir zemin sağlar."¹¹

"Gerçeklik"le, gözlemlenen fenomenlerin bilimsel araçlarımızla dünyada yaptığımız ölçümlerinden bahsetmekte olduğunu varsayıyorum. Ayrıca, Hilbert'in sonsuzluk kavramının rasyonel düşünce için meşru bir zemin sağlamadığını söylerken ne demek istediğinden emin değilim. Şüphesiz onun ve Cantor'un sonsuzlukla ilgili çalışması son derece rasyoneldi. Teorik fizikçiler de, iyi tanımlanmış sonsuzluğun matematiksel kavramını teorilerinde kullandıklarında, kavramı biz deneysel fizikçiler tarafından ölçülen niceliklere uygulamaktan ya da ona ontolojik yani Platoncu anlam katmaktan sakındıkları sürece, irrasyonel davranmış olmuyorlar.

Craig, Hilbert'in her şey için bir başlangıç argümanını desteklediğini aktarır. Eğer gerçek bir sonsuzluk yoksa, bu durumda her şey sonsuz olamaz, yani sonsuz bir zaman önce başlamış olamaz. Aksi takdirde, şimdiki zamana ulaşmak, sonsuz bir zaman alırdı. Bununla birlikte, 2. Bölümde, Philoponus tarafından ileri sürülen aynı argümanı ele alırken belirttiğim gibi, sonsuz bir evrenin sonsuz bir zaman önce bir başlangıcı olamazdı. Başlangıcı yoktu. Bir saati geriye doğru çalıştırıp, -1 , -2 , -3 , ... diye tik taklarını saymak, onu hiçbir zaman $-\infty$ 'a götürmez. Şu andan geçmişteki herhangi bir ana kadar olan zaman, sonlu bir tik tak sayısıdır.

Her şeyin neden bir başlangıcı olmuş olmasının gerekmediğini anlamanın bir başka basit yolu, bir sonunun olması için hiçbir sebep olmaması gerçeğine dayanmaktadır. Kozmoloji, şimdiki evrenimizin basitçe sonsuza dek genişlemeye devam edeceğine işaret eder. Ardından, zaman (yalnızca ortak deneyime dayanan

11 David Hilbert, "On the Infinite," (Sonsuz Üzerine) *Philosophy of Mathematics (Matematiğin Felsefesi)*, editör: Paul Benacerraf ve Hillary Putnam (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964), s.139-41. İlk önce 24 Haziran 1925'te Westphalian Matematik Topluluğu'nun bir kongresinde, Karl Weierstrauss'un onuruna (Almanca olarak) sunuldu.

bir tanım olarak zamanın alışlagelmiş yönüyle) tam simetrik olduğundan, büyük patlamanın başlangıcı olarak geçmişte bir nokta belirleyebilssek dahi, bunun her şeyin başlangıcı olmuş olması gerekmez. Eğer bir son yoksa, başlangıç da olmamalıdır.

PLANCK ZAMANINDA

Şekil 15.1 bir uzay zaman grafiğinin başlangıcındaki bir noktadan geçen dünya çizgilerini göstermektedir. Bununla birlikte, kuantum mekaniğinin, bunun uzayın ve zamanın sonlu bir bölgesi olmasını, sonsuz küçük bir nokta olmamasını gerektirdiği unutulmamalıdır. Eğer bu bölge mümkün olduğunca ufaksa, Planck boyutlarında olması, yani yaklaşık Planck uzunluğunda bir uzaysal yarıçapa ve yaklaşık Planck zamanında zamansal boyuta sahip olması gerekir; küçük ancak sonsuz küçük bir nokta değil. Kuantum belirsizlik ilkesi nedeniyle, böyle bir küre, Planck kütlesine (10^{28} eV) eşit bir kütleye sahip olurdu, dolayısıyla da 6. Bölümde betimlenen kara delik için olan ana kriteri karşılamaktadır.

Bir kara deliğin içini göremediğimiz için, Planck zamanından önce ne olduğuna dair sıfır bilgiye sahibiz. Bu nedenle de, evrenimizdeki herhangi bir araçsal anlama sahip mümkün olan en erken zaman, Planck zamanıdır (10^{-43} saniye). Burada yine, teoriyle gözlemler arasında bir ayrım yapmamız gerekiyor. Zamanın sürekli bir değişken olduğunu varsayarak ne kadar ufak olursa olsun herhangi bir muhtemel değere sahip denklemler yazabilmekle birlikte, ilkesel olarak Planck zamanından daha kısa bir zaman aralığı ölçemeyiz. Bu nedenle sürekli uzay zamana dayalı bir teorinin, sonsuzluklarla problemleri olduğunda heyecana kapılmam. Bunlar deneysel fizik problemleri değildir; teorik fizikçi problemleridir. Teori basitçe yanlıştır ve düzeltilmesi gerekmektedir.

Bahsedildiği gibi, küre biçiminde bir cismin maksimum entropisi, aynı yarıçapa sahip bir kara deliğin entropisine eşittir. Dolayısıyla, Planck zamanında, evren tam bir karmaşa ya da maksimum entropi durumundaydı. Bu, daha önce olmuş olma ihtimali olan hiçbir şeyin evrenimizde, mutlak ve tam rastgelelikten başka iz bırakmadığını göstermektedir. Bu nedenle, eğer ilahi ya da doğal bir yaratılış varsa bile, evrenimiz bunun anısına sahip

değildir. Yalnızca çoğu dinin tanrısı değil, Aydınlanmanın deist yaratıcı tanrısı da elenmektedir (bkz. 2. Bölüm). Tek muhtemel tanrı, evreni zar atarak kuran, ardından da kendisini bir başka gerçekliğe ışınlayan “kuantum deist” tanrıdır. Fakat öte yandan, hiçbir şeyin üzerinde hiçbir etkisi olmayan, böyle bir tanrıya kimin ihtiyacı var?

Şimdi, sorabilirsiniz; eğer evren maksimum entropiyle başladıysa, bu, entropinin geçmişte, şimdi olduğundan daha düşük olması gerektiğini söyleyen termodinamiğin ikinci yasasını ihlal etmez mi, diye. Hayır, çünkü entropi geçmişte daha düşüktü. Ancak diğer yandan, eğer geçmişte maksimumduysa, geçmişte daha düşük nasıl olabilirdi diye sorarsınız.

Basit. Planck zamanında, entropi Planck boyutlarındaki bir küre için maksimumdu. Evren büyük patlamada genişledikçe, maksimum kabul edilebilir entropisi de genişledi. Böylece de, yapının oluşumu sırasındaki yerel entropinin kaybı, ortamdaki yani evrenin geri kalanındaki entropideki artışla dengelendiğinden, Planck zamanından itibaren, yerel yapıların oluşması için yer olmuştu.

KUANTUM KÜTLEÇEKİM

Ortak akıl, hem kuantum mekaniğinin hem de genel göreliliğin özelliklerini kapsayan bir kuantum kütleçekim teorisi geliştirilene kadar, Planck zamanı öncesi olmuş olması muhtemel olan şeyleri teorik olarak bile betimleyemeyeceğimiz yönündedir. Halihazırda, kuantum alan teorisi, genel görelilik teorisini değil, özel görelilik teorisini içermektedir.

1950’lerde Richard Feynmann ve başkaları tarafından yapılan kuantum kütleçekimindeki ilk girişimler, son derece başarılı kuantum elektrodinamiğini örnek almıştı. Elektromanyetik kuvvetin bozonuna aracı olan spin-1 fotonunun yerine, iki kütle arasındaki kütleçekimsel kuvveti taşımak üzere, kütesiz spin-2 gravitonu getirildi.

Ancak matematik kısaca işe yaramadı, henüz başarılmamış başka yaklaşım yollarına gereksinim vardı.¹² Çoğu büyük ölçüde

12 Lee Smolin, *Three Roads to Quantum Gravity* (Kuantum Kütleçekimine Giden Üç Yol) (New York: Basic Books, 2002).

süpersimetriye dayanmaktadır ve eğer SUSY, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (LHC) doğrulanamazsa, bu yollar çıkmaza girebilir. Neredeyse bütün bir kuşak teorik fizikçinin mesleki yaşamını adanmış olduğu sicim teorisi de buna dahildir.

Kütleçekim açık bir biçimde, diğer ikisinden farklı bir tür kuvvettir. Önde gelen fizikçiler tarafından bile şöyle dendiğini sıkça duyarsınız; “Kütleçekim, elektrik kuvvetinden 10^{39} kat daha zayıftır.” Ancak bu sayı, protonla elektron arasındaki kuvvetlerin büyüklüklerinin oranıdır yalnızca ve her durumda doğru değildir. Eğer bunların yerine, aynı elektrik yüklerine sahip, ancak diyelim Planck kütlelerine (protonun ya da elektronunkinden daha doğal bir kütle) eşit kütleli iki parçacığa sahipseniz, kütleçekim, elektrik kuvvetinden 137 kat *daha büyüktür!* Kütleçekimin mutlak büyüklüğünü belirlemek için, öteki kuvvetler için yapabildiğiniz şekilde, hiçbir yol yoktur kısaca.

Bununla beraber, neden kütleçekimin, temel parçacıklar ölçeğinde elektromanyetizmaya kıyasla çok zayıf olduğuna dair basit bir açıklama önerebilirim. Kütleleri, doğaları gereği düşüktür, sıfır olarak başlayıp, 11. Bölümde betimlenen Higgs mekanizmasıyla ufak bir kütle kazanırlar. Ayrıntılarına 16. Bölümde gireceğim.

Einstein'ın genel göreliliğinde, kütleçekim fenomeninin uzayın eğriliğinden kaynaklandığı ve hiçbir belirgin kütleçekimsel kuvvetin denklemlere girmediği de akılda tutulmalıdır. Bu modelde, Yeryüzü güneş etrafındaki yörüngede kalmaz, çünkü güneşin kütleçekim kuvveti, gravitonları ya da her neyse onları değiş tokuş ederek onu çekmektedir; herhangi bir kuvvetin yokluğunda izlemesi gereken doğal yolu izler; bu da, güneşin etrafında kıvrılan, uzay zaman boyunca bir jeodeziktir. Yakın zamanda, kütleçekimin, sistemlerin daha yüksek entropi yönünde hareket etme eğiliminden doğan, bir “beliren” fenomen olarak betimlenebileceği ileri sürülmüştür (belirme konusu için bkz. 5. Bölüm).¹³

Kuantum kütleçekimi teorisine sahip olsak bile, sözüm ona geçerli olduğu Planck rejimindeki tahminlerini kontrol etmenin

13 Erik Verlinde, “On the Origin of Gravity and the Laws of Newton,” (Kütleçekimin Başlangıcı ve Newton Yasaları Üzerine) *Journal of High Energy Physics*, no. 4 (2011): 1–27; Thanu Padmanabhan, “Grappling with Gravity,” (Kütleçekimle Mücadele Etmek) *Scientific American India* (Ocak 2011): 31–35.

hiçbir yoluna sahip değiliz gibi görünüyor. Yine de, kuantum küt-leçekimi muhtemelen ölçülebilir etkilere sahip olabilir. Örneğin, Planck ölçeğine yakın uzaklıklarda, uzay zamanın “yamru yumru” olması beklenir, yani pürüzsüz bir süreklilik yerine, 1955’te John Wheeler tarafından ileri sürülen, meşhur “kuantum köpüğü”nü görmemiz gerekir.¹⁴

Şaşırtıcı bir şekilde, bu köpüklülüğün ilkesel olarak tespit edilebilir olduğu ortaya çıkar. 13. Bölümdeki gama ışını patlamaları konusunu hatırlayın. Uzak galaksilerde, milyarlarca ışık yılı uzaklıkta meydana gelirler ve yüksek enerjili fotonlar yayarlar. İki nötron yıldızının çarpışmasından kaynaklandıklarına inanılır. Bu fotonlar, kuantum köpüğüyle etkileşebilir ve Yeryüzüne ulaşmaları geciktirilebilir. Bu etki, aynı patlamadan eş zamanlı olarak yayılan iki ya da daha fazla fotonun varış zamanları ölçülerek gözlenebilir.

Fermi Gama Işını Uzay Teleskobu tarafından elde edilen gama ışını patlamalarına dair verileri kullanan astronom Robert Nemiroff ile ortakları, aynı kaynaklardan çıkan farklı enerjilere sahip gama ışını fotonlarının varış zamanlarını karşılaştırdılar. Mayıs 2009’da kaydedilen yedi milyar ışık yılı uzaklıktaki GRB 090510 gama ışını patlaması vakasında, üç fotonun bir milisaniye içerisinde olduğu gözlemlendi.¹⁵ Sonuç, uzay zaman köpüğünün kabarcıklarının büyüklüğüne, Planck uzunluğundan 525 kat daha düşük olan bir sınır koyar. Sonucun bağımsız olarak doğrulanması gerekmele birlikte, uzay zamanın gözlemlenebilir evrende pürüzsüz olduğu görünür.

Bu sonucun, Planck uzunluğundan daha küçük hiçbir mesafenin ölçülemeyeceğine dair 6. Bölümde ileri sürmüş olduğum savla nasıl bağdaştığı sorulabilir. Cevap, bu kitapta defalarca bahsetmiş olduğum, teoriyle deney arasındaki farkla ilgilidir. Gerçek ölçüm, Planck uzunluğundan daha kısa bir mesafeye ait değildi. Bununla birlikte, bu ölçüm, ardından kabarcık büyüklü-

14 John Archibald Wheeler ve Kenneth William Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics* (Jeonlar, Kara Delikler ve Kuantum Köpüğü: Fizikte Bir Yaşam) (New York: Norton, 1998).

15 Robert J. Nemiroff ve ark., “Bounds on Spectral Dispersion from Fermi-Detected Gamma Ray Bursts,” (Fermi’nin Tespit Ettiği Gama Işını Patlamalarından Tayfsal Dağılımadaki Sınırlar) *Physical Review Letters* 108, no. 23 (2012): 231103.

ğüne Planck uzunluğundan çok daha az bir sınır öngörmeye geçen teorik bir modele yerleştirildi. Ancak bu niceliğin kendisi yalnızca modelin içerisinde mevcuttur, doğrudan bir gözlem değildir.

İKİLİ EVREN

Zaman eksenimizin negatif tarafında, yani geçmişimizde $t = 0$ 'ın öncesinde ne var olmuş olabilir diye soralım şimdi. Bu ilksel tam kaos küresi nereden geldi? Planck zamanından önce olmuş olması mümkün şeylere dair hiçbir gözlemlenebilir bilgiye sahip olmadığımız halde, eldeki mevcut teorik bilgimizi, yani her ikisi de daha sonraki zamanlardan deneysel kanıtların üzerine kurulmuş olan genel görelilik ve kuantum teorisini uygulamayı sürdürebiliriz.

2006 tarihli bir kitapta ve yayınlanmış bir makalede, köklü fizik ve kozmolojiden çıkan, evrenimizin doğal bir başlangıcını öngören bir senaryo betimledim.¹⁶ Senaryo, 1982'de David Atkatz ile Heinz Pagels tarafından öne sürülen bir modele dayanmaktaydı.¹⁷ Senaryoyu, büyük ölçüde, 1994'te Atkatz tarafından yayımlanan çok hoş bir ders kitabı olan *Quantum Cosmology for Pedestrians*'a (Adım adım Kuantum Kozmoloji) dayanarak, tamamen matematiksel olarak fizik ana dalları lisans düzeyinde geliştirdim.¹⁸ Burada yalnızca yöntemi özetleyeceğim.

1982'de, Atkatz ile Pagels evrenimizin bir kuantum tünelleme olayı olarak nasıl ortaya çıkabildiğini göstermişti. Bu mekanizma, 1982'de Vilenkin¹⁹, 1983'te ise James Hartle ile Stephen Hawking tarafından da ileri sürüldü.²⁰

- 16 Victor J. Stenger, *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From? (Anlaşılabilir Kozmos: Fizik Yasaları Nereden Geliyor?)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2006), sf. 312–19; “A Scenario for the Natural Origin of the Universe,” (Evrenin Doğal Başlangıcı için Bir Senaryo) *Philo* 9, no. 2 (2006): 93–102.
- 17 David Atkatz ve Heinz Pagels, “Origin of the Universe as a Quantum Tunneling Event,” (Bir Kuantum Tünelleme Olayı olarak Evrenin Başlangıcı) *Physical Review Letters* D 25 (1982): 2065–73.
- 18 David Atkatz, “Quantum Cosmology for Pedestrians,” (Adım Adım Kuantum Kozmoloji) *American Journal of Physics* 62, no. 7 (1994): 619–27.
- 19 Alexander Vilenkin, “Creation of Universes from Nothing,” (Evrenlerin Hiçbir Şeyden Yaratılışı) *Physics Letters* B 117, no. 1 (1982): 25–28.
- 20 James B. Hartle ve Stephen W. Hawking, “Wave Function of the Universe,”

Pozitif eğriliğe sahip, yani eğrilik parametresi $k = +1$ olan, boş, homojen, izotropik bir evren için, Friedmann denklemleriyle başlarız. Evrenimiz düz olmaya çok yakın olmakla birlikte, bu, ille de küresel eğrilik parametresinin $k = 0$ olmasını gerektirmez; $k = +1$ ya da $k = -1$ olup, yine de şişmeden sonra çok ama çok düz olabilirdi. Atkatz ile Pagels, tünellenmenin yalnızca $k = +1$ için çalıştığını gösterdiler.

Elde bu denklemle, ardından, klasik denklemden gerçel sayıların matematiksel işlemlerle yer değiştirdiği kuantum mekaniği denklemine geçilen her zamanki kuralları izleriz.²¹ Sonuç şaşırtıcı bir şekilde basittir. Evrenin yarıcapı olarak alabileceğimiz, yalnızca evrenin kozmolojik ölçek faktörü olan tek bir boyuta sahip, Planck kütlesinin yarısına eşit kütleli ve sıfır toplam enerjili göreceli olmayan bir parçacık için, kuantum mekaniksel zamandan bağımsız Schrödinger denklemini elde edersiniz. Bunun sadece bir matematiksel eşdeğerlik olduğunu ve böyle bir parçacığın var olduğunu göstermediğini göz önünde bulundurun.

Elde edilen denklem, çözümü görkemli bir şekilde “evrenin dalga fonksiyonu” olarak adlandırılan Wheeler-DeWitt denkleminin basitleştirilmiş bir biçimidir.²² Dalga fonksiyonlarının yorumlanmasına dair alışılmış kuantum mekaniksel şekilde, evrenin dalga fonksiyonunun genliğinin karesini almak, birçok benzer evrenden oluşan bir topluluktaki belirli bir evreni bulma ihtimalini verir.

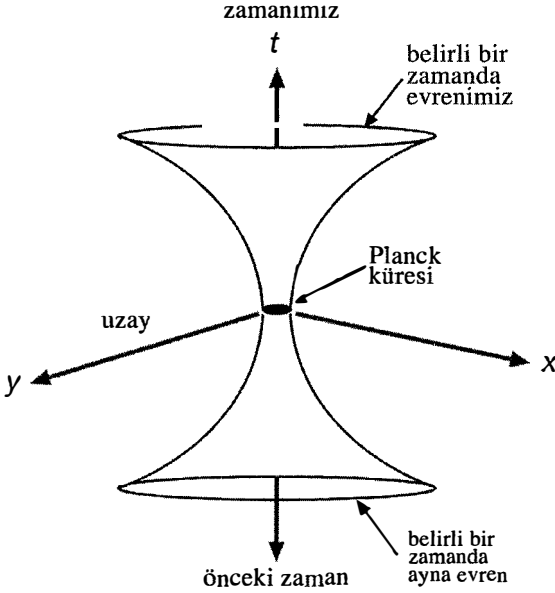
Sonuçta oluşan senaryo, Şekil 15.2’deki uzay zaman grafiğiyle gösterilmiştir. Zaman (t) dikey olarak çizilmiştir, uzayın üç boyutunun ikisi (x ve y) ise, perspektif içerisinde gösterilmiştir. Belirli bir zamanda, genişleyen küre biçimli evren, zaman eksenine dik doğrultuda bir daire olarak tasarlanır. Başlangıçta ($t = 0$) yer alan Planck boyutundaki bir küreden doğar.

(Evrenin Dalga Fonksiyonu) *Physical Review D* 28 (1983): 2960–75.

21 Kısmi diferansiyel hesaba aşına olanlar için, Schrödinger dalga mekaniğinde x -ekseni boyunca momentum bileşeni, p_x , x ’in yerine geçmeyen diferansiyelle yer değiştirir, bundan da belirsizlik ilkesi elde edilebilir. Heisenberg’in kuantum mekaniğinde, gözlenebilirler matrislerdir. Dirac’ın kuantum mekaniğinde, gözlenebilirler doğrusal vektör uzayındaki işleçlerdir.

22 Bryce S. Dewitt, “Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory,” (Kuantum Kütleçekim Teorisi. I. Kanonik Teori) *Physical Review* 160 (1967): 1113–48.

Ayrıca, evrenimizden zaman ekseninin karşı tarafındaki bir ayna evren de gösterilmiştir. Eğer Friedmann denklemlerine ve öteki kozmoloji denklemlerine bakarsak, hiçbir şey negatif zamanı engellemez. Ayna evren, karşıt zaman yönündeki aynı Planck küresinden doğar. Bunun, Şekil 15.1’de gösterilen dünya çizgileri resmiyle tutarlı olduğuna dikkat edin.



Şekil 15.2. Evrenimizi ve karşıt zaman yönlerindeki aynı Planck küresinden doğan bir ayna evreni gösteren bir uzay zaman grafiği. Bir uzay boyutu ortadan kaldırılmıştır, böylece küre biçimli evrenler ve Planck küresi, daireler olarak tasarlanır. Görsel, yazara aittir.

Şimdi burada yaygın olarak kabul görmeyen bir çıkarım bulunmakta: ayna evren, geçmişimizde var olmakla birlikte, onun zamanının oku bizimkinin tersini işaret eder. 5. Bölümde gördüğümüz gibi, zamanın hiçbir yönü fizik denklemlerinde bulunamaz. Tanıdık, zamanın günlük oku, evrenimizin artan entropisiyle belirlendiği gibi, ileri yönde zamanın, en muhtemel oluşumların yönü olduğu, tamamen istatistiksel bir tanımdır.²³ Ve

23 Victor J. Stenger, *Timeless Reality: Symmetry, Simplicity, and Multiple Uni-*

böylece, ayna evren bizimkininkine zıt yönde genişlemekte olduğundan, o evrendeki bir gözlemci tarafından tanımlanacak olan zamanın okunun yönü bizimkinin tersini işaret eder.

Planck küresi hiçbir bilgi ya da yapı içermediğinden, işlevsel olarak “hiçbir şey”den ayırt edilemezdir ve elimizde hiçbir şeyden tünelleme yapan iki evren bulunmaktadır. Bizim evrenimize ve onun ayna eşine *ikili evren* diyeceğim.

Ayna evrenin bizimkiyle aynı olmasını beklemediğimizi eklemem gerekiyor, çünkü tıpkı bizimkine olduğu gibi ona da rastlantısallığın hâkim olması muhtemeldir.

Evrenimizin bu şekilde oluştuğunu kanıtlayamasam da hiç kimse oluşmadığını kanıtlamamıştır. Yani, köklü fizik ve kozmolojiye dayanan evrenin doğal, yaratılmamış başlangıcı için akla yakın bir senaryoya sahibiz. Bu, ileri sürülen çeşitli olası senaryolardan yalnızca biridir, ancak yeni varsayımlar gerektirmediğinden, yalnızca köklü fizik ve kozmolojiye dayandığından açık arayla en basiti gibi geliyor bana. Hiç değilse, ikili evren, evrenimizin sadece doğaüstü bir yaratılışla meydana gelmiş olabileceğine dair her türlü iddiayı çürütmeye yaramaktadır.

Bu noktada, okuyucu “köklü fizik ve kozmoloji”nin nereden geldiğini sorabilir. Lütfen sabırlı olun. Birazdan ona geleceğiz.

ÇOKLU EVREN

Eğer iki evren mümkünse, o halde neden üç ya da dört –veya herhangi bir sayı– olmasın? 1980’lerden itibaren, bilim insanları, evrenimizin, *çoklu evren* adı verilen, benzer ancak aynı olmayan sınırsız sayıdaki evrenden yalnızca biri olabilme ihtimalini kabul etmişlerdir. 12. Bölümde görmüş olduğumuz gibi, fizikçilerin şişme fikriyle ortaya çıkmalarının hemen ardından, evrenimizi üreten kabarcık-oluşum sürecinin, daha birçoklarını üretmesinin olası olduğu fark edildi.

Başlangıçtan beri, teistler bütün çoklu evren fikrine şiddetle karşı çıktılar. Hemen hemen tüm dünya dinleri, insanlık için mer-

verses (Zamansız Gerçeklik: Simetri, Sadelik ve Çoklu Evrenler) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2000).

kezi yere sahip tek bir evrenin ilahi yaratılışını öğretir. Çoklu evren, bu inanca meydan okur.

7 Temmuz 2005'te, Viyana Kardinal Başpiskoposu Christoph Schönborn, *New York Times*'ta şöyle yazdı; "Kozmolojideki çoklu evren hipotezi, modern bilimde bulunan amaç ve tasarıma dair çok kuvvetli delillerden kaçınmak için icat edil[di]."²⁴

Elbette Kilise, Kopernik Yeryüzünü güneş sisteminin merkezinden taşıdığına da karşı çıkmıştı. Giordano Bruno, bizim gezegenimizin pek çok güneş etrafından dönen bir sürü gezegenden sadece biri olduğunu söylediğinde de, onu kazıkta yakmışlardı. Teistler, tevazudan dem vururlar, ancak bilim onlara mütevazı olmak için bir sebep gösterdiğinde, bu, hoşlarına gitmez.

William Lane Craig, Schönborn'la benzer duygular ifade etmişti. Purdue tartışmasında Craig şöyle demişti; "Şans taraftarları, tercihen sayıca sonsuz ve rastgele düzenlenmiş, öteki evrenlerden oluşan bir Dünya Topluluğunun varlığını kabul etmeye zorlanmıştır, böylece yaşama izin veren evrenler, Topluluğun içinde bir yerde tesadüfen ortaya çıkacaklardır."²⁵

Bu ifadeler sadece yanlış değil, önemli bilginlere de hakarettir. "Dünya Topluluğu" ya da çoklu evren, teolojiyi hiçbir şekilde dikkate almadan, köklü bilim tarafından motive edilmiştir. Modern astronominin son derece hassas gözlemlerine ve eldeki mevcut temel fizik bilgimize dayanan en iyi güncel kozmoloji modellerimizin sonucudur.

Ayrıca, şu kadarını söylemek yeter ki; evrendeki amaç ve tasarıma dair iddia edilen bilimsel kanıtların hiçbirisi, doğrusu çok kuvvetli olarak sınıflandırılmaz.

Çoklu evrenler düşüncesine olan yaygın bir itiraz, yalnızca tek bir varlık, bir tek evren gerekirken, bunun ilave varlıklar getirdiğidir. 1986'da astronom Edward Harrison şöyle yazmıştır:

24 Christoph Schönborn, "Finding Design in Nature," (Doğada Tasarım Bulmak) *New York Times*, 7 Temmuz 2005.

25 William Lane Craig, "Opening Speech," (Açılış Konuşması) *Is Faith in God Reasonable? (Tanrı'ya İnanç Mantıklı mı?)* editör: Paul Gould ve Corey Miller (New York: Routledge, 2014).

“Seçiminizi yapın: pek çok evreni gerektiren kör talih mi, yoksa sadece bir tane gerektiren tasarım mı?”²⁶

En iyi seçime karar vermemize yardım etmesi için, seçenek birkaç tane olduğunda, en basit hipotezi destekleyen Ockham’ın usturası testini uygulayabiliriz. İlk bakışta, tek bir evren, çoklu evrenlerden daha cimri görünebilir. Bununla birlikte, Ockham’ın usturası bir teorideki nesne sayısı için değil, hipotezlerin sayısı için geçerlidir. Maddenin atom teorisi, fizikçilerin uğraşmak zorunda oldukları nesne sayısını trilyonlarca kat artırmıştı. Yine de tamamen atom teorisinden elde edilebilen ve ondan üstün olan makroskobik termodinamikten daha basit ve daha güçlüydü. Benzer şekilde, gözlemlere dayanan güncel bilim, çoklu evrenlere işaret ettiğinden, sadece tek bir evrenin var olduğunu kabul etmek, verilerin gerektirmediği ilave bir hipotez gerektirir. Yani, tek evren hipotezi, Ockham’ın usturasını ihlal edendir.

Bir başka itirazda, inançlı olmayan birçok bilim insanı, bizim ki dışında bir evreni gözlemlememizin hiçbir yolu olmadığından, çoklu evrenin “bilimsel olmadığı” konusundaki tartışmada teistlere katılmışlardı. Aslında bu yanlıştır. En iyi gözlemsel verilerimize dayanan, bir sonraki kısımda ele alınacak olan ilk evrenin güncel modeli olan sonsuz şişmenin kaçınılmaz bir sonucu olarak görüldüğü için, çoklu evren, meşru bir bilimsel hipotezdir.

Teorilerimiz sıklıkla kuarklar ve kara delikler gibi gözlenemeyenleri içerir. Birazdan da göreceğimiz gibi, öteki evrenler için deneysel kanıtlar, ihtimal alanının ötesinde değildir. İlkesel olarak tespit edilebilir olan uygulanabilir bir teorinin parçasını oluşturan her türlü fenomen, bilimin meşru bir parçasıdır.

Birçok evrenin var olabileceğine dair bütün fikir, o kadar sarımsı bir sonuca sahiptir ki; son otuz ya da daha fazla yıl boyunca bilim, felsefe ve teolojide muazzam bir literatürün konusu olmuştur.²⁷ Konu üzerine yazılmış olan her şeyi incelemeye kalkmak

26 Edward Robert Harrison, *Masks of the Universe (Evrenin Maskeleri)* (New York Londra: Macmillan, Collier Macmillan, 1985), sf. 252.

27 Örneğin. Bkz., Bernard Carr, editör, *Universe or Multiverse? (Evren ya da Çoklu Evren?)* (Cambridge: Cambridge University Press, 2007); John Gribbin, *In Search of the Multiverse: Parallel Worlds, Hidden Dimensions, and the Ultimate Quest for the Frontiers of Reality (Çoklu Evrenin Peşinde: Paralel Dünyalar, Saklı Boyutlar ve Gerçekliğin Sınırlarının Nihai Arayış-*

yerine, tartışmamı, en basit varsayımlardan çıkarabileceğimiz en son sonuçlarla sınırlandıracağım.

SONSUZ ŞİŞME

1983'te, kozmolog Alexander Vilenkin, biraz korkuyla, şimdi *sonsuz şişme* adı verilen şeyi ortaya attı.²⁸ Sonsuz şişmeye göre, bir kez genişleme başladı mı, sürekli yeni evrenlerin yaratılmasıyla, hiçbir zaman sona ermez. 1986'da, Andrei Linde, fikri detaylandırarak, evrenin kendisini süresiz olarak yeniden üretmesinin ve “hiçbir başlangıç ya da sona sahip olmayabileceği”nin nasıl mümkün olduğunu gösterdi.²⁹

Sonsuz şişme, Vilenkin ve Linde tarafından düşünüldüğü gibi, parçalanmış gibi bir yapıdaki öteki evrenlerin içerisindeki evrenlerin aralıksız üretimiyle sonuçlanır.³⁰ Temel olarak, bir kabarcık evren, çok daha büyük bir büyüklüğe katlanarak şişerken, öteki kabarcıklar ilk kabarcığı çevreleyen sürekli büyüyen boş bir de Sitter uzayında çekirdeklenebilir. Bu süreç geleceğe doğru sonsuza kadar devam eder.

Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'nden Anthony Aguirre ile Princeton Üniversitesi'nden Steven Gratton tarafından tasarlanan bir modelde, kabarcık çekirdekler, daha önce betimlediğime benzer, her biri zamanın zıt oklarına sahip ikili evrenlerdir.³¹

Peki ya geçmiş? William Lane Craig, kozmolojide bir yaratılış için kanıt bulma çabasına, zamanın geleceğe olduğu gibi geçmişe

şı) (Hoboken, NJ: Wiley, 2010); Steven L. Manly, *Visions of the Multiverse (Çoklu Evren Görüşleri)* (Pompton Plains, NJ: New Page Books, 2011).

28 Alexander Vilenkin, “Birth of Inflationary Universes,” (Şişen Evrenlerin Doğuşu) *Physical Review D* 27, no. 12 (1983): 2848–55. Ayrıca bkz. *Many Worlds in One: The Search for Other Universes (Birçok Dünya Bir Arada: Öteki Evrenler Arayışı)* (New York: Hill and Wang, 2006).

29 Andrei D. Linde, “Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe,” (Sonsuza Dek Var Olan Kendi Kendini Yeniden Üreten Kaotik Şişen Evren) *Physics Letters B* 175, no. 4 (1986): 395–400.

30 Andrei Linde, “The Self-Reproducing Inflationary Universe,” (Kendi Kendini Yeniden Üreten Şişen Evren) *Scientific American* 271, no. 5 (1994): 48–55.

31 Aguirre ve Gratton, “Steady-State Eternal Inflation” (Kararlı Durum Sonsuz Şişmesi); Aguirre ve Gratton, “Inflation without a Beginning.” (Başlangıcı Olmayan Şişme)

de süresiz olarak uzandığını inkâr ederek devam etmişti. Nihayet evrenimizin var olan tek şey olmayabileceğini kabul ederek, şimdi şöyle demektedir; “Evrenimiz, birçok evrenden meydana gelen sözde ‘çoklu evren’in yalnızca ufacık bir parçası olsa bile, BGV teoremi, çoklu evrenin kendisinin mutlak bir başlangıca sahip olmasını gerektirir.”³²

Görmüş olduğumuz gibi, BGV teoremi, yalnızca şişmenin bir başlangıcı olmasını gerektirir. Çoklu evrenlerin başlangıçlarına dair hiçbir şey söylemez. Gerçekten de ikili evren senaryosunda, iki evren aynı başlangıca sahiptir ve zamanın zıt yönlerinde genişlerler. Sonsuz şişme resminde, yeni evrenler, zamanın zıt oklarına sahip bu genişlemede olan uzayların her birinde sürekli olarak oluşurlar.

Sanırım Craig, kanıt ya da sebep olmaksızın, bütünü, *Büyük Mesele* diyebileceğimiz şeyin Tanrı tarafından yaratıldığını iddia edebilir. Ancak teolojik çıkarımları tartışmayı, kitabın sonuna kadar erteleyelim ve önce, geri kalan bazı bilimsel konulara değinelim.

ENTROPİ PROBLEMİNİ ÇÖZMEK

From Eternity to Here’da (Sonsuzluktan Buraya), Sean Carroll, yaygın bir soruyu yöneltir: Evrenin entropisi başlangıçta neden çok düşüktü? Buna, *entropi problemi* adı verilir. Pekâlâ, aklıma ilk gelen cevap, başlangıçta düşüktü çünkü “başlama”yı, yani entropinin minimum olduğu zamanı bu şekilde tanımlarız, şeklindedir. Bununla birlikte, asıl soru, Carroll’ın açıkladığı gibi, böyle son derece olasılıksız bir durumun herhangi bir zamanda neden meydana geldiğidir. Eğer evren rastgele süreçlerin sonucuysa, o halde çok daha yüksek entropiyle başlamış olması gerekirdi. Bu, bir milyar zarı havaya atıp, hepsinin altı gelmesine benziyordu.

Elbette, eğer çoklu evren sınırsızsa, bu durumda muhtemel her kombinasyon, sınırsız kez ortaya çıkacaktır. Ancak bu, fazla kolay ve neredeyse Tanrı yaptı demek kadar, bilgilendirici olmayan bir cevap.

Tüm seçenekleri dikkatlice gözden geçirdikten sonra, Carroll sonsuz çoklu evrenin, entropi problemine makul bir çözüm sunduğunu gösterir. Kilit soruyu sorar: Eğer evren tamamen doğalsa, nasıl görünmesi gerekir? Cevabı: “Geçmişte, bugün ya da gele-

32 Craig, “Opening Speech.” (Açılış Konuşması)

cekte, herhangi bir noktada ince ayarlı düşük entropi sınır şartlarına dayalı olmamış doğal bir evren, temel olarak boş uzay gibi görünürdü.”³³

Şimdi, görmüş olduğumuz gibi, boş uzay, Friedmann denklemlerinin de Sitter çözümü tarafından betimlenmektedir ve sabit bir vakum enerji yoğunluğuna eşit ve üstel şişmeyle sonuçlanan pozitif bir kozmolojik sabite (Λ) sahip olabilir. Entropinin, Λ 'nın büyüklüğüyle ters orantılı olduğu gösterilebilir. Dolayısıyla o büyük olduğunda, entropi küçük olacaktır.

12. Bölümde, Linde tarafından ortaya konduğu gibi, de Sitter uzayındaki kuantum dalgalanmalarının, kızını salıncakta sallayan bir baba gibi, inflaton alanını potansiyel enerji açısından nasıl yukarı çekebildiğini betimlemiştim. Bu, kozmolojik bir sabit üretmeye eşdeğerdir. Bu durumda, böyle bir dalgalanmaya uğrayarak, genişleyen bir kabarcık haline gelen bir uzay bölgesini kafamızda canlandırabiliriz. Genellikle bu kabarcık büzülerek hiçliğe geri döner.

Ancak zaman zaman, dalgalanma ara sıra çok büyük olur. O zaman, sürtünme nedeniyle, bir kabarcık pek çok kat genişlemeye yetecek kadar uzun süre daha yüksek enerjide kalır. Ardından ayrı bir kabarcık evren haline gelmek üzere, ilk ardaan uzaydan çıkabilir.

Kabarcık evren büyük bir kozmolojik sabite sahip olduğundan, entropisi düşük olacaktır. Bu, entropi problemini çözer: Şişmekte olan bir kabarcık evrenin kuantum dalgalanmasından doğması için, düşük entropiye sahip olması gerekir. Bu, termodinamiğin ikinci yasasını ihlal etmez, çünkü kabarcık evren artı ardaan uzayını, kabarcık evreni üretirken ardaanın entropi kaybını (ya da daha fazlasını) kazandığı, toplam entropinin hâlâ yükseldiği, tek bir sistem olarak görebiliriz.

Altta yatan herhangi bir dinamik olmaksızın, yani tamamen rastgele kaotik şişmeyle, bunun hepsinin yapılabileceği dikkate alınmalıdır. Her şey simetrik olduğundan, özel yaratılmış fizik yasalarına ihtiyaç yoktur, sadece meta yasalar ve içtüzükler yeterlidir. Ne olduğunu betimlemek için kullandığımız modeller, mantıken, formülasyonları içerisinde, simetrilerin gerektirdiği o ilke-

33 Sean M. Carroll, *From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Theory of Time (Sonsuzluktan Buraya: Zamanın Nihai Teorisi Arayışı)* (New York: Dutton, 2010), sf. 355.

leri; meta yasaları içermeyi gerektirmektedir. Bu, tüm korunum yasalarını, özel ve genel göreliliği ve kuantum mekaniğini içerir. Bunlar, boşluğun simetrilerinden çıkar. Kendiliğinden kırılan simetriler, ardından, karmaşıklığın evrilmesi için gereken içtüzükleri sağlar.

BAŞKA EVRENLER KEŞFETMEK

Başka evrenlere karşı yaygın bir argüman, onları hiçbir şekilde gözlemleme yolumuzun olmadığıdır. Ancak, belki de gözlemleyebiliriz. Evrenimizin başlarında, bir başka evren, kütleçekimi CMB'nin izotropisini etkilemek için yeterince yakın olmuş olabilir. Ya da, kabarcıklar çarpışarak, her birinde bir bere bırakmış olabilir. CMB'de büyük ölçekli bir eşyönsüzlüğün tespiti, bizimkinin dışında bir evren için kanıt sağlayabilir. Planck uzay teleskobu, WMAP tarafından yapılan önceki gözlemlerde hissedilen bu nitelikteki açıklanamayan çeşitli anomalileri doğrulamıştır.³⁴³⁴

Bizimki dışında bir başka evrenin gözlenmesi tarihteki en büyük bilimsel keşif olduğundan, herhangi bir kozmoloğun, tüm diğer olasılıkları en yüksek güvenilirlik düzeyinde eleyene ve birçok kez bağımsız olarak doğrulanmış verileri görene kadar, böyle bir iddia ortaya atmasını beklemeyin. Planck'ın vakasında, araştırma ekibi, kanıtı, herhangi bir yayınlanmış iddiada bulunmak için yeterince önemli bulmamıştı.

Basitçe söylemek gerekirse, tek evren hipotezi, evrenin küresel olarak simetrik olmasını gerektirir. Bundan herhangi bir önemli sapma, evrenin dışında bir şey olduğunu kanıtlardı. Belli bir noktada, teorilerimiz, çoklu evren modelinde beklenen küresel simetriden kantitatif sapma tahmini yapabilir hale gelebilir. Bir noktada da gelecek deneylerden CMB verileri, bu tahmini test etmek için yeterince kesin hale gelebilir. Bu da, çoklu evren hipotezini çürütülebilir yapardı. Sırf bu ihtimal bile, çoklu evrenler düşüncesinin, meşru bilimsel söylemin bir parçası olarak kalmasına izin vermek için yeterli olacaktır.

34 Planck İşbirliği, P. A. R. Ade, ve ark., “Planck 2013 Results. XXIII. Isotropy and Statistics of the CMB,” (Planck 2013 Sonuçları. XXIII. CMB'nin İzotropisi ve İstatistikleri) arXiv preprint arXiv:1303.5083 (2013).

KUANTUM MEKANİĞİNİN ÇOKLU DÜNYALARI

Geleneksel olarak, modern kozmolojinin çoklu evreni, kuantum mekaniğinin *çoklu dünyalar yorumu*yla (MWI) bağlantısız olarak görülmüştür. Ancak son zamanlarda, bazı yazarlar bir bağlantı ortaya attılar. Bu bağlantının ne olabileceğine bir bakalım.

Hesaplamaları yapmakta kullanılan kuantum teorisini oluşturan *matematiksel modelle*, o teorinin bize gerçek dünyayla ilgili söyleyebileceklerinin *ontolojik yorumu* arasında yine net bir ayrım yapmak bizim için önemlidir. Birincisi, fiziktir. İkincisi, metafiziktir.

1930'lara gelindiğinde çoktan büyük ölçüde yürürlükte olan kuantum modeli, küçük mesafeler, düşük sıcaklıklar ve yüksek yoğunluklar gibi aşırı uçlardaki maddenin davranışını betimlemede muazzam başarılı olmuştur. Bununla birlikte, kuantum metodolojisinin, başka alanlarda hâlâ çok iyi çalışan klasik fiziğinkinden saptığı radikal tutum, her şeyin ne anlama geldiği üzerine bitmez tükenmez bir tartışma yaratmıştır.

Newton mekaniği ya da Einsteinci görelilik gibi klasik modellerin (bu bağlamda “klasik” görülmüştür) aksine, kuantum modeli, bir parçacığın sonraki bir zamanda nerede olacağını tahmin etmez, ancak daha çok, uzayın belirli bir hacminde bulunacağına dair ihtimali tahmin eder yalnızca. Birim hacim başına olasılığı, *dalga fonksiyonu* ya da daha genel olarak *durum vektörü* adı verilen matematiksel bir nesnenin genliğinin karesi verir (bkz. 6. Bölüm).

1920'lerde, Niels Bohr ile Werner Heisenberg, kuantum mekaniğinin *Kopenhag yorumu* olarak bilinen şeyi formüle etti. Yıllar boyunca sayısız değişime uğrayıp birçok farklı biçimde ortaya çıkmakla birlikte, uzun bir süre Kopenhag, sahip olduğumuz, kuantum mekaniğinin anlamının “geleneksel” felsefi görüşüne en yakın şeydi. Bir kısmına başka kimlikler verilmiş olan birçok varyasyonu nedeniyle, kapsamlı bir inceleme sunmaya çalışmayacağım, ancak onun yerine Kopenhag'la az çok aynı çizgiyi takip eden çoğu yoruma özgü birkaç temel fikre odaklanacağım.

Bu yorumların temel, altta yatan varsayımı, tekil fizik olaylarının, Newton mekaniğinde olduğu gibi, fizik yasalarıyla önceden

belirlenmediği, kendiliğinden meydana geldiğidir. Bununla beraber, benzer olaylar topluluklarının istatistiksel davranışı, önceden belirlenir, matematiksel modelin sağladığı da budur.

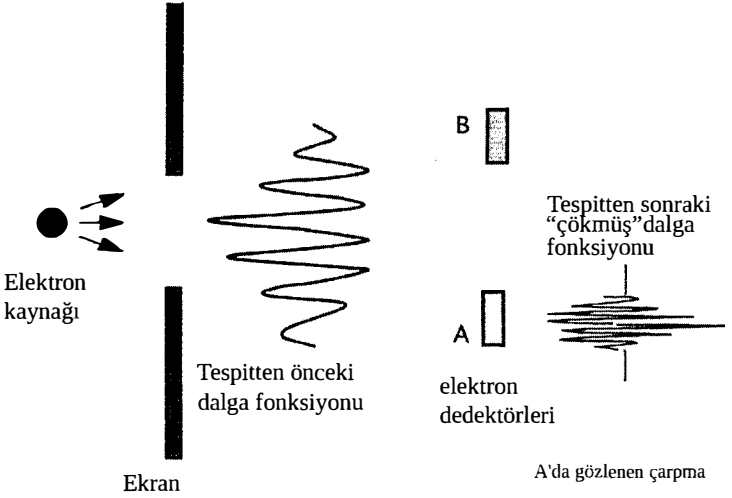
Örneğin, uyarılmış haldeki bir atom, daha düşük bir duruma düşüp, bir foton yayınladığında, bu spesifik olay önceden belirlenmez, ki bu, pratikte tahmin edilemez olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte, aynı geçişi yapan çok sayıdaki fotondan kaynaklanan bu belirli tayfsal çizginin yoğunluğu, tam olarak hesaplanabilir.

Benzer şekilde, mevcut hiçbir teori, belirli bir radyoaktif çekirdeğin belirli bir anda bozunacağını tahmin edemez, ancak bu tür bozunmaların belirli bir zaman aralığındaki tüm zamanlar için eşit olasılıklı olduğu hipotezi, mükemmel kesinliğe uydurulan üstel bozunum “yasa”sına yol açar. Aslında, bu ve atomik geçişler için elde edilen sonuç, bu süreçlerin önceden belirlenmediğine dair güçlü deneysel kanıt sağlamaktadır. Yani, bu olayları rastlantısal yapan bizim bilgisizliğimiz değildir. Onlar gerçekten rastlantısaldır.

Çoklu dünyalar tartışmamız için çok önemli; Kopenhag, ölçüm cihazlarına klasik sistemler gibi davranır, bu nedenle de, ölçme eylemi, teoriyle betimlenmeyen, ancak basitçe ölçme eylemi üzerinden meydana geldiği varsayılan kuantumdan klasiğe geçişi oluşturur. Bir parçacığın konumunun ölçümü yapılmadan önce, dalga fonksiyonu, parçacığın o zamanın öncesinde her nerede olduğunun bilinmesine dair olasılığı verir. Eğer hiçbir şey bilinmiyorsa, parçacık evrende herhangi bir yerde olabilir. Bir ölçümden sonra, parçacığın dedektörün hacmi içerisinde olduğu bilinir ve böylece dalga fonksiyonunun, yeni olasılığı göstermek için ani olarak “çöktüğü” söylenir. Bu, Şekil 15.3’te gösterilmiştir.

Einstein, tüm ani dalga fonksiyonu çökmesi fikrine karşı çıkarak, buna “uzaktan hayaletimsi etki” diyordu.³⁵ Çökmekte olan dalga fonksiyonu, ışık hızından daha hızlı, aslında sonsuz hızda yol almalıdır.

35 Albert Einstein, Max Born ve Hedwig Born, *The Born-Einstein Letters: Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955, with Commentaries by Max Born* (Born-Einstein Mektupları: Albert Einstein, Max ve Hedwig Born arasındaki 1916’dan 1955’e kadarki Yazışmalar, Max Born’un Yorumlarıyla) (Londra: Macmillan, 1971).



Şekil 15.3 Bir elektronun dalga fonksiyonunun çöküşünün gösterimi. Bir ekrandaki büyük bir delikten geçtikten sonra, dalga fonksiyonu, yaklaşık delik büyüklüğündeki bir uzay bölgesinde yayılır. Tespit edildikten sonra, çökerek dedektörün boyutuna gelir. Unutmayın ki, bu örnekte, elektron, A ya da B tarafından tespit edilme ihtimali öncesinde bir eşe sahipti. Görsel yazara aittir.

Newton mekaniğinde parçacık hareketinin önceden belirlenme şekline benzer biçimde, dalga fonksiyonu ya da durum vektörünün verdiği istatistiksel ihtimallerin teori içinde önceden belirlenmesi bakımından, kuantum mekaniğinin en yaygın yorumlarının, genellikle "deterministik" (belirlenimci) olduğu söylenir. Bununla birlikte, buradaki, tekil bir sistemin davranışı değil, istatistiksel olarak belirlenen özdeş sistemler topluluğunun toplu davranışdır. Kuantum mekaniğine "deterministik olmayan" (belirlenemezci) demeyi tercih ederim.

Şimdi bu görüşün bazı alternatiflerine bakalım. 1950'lerde, David Bohm, parçacık hareketinin önceden belirlendiği Louis de Broglie'nin çok daha önceki bir fikrine dayanan, kuantum mekaniğinin bir yorumunu getirdi. Bu hareket, de Broglie'nin "pilot dalgalar" adını verdiği saptanmamış alt kuantum kuvvetleri tarafından kontrol edilir.³⁶ İlkesel olarak belirlenimciyken, bu yoruma

36 David Bohm ve B. J. Hiley, *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory* (Bölünmemiş Evren: Kuantum Teorisinin

dayanan model, tekil parçacık hareketlerini tahmin etmez. Yine diğer tüm yorumlamalarla aynı istatistiksel tahminlere yol açar.³⁷

Princeton Üniversitesi'ndeki 1957 tarihli doktora tezinde, III. Hugh Everett, kuantum mekaniğinin mükemmel bir yeni matematiksel formülasyonunu ortaya koydu. Bu formülasyon, Kopenhag yorumunda var olan kuantum ile klasik alanlar arasındaki yapay ayrımı ortadan kaldırdı ve ayrıca dalga fonksiyonu çöküşünü yok etti.³⁸ Her ikisi de önemli gelişmelerdi. Everett'in biçimciliği, tüm kuantum sisteminde gözlemlenen nesneyle birlikte dedektörü de içeriyordu ve bir deneyin muhtemel tüm sonuçlarını bünyesinde barındırıyordu.

Everett'in matematiği kusursuz olsa da, başka yazarlar, modele, her ölçüm yapıldığında evrenin (gerçekten) iki ayrı, bağlantısız evrene ayrıldığına dair felsefi bir yorum getirmeye kalkıştılar.³⁹ Bu, kuantum mekaniğinin çoklu dünyalar yorumu (MWI) olarak tanındı.

Şekil 15.3'te gösterilen durumu düşünün. Elektronun, A ya da B' de tespit edilme ihtimali yarı yarıyadır. Dalga fonksiyonu çöküşünün yerine, Everett'in matematiksel biçimciliğinde, her iki ihtimalin de gerçekleşmesi yer almaktadır. Çoklu dünyalar *ontolojik* yorumunda, iki olay, ayrı evrenlerde ya da "dünyalar" da meydana gelir. Bir dünyada, elektron A'ya çarpar. Öteki dünyada, B'ye çarpar. Eğer A'ya çarpma ihtimali $\frac{3}{4}$ ve B'ye çarpma ihtimali $\frac{1}{4}$ ise, bu durumda üçünde A'ya, birinde ise B'ye çarpıldığı dört dünyamız vardır. Bu şekilde kuantum mekaniğinin istatistiksel yapısı açıklanmaktadır.

Ontolojik Bir Yorumu (Londra; New York: Routledge, 1993).

37 Bkz. Tartışmam; Victor J. Stenger, *The Unconscious Quantum: Metaphysics in Modern Physics and Cosmology* (Bilinçsiz Kuantum: Modern Fizik ve Kozmolojideki Metafizik) (Amherst, NY: Prometheus Books, 1995).

38 Hugh Everett III, "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics," (Kuantum Mekaniğinin 'Görelî Durum' Formülasyonu) *Reviews of Modern Physics* 29 (1957): 434–62.

39 Bryce S. DeWitt, Hugh Everett ve Neill Graham, *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics: A Fundamental Exposition* (Kuantum Mekaniğinin Çoklu Dünyalar Yorumu: Temel Bir Anlatım) (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1973); David Deutsch, *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes –and Its Implications* (Gerçekliğin Dokusu: Paralel Evrenler Bilimi ve Sonuçları) (New York: Allen Lane, 1997).

Gerçekten de, her gözlem yapıldığında, evren, deneyin her bir muhtemel sonucu için bir tane olmak üzere çoklu evrenlere ayrılıyor gibi düşünülür. Bununla birlikte, bir kez daha, kuantum mekaniğinin tüm diğer yorumlarıyla aynı deneysel, istatistiksel sonuçları tahmin eden bir ontolojik reçeteye sahibiz.

1940'larda hâlâ Princeton'da yüksek lisans öğrencisiyken, Richard Feynman, o sıralarda standart hale gelmiş modellerden oldukça farklı olan, *geçmişlerin toplamı* adı verilen kuantum mekaniğinin matematiksel bir formülasyonunu tasarlamıştı. (Fizik yüksek lisans öğrencilerinin, daha deneyimli ve çok daha yüksek maaşlı hocalarının çözemediği problemleri çözebilmesi harika değil mi?) Feynman'ın modelinde, bir dalga fonksiyonu ya da durum vektörü bulunmaz bile, bununla birlikte, türetilir.

Geleneksel klasik yöntemde, bir parçacığın izlediği yol, bir hareket denklemi ya da eşit bir biçimde, en küçük eylem gibi bir ilke uygulanarak hesaplanabilir. Feynman'ın kuantum resminde, parçacığın, bir kaynakla dedektör arasındaki muhtemel tüm yolları katettiği varsayılır. Ardından, gözleme yol açmış olabilecek tüm muhtemel geçmişlerden, belirli bir gözlem ihtimali oluşturulur. Parçacık fizikçileri arasında çok faydalı ve popüler olsa da geçmişlerin toplamı yine aynı deneysel sonuçları doğurdu.

Feynman, hiçbir zaman modeline bir ontolojik yorum getirmeye kalkışmadı. *Timeless Reality*'de (Zamansız Gerçeklik), bu düşüncenin, zamanın tersine çevrilmesi kullanılarak, nasıl somutlaştırılabileceğini gösterdim.⁴⁰ Everett'in Feynman'ı referans göstermemesine ve matematikleri farklı olmasına rağmen, Feynman'ın modeli aynı fikre, yani formülasyon içerisinde meydana gelebilecek her şeyi bünyesinde barındırmaya dayanmaktaydı. Ancak lütfen unutmayın: Sırf meydana gelebilecek her şeyin meydana geldiği deneysel olarak başarılı modellere sahibiz diye, bundan, her şeyin deneysel gerçeklikte meydana geleceği sonucu çıkmaz.

Feynman'ınki gibi, çoklu dünyalar kadar abartılı olmayan Feynman üzerine varyasyonlar dahil olmak üzere, kuantum mekaniğinin başka yorumları mevcuttur. Farklı yorumlarla olan problem,

40 Victor J. Stenger, *Timeless Reality: Symmetry, Simplicity, and Multiple Universes (Zamansız Gerçeklik: Simetri, Sadelik ve Çoklu Evrenler)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2000).

başta çoklu dünyalar olmak üzere, bazılarının metafiziğin çok yakınından geçmeleridir. Hepsi verilerle tutarlıdır (olmayanlar çabucak terk edilir), ancak hiçbirisi özgün bir yorumda bulunmaz. Dolayısıyla birine karar vermek için, bilimsel yöntemin birincil ilkesini, deneysel test etmeyi kullanmamızın hiçbir yolu yoktur. Kuantum teorisi adını verdiğimiz hesaplama metodolojisi tüm gözlemlerle uyuşmayı sürdürdüğünden, deneyselci arkadaşlarımla birçoğu tüm tartışmadan etkilenmeyip, “yeni bir şey var mı?” diye sormakta.

Son zamanlardaki yazarlar, çoklu dünyalar yorumu için kozmolojide muhtemel bir rol görmüştür. Daha önce bu bölümdeki ikili evren tartışmamı hatırlayın. Evrenin dalga fonksiyonu adı verilen şeyin spesifik özelliklere sahip bir evreni bulma olasılığını verdiğini ifade ettim. Kuantum mekaniğinin çoklu dünyalar yorumunu uygulayan evrenin dalga fonksiyonu, bir paralel evrenler topluluğunu temsil eder. Tanınmış sicim teorisyeni Leonard Susskind ve başkaları, bu evrenler topluluğunun, Susskind’in *mega evren* adını verdiği kozmolojik çoklu evrenin birçok evreniyle bağdaştırılabileceğini ileri sürmüşlerdir.⁴¹

ZAMANSIZ GERÇEKLİK

Evrenin dalga fonksiyonunu veren Wheeler-DeWitt denkleminin bulmacalarından biri, zaman değişkeninden yoksunludur. Daha önce bu kısımda ikili evren konusunda betimlenmiş olduğu gibi, en basit biçiminde Wheeler-DeWitt denklemi, Planck kütle-sinin yarısına ve sıfır toplam enerjiye eşit ve yalnızca kozmolojik ölçek faktörü olan tek bir boyuta sahip görelî olmayan kütleli bir parçacık için, matematiksel olarak kuantum mekaniksel zamandan bağımsız Shrödinger denklemine dönüşür. Bu denklemi çözmek, kuantum mekaniğinin belki de en tanıdık uygulaması olan

41 Leonard Susskind, *Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (Kozmik Manzara: Sicim Teorisi ve Akıllı Tasarım Yanılsaması) (New York: Little, Brown, 2005), sf. 316–24; Raphael Bousso ve Leonard Susskind, “Multiverse Interpretation of Quantum Mechanics,” (Kuantum Mekaniğinin Çoklu Evren Yorumu) *Physical Review D* 85, no. 4 (2012): 045007; Anthony Aguirre ve Max Tegmark, “Born in an Infinite Universe: A Cosmological Interpretation of Quantum Mechanics,” (Sonsuz bir Evrende Doğmak: Kuantum Mekaniğinin Kozmolojik Bir Yorumu) *Physical Review D* 84, no. 10 (2011): 105002.

hidrojen atomunun sabit durumlarını Schrödinger denkleminde hesaplamaya benzerdir. Bu, kararlı atomun enerji seviyelerini verir. Benzer şekilde, evrenin dalga fonksiyonu, sıfır toplam enerjiye sahip olan evrenin sabit durumunu betimler.

Şu halde, zaman nerede resme girer? İnsani kavramların o en temelini; zamanın geçişini içermeyen bir evren modeline nasıl sahip olabiliriz?

1983'te, fizikçiler Don Page ile William Wootters, evren gibi kapalı bir sistemin sabit bir durumda olması gerektiğini, bu nedenle de zamanın, dünyanın betimlemesinde gerekli bir unsur olmadığını yazdılar. “Bir sistemin gözlenen dinamik evriminin, sabit gözlemlenebilirler üzerinden tamamen betimlenebileceğini” göstermektedirler.⁴²

1984'te yayınlanan ikinci bir makalede, Wootters daha fazlasını açıkladı:

Bir sistemin zaman bağımlılığına dair normal olarak yapacağımız her türlü önerme, gözlemsel içeriğin kaybı olmadan, “eğer saat ... durumunda bulunursa, bu durumda sistemi ... durumunda bulma olasılığı ...dır” şeklinde tasarlanabilir.⁴³

Yakın zamanda, hem fizik hem de felsefi açılardan, zamanı bir “beliren olgu” olarak betimleyen bir makaleler silsilesi ortaya çıktı.⁴⁴ Bu makalelerin hepsi son derece tekniktir, ancak ben basitleştirilmiş bir temel fikir sunabileceğimi zannediyorum.

2000 tarihli kitabım *Timeless Reality*'de (Zamansız Gerçeklik)⁴⁵, uzayda belirli bir yerdeki bir parçacığın kuantum

42 Don N. Page ve William K. Wootters, “Evolution without Evolution: Dynamics Described by Stationary Observables,” (Evrimsiz Evrim: Sabit Gözlemlenebilirler tarafından Betimlenen Dinamikler) *Physical Review D* 27, no. 12 (1983): 2885.

43 William K. Wootters, “‘Time’ Replaced by Quantum Correlations,” (Kuantum Korelasyonlarıyla Yer Değiştiren ‘Zaman’) *International Journal of Theoretical Physics* 23, no. 8 (1984): 701–11.

44 Pierre Martinetti, “Emergence of Time in Quantum Gravity: Is Time Necessarily Flowing?” (Kuantum Kütleçekiminde Zamanın Belirmesi: Zaman Kaçınılmaz Bir Şekilde Akıyor mu?) <http://arxiv.org/pdf/1203.4995> (2012); J. Butterfield ve C. J. Isham, “On the Emergence of Time in Quantum Gravity,” (Kuantum Kütleçekiminde Zamanın Belirmesi Üzerine) *The Arguments of Time*, editör: J. Butterfield (Oxford: Oxford University Press, 1999), sf. 111–68.

45 Stenger, *Timeless Reality (Zamansız Gerçeklik)*.

durumunun, aslında nasıl, her biri zamanda zıt yönlerde giden iki durumun doğrusal bir üstdüşümü olduğunu gösterdim. Sonuç, parçacığın durumunun “zamansız” olduğudur. Söz konusu parçacığın bir ölçümü, iki durum arasındaki tutarlılığı kırar ve zaman “belirir”, gerçi ben bu tabiri kullanmadım. Sürecin zaman-simetrik olduğunu, dolayısıyla ikili evrenin doğal bir sonuç olduğunu unutmayın.

Ayrıca 6. Bölümde açıkladığım gibi, uzay ve zamanın yakından ilişkili olduğunu da göz önünde bulundurun. Aslında, her ikisi de, işlevsel olarak, bir saatin üzerinde okunan üzerinden tanımlanır. O halde, eğer zaman belirence, uzay da öyledir. Wootters bunu fark edip, uygulanabilir bir kuantum kütleçekim teorisinin, zamansızlık ve uzaysızlık fikri üzerine inşa edilebileceğini öne sürdü.⁴⁶ Bu olasılık, çok daha önce başkaları tarafından ileri sürülmüştü, ancak fikir henüz olumlu bir sonuca ulaşmadı.

Bunların hiçbiri, bir insan gözlemcinin aklının, zaman ve uzayı, bir öz gerçeklik olarak yarattığına dair mistik yorumu getirmemelidir. Uzay ve zaman, bir saatin mekanizmasında kayıtlı olan niceliklere verdiğimiz isimlerdir ve bir saat olmadan hiçbir anlamları yoktur. Hiçbir insanın ya da başka duyarlı varlığın, fiili ölçümle uğraşması gerekmez.

Bir kez daha, fiziksel modellerdeki niceliklere metafiziksel anlam vermeye çalışmanın anlamsızlığına tanık oluyoruz. Eğer beliren zaman (ve beliren kütleçekim) üzerine olan bütün bu makaleleri okuyamazsanız, endişe etmeyin. İşlevsel olarak tanımlanan zaman dediğimiz niceliği, zamansız Wheeler-DeWitt denklemince betimlenen kapsayıcı bir çoklu evren modelinin içerisine mantıklıca inşa etmenin yollarını arayan model yapıcılarının bir başka örneğidir bu yalnızca.

ÇOKLU DÜNYALAR GERÇEK Mİ? GERÇEK OLAN NEDİR?

Kozmolog Max Tegmark, hem kozmolojinin hem de kuantum mekaniğinin çoklu evrenlerinin, temelde matematiksel olan nihai bir gerçekliğin parçası olduğuna dair güçlü bir iddiada

46 Wootters, “‘Time’ Replaced by Quantum Correlations.” (Kuantum Korelasyonlarıyla Yer Değiştiren ‘Zaman’)

bulunarak, *Matematiksel Evren Hipotezi* (MUH) adını verdiği şeyi ortaya koymuştur: “Harici fiziksel gerçekliğimiz, matematiksel bir yapıdır.”⁴⁷

Tegmark, matematiksel yapıyı “aralarında ilişkiler olan soyut varlıklar” olarak tanımlar. MUH’in, harici gerçekliğin; biz insanlardan bağımsız, “hiç yük” içermeyen bir gerçekliğin bir betimlemesini sağladığını ileri sürer. Bununla şunu demek istemektedir; “Harici gerçeklikteki varlıklara ve aralarındaki ilişkilere dair betimlemelerimiz, tamamıyla soyuttur, hiçbir peşin hükümlü anlama sahip olmayan, onları salt etiket olarak ifade etmek için kullanılan kelime ya da başka sembollerden vazgeçmektir.”⁴⁸

Bu düzene “gerçeklik” adını vermesi dışında, Tegmark’a katılmadan edemiyorum. Bir gözlemci ve deneyci olarak farklı deneyimlerime dayanarak, Tegmark gibi teorisyenlerin denklemlerinin, gözlerimiz ve aygıtlarımızla kaydettiklerimizin, tıpkı Waikiki plajından çekilen bir günbatımı fotoğrafı gibi güzel ve faydalı betimlemelerinden daha fazlası olduklarını düşünmüyorum. Tüm muhteşem güzelliğine karşın, fotoğraf, en fazla yalnızca gerçekliği yansıtan, ham bir insan yapısı olarak kalır. Tegmark’ın resminin şu yorumla tutarlı olduğuna inanıyorum; teorik fiziğin nesnelerini, gözlemler arasındaki matematiksel ilişkiler olarak betimleme. O, onlara “gerçeklik” adını veriyor. Bense, “gözlemler arasındaki matematiksel ilişkiler” diyorum.

Bu görüşte pek de yalnız değilim. 2010’da yayınlanan çok satan kitapları *The Grand Design*’da (Büyük Tasarım), Stephen Hawking ile Leonard Mlodinow şöyle der; “Resim ya da –teoriden– bağımsız hiçbir gerçeklik kavramı yoktur.” Bunun yerine, “fiziksel teori ya da dünya-resminin, (genellikle matematiksel yapıda) bir model ve modelin unsurlarını gözlemlere bağlayan bir kurallar grubu olduğu fikri olan” *modele bağlı gerçekçilik* adını verdikleri bir felsefi doktrini desteklerler.⁴⁹ Şunu da ilave ederler;

47 Max Tegmark, *Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality* (Matematiksel Evrenimiz: Gerçekliğin Nihai Doğasını Arayışım) (New York: Alfred A. Knopf, 2014).

48 Tegmark, “Mathematical Universe.” (Matematiksel Evren)

49 Stephen Hawking ve Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (Büyük Tasarım) (New York: Bantam Books, 2010), sf. 42–43.

“Bir modelin gerçek olup olmadığını sormak anlamsızdır, yalnızca gözlemlerle uyuşup uyuşmadığı önemlidir.”⁵⁰

Modele bağlı gerçekliğin, bu ve önceki kitaplarda desteklediğim görüş olan *enstrümantalizmden* (araççılık) nasıl farklı olduğundan emin değilim. Her iki durumda da, yalnızca gözlemlerle ilgileniriz ve onların bir nihai gerçekliğin sonucu olduğunu inkâr etmemekle birlikte, o gözlemleri betimleyen modellerin tam olarak o gerçekliğe karşılık geldiği konusunda ısrar etmeyiz.

William Lane Craig, modele bağlı gerçekliğin, birçok farklı, bağımsız olarak geçerli gerçeklikler bulunduğu düşüncesi olan *ontolojik çoğulculuğa* eşdeğer olduğunu düşünüyor gibi görünüyor.⁵¹ Bu ontolojik doktrinin, pek çok teorik ve deneysel fizikçinin yaptığı gibi, başarılı teorilerimizi fazla ciddiye almaktan ve “hakiki gerçeklik” olduklarını varsaymaktan nasıl kaynaklanabileceğini görebiliyorum. Ancak bu, akılcı değildir. Birincisi, teoriler daima daha iyileriyle değiştirilmektedir. İkincisi, sıklıkla, kuantum mekaniği konusunda olduğu gibi, birden çok yoruma sahibiz. Bu durumların her ikisinde de, farklı teoriler ve yorumlar sıklıkla mantıken tutarsızdır, buna rağmen hepsi aynı verilere uyur. Eğer biri gerçekse, hepsi gerçektir.

Bununla birlikte, yukarıdaki alıntının fazlasıyla netleştirdiği gibi, Hawking ile Mlodinow’un söylediklerinin bu olduğunu hiç sanmıyorum. Yine de, terim seçimleri, doktrinlerine modele bağlı *gerçekçilik* adını vermeleri, konumlarını netleştirmek yerine karmaşık hale getirmeye yarıyor.

Çoklu dünyalar ile çoklu evren arasındaki bağlantıya geri dönersek, oyunun bu aşamasında, bu tartışmadan bir deneysel sonuç çıkarılabilene kadar, ikisinin arasındaki ilişkinin önemi, bir felsefi bakış açısı meselesi haline gelmektedir. Everett’in kuantum mekaniğindeki çoklu dünyalar “gerçek” mi? Kuantum dalga fonksiyonu “gerçek” mi? Benim deneyci bakış açımdan, çöken dalga fonksiyonunun “hayaletimsi” olmasından hiç de rahatsız

50 Ibid., sf. 46.

51 William Lane Craig, “Hawking and Mlodinow: Philosophical Undertakers,” (Hawking ve Mlodinow: Felsefi Üstleniciler) 2013, <http://www.reasonablefaith.org/hawking-and-mlodinow-philosophical-undertakers> (7 Ekim 2013’te erişim yapıldı).

değilim. Çizgi film karakteri Casper da hayaletimsiydi ama daha fazla ya da daha az insan yaratımı değil. Everett'in modelindeki bütün dünyalar, aynı biçimde insan yaratımlarıdır; gözlemleri başarıyla betimleyen ancak hepsinin dışarıda her ne nihai gerçeklik varsa orada var olduğunu varsaymak için hiçbir dayanak sağlamayan bir modelin parçasıdır. Benzer şekilde, Tegmark'ın matematiksel gerçekliği ve Hawking ile Mlodinow'un modele bağlı gerçekliği, gözlemsel doğrulamamızın ötesinde yatması mümkün olan herhangi bir nihai gerçeklikle karıştırılmamalıdır.

MORMON ÇOKLU EVRENİ

1950'lerde Papa XII. Pius'a kadar dayanan ve bugün William Lane'in temsil ettiği Hristiyan teologların, geleneksel Yahudi-Hristiyan-Müslüman geleneğiyle uyumlu, sınırlı bir zaman önce sınırlı bir evrenin yaratılışına kanıt olarak, büyük patlamaya sıkıca tutunduklarını görmüştük. Çoklu evren resme dahil edildiğinde dahi, Craig, onun da *ex nihilo* (yoktan) yaratılmış olması gerektiğini ileri sürer. Ancak, bu bölümde gördüğümüz gibi, çoklu evrenin artık sonsuz olduğu düşünülmektedir.

Hiç kuşkusuz Hristiyanlık savunucularının güzel sanatı, Platon ve Aristoteles'in öğretilerinde yaptıkları gibi, Hristiyanlık teolojisini, bilim her neyle ortaya çıkarsa onunla uzlaştırmanın yollarını daima bulacaktır: Hoşuna gideni istediğin gibi seçip, hoşuna gitmeyeniyi yoksay. Öteki dinler de aynı şekilde yapabilmektedir.

Ancak, Mormon bilginlerinin, çoklu evrenin sadece kendi özel kozmolojilerine uygun olduğunu değil, aynı zamanda o kozmolojiye has olduğunu ve Mormon kozmolojisinin tekli-evren büyük patlama teorisiyle yaşadığı zorlukların bir kısmının çözülmesinde yararlı olduğunu söylemelerini büyüleyici buluyorum.⁵²

Mormon bilgin Hyrum Andrus'a⁵³ göre, "Smith'in doğaya ve kozmosun düzenine dair Vahiy Kitabı, uzayda, aşamalı erişimin

52 Kirk D. Hagen, "Eternal Progression in a Multiverse: An Explorative Mormon Cosmology," (Çoklu Bir Evrende Sonsuz İlerleme: Araştırma Amaçlı Mormon Kozmolojisi) *Dialogue: A Journal of Mormon Thought* 39, no. 2 (2006): 1-45.

53 Hyrum Leslie Andrus, *God, Man, and the Universe (Tanrı, İnsan ve Evren)* (Salt Lake City, UT: Bookcraft, 1968), sf. 144.

çeşitli derecelerindeki organize varlıkların yaşadığı sayısız dünyalar bulunduğuna işaret eder.”⁵⁴

Ayrıca, evren sonsuzdur. Andrus şunu ekler:

Joseph Smith’in, maddenin yoktan yaratıldığına dair zamanının hâkim olan kavram yanılığında hiçbir payı olmamıştır. Bunun yerine, madde ve zekânın sonsuz olduğunu ve Tanrı’nın, kendi kendine var olan madde ve şeylerin büyük Düzenleyicisi olarak, zamanda ve uzayda olduğunu beyan etmiştir. Peygamber, “Maddenin Sonsuz Süresi” ile ilgili olarak kardeşlere yol gösterip, “elementlerin sonsuz olduğunu”, “toprak, su, vs.nin sonsuzluktan temel bir durumda varlıklarına sahip olduğunu” ve “büyük evrenin hiçbir kısmı ya da parçacığının yok edilemeyeceğini ya da tahrip edilemeyeceğini” ifade etmiştir.

Her şekilde, tıpkı Tevrat, Eski Ahit ve Kur’an’daki kozmolojilerin modern kozmolojiyle en ufak benzerlik taşımaması gibi, hiçbir *Mormon Kitabı* gibi Tanrı’dan Joseph Smith’e gelen bir vahiy gibi görülen *İbrahim’in Mormon Kitabı*’nda bulunanlarla da taşımaz. Bu, daha sonra Mormon bilginlerinin evrenin merkezi olarak yorumladıkları, Tanrı’nın tahtında ya da yakınındaki Kolob adında bir yıldız ya da gezegeni betimler.⁵⁵ Elbette, Kolob için deneysel bir kanıt bulunmadığını söylemeye gerek yok.

FELSEFE ve EDEBİYATTA ÇOKLU EVREN

Çoklu evrenler ve alternatif dünyalar fikri, uzun yıllardır, kurgusal felsefe ve bilimin gözde bir konusu olmuştur.⁵⁶ *Star Trek*’in (Uzay Yolu) 1960’lardaki “Ayna, Ayna” adlı bölümünde, Kaptan Kirk öteki kendisiyle karşılaşır. Philip K. Dick’in 1963 tarihli romanı *The Man in the High Castle*’da (Yüksek Kaledeki Adam), Amerika bir Nazi kukla devletidir.⁵⁷ Philip Roth’un 2004 tarihli

54 Ibid., sf. 146.

55 B. H. Roberts, *New Witness for God (Tanrı İçin Yeni Şahit)* (Salt Lake City, UT: George Q. Canon & Sons, 1898), sf. 448.

56 Andrew Crumey, “Parallel Worlds,” (Paralel Dünyalar) 2013, http://www.aeonmagazine.com/world-views/can-the-multiverse-explain-the-course-of-history/?utm_source=Aeon+newsletter&utm_campaign=9265966a75-Weekly_9_July_20137_26_2013&utm_medium=email&utm_term=0_411a82e59d-9265966a75-68603881 (6 Eylül 2013’te erişim yapıldı).

57 Philip K. Dick, *The Man in the High Castle, a Novel (Yüksek Kaledeki Adam, Bir Roman)* (New York: Putnam, 1962).

romanı *The Plot against America*'da (Amerika'ya Karşı Komplo), Nazi sempatizanı Charles Lindbergh 1940'da Franklin Roosevelt'i başkanlık seçiminde yenilgiye uğratar. ⁵⁸ Robert Cowley, seçkin tarihçilerin denemelerinden oluşan *What If?* (Farzedelim?) başlıklı bir derlemeyi hazırlamıştır. Bu denemelerde, bazı belli başlı olaylar farklı sonuçlanmış olsaydı, tarihin seyrinin nasıl olacağı tasavvur edilmiştir. ⁵⁹

1. Bölümde gördüğümüz gibi, çoklu dünyalar, antik atomcuların kozmolojisinde yer almaktaydı. *Academica*'da (Akademik), atomcu olmayan Romalı tarihçi Livy (M.Ö.59-M.S.17) şöyle yazmıştır:

Sayırsız dünyaların var olduğuna inanır mıydınız... ve şu an Bauli'ye yakın ve Puteoli'ye doğru bakarken, bizim adlarımıza, övünçlerimize, başarılarımıza, akıllarımıza, biçimlerimize, yaşlarımıza sahip, aynı konuyu tartışan, tamamen aynı noktalarda sayırsız insanlar bulunduğuna?⁶⁰

3. Bölümde, büyük filozof Leibniz'in birçok alternatif dünyanın mümkün olduğunu kabul ettiğini görmüştük. Dünyadaki tüm kötülük ve acının karşısında hayırsever bir ilahın varlığını, bunun yine de "tüm muhtemel dünyaların en iyisi" olduğunu öne sürerek gerekçelendirdi. En tepede tek gerçek dünya, bizimki olan, her bir muhtemel dünya için bir odaya sahip sonsuz bir piramit betimledi.

Candide'de Voltaire, Portekiz, İspanya ve Fas'ta yaklaşık 40.000-50.000 insanın ölümüne neden olan 1755 Lizbon depremi ve tsunami de dahil olmak üzere, insan hayatının kötülükleri ve acılarının birçoğunu deneyimleyen baş karakterinin maceraları aracılığıyla, Leibniz'in iyimserliğini hicvetmiştir. Leibniz, hikâyede, Portekiz Engizisyonu'nca asılmadan önce kendisi birçok talihsizlik yaşamasına rağmen, Tanrı'yı sakinleştirmek için iyim-

58 Philip Roth, *The Plot against America* (Amerika'ya Karşı Komplo) (Boston: Houghton Mifflin, 2004).

59 Robert Cowley, editör, *The Collected What If?* (Derleme Farzedelim?) (New York: Putnam, 1998).

60 Crumey, "Parallel Worlds," 'de (Paralel Dünyalar) alıntılandığı gibi, [http://www.aeonmagazine.com/world-views/can-the-multiverse-explain-in-the-course-of-history/?utm_source=Aeon+newsletter&utm_campaign=9265966a75-Weekly_9_July_20137_26_2013&utm_medium=email&utm_term=0_411a82e59d-9265966a75-68603881\(6](http://www.aeonmagazine.com/world-views/can-the-multiverse-explain-in-the-course-of-history/?utm_source=Aeon+newsletter&utm_campaign=9265966a75-Weekly_9_July_20137_26_2013&utm_medium=email&utm_term=0_411a82e59d-9265966a75-68603881(6) Eylül 2013'te erişim yapıldı).

ser görüşünü savunmaya devam eden, “Roma İmparatorluğu’ndaki en büyük filozof” Dr. Pangloss olarak temsil edilmektedir.⁶¹⁶¹

Son olarak, önceki kısımlarda söz edilen ve bu kitabın ilk bölümlerinde betimlenen çeşitli tarihi şahsiyetler tarafından bahsedilen “çoklu dünyalar”, bilimsel çoklu evrenin çoklu evrenlerini önceden haber veriyormuş gibi fazla ciddiye alınmamalıdır. Bu kişiler, muhtemelen, öteki evrenlerden ziyade, Yeryüzü benzeri öteki dünyalar anlamında düşünüyorlardı.

Son bölümde, çoklu gezegenlerin ve evrenlerin teolojik çıkarımlarını inceleyeceğiz.

61 Bir felsefecinin bakış açısından çoklu evrenin felsefesinin ve tarihinin bir tartışması için, bkz. Mary-Jane. Rubenstein, *Worlds without End: The Many Lives of the Multiverse (Sonu olmayan Dünyalar: Çoklu Evrenin Çok Sayıdaki Hayatı)* (New York: Columbia University Press, 2014).

XVI - YAŞAM ve TANRI

GEZEĞENLER ve YAŞAM

Şimdi anladığımız biçimde kozmosun teolojik çıkarımlarını düşündüğümüzde, büyük bir rol oynayacak olan, evren bilgimizdeki yakın zamandaki bir başka devasa atılım, evrenin gezegenlerle dolup taşıdığına dair giderek artan kanıtlar olmuştur. Ayrıca, kimyasal süreçlere dayalı bazı yaşam formlarını sürdürebilir muazzam bir sayının var olduğu muhtemeldir. Buna, kimyasal olmayabilen başka yaşam formlarının ihtimali dahil bile değildir.

Gezegenlerin bol olmadığını düşündürecek herhangi bir teorik sebep hiçbir zaman olmadı. Ancak fiili kanıt bulmak, yörüngeleğinde döndükleri yıldızların parlaklığı yüzünden göz korkutucu bir iş olmuştur. Buna rağmen, modern teknoloji bir kez daha zorluklarla başa çıkmıştır.

Biri, Fomalhaut b hariç hepsi Jupiter'den çok daha büyük olan, yalnızca bir düzine civarında gezegen, doğrudan görüntülemeyle tespit edilmiştir. Bununla birlikte, öteki binlercesi, gezegenin hareketinin, ana yıldızından görünen ışıktaki gözlenebilir değişikliklere sebep olduğu dolaylı yollarla keşfedilmiştir. 6 Kasım 2013 itibarıyla, 1.039 onaylanmış gezegen, *The Extrasolar Planets Encyclopedia*'da (Güneş Sistemi Dışındaki Gezegenler Ansiklopedisi) listelendi.¹

Kepler Uzay Gözlemevi, Yeryüzü büyüklüğündeki gezegenleri araştırma özel amacıyla 7 Mart 2009'da fırlatıldı. Kasım 2013 itibarıyla, Kepler, onay bekleyen bir başka 3.568 adayla birlikte, 167 gezegenin tespitini doğrulamıştı.² 11 Mayıs 2013'te, uzay

1 Exoplanet Team (Güneş Sistemi Dışındaki Gezegen Ekibi), *The Extrasolar Planets Encyclopedia*, 2013 (Güneş Sistemi Dışındaki Gezegenler Ansiklopedisi, 2013), <http://exoplanet.eu> (6 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

2 NASA Ames Araştırma Merkezi, "Kepler Discoveries," (Kepler Keşifleri)

aracını yönlendirmekte kullanılan tepki tekerlerinin arızalanması nedeniyle ana göreve son verildi. Bununla birlikte, sistemin geri kalanı sağlam olduğundan, Kepler şimdi yeni bir modda faaliyet göstermekte.

4 Kasım 2013'te, California ve Hawaii Üniversitelerinden astronomlar, Kepler görevinden kırk iki bin yıldızın ölçülmüş parlaklıklarının analizi hakkında rapor hazırladılar. Yeryüzüyle benzer seviyelerde yıldız enerjisi alan, onu Yeryüzü büyüklüğünde, yani Yeryüzü yarıçapının 1-2 katındaki çaplara sahip 603 gezegen buldular. Yani, gezegenler, sıvı yüzey suyunun var olabileceği yaşama elverişli bir bölgedeki yörüngede dönmekteydiler.³

Yazarlar, güneş benzeri yıldızların %22'sinin, yaşama elverişli bölgelerindeki yörüngelerde dönen Yeryüzü büyüklüğünde gezegenleri barındırdığı sonucuna vardılar. Ayrıca, en yakın böyle bir gezegenin on iki ışık yılı kadar yakında olabileceği şeklinde tahmin yürüttüler.

SETI (Dünyadışı Zekâ Arayışı) Enstitüsü'nün baş astronomu Seth Shostak, verileri daha da işlemiştir.⁴ Güneş benzeri yıldızlar, Samanyolu'ndaki yaklaşık iki yüz milyar yıldızın %20 kadarını oluşturduğundan, bu, galaksimizdeki dokuz milyar gezegenin yaşamı destekleyebileceğini gösterir. Üstelik, Shostak, tüm kıvılcık yıldızların %16'sının, yaşama elverişli bölgedeki gezegenleri desteklediğini gösteren Kepler verilerinin bir başka analizine atıfta bulunmaktadır, böylelikle yirmi dört milyar adayı daha ekleyerek, kendi galaksimiz içerisinde toplam belki de otuz üç milyar yaşanabilir dünyayı verir.

Görünür kozmosta 150 milyar kadar başka galaksi bulunduğundan, bu sayı, bizim ufkumuz içerisinde, bir tür yaşamı destekleyebilir 5.000.000.000.000.000.000.000 (beş sekstilyon) gezege-

2013, <http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/> (6 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

3 Erik A. Petigura, Andrew W. Howard ve Geoffrey W. Marcy, "Prevalence of Earth-Size Planets Orbiting Sun-like Stars," (Güneş Benzeri Yıldızların Yörüngesinde Dönen Yeryüzü Büyüklüğündeki Gezegenlerin Yaygınlığı) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, no. 48 (2013): 19175–76.

4 Seth Shostak, "The Numbers Are Astronomical," (Rakamlar Astronomik) 2013, http://www.huffingtonpost.com/seth-shostak/the-numbers-are-astronomi_b_4214484.html (6 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

ne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu rakam, katbekat yanlış olabilir, yani sadece şunu hatırlayın; çok ama çok büyük.

Bunlar, Yeryüzünden kırk altı milyar ışık yılı uzaklık içerisindeki gezegenler sadece, ki bu ufkun ötesinde evrenin 13,8 milyar yıllık yaşı içerisinde ışık bize ulaşamaz. Eğer şişme doğruysa, bu sınırın ötesinde, Alan Guth'un, ufkumuz içerisindeki-lerin *en az* 10^{23} katı galaksiyi içerdiğini tahmin ettiği çok daha uçsuz bucaksız bir uzay bölgesi mevcuttur.⁵ Muhtemelen çok daha büyüktür.

Bu, salt tahmin değil. Deneyisel olarak köklü kozmolojiye dayanmaktadır. Ayrıca, burada başka evrenlerden değil, sadece, tek bir büyük patlamanın sonucu olan bizim evrenimizden bahsettiğimi unutmayın.

Daha spekülatif olan, Yeryüzü dışında herhangi bir yerdeki yaşam olasılığı tahminleridir. Yaşamın nasıl başladığına dair kanıtlanmış bir teorimiz olmadıkça, bunun yalnızca mucizevi bir yaratılışın sonucu olmuş olabileceğini savunacaklar olacaktır. Bu bölümde daha sonra göreceğimiz gibi, öteki gezegenlerdeki yaşam, özellikle de akıllı yaşam, evrene dair bütün bildikleri, Yeryüzünün tek başına, var olan her şeyin merkezinde oturması olan insanlar tarafından formüle edilmiş geleneksel teolojiler için büyük zorluklar arz etmektedir.

Ancak, bugünkü bilgimize dayanarak, bu uçsuz bucaksız evrende bir tür yaşam formuna sahip sayısız gezegenin olmadığını hayal etmek zordur. Yaşamın evrimindeki rastlantısal olasılığın büyük rolü göz önüne alındığında, bu yaşamın bizimkinden çok farklı olacağı muhtemeldir. Karbon kimyasına dayalı bizim yaşam formumuz hakkında bütün bildiğimiz, şartlar doğru olduğunda, Yeryüzünde çok kolayca ve çabucak geliştiğidir. Ayrıca amino asitler dahil olmak üzere, bizim yaşam formumuz için gereken kimyasalların uzayda çok bol olduğunu da biliyoruz. Yıldızlar arasındaki muazzam mesafeler nedeniyle, henüz dünyadışı yaşama dair bir kanıt bulamadık sadece.

5 Alan H. Guth, *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (Şişen Evren: Kozmik Kökenlere Dair Yeni bir Teori Arayışı) (Reading, MA: Addison-Wesley, 1997), sf. 186.

İNCE AYAR SORUSU

Son yıllarda, birçok teolog ve Hıristiyanlık savunucusu, kendilerini ve takipçilerini, Tanrı'nın varlığına dair son darbeyi vuracak, ciddi bir bilimsel argümana sahip olduklarına inandırmışlardır. Şunu iddia etmekte: Fiziğin parametreleri o kadar ince ayarlanmış ki, eğer bu parametrelerden herhangi birinin değeri yalnızca hafifçe farklı olsaydı, yaşam, özellikle de insan yaşamı evrenin herhangi bir yerinde mümkün olmazdı.

Elbette, bütün tasarım argümanları gibi, bu da bir boşlukların Tanrısı argümanıdır; ilkesel olarak kazanamazlar çünkü bu parametrelerin değerlerinin doğal olamayacağını hiçbir zaman kesin olarak ispatlayamazlar. Ama denemeye devam ediyorlar.

Hiçbir dayanak olmadan, bu parametrelerin bağımsız olduğunu ve geniş bir aralık boyunca herhangi bir değeri alabildiğini varsayarak, bizim belirli parametre grubumuza sahip bir evren olasılığının, sonsuz küçük derecede ufak olduğu sonucuna varmaktalar. Ayrıca yine hiçbir temele dayanmadan, ilahi bir yaratıcı olasılığının eşit ölçüde sonsuz küçük derecede ufak olmadığını da varsayarak, evrene yaşam için özellikle de insan yaşamı için ince ayar yapan böyle bir yaratıcının var olduğu sonucunu çıkarıyorlar. Bu yaratıcının, Hıristiyanlar, Müslümanlar ve Yahudilerin taptığı şahsi Tanrı ya da herhangi bir büyük dinin tanrısı olduğunu varsaymak için de hiçbir dayanağın bulunmadığını unutmayın. Deist bir yaratıcı, aynı derecede işe yarar.

William Lane Craig, felsefeci Massimo Pigliucci'yle olan 1998 tarihli tartışmasında (ve internet sitesinde mevcut öteki tartışmalarda), argümanı bu şekilde özetlemiştir:

Son 30 yılda, bilim insanları, akıllı yaşamın varlığının, Büyük Patlamanın kendisindeki belirli başlangıç şartlarının karmaşık ve hassas dengesine bağlı olduğunu keşfetmiştir. Yaşama *engel olan* evrenlerin, bizimki gibi yaşama *izin veren* herhangi bir evrenden çok daha olası olduğunu artık biliyoruz.

Ne kadar daha olası?

Cevap, evrenin yaşama izin veren olması gerektiğine dair ihtimallerin, kavranamayacak ve hesaplanamayacak kadar sonsuz küçük olduğudur. John Barrow ile Frank Tipler, kütleçekimin ya da zayıf kuvvetin şiddetindeki yalnızca $1/10^{100}$ 'lük bir değişimin, yaşama izin veren bir evrene

engel olacağını tahmin etmektedirler.⁶ Eğer evren yaşama izin verecekse, bu şekilde ince ayar yapılması gereken, Büyük Patlamada mevcut böyle 50 civarında nicelik ve sabit bulunmaktadır. Ayrıca kusursuz olarak ince ayar yapılması gereken sadece *her bir* nicelik değildir; birbirlerine olan *oranları* da ince bir şekilde ayarlanmalıdır. Dolayısıyla akıllarımız kavranamaz rakamların içinde sersemleyene kadar, olasılıksızlık, olasılıksızlıkla ve olasılıksızlıkla çarpılacaktır.⁷

Sırf Craig'ın aklı sersemliyor ve kendisi rakamları kavrayamıyor diye, onların aslında geri kalanımız için de kavranamaz olduğu sonucu çıkmaz.

İnce ayar konusunda kapsamlı olarak yazmıştım, ancak bütünlük açısından bir kısmını burada tekrar ele almam gerekiyor. Konuyu, umarım fazla tekrara düşmeden, güncellemeye çalışacağım. Yakınlarda, bir Oxford Üniversitesi Yayını antolojisi, *Debating Christian Theism* (Hristiyan Teizminin Tartışılması) için, ince ayara karşı çıkılan bir bölüme katkıda bulundum, bu materyalin bir kısmından bahsedeceğim.⁸ Messiah College'dan (Mesih Koleji) Hristiyan felsefeci Robin Collins, ince ayar meselesini bir başka bölümde sundu.⁹ Orada, benim önceki argümanlarımın bazılarını eleştirmektedir; bunlara burada cevap vereceğim. Bu cevaplar, başka yerde yayınlanmamıştır.

Çoklu evren, ince ayar problemine çok basit, tamamen doğal bir çözüm getirmektedir. Evrenimizin, bütün yönlerde sınırsız bir mesafeye ve geçmiş ile gelecekte sınırsız bir zamana yayılan sınırsız sayıdaki tekil evrenden yalnızca biri olduğunu farz edin. Eğer durum böyleyse, bizim yaşam türümüz için uygun olan bu

6 John D. Barrow ve Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle (Antropik Kozmolojik İlke)* (Oxford; New York: Oxford University Press, 1986).

7 William Lane Craig, "The Craig-Pigliucci Debate: Does God Exist?" (Craig-Pigliucci Tartışması: Tanrı Var mı?) <http://www.leaderu.com/offices/billcraig/docs/craig-pigliucci2.html> (13 Şubat 2010'da erişim yapıldı).

8 Victor J. Stenger, "The Universe Shows No Evidence for Design," (Evren Tasarım İçin Hiçbir Kanıt Göstermiyor) *Debating Christian Theism*, editör: J. P. Moreland, Chad Meister ve Khaldoun A. Sweis (Oxford; New York: Oxford University Press, 2013), sf. 47-58.

9 Robin Collins, "The Fine-Tuning Evidence Is Convincing," (İnce Ayar Kanıtı İkna Edici) *Debating Christian Theism*, editör: J. P. Moreland, Chad Meister ve Khaldoun A. Sweis (Oxford; New York: Oxford University Press, 2013), sf. 35-46.

evrende yalnızca tesadüfen yaşıyoruz. Bizim evrenimiz, ince ayarlanmamış; biz ona ince ayarlanmışız.

Çoklu evren açıklaması, ince ayarı çürütmek için yeterlidir. Unutmayın ki, ince ayar iddialarını çürütmek için, çoklu evrenin var olduğunun ispatlanması gerekmez. Yalnızca makul olmalıdır. Buna karşı çıkanların, aksini kanıtlama zorunluluğu bulunmaktadır. Ki bunu da yapmamışlardır.

Bununla birlikte, çoklu evren doğrulanmamış kalmaktadır, dolayısıyla bizim, tek, yalnız evrenimiz için ilahi ince ayar hipotezinin güvenilirliğini incelemeyi sürdürmemiz gerekmektedir.

2011’de yayınlanan *The Fallacy of Fine Tuning* (İnce Ayar Safsatası) adlı kitapta, en sık olarak teist literatürde rastlanan, sözde ince ayarlanmış parametrelerin değerleri için, tamamen doğal açıklamalar getirdim.¹⁰

Birçok yazar, yanıltıcı olarak sıklıkla *antropik ilke* şeklinde ifade ederek, ince ayar üzerine yazmıştır; ki bu, insanlarla bir ilgisi olduğu hissini vermektedir. Belirli parametrelerin mükemmel kesinliğe ince ayarlanmış olduğunda ısrar etmektedirler. “Mükemmel kesinlik”le de, yalnızca on kat ya da %10, hatta %1’i kastetmiyorlar. Daha çok, herhangi bir yaşamın mümkün olması için, bazı parametrelerin ellide birden, 10^{100} kata kadar ayarlanması gerektiğini iddia ediyorlar.

Sözümüne çok ince ayarlanmış olan belirli parametrelere geçmeden önce, bunların anlamına dair basit yorumum hakkında bir iki söz etmeme izin verin. Fizik modelleri insan yapılarıdır, dolayısıyla da, bu modellerde rastlanan nicelikler, parametreler ve “yasalar”ın da aynı şekilde yapıldığı sonucu çıkar. Onları Tanrı ya da doğa tarafından ince ayarlanmış olarak düşünmek, bana bir şekilde aykırı geliyor. Bir başka galaksideki fizikçilerin, belki de tamamen farklı bir parametreler dizisine sahip olan kendi modelleri vardır.

Dolayısıyla, sözümüne ince ayarlanmış parametrelerin, herhangi bir özel ontolojik öneme sahip olması gerekmez. Elbette, modellerin gözlemlere uyması gerekir, bu nedenle de vurgulamış olduğum gibi, oradaki nesnel gerçeklik her neyse onunla ilgileri olmalıdır.

10 Victor J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe Is Not Designed for Us* (İnce Ayar Safsatası: Evren Niçin Bizim İçin Tasarlanmamış) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2011).

Gelişigüzel değildirler; tıpkı bir manzara tablosunun rastgele bir renk serpiştirmesi olmadığı gibi (Jackson Pollock’a ait değilse tabii).

Şimdi ayrıntılara bakalım. Fizikçi ve Hristiyanlık savunucusu Hugh Ross, “herhangi bir tür yaşamın mümkün olması için ince ayarlanması gereken”, evrenin yirmi dokuz özelliğini ve güneş sisteminin kırk beş özelliğini sıralar.¹¹ Bu ifade baştan yanıltır. Ross’un parametrelerinin yarısından fazlası, yaşamı genel olarak ele almaz, yalnızca bu gezegendeki yaşamı, bazı durumlarda, daha da özellikle insan yaşamını ele alır.

Ross ve onun konumuyla aynı fikirde olan diğerlerinin yaptığı en yaygın safsata, Yeryüzünde sahip olduğumuz karbon-bazlı yaşamı ayrı tutup, bunun tek mümkün yaşam türü olduğunu varsaymaktır. Hristiyan inancına göre, insanlar, Tanrı’nın görüntüsünde yaratılmıştır (Genesis 1:26), bu nedenle öteki yaşam formlarını hayal etmenin onlara zor gelmesi şaşırtıcı değildir. Bununla birlikte, sadece eldeki tek bir örnekle, karbon kimyasına dayalı olsun ya da olmasın, diğer bütün yaşam formlarının imkânsız olduğu sonucuna varmalarına izin verecek verilere sahip değildir kısaca.

Parametrelerin rastgele değişebileceği ihtimaline ilişkin olarak, Collin şunu sorar; “Niçin yaşam için gerekli tam da doğru yasalar dizisini meydana getirsinler ki?”¹² Zaten, bütün mesele de budur. Bu uçsuz bucaksız evrende *bir yerde bir* yaşam formuna yol açmak için kesin olmaları gerekmiyordu. *The Fallacy of Fine Tuning*’de (İnce Ayar Safsatası), fiziksel parametrelerin geniş aralıklarının, ilkesel olarak şu ya da bu yaşam formunun evrimine izin verebilen, yıldızların uzun yaşları gibi şartlara makul bir biçimde yol açabildiğini gösterdim.

ÖNEMSİZ PARAMETRELER

İnce ayarlanmış nicelikler listelerinin çoğunda rastlanan parametrelerin ikisi

- 11 Hugh Ross, “Big Bang Model Refined by Fire,” (Ateşle Arıtılmış Büyük Patlama Modeli) *Mere Creation: Science, Faith & Intelligent Design*, editör: William A. Dembski (Downers Grove, IL: Intervarsity, 1998), sf. 363–83.
- 12 Collins, “Fine-Tuning Evidence Is Convincing,” (İnce Ayar Kanıtı İkna Edici) sf. 38.

- bir vakum içindeki ışığın hızı (c) ve
- Planck sabitidir (h).

Bu parametreler fiziğin temeli olmakla birlikte, değerleri gelişigüzedir. Fizikte zamanın temel birimi *saniye*dir. 6. Bölümde gördüğümüz gibi, boyutsuz olanlar dışında, fizikteki diğer bütün ölçülebilir nicelikler için birimler, saniyeye göre tanımlanır. c 'nin değeri, mesafeyi ölçmek için hangi birimlerin kullanılacağını belirlemek için seçilir. Mesafeyi metre cinsinden ölçmek için, $c = 3 \times 10^8$ m/s seçersiniz. Mesafeyi ışık yılı olarak ölçmek için, $c = 1$ seçersiniz.

Planck sabitinin (h) değeri, enerjiyi ölçmek için hangi birimlerin kullanılacağını belirlemek için seçilir. Enerjiyi Joule cinsinden ölçmek için, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ seçersiniz. Enerjiyi elektron-volt olarak ölçmek için, $h = 4,136 \times 10^{-15}$ seçersiniz. Fizikçiler $\hbar = h/2\pi = c = 1$ olduğu “doğal birimler” dedikleri şeylerde çalışmaktan hoşlanırlar. Sıklıkla ince ayarlanmış oldukları iddia edilen öteki gelişigüzel nicelikler, kısaca mutlak sıcaklık birimlerinden, Kelvin'den, enerjiye dönüştüren Boltzmann sabiti (k_B) ile yine birimlerin seçimine bağlı olan Newton'ın kütleçekim sabitini (G) içermektedir. Planck birimlerinde, $G = 1$ 'dir.

HERHANGİ BİR YAŞAM FORMU İÇİN GEREKEN PARAMETRELER

Biraz daha önemli olarak, değerlerden herhangi biri, evrenimizdeki mevcut değerlerinden sonsuz küçük miktarda değişiklik gösterdiğinde, herhangi bir evrende yaşamın hiçbir formunun var olamayacağı kadar ince ayarlanmış olduğu teistler tarafından iddia edilen beş parametreye bakalım.¹³ Bunlar:

- Evrendeki elektronların protonlara oranı
- Elektromanyetik kuvvetin kütleçekime oranı
- Evrenin genişleme hızı ve kütle yoğunluğu
- Kozmolojik sabittir.

13 Rich Deem, “Evidence for the Fine Tuning of the Universe,” (Evrenin İnce Ayarı için Kanıt) 2013, <http://www.godandscience.org/apologetics/designun.html> (12 Temmuz 2013'te erişim yapıldı).

Evrendeki elektronların protonlara oranı

Ross, eğer bu oran daha büyük olsaydı, yetersiz kimyasal bağlanma olacağını iddia eder. Eğer daha küçük olsaydı, elektromanyetizma kütleçekime hâkim olup galaksi, yıldız ve gezegen oluşumunu engellerdi.

Oranın tam olarak bire eşit olması gerçeği kolayca açıklanabilir. Evrenin toplam elektrik yükünün sıfır olmasına dair makul beklenti uyarınca, evrendeki elektronların sayısının, yük korunumundan ötürü protonların sayısına eşit olması gerekir. Standart modelde başka yüklü parçacıklar olmakla birlikte, sadece proton ve elektron kararlıdır.

Elektromanyetik kuvvetin kütleçekime oranı

Ross, eğer bu oran daha büyük olsaydı, 1,4 güneş kütlelerinden daha az hiçbir yıldız olmayacağını, dolayısıyla da kısa ve düzensiz yıldız yanması olacağını söyler. Eğer daha küçük olsaydı, 0,8 güneş kütlelerinden daha fazla hiçbir yıldız olmazdı, dolayısıyla da hiçbir ağır element üretimi olmazdı.

İki parçacık arasındaki kuvvetlerin oranı, yüklerine ve kütlelerine bağlıdır. Daha önce de belirttiğim gibi, (hepsi değilse de) çoğu fizik sınıfında sıkça duyulan, kütleçekimin elektromanyetizmadan çok daha zayıf olduğuna dair ifadeye rağmen, kütleçekimin ve başka herhangi bir kuvvetin göreceli büyüklüklerini kesin olarak saptayabilmenin hiçbir yolu yoktur. Gerçekten de, eğer tek doğal kütle, Planck kütlesi kullanılarak, kütleçekimin büyüklüğünü belirlenmesi gerekse, kütleçekimin elektromanyetizmadan 137 kat *daha büyük* olduğunu görürsünüz.

Kütleçekimin, atomların içinde bu kadar zayıf olmasının sebebi, temel parçacıkların ufak kütleleridir. Bu, yüksüz parçacıkların hepsinin sıfır kütleyle sahip olduğu ve öteki parçacıklarla etkileşimleriyle ufak düzeltmeler edindiği, temel parçacıkların standart modelinin bir sonucu olarak anlaşılabilir.

Collins, bu noktayı yanlış anlayıp, şöyle yazar: “Stenger’ın bu apaçık ince ayarı [proton ve nötronun düşük kütlesi] örtbas etme çabası, birinin proton ve nötronların kuarklardan ve gluonlardan

oluştüğünü söylemesine benziyor, sonraki kütleler ufak olduğundan, bu da önceki kütlelerin küçüklüğünü açıklar.”¹⁴

Bu, benim konumumun tamamen yanlış temsil edilmesidir. Bu argümanı hiçbir yerde kullanmadım. Collins hiçbir doğrudan alıntı ya da atıf yapmıyor. Aslında, ilk evrende ilk kez üretildiklerinde tüm temel parçacıkların (protonlar ve nötronlar temel değildir) kütesiz olduğuna dair, standart modele dayanan, çok makul varsayımda bulunuyorum. Bugün hepsi, Planck kütesine kıyasla, düşük kütlelere sahiptir, çünkü bu kütleler Higgs mekanizmasının sağladığı ufak düzeltmelerdi yalnızca. Ayrıca Collins, Higgs mekanizmasının bir başka gelişigüzel varsayım olduğundan yakınmadan önce, bunun, önceden planlanmamış olarak boşluğun simetrilerinden ve simetri kırılmasının rastlantısallığından belirmiş, standart modelin parçası olduğunu hatırlayın.

Evrenin genişleme hızı ve kütle yoğunluğu

Ross, eğer Hubble parametresi (H) tarafından belirlenen evrenin genişleme hızı daha büyük olsaydı, galaksi oluşumunun olmayacağını; eğer daha küçük olsaydı, evrenin yıldız oluşumundan önce çökeceğini iddia eder. Ayrıca, eğer evrenin ortalama kütle yoğunluğu daha büyük olsaydı, büyük patlamadan dolayı çok fazla döteryum olacağını ve yıldızların fazla hızlı yanacağını ileri sürer. Eğer daha küçük olsaydı, büyük patlama nedeniyle yetersiz helyum olurdu ve çok az sayıda ağır element oluşurdu.

12. Bölümde, şişmenin, evrenin kütle yoğunluğunun kritik değere (ρ_c) çok yakın olmasına yol açtığını gördük. Bu da dolayısıyla, H 'nin de bir kritik değere sahip olduğunu gösterir. Bu iki parametrenin yalnızca biri ayarlanabilir. Bunun H olduğunu varsayalım.

Şimdi, *Hubble yasası* (bkz. 8. Bölüm) tarafından belirlenen doğrusal genişlemenin yaklaştırmasında, evrenin yaşını $T = 1/H$ verir. Bu halihazırda 13,8 milyar yıldır ve yaşam için pek de ince ayarlanmış değildir. Yaşam pekâlâ, $T = 12,8$ milyar yıldır, ya da T

14 Robin Collins, “The Teleological Argument: An Exploration of the Fine-Tuning of the Universe,” (Teolojik Argüman: Evrenin İnce Ayarının Bir İncelemesi) *The Blackwell Companion to Natural Theology*, editör: William Lane Craig ve James Porter Moreland (Chichester, Birleşik Krallık; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009), sf. 43.

= 14,8 milyar yıldır da evrilmiş olabilirdi. Aslında, $T = 1,38$ milyar yıl olarak varsayalım. Bu durumda şu anda yaşama sahip olamazdık, ancak on milyar yıl kadar sonra ortaya çıkardık. Ya da, $T = 138$ milyar yıl olarak varsayalım. Yaşam çoktan, 124 milyar yıl kadar önce ortaya çıkmış olacaktı.

Kozmolojik sabit

Kozmolojik sabit, vakumun enerji yoğunluğuna eşdeğerdir ve evrenin genişlemesinin hızlanmasından sorumlu ve evrenin toplam kütle/enerjisinin %68'inden fazlasını oluşturan kara enerji için en gözde adaydır.

13. Bölümde, sıfır noktası enerjisine eşit olduğunu varsayan, vakumun enerji yoğunluğu hesaplamalarının, gözlemlerin izin verdiği maksimum değerden 10^{50} - 10^{120} kat daha büyük cevaplar verdiğini gördük.

Fizikçiler, kozmolojik sabit probleminin çözümü üzerinde bir görüş birliğine varmamıştır. Steven Weinberg¹⁵ ve Leonard Susskind¹⁶ gibi bazı öne çıkan figürler, cevabın çoklu evrenlerde yattığını düşünüyor. Her ikisi de, sicim teorisinin ya da M -teorisi adı verilen daha gelişmiş versiyonunun, belki 10^{500} farklı muhtemel evrenin bir “manzara”sını sunduğu gerçeğinden bahseder. Ancak böyle bir tahmine ihtiyacımız yok.

13. Bölümde işaret etmiş olduğum gibi, ilk enerji-yoğunluk hesaplamaları, belirli bir hacimdeki tüm durumları toplayarak temel bir hatayı bünyesinde barındırmaktaydı. Bir sistemin entropisini, sistemin erişilebilir durumlarının sayısı verdiğinden, hacim üzerinden toplama yoluyla hesaplanan entropi, aynı büyüklükteki bir kara deliğin hacminden ziyade alanına bağlı olan entropisinden daha büyük olacaktır. Ancak bir kara deliğin içini göremediğimiz için, içeride ne olduğuna dair sahip olduğumuz bilgi olabildiğince ufak, dolayısıyla da entropi olabildiğince büyüktür.

15 Steven Weinberg, “Living in the Multiverse,” (Çoklu Evrende Yaşamak) *Universe or Multiverse?* editör: B. Carr (Cambridge: Cambridge University Press, 2007), 2. Bölüm.

16 Leonard Susskind, *Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (Kozmik Manzara: Sicim Teorisi ve Akıllı Tasarım Yanılsaması) (New York: Little, Brown, 2005).

Bu nedenle, hacim üzerinden toplama yoluyla, durumların sayısını hesaplamak bir hataydı. Bunu alan üzerinden toplama yoluyla düzelterek, ya da eşit bir biçimde, bir kara deliğin entropisine eşit durumların sayısını, hacmin büyüklüğüne eşit olarak belirleyerek, vakum enerji yoğunluğunu doğal olarak kısıtlayabiliriz. Bu hesaplama, boş bir evrenin yaklaşık kritik yoğunluğa eşit bir vakum enerji yoğunluğuna sahip olacağı sonucunu, tam da sahip görüldüğü değeri verir.

Teknik nedenlerle, kozmologlar, kozmolojik sabit problemi için bu çözümü kabul etmeye hazır değiller. Ancak, özgün hesaplamamın, fizik tarihindeki başka herhangi bir hesaplama kadar çok yanlış, kısaca yanlış olduğu ve yoksayılması gerektiği sonucuna varmak bence adilce olur. Ne olursa olsun, dünyalıklarınızdan vazgeçip, bir manastıra kapanmayın, çünkü kozmolojik sabit çok küçük.

ÖTEKİ PARAMETRELER

Bu, sözümona, ufacık bir sapmanın dahi herhangi bir türdeki yaşamı imkânsız kılacak kesinlikte ince ayarlanmış olan beş parametrenin icabına bakar. Teist iddialara karşın yalnızca dördünün bağımsız olduğunu unutmayın. Hemen ardından, ince ayar taraftarlarının yalnızca, eğer parametrelerin değerleri hafifçe farklı olsaydı yaşamın uzak ihtimal olacağını iddia etmek için kullanabilecekleri şu parametrelere geçelim.

Hoyle tahmini

9. Bölümde, astronom Fred Hoyle ve ortaklarının, periyodik tablonun çoğu elementinin, tüm hidrojen yakıtlarını yaktıktan sonra kütleçekimsel çöküş sırasında yıldızlarda nasıl oluştuğunu göstermedeki muhteşem başarısını ele almıştık. 1951’de Hoyle, evrende yaşamı mümkün kılmak üzere yıldızlarda yeterli karbonun üretilmesi için, karbon çekirdeğinin, taban durumunun üzerinde 7,7 MeV civarında uyarılmış duruma sahip olacağını tahmin etti. Bu hikâye büyük tarihi öneme sahiptir, çünkü antropik muhakemenin, deneysel olarak doğrulanan bir tahmine yol açtığı tek vakadır. Bundan kısa süre sonra, uyarılmış durum, 7,656 MeV’ta bulundu.

Bununla birlikte, o zamandan itibaren yapılan hesaplamalar, eğer uyarılmış durum 7,596 MeV ile 7,716 MeV arasında herhan-

gi bir yerde olsaydı, aynı karbonun üretileceğini gösterdi. Ayrıca, yaşam için yeterli karbon, taban durumunun hemen üzerinden 7,933 MeV'a kadar herhangi bir yerdeki uyarılmış durum için meydana gelirdi.¹⁷ Böyle geniş bir aralıkta bir yerdeki durum, standart çekirdek teorisinden beklenir. Ayrıca, karbon, yaşamın bağlı olabileceği tek element değildir.

Temel parçacıkların göreceli kütleleri

Temel parçacıkların kütleleri, evrenin birçok özelliğini etkiler ve birtakım ince ayar iddiaları, bunların değerlerinden bahseder. Nötron ile proton arasındaki kütle farkıyla başlayalım. Eğer nötron ile proton arasında kütlelerdeki fark, elektron ile nötrinin (evrenimizdeki nötrino kütlesi bu amaç için ihmal edilebilir ancak başka bazı evrenlerde olmayabilir) kütlelerinin toplamından daha düşük olsaydı, nötron bozunumu olmazdı. İlk evrende, elektronlar ve protonlar, nötronları oluşturmak için birleşirlerdi ve eğer varsa birkaç proton geriye kalırdı. Eğer kütle farkı, çekirdeklerin bağlanma enerjilerinden daha büyük olsaydı, çekirdeklerin içerisindeki nötronlar bozunarak, geride hiç çekirdek bırakmazdı.

Kütle farkının, tüm periyodik tablonun oluşması için, hâlâ izin verilen bölge içinde olması için, yaklaşık 10 MeV'luk bir aralık bulunmaktadır. Asıl kütle farkı 1,29 MeV'tur, dolayısıyla bunun daha büyük olması için bol bol yer vardır. Nötron ve proton kütleleri ilk yaklaştırmaya eşit olduğundan ve fark, ufak bir elektromanyetik düzeltmeden kaynaklandığından, 10 MeV kadar yüksek olması pek mümkün değildir.

Hemen ardından yine nötron bozunum hikâyesini etkileyen elektronun kütlesini ele alalım. Daha düşük bir elektron kütlesi, nötron bozunumu için parametre aralığında daha fazla yer sağlar, bununla birlikte daha yüksek bir kütle daha az bırakır.

Elektron ve proton kütlelerinin oranı, evrenimizin kimyasının değişmediği parametre aralığı bölgesini belirlemeye yardımcı olur. Bu bölgenin oldukça önemli olduğunu gösterebiliriz ve ince ayar burada da aşikâr değildir.

17 M. Livio, D. Hollowell, A. Weiss ve J. W. Truran, "The Anthropic Significance of the Existence of an Excited State of C12," (C12'nin Uyarılmış Durumunun Varlığının Antropik Önemi) *Nature* 340 (1989): 281-84; ayrıca bkz. Şekil 9.1, sf. 170, Stenger, *Fallacy of Fine-Tuning (İnce Ayar Safsatası)*.

Kuvvetlerin göreceli büyüklükleri ve öteki fizik parametreleri

Boyutsuz göreceli kuvvet büyüklükleri, ince ayarları kusurlu bulunduğum nedenlerle iddia edilen, bir sonraki fiziksel parametreler dizisidir. Kütleçekimsel kuvvet parametresi (α_G) gelişigüzel-dir. Dolayısıyla, α_G 'nin ince ayarlanacak hiçbir tarafı yoktur. Görmüş olduğumuz gibi, kütleçekimin, temel parçacıklar arasındaki elektromanyetik kuvvete kıyasla sözde zayıflığı, düşük kütlelerinden kaynaklanır, göreceli içsel büyüklüklerinden değil.

Hemen ardından zayıf etkileşimin boyutsuz sabitini (α_w) ele alalım. Ross, büyük patlama ve yıldızlardaki helyum ve ağır element üretiminin doğru miktarını sağlamak için ince ayarlanmış olduğunu iddia eder. Kilit nokta, evren soğurken üretim tepkimelelerinin dengeden ayrıldığı ilk evrendeki nötronların protonlara oranıdır. Parametrelerin kayda değer bir aralığına izin verilir.

Tarihsel olarak ince-yapı sabiti olarak bilinen, boyutsuz parametreyle temsil edilen elektromanyetik sabit (α), düşük enerjilerde ünlü 1/137 değerine sahiptir. Ross bize, eğer bu farklı olsaydı, yetersiz kimyasal bağlanma olacağını söyler. Ancak, *The Fallacy of Fine-Tuning*'de (İnce Ayar Safsatası) kanıtladığım gibi, kimyanın büyük kısmına hükmeden çok-elektronlu Schrödinger denklemi, α ve elektronun kütlesiyle ölçülür. Yine, çok geniş bir aralık, bildiğimiz kadarıyla, kimyaya, özellikle de yaşamın kimyasına izin vermektedir.

Başka parametrelere bağlı α değerinin devreye girdiği birçok yer vardır. Maddedeki elektromanyetizmaya bağlı kütleçekiminin zayıflığını, temel parçacıkların doğal düşük kütlelerine bağladım. Bu, α 'nın daha yüksek bir değeriyle de başarılabilir, ancak kat kat yüksek olması olası değildir.

α ve yeğin kuvvet parametresinin (α_s) göreceli değerleri de, birçok durumda önemlidir. İkisinin çeşitlilik göstermesine izin verildiğinde, hem çekirdek kararlılığına hem de serbest protonların varlığına izin vermek için ince ayar gerekli değildir.

Çoğu ince ayar taraftarının yoksaydığı iki gerçek daha bulunmaktadır: 1) Kuvvet parametreleri (α , α_s ve α_w) sabit değildir, enerjiyle değişirler; 2) Bağımsız değişimlerdir. Kuvvet parametrelerinin belli bir birleşme enerjisinde eşit olmaları beklenir. Ayrıca, üçü, bugünkü standart modelde bağlantılıdır ve onun yerine geç-

cek olan herhangi bir modelde de bağlantılı olarak kalmaları muhtemeldir. Herhangi bir zamanda pek çok kat farklılaşmaları olasılık dışıdır.

Protonların bozunum hızı ve ilk evrendeki baryon fazlalığı gibi öteki parametrelerin, yaşamı tehdit eden ışınlama sonuçlanmalarından önce oldukça fazla yeri vardır.

Kozmik parametreler

Herhangi bir yaşanabilir evreni mümkün kılmada çok kritik addedilen kozmik parametreleri zaten bertaraf etmiştik: Evrenin kütle yoğunluğu, genişleme hızı ve protonlar ile elektronların sayısının oranı, yalnızca ince ayarlanmamış değildir, geleneksel fizik ve kozmolojiyle de sabitlenmişlerdir ya da Hubble parametresinin durumunda, hemen hemen her değer yaşama izin verecektir.

Benzer şekilde, döteryum bolluğunun, yaşamın varlığıyla çok az ilgisi vardır. Yaşam için gerekli miktar ufaktır ve yüz katlık geniş bir aralığa izin verilir.

Birleşik Krallık Kraliyet Astronomu Martin Rees ve diğerleri, Q değeriyle temsil edilen evrendeki maddenin topaklılığının, galaksi oluşumuna izin vermek için on katlık bir aralık içerisinde ince ayarlanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. On kat, pek de teistlerin iddia etmekte olduğu türden ince ayar değildir; ki onlar, daha tipik olarak ellide birden 10^{100} kata kadardır. Üstelik, nükleon kütlesini Q ile beraber değiştirmek, yine yaşam için daha fazla parametre aralığına izin verir.

14. Bölümde, kozmik mikrodalga ardaalanının eşyönsüzlüklerine kesin bir uygunluk sağlayan ve galaktik yapı üzerine gözlemlerle tutarlı olan Λ CDM modelini ele almıştık. Bu model, hiçbir Ross ve öteki ilahi ince ayarcıların, hakkında büyük gösteri yaptıkları parametrelere dahil olmayan, sadece altı parametreyi içerir. Maddenin yoğunluğu, bir parametre değildir, ancak kritik değere eşit olduğu varsayılır. Genişleme hızı (Hubble parametresi) ayarlanabilir bir parametre değildir, ancak model içinde hesaplanır. Bir parametre, kritik yoğunluğa bağlı kara enerji yoğunluğudur. Rees'in Q parametresi, galaktik yapının hesaplanmasına dahil değildir, ancak içinde saklıdır.

Kısacası, ilahi ince ayarcıların, en başa dönüp, Λ CDM modelini bir dizi parametre üzerinden işletip, altı parametrenin tam olarak evrenimizde olduğu gibi olmazsa, herhangi bir yaşam formunun imkânsız olacağını göstermeleri gerekmektedir.

Evrenler simüle etmek

Evrenin bütün özellikleri, bugün bildiğimiz kadarıyla, sadece üç fizik parametresiyle belirlenmektedir: elektromanyetik sabit (α) ile proton ve elektron kütleleri (m_p ve m_e). Bunlardan, yaşanabilir bir gezegen için, yıldızların maksimum ömrü, gezegenlerin minimum ve maksimum kütleleri, bir gezegensel günün minimum uzunluğu ve bir yılın maksimum uzunluğu gibi nicelikleri tahmin edebiliriz. Parametrelerin 10^{10} katlık bir aralık boyunca logaritmik ölçekte rastgele değiştiği on bin evren üreterek, evrenlerin %61'inin, bir tür yaşamın evrilmesi için yeterli, on milyar yılın üzerinde yıldız ömrüne sahip olduklarını buldum.

Collins daha önce, uzun yıldız ömürlerinin ince ayarlanmış olmadığına dair yirmi yıllık ön sonucuma karşı çıkmıştı.¹⁸ Bu evrenlerin hepsinin yaşanabilir olmadığını, yaşam engelleyici özellikleri açıklamadığımı iddia eder. Klasik (gerçi sayısız baskı ve matematiksel hata içeren) *The Anthropic Cosmological Principle*'lerinde (Antropik Kozmolojik İlke), karbonun kararlı olması için $\alpha \leq 11,8\alpha_s$ olduğunu öngören John Barrow ile Frank Tipler'e atıfta bulunur.¹⁹

Çalışmamda bütün parametreleri 10^{10} kat çeşitlendirdiğim için, böyle dar bir kriterin çok sık karşılanmasını beklemezdim. Bununla birlikte, kontrol edip, Barrow-Tipler sınırının zamanın %59'unda karşılandığını gördüm. Ayrıca parametreler yalnızca yüz kat değişirse ne olacağını da araştırdım. Bu durumda, zamanın %91'inde $\alpha \leq 11,8\alpha_s$ 'e sahibiz. Yine, ince ayarcıların on katlık aralıklardan çok daha büyük hassaslık iddia etmekte olduklarını vurgulamalıyım.

Yaşam üretmek için üç parametrenin hepsine oldukça dar kısıtlamalar uygulayarak, tüm evrenlerin %13'ü, 10^{10} kat çeşitlen-

18 Robin Collins, "Teleological Argument." (Teolojik Argüman)

19 Barrow ve Tipler, *Anthropic Cosmological Principle* (Antropik Kozmolojik İlke), sf. 326.

dirdiğimde bizimkinden fazla farklı olmayan bir tür yaşamı destekleyebilmektedir. Parametreler bağımsız değil ancak bağlantılı olduğundan, daha gerçekçi olan yüz kat çeşitlendirerek, evrenlerin %92'sinin on milyar yılın üzerinde yıldız ömrüne sahip olduğunu ve %37'sinin bizimkinden fazla farklı olmayan bir tür yaşamı destekleyebildiğini bulmaktayım. Çoğunlukla büyük yıldız ömürlerine dayanarak yargıya vararak, bizimkinden çok farklı yaşam, geri kalan evrenlerin büyük bir kısmında mümkün olarak kalmaktadır.

Fiziğin ve kozmolojinin her parametresinin değerleri için bir açıklama getirdiğimi iddia etmiyorum. Birçoğunun $1/10^{120}$ gibi inanılmaz kesinlikle ince ayarlandığına dair karşı iddiayı çürütmek için, zorunda da değilim. %1'den %10'a kadarki, hatta topaklılık parametresi (Q) durumunda olduğu gibi, on katlık belirsizlikler, ince ayar olarak sınıflandırılmaz.

İNCE AYARA KARŞI DAVANIN ÖZETİ

Çalışmalarımda ortaya çıkardığım, ince ayar taraftarları (hepsi her hatayı yapmıyor) tarafından yapılan mantıksal ve bilimsel hataların bir özeti şöyledir:

1. Öteki yaşam formları ihtimalini yoksayarak, evrenimizin ve bizim yaşam formumuzun parametrelerine dayanan ince ayar iddialarında bulunmaktalar.
2. Değerleri gelişigüzel olan, c , h ve G gibi fizik sabitleri için ince ayar iddiasındalar.
3. Elektronların protonlara oranı, evrenin genişleme hızı ve evrenin kütle yoğunluğu gibi, değerleri kozmolojik fizik tarafından tam olarak belirlenen ya da geniş izin verilebilir aralıklara sahip nicelikler için ince ayar öne sürüyorlar. Bunlar halihazırdaki standart kozmolojik modelde çeşitlendirilmiyor bile.
4. Elektromanyetik ve kütleçekimsel kuvvetlerin göreceli büyüklüğünün ince ayarlanmış olduğunu ileri sürmekte; ki aslında bu nicelik, evrensel olarak tanımlanamaz.
5. Yıldızların yaşam için gereken karbonu üretmeleri için, karbon çekirdeğinin uyarılmış durumunun ince ayarlan-

miş olması gerektiğini iddia etmekte; hesaplamalar, o durumun enerji seviyesi için geniş bir değer aralığının yeterli karbonu üreteceğini göstermektedir.

6. Temel parçacıkların kütleleri için ince ayarı ileri sürmekte; bu kütlelerin aralıkları, köklü fizik tarafından belirlenir ve bir yaşam formunu sağlamak üzere yeterince kısıtlanmaktadır.
7. Çeşitli kuvvetlerin büyüklüklerinin, evrenden evrene bağımsız olarak değişebilen sabitler olduğunu varsaymaktalar. Aslında, birbirlerine bağılırlar ve enerjiyle değişirler ve bir tür yaşamı mümkün kılan aralıklardaki göreceli değerleri ve enerji bağımlılıkları, teoriyle saptanmaya yakındır.
8. Evrendeki tüm parametreleri, yalnızca teker teker değiştirilenken, sabit olarak alarak, çoğu, ciddi bir analitik hata yapıyor. Bu, bir parametredeki bir değişimin, bir başkasındaki değişimle telafi edilebileceği, böylece yaşanabilir bir evren için daha fazla parametre aralığı açabileceği gerçeğini açıklayamamaktadır.
9. “Akıllara durgunluk veren” düşük olasılıklı olayların günde milyarlarca kez meydana geldiği gerçeğini yoksayarak, olasılık teorisini yanlış anlıyor ya da yanlış kullanıyorlar. Bir şeyin olası olmadığını savunmak için düşük olasılığı kullanabilmenin tek yolu, onu tüm alternatiflerin olasılıklarıyla kıyaslamaktır. Tanrı’nın olasılığı nedir? *The Fallacy of Fine-Tuning*’de (İnce Ayar Safsatası), biri inanan diğeri inanmayan iki fizikçi tarafından yapılmış gelişmiş *Bayes istatistiğini* kullanarak, Tanrı olasılığı için hesaplamaları karşılaştırdım. İnanan 0,67 çıktı, inanmayanın sonucu ise 10^{-17} idi.²⁰
10. Yıldızlarının yaşanabilir bölgelerindeki görünür evrendeki katrilyon gezegenle ve bizim ufkumuzun ötesindeki sayısız rakamla, yaşam için gereken özelliklere sahip bir gezegenin birçok kez meydana gelmesinin muhtemel olduğunu hesaba katmayarak, Yeryüzünün ve güneş sisteminin birçok parametresinin yaşam için ince ayarlanmış olduğunu iddia etmekte. Bununla birlik-

20 Stenger, *Fallacy of Fine-Tuning (İnce Ayar Safsatası)*, sf. 247–52.

te, evren pek de yaşam dostu değildir. Eğer Tanrı onu yaşam için ince ayarlamak isteseydi, çok daha dostane yapabilirdi.

11. İnce ayarcılar, çoklu evren çözümünü “bilime aykırı” diye reddetmekte de hatalıdır. Şimdiye kadar tüm mevcut verilerle uyuşan var olan modeller tarafından öngörülen görünmez, doğrulanmamış fenomenler hakkında tahminlerde bulunmak, bilime aykırı değildir. Nötrinin var olduğu, köklü enerji korunumu ilkesine dayanarak, 1930’da öngörüldü, ancak 1956’ya kadar tespit edilemedi, o zaman dahi dolaylı olarak edildi. Eğer fizik camiası ve bağış kuruluşları ince ayarcıların kriterini kullanmış olsalardı, merhum meslektaşım Fred Reines ile onun (yine merhum) meslektaşı Clyde Cowan, sonunda nötrinoyu keşfettikleri araştırmayı gerçekleştirecek para ve desteği alamazlardı.
12. Güncel, son derece başarılı Λ CDM kozmolojik modeli, sadece altı parametreye sahiptir, bunların hiçbirinin ince ayarlanmış olduğu gösterilmemiştir.

Tartışmamın sergilediği gibi, belirgin ince ayar için açıklamalar tekniktir ve anlamak için uygun eğitim gerektirir. Düzgün bir analiz, evrenin yaşam için ince ayarlanmış olduğuna dair hiçbir kanıt bulunmadığını ve tek sahip olduğumuzun, bilimin Tanrı’yı açıklamaya sokmadan hiçbir zaman açıklayamayacağı bir fenomenin var olduğuna dair örtülü varsayımıyla başarısızlığa mahkûm olan bir başka boşlukların Tanrısı argümanı olduğunu ortaya çıkarır.

HİÇBİR ŞEY YERİNE BİR ŞEY

Kozmik yaratılışçılar, yaratıcı bir tanrı için güvenilir bir dava oluşturmakta bilimi kullanma girişimlerinde başarısız olmaya devam ettiklerinden, sık sık, aşağıda sunulan sırada giderek daha felsefi olan üç soruya başvurmakta:

1. Bir şey nasıl hiçbir şeyden gelebilir?
2. Fizik yasaları nereden geliyor?
3. Hiçbir şey yerine neden bir şey var?

1. Bir şey nasıl hiçbir şeyden gelebilir?

İlk soru, hâlâ büyük ölçüde bilimsel açıdan ele alınabilmektedir. Şu şekilde yeniden ifade etmeme izin verin: Madde, nasıl madde olmayandan gelebilir?

Evren, maddenin miktarının bir ölçüsü olan kütleyle sahiptir, kütle ve durgun enerji eşdeğer olduğu için de, evrenin maddesini “yok”tan yaratmak için, enerjinin korunumu yasası çiğnenmiş olmalı gibi görünecektir.

Bununla birlikte, kütleçekimin negatif potansiyel enerjisi dahil edildiğinde, kuantum belirsizlikler farkıyla, evrenin toplam enerjisinin sıfır olduğunu görmüştük. Dolayısıyla, evrenin ilk zamanlardaki sıfır enerji ve sıfır madde durumundan ortaya çıkması için, enerjinin korunumu yasası çiğnenmedi.²¹ Aslında, evrenimiz meydana getirilirken hiçbir fizik yasası çiğnenmedi. Ve elbette, daima var olduğu için, çoklu evren meydana getirilirken de hiçbir fizik yasası çiğnenmedi.

Şimdi, evrenin toplam enerjisinin, genel görelilik çerçevesi içinde tanımlanıp tanımlanamayacağına dair önemli bir tartışmanın olduğundan bahsetmem gerekiyor. Tartışmanın her iki tarafında da, önde gelen fizikçiler ve kozmologlar bulunuyor. Son derece teknik olan bu soruya girmeyeceğim.

Ancak, basit bir gözlemim var. Açıkladığım gibi, Noether teoremine göre, her zaman geçerli olacak herhangi bir modelde, enerji korunumu gereklidir. Einstein’ın genel göreliliği, bir modeldir. Eğer genel göreliliğe dayalı bir model kuruyorsanız, iki seçeneğiniz vardır: 1) Enerji ve enerji korunumunu, her zaman çalışmasını garanti etmek için modelinize dahil etmek, ya da 2) Enerji ve enerji korunumunu hariç tutup, modelin her zaman geçerli olmadığını gerçeğini kabul etmek.

2. Fizik yasaları nereden geliyor?

Bu, ikinci soruya yol açar: enerjinin korunumu yasası ve aslında tüm fizik yasaları nereden geldi? Robin Collins, Tanrısız bir

21 Uzmanlar, teknik olarak evrenin toplam enerjisini tüm geometriler için tanımlayamayacağımıza dikkat çekecektir, gerçi düz bir evren için tanımlayabiliriz. Her şekilde, kütleçekimi negatif sayarak, ortalama enerji yoğunluğunun sıfır olduğunu ileri sürebiliriz, ki bu da aynı sonuca izin verir: evren sıfır enerji durumundan gelmiştir.

evren için herhangi bir açıklamanın, sadece, eğer “açıklama yalnızca ince ayarı bir seviye yukarı, yeni kabul edilmiş yasalar, ilkeler ve parametrelere taşımıyorsa” işe yarayacağını ileri sürer.²²

İnce ayarı bir seviye yukarıya Tanrı’ya taşımanın, nasıl iyileşme olduğunu anlamıyorum. Aslında, Tanrı’nın ince ayarını nasıl yaptığına dair hiçbir fikrimiz olmadığı için, daha az bilgilendirici, oysa kozmolojik bilimden, evrenin nasıl hiçbir şeyden gelmiş olabileceğine dair bir fikrimiz bulunuyor. Birinci durumda, bu varsayım ile işe yarar hiçbir şey yapamayız. İkinci durumda, deneysel olarak test edilebilir bazı tahminlerde bulunabiliriz. Örneğin, ölçümler iyileşmeye devam ettiğinden, evrenin enerji yoğunluğunun daima kritik değerinde kalacağını tahmin edebiliriz.

Her şekilde, enerjinin korunumu “yasa”sının, zamanda hiç özel an bulunmadığı gerçeğinden çıktığını görmüştük. Tanrı tarafından devredilmedi. Tanrı’dan daha gerekli.

11. Bölümde betimlendiği gibi, yirminci yüzyıldaki fizikçiler, tüm fizik modellerinde olması gereken, meta yasalar adını verdiğim, bir dizi ilke keşfettiler. Evreni nesnel olarak betimlemek için, fizikçiler modellerini, benim bakış açısı değişmezliği dediğim, belirli gözlemcilerin bakış açısından bağımsız şekillerde, gözlemleri betimleyecekleri biçimde formüle etmelidirler. Bu da, model yapıcılara, enerji, doğrusal momentum, açısal momentum ve elektrik yükünün büyük korunum ilkelerini ya da meta yasalarını dahil etmekten başka seçenek bırakmıyor. Bakış açısı değişmezliği, Newton’ın mekanik ve kütleçekim yasaları, Maxwell’in elektromanyetizma denklemleri ile Einstein’ın özel göreliliği dahil olmak üzere, klasik fiziğin hepsine götürüyor. Heisenberg belirsizlik ilkesi dahil, genel görelilik ve kuantum mekaniğinin (hepsi değilse de) büyük kısmı da, takip eder.²³

Bir parametrenin, bilinen fizikle tutarlı bir aralıkta olduğunu savunduğumda, savunucular “Fizik nereden geliyor?” ile karşılık

22 Collins, “Fine-Tuning Evidence Is Convincing,” (İnce Ayar Kanıtı İkna Edici) sf. 35.

23 Victor J. Stenger, *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From? (Anlaşılabilir Kozmos: Fizik Yasaları Nereden Geliyor?)* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2006); Victor J. Stenger, “Where Do the Laws of Physics Come From?” (*Fizik Yasaları Nereden Geliyor?*) 2007, <http://philsci-archive.pitt.edu/3662/> (21 Ağustos 2013’te erişim yapıldı).

veriyorlar. Cevabım: Fizik, fiziğin temel yasalarını meydana getiren meta yasaları içermesi gereken gözlemleri betimlemek için modeller formüle eden fizikçilerden geldi. Meta yasalar, fiziğin bütün parametrelerini belirlemezler. Birçoğu, rastlantı sonucu meydana gelir. Ancak, görmüş olduğumuz gibi, evrenimizdeki tüm gözlemleri başarılı biçimde betimleyen modellerdeki parametrelerin değerleri, meta yasalar tarafından belirlenen aralıklar içerisinde.

3. Hiçbir şey yerine neden bir şey var?

Üçüncü soru, büyük ölçüde felsefiktir, çünkü gerçek fizikten çok, kelimelerin anlamıyla uğraşır. 2012’de yayınlanan *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather Than Nothing* (Hiçbir Şeyden Bir Evren: Hiçbir Şey Yerine Neden Bir Şey Var)²⁴ adlı bir kitapta, kozmolog Lawrence Krauss, “hiçbir şey” adını verdiği, doğal olarak önceden var olan yapısız bir boşluktan evrenimizin nasıl doğmuş olabileceğini betimler. Söylediği herhangi bir şeyin, bağımsız olarak yazılan bu kitapla uyummadığını sanmıyorum.

Krauss’un kitabının *New York Times*’taki bir eleştirisinde, felsefeci David Albert sorar “dünyanın neden belirli temel malzemeden oluşmuş olması gerekir, başka bir şeyin aksine ya da hiçbir şeyin.”²⁵ Krauss bilmediğini kabul eder, ancak rastgele ortaya çıkabileceğini ileri sürer, ki bu durumda bizimki gibi bir evren önceden belirlenmiş bir sebep olmaksızın ortaya çıkmış olurdu.

Şüphesiz, “hiçbir şey”in nasıl tanımlanması gerektiğine dair bir fikir birliği bulunmamaktadır. “Hiçbir şey”i tanımlamak için, ona, tanımlayan bir özellik vermeniz gerekir, fakat zaten, eğer bir özelliğe sahipse, hiçbir şey değildir!

Albert, Krauss’un temel soruyu cevaplamasından tatmin olmamıştı: Hiçbir şey yerine neden bir şey var, yani “hiçlik” yerine neden “oluş” var? Yine, Albert’a basit bir sert cevabım var: Neden oluş yerine, nasıl tanımlanırsa tanımlansın, hiçlik, var

24 Lawrence M. Krauss, *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather Than Nothing* (Hiçbir Şeyden Bir Evren: Hiçbir Şey Yerine Neden Bir Şey Var) (New York: Free Press, 2012).

25 David Albert, “On the Origin of Everything,” (Her şeyin Kökeni Üzerine) *New York Times*, 25 Mart 2012.

oluşun varsayılan durumu olmak zorunda? Hiçliği oluşa dönüştürmek için neden bir yaratıcı eylem gerekiyor? Belki de, böyle bir eylem, oluşu hiçliğe dönüştürmek için gereklidir.

Eğer hiçlik doğal durumsa, o halde neden Tanrı var? Bir kez teologlar, hiçliğe karşılık bir Tanrı olduğunu ileri sürdüklerinden, dönüp de, bir kozmologtan, neden hiçbir şeye karşılık bir evren olduğunu açıklamasını talep edemiyorlar. Tanrı'nın gerekli bir varlık olduğunu iddia ediyorlar. Tanrısız bir çoklu evren neden gerekli bir varlık olamıyor?

Merhum dostum ve meslektaşım matematikçi Norm Leavitt'in bir keresinde dediği gibi, "Ne var? Her şey. Peki ne yok? Hiçbir şey."

Ancak bu uzak durmadan daha da iyisini yapıp, bir şeyin hiçbir şeyden daha doğal bir durum olmasına dair bir argüman oluşturabiliriz. Mevcut fizik bilgimize dayanarak makul bir sebep getirebiliriz.

Yaygın olarak, karmaşık bir fiziksel sistemin ancak, mutlaka daha da karmaşık olması gereken akıllı bir tasarımcının kasıtlı eylemiyle meydana gelebileceği düşünülür. Tasarım zinciri bu durumda, Aristoteles'in İtici Güç'ü ve Aquinolu'nun Sebebi olmayan İlk Sebep'i olarak, hepsinin azami ölçüde karmaşık yaratıcısı, Tanrı'ya geri döner.

O zamandan beri tasarım argümanını kullanmış olan herkesle birlikte, Aristoteles ve Aquinolu'nun tersten aldığı, sadece ortak deneyimden görmek için, karmaşık bilimsel argümanlara bel bağlamak zorunda bile değiliz. Doğada, karmaşıklık, basitlikten ortaya çıkar. Tanıdık maddede gözlenen faz geçişlerini düşünün. Dış ısının yokluğunda, su buharı doğal olarak sıvı suya yoğunlaşacak, ardından da katı buz halinde donacaktır. Her bir geçişle, daha yüksek bir simetri durumundan, daha düşük bir simetrisinin birine, basitlikten karmaşıklığa geçeriz. Karmaşıklık, kırık simetridir ve basitten karmaşığa geçiş kendiliğinden meydana gelir. Basitlik, karmaşıklığı doğurur, tersi değil. Sıvı sudan buza geçişten kaynaklanan belirli kristal yapı, tahmin edilemez, yani rastlantısaldır. Doğrudan buhar-dan katıya geçişten kaynaklanan iki kar tanesi aynı değildir.

Fiziksel sistemler tasarıma gerek kalmadan basitten karmaşığa doğal olarak geçerler. Gerçekten de, atomik geçişler gibi belirli

olayların rastlantısal olması gerçeği, akıllı ya da aptal herhangi bir tasarıma karşı güçlü kanıt olarak kabul edilebilir.

O halde hiçbir şeyden bir şey nasıl elde ederiz? Hiçbir şey, hiçbir şeyden daha simetrik olduğundan, hiçbir şeyin doğal olarak faz geçişine uğrayıp, bir şeye dönüşmesini bekleriz. Nobel ödüllü Frank Wilczek'in, geçmişte, 1980'de *Scientific American*'da (Bilimsel Amerikan) ifade etmiş olduğu gibi, "Hiçbir şey kararsızdır."²⁶

Evrenin hiçbir şeyden ziyade bir şey olmasıyla birlikte, sadece %30'unun madde olması –ki bu da %70'i hiçbir şey yapar– bakımından, hiçbir şey olmaya oldukça yakın olduğuna da dikkat edilmelidir.

Bu kısımda, o ya da bu biçimde, çeşitli kitaplardaki materyali sunmuştum. Bununla birlikte, eğer bu fikirlerin profesyonel bir bilim yazarı tarafından meslekten olmayanlar seviyesindeki mükemmel bir açıklamasını okumak isterseniz, Marcus Chown'un yazdığı, *The Never-Ending Days of Being Dead*'in (Ölü Olmanın Bitip Tükenmez Günleri) 7. Bölümüne bakın.²⁷

BÜYÜK KAZA

Stephen Hawking ile Leonard Mlodinow, hiçbir şeyden-bir şey sorusunu, önceki bölümde bahsedilen, 2010 tarihli kitapları *The Grand Design*'da (Büyük Tasarım) ele aldılar. "Kendiliğinden yaratılış, hiçbir şeyden ziyade bir şey olduğunun, neden evrenin var olduğunun, neden bizim var olduğumuzun sebebidir. Fitili ateşleyerek, evreni harekete geçirmek için Tanrı'ya başvurmaya gerek yoktur." sonucuna vardılar²⁸

Kitabın adı, *The Grand Accident* (Büyük Kaza) olmalıydı, çünkü "kendiliğinden"in ifade ettiği şey bu; sebepsiz bir kaza.

26 Frank Wilczek, "The Cosmic Asymmetry between Matter and Antimatter," (Madde ile Karşımadde Arasındaki Kozmik Asimetri) *Scientific American* 243, no. 6 (1980): 82–90.

27 Marcus Chown, *The Never-Ending Days of Being Dead: Dispatches from the Frontline of Science* (Ölü Olmanın Bitip Tükenmez Günleri: Bilimin Cephe Hattından Haberler) (Londra: Faber and Faber, 2007).

28 Stephen Hawking ve Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (Büyük Tasarım) (New York: Bantam Books, 2010), sf. 180.

Yazarlar, büyük ya da başka türlü bir tasarımın olmadığına hem-fikirler. Yayıncının daha fazla kitap satmak için bu adı seçtiğinden şüphe ediyorum.

Hawking ile Mlodinow, 15. Bölümde bahsedilen, Feynman'ın kuantum mekaniğinin geçmişlerin toplamı formülasyonundan çıkan bir kendiliğinden yaratılış resmi sunar.

Gördüğümüz gibi, M-teorisi farklı özelliklere sahip 10^{500} evren ihtimalini sunar. Hawking ile Mlodinow, bunların, Feynman'ın modelinin uygulanabileceği “alternatif geçmişler” olduğunu ileri sürer. Bütün geçmişleri toplayarak, gözlemlemekte olduğumuz evren için olasılığı elde ederiz.

Bu görüşte, evren şimdiki zamanda olduğu şekliyle alınır ve geri, başlangıca doğru en muhtemel yol hesaplanır. Yazarların ifade ettiği gibi, “Evren, mümkün olan her şekilde başlayarak, kendiliğinden ortaya çıktı.”²⁹ 10^{500} evren, bildiğimiz kadarıyla yaşamı üretmek için gerekli yapıya sahip olanda birleşti. Böyle muazzam sayıdaki ihtimalle, birçoğunun, bizim türümüze verdiği gibi bizimkinden farklı bir yaşam türüne de izin vermesi beklenir.

Ayrıca Hawking ile Mlodinow, “Çoklu evren, savunucular tarafından sıkça suçlandığı gibi ince ayar mucizesini açıklamak için icat edilmiş bir kavram değildir.” Daha çok, “modern kozmolojinin başka birçok teorisinin yanı sıra, sınırsızlık koşulunun bir sonucudur.”³⁰ Ve bir kez tesadüfi bir evrene sahip oldunuz mu, birçoğuna da sahip olursunuz.

TANRI HİPOTEZİ

Peki bu, Tanrı hipotezini nerede bırakır? Sık sık, Tanrı'nın, asla gözlenemeyen bir ruh olduğu için, bilimsel bir hipotez olmadığına dair argümanı duyarım. Ayrıca, din ve bilim iki ayrı alandır ve biri diğerini betimlemek için uygulanmamalıdır. Ancak, eğer Tanrı evrende herhangi bir role sahipse, o değilse bile, eylemlerinin bir kısmının sonuçlarının gözlenebilir olması gerekir ve eğer bu gözlemler doğaüstü bir sebebe sahipse, test etmeyi denemek için bilime başvurulabilir.

29 Ibid., sf. 136.

30 Ibid., sf. 164.

Ockham'ın usturasının ruhuyla, halihazırda Tanrı'nın, verilerin gerektirdiği değil, ilave bir hipotez olduğunu kabul etmeliyiz. Eğer öyle olsaydı, bilimsel teorileri oluşturan öncüller dizisine dahil edilirdi. Dahil edilmiyor. Kuşkusuz her şeyi bilmemekle birlikte, Tanrı'nın varlığını gerektiren bir gözlemlenen gerçeğin olmadığından haberimiz var. Gerçekten de, Tanrı hipoteziyle tutarsız olan birçok gözlemlenen gerçek, evrende ve insan hayatlarında aktif rol oynayan bir Tanrı'nın var olmadığını, şüpheye yer bırakmayacak biçimde kanıtlamaya yaramaktadır.³¹

Kış sabahlarında, ofisimin penceresinden dışarı, taze karla kaplı boş bir araziye bakabiliyorum. Ara sıra vahşi hayvanların, tilkiler, çakallar, ya da her neyse onun ayak izlerini görürüm. Hayvanların kendilerini nadiren görürüm, ancak ayak izleri bıraktıkları gerçeğinden dolayı var olduklarını bilirim. Tanrı, zamanın karlarında hiç ayak izi bırakmamıştır.

Elbette Tanrı ya da tanrılar için kanıt olarak ileri sürülen birçok sözde gerçek bulunmaktadır. Bunlar genellikle mucizeler, yani dünyevi ve bilimsel açıklamayla tutarsız, ancak onları gözlemleyenler için ahlaki öneme sahip olaylar olarak ifade edilir. Ancak ne zaman bir iddia derinlemesine incelense, mucizevi doğası uçup gider. Bir Meryem heykelinden akan gözyaşlarının, papaz evi mutfağından gelen yemeklik yağ olduğu bulunur. Protestan ayininde kalkıp yürüyen kadın, yürüyerek koridora girdiğinde tekerlekli sandalyeye oturtulmuştu. İsa'nın kefeninin üzerindeki mucizevi iz, on üçüncü yüzyıldaki bir dolandırıcı tarafından boyanarak yapılmıştı.³²

Fransa, Lourdes, sözde mucizelerin belki de en ünlü yeridir. Orayı ziyaret ettiğinizde, atılmış birçok koltuk değneğinin sergilenmekte olduğunu görürsünüz. Genellikle Fransız yazar Anatole France'a (1844-1924) atfedilen, ancak aslında onun dostlarından

31 Victor J. Stenger, *God: The Failed Hypothesis. How Science Shows That God Does Not Exist* (Tanrı: Başarısız Hipotez. Bilim Tanrı'nın Var Olmadığını Nasıl Gösterir) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2007).

32 Her türlü sözde mucizenin ve dünyanın en büyük normal ötesi araştırmacısının kişisel araştırmalarının büyük turu için, bkz. Joe Nickell, *The Science of Miracles: Investigating the Incredible* (Mucizeler Bilimi: İnanılmazı Araştırmak) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2013).

biri tarafından ifade edilmiş bir alıntıda, “Tek bir tahta bacak, çok daha ikna edici olurdu.” denmektedir.³³

İnanan bilim insanları ve bilim meraklısı Hristiyan teologlar, etkin olmayan, deist tanrıya karşılık, hem bilimle hem de Hristiyanlıkla tutarlı, etkin teist bir Tanrı modeli bulmak için kahramanca girişimlerde bulunmuşlardır. Tanrı’nın, bilimsel araçlarımızda mucizeler gibi ortaya çıkan eylemlerinin sonucu olmadan davranması için bir yer bulmak üzere, çoğu, kuantum mekaniğini ve kaos teorisini kullanmaktadır. Ancak, *Quantum Gods*’da (Kuantum Tanrıları)³⁴ gösterdiğim ve Robert Price ile Edwin Suiminen’in *Evolving out of Eden*’da (Cennetten Evrilmek)³⁵ daha yakınlarda doğrulamış oldukları gibi, bu, işe yaramaz. Tanrı, basitçe elektron bulutlarının içerisinde gizlenmiş değildir.

BİR ÖZET

Bu kitap, uzak geçmişten günümüze insanlığın kozmosa bakışının tarihinin izini sürmüştür. Özetlersek, evrenimizin doğal bir başlangıcı için makul senaryoların var olduğunu gördük; birçoğu tamamen matematiksel olarak geliştirilip hakemli bilimsel dergilerde yayımlandı. Şimdi, yalnızca tüm gözlemlerle tamamen tutarlı olan fiziksel dünyanın bir betimlemesini değil, birçok durumda, mükemmel kesinlikteki başarılı niceliksel tahminleri de sağlamak üzere temel parçacıkların standart modeliyle birleşen, kozmolojinin şaşırtıcı biçimde basit bir modeline sahibiz. Elbette, hiçbirisi “sonsöz” olarak kabul edilmemelidir.

Daha çok tahmine dayalı ancak yine de mevcut bilgilerimize dayanmakla birlikte, kozmologlar, evrenimizin, sınırsız sayıdaki başka evrenleri içeren, sınırsız, sonsuz çoklu evrende tek olmadı-

33 Jerry Coyne, “Why Evolution Is True,” (Evrin Niçin Gerçektir) 21 Ekim 2010, <http://whyevolutionistrue.wordpress.com/2010/10/21/115-years-of-debate-about-evidence-for-god/> (19 Ağustos 2013’te erişim yapıldı).

34 Victor J. Stenger, *Quantum Gods: Creation, Chaos, and the Search for Cosmic Consciousness* (Kuantum Tanrıları: Yaratılış, Kaos ve Kozmik Bilinç Arayışı) (Amherst, NY: Prometheus Books, 2009).

35 Robert M. Price ve Edwin A. Suiminen, *Evolving out of Eden* (Cennetten Evrilmek) (Valley, WA: Tellektual, 2013).

ğı sonucuna varmışlardır. Henüz biri gözlemlenmemişse de bir başka evrenin bizimkinde saptanabilir bir iz bırakmış olma ihtimali mevcuttur. Çoklu evren hipotezi pek de doğrulanmamış olmakla birlikte, ciddiye alıp felsefi ve teolojik sonuçlarını düşünmek için yeterli bilimsel desteğe sahiptir.

Argüman amacıyla çoklu evrenler ihtimalini kabul etmeye hazır teologlar ve savunucular, çoklu evrenlerin varlıklarının yine de bir ön, ilahi sebep gerektirdiğinde ısrar etmektedirler. Eğer, savunduğum gibi, çoklu evren, bilinen fizik yasalarının bir sonucu olarak çıktıysa, şunu soruyorlar: Bu yasalar, doğaüstü bir kanun yapıcıdan başka nereden geldiler?

Çoğu fizikçi ve kozmolog, fizik yasalarını basitçe kaba gerçekler olarak kabul edip teolojik tartışmaya karışmamayı tercih ediyor. Çoklu evren senaryosunun, kaba gerçekler olarak varsayılması gereken herhangi bir özel dinamik ilke ya da yasaya başvurmadan betimlenebileceğini göstermeye çalışmışım.

Bunu anlamak, doğal yasaların, gökyüzünde bir yüce kanun koyma makamı tarafından bildirilen “emirnameler” şeklindeki yaygın kavramının esaslı bir revizyonunu gerektirir. Gördüğümüz gibi, korunum yasaları gibi, fiziğin temel ilke ve yasaları dediğimiz şey, fiziğin matematiksel modellerinde, bu modeller herhangi bir belirli gözlemcinin bakış açısından bağımsız olmak üzere tasarlandığında, otomatik olarak ortaya çıkan, tek kelimeyle, ifadelerdir. Bundan, modellerin, galaksiler, yıldızlar ve gezegenler gibi yapılarda karmaşıklığa yol açan, yüzbinde birlik, ufacık miktarda asimetri sağlamak için bir kısmı kendiliğinden kırılabilen, belirli simetriler içerdiği sonucu çıkar.

Çok az insan, hatta bilim insanı, evrenin çoğunlukla, etrafta gelişigüzel gezinen parçacıklar olduğu ve bizi bu kadar büyüleyen harikanın yalnızca önemsiz bir istatistiksel dalgalanma olduğu gerçeğini ciddi bir şekilde ele almıştır.

Hayranlık duyarak bu kadar vakit harcadığımız harika galaktik yapı, evrenin kütesinin yalnızca %0,5’ini ve içindeki temel parçacıkların toplam sayısının milyarda birini oluşturur. Evrenin çoğu, büyük ölçüde rastgele hareket halindeki parçacıklardan oluşur. Yani, evrenimiz, daha iyi bir ad olmadığından, “hiçbir

şey” adını verebileceğimiz, tamamen simetrik, yapılanmamış bir durumdan gelmiş olsa nasıl görünecekse, öyle görünür.

Evrenimizin yaşam için ince ayarlanmış olduğuna dair yaygın sav, fazlasıyla şişirilmiştir ve bilinen fizik açısından gerekli değildir. Yeryüzündeki varlığımız, basit bir doğal seleksiyon meselesidir. Çoklu evrendeki muhtemel her tür gezegene rağmen, akıllı yaşam için gerekli özelliklere sahip olan biri üzerinde doğal olarak evrildik.

Kısacası, evrene dair gözlemlerimizdeki hiçbir şey, Tanrı’nın varlığını gerektirmez. Ayrıca, Tanrı’nın eylemleri için orada olması gereken kanıtların yokluğu, insanlığın büyük kısmınca tapılan türdeki Tanrı’yı şüpheyne yer bırakmayacak biçimde elemektedir.

Yeryüzünden görünen evren, her biri yüz milyar civarında yıldız içeren, tahmini 150 milyar galaksi içerir. Yüz milyon yılın altında bir belirsizlikle, 13,8 milyar yaşında olduğu bilinmektedir. Görebildiğimiz en uzak nesne şimdi, görüntüsünü taşıyan fotonların teleskoplarımıza yol aldığı zaman sırasındaki evrenin genişlemesini hesaba katarak, kırk altı milyar ışık yılı uzaklıktadır. Bu da, ötesini, evrenimizin yaşı içinde ışığın bize ulaşacak zamanı olmadığı için göremediğimiz bir ufku işaretler.

14. Bölümde ele aldığımız gibi, şişmeye dair köklü kozmoloji, ufkumuzun öteki tarafında, evrenimizi üreten aynı ilksel çekirdekten meydana gelmiş, içerdekilerin *en az* 10^{23} katı kadar çok galaksiyi içeren bir bölgenin uzandığını ifade eder. Pek çok kat daha büyük olması muhtemeldir. Görünür evrenimiz, Sahra çölündeki bir kum tanesine benzetilebilir.

Ve bu yalnızca bizim şahsi evrenimiz. Bunun yanında, sınırsız sayıda başka evreni içeren sonsuz bir çoklu evrende yaşadığımıza dair güçlü bir sav artık oluşturulabilir. Ancak, bu kısımdaki tartışmanın amacıyla, başka evrenler ihtimalini yoksayıp, yalnızca tartışmasız biçimde var olanla, bizimkiyle devam edeceğim.

Elimizdeki bilgilerle şimdiye kadar tutarlı olan iki alternatifi düşünelim:

1. Akıllı yaşam tek bir gezegende, Yeryüzünde mevcuttur.
2. Yaşam nadirdir, akıllı yaşam daha da nadirdir. Ancak evren o kadar uçsuz bucaksızdır ki, evrenimizde hâlâ sayısız akıllı varlık bulunmaktadır.

1. Yalnızız

İnananlara, olan her şeyi yaratan tek bir ilahın özel yaratımı oldukları söylenir. Evrendeki her foton ve elektronun biz fark etmeden düzgünce davrandığından emin olurken, Tanrıları, onların her düşüncesini dinleyip kendisinin tanımladığı gibi, doğru şeyi yapmalarına da yardım ediyor.

Bu da, George W. Bush'un, Tanrı söyledi, dediği gibi³⁶, Birleşik Devletler'in bir başkanına savaşa gitmesini söylemek gibi ya da Hristiyan bir hanımın raketinden çıkan tenis topunun yönünü değiştirerek, "Teşekkürler İsa!" diye bağırırken, ona puan kazandırması gibi, Tanrı'nın, çok önemli olayları kontrol etmesini içerir.

Elbette, sınırsız güce sahip bir Tanrı, bunların hepsini yapabildi. Peki ama neden insanları yaratmak için yalnızca 150.000 yıl önceye kadar beklesin? Ve neden bizi, en azından şimdiki fiziksel yaradılışımızla, Yeryüzünün çevresinin çok ötesine hiç yolculuk etme şansımız olmadan, uçsuz bucaksız bir uzay okyanusunda ufaklık bir toz zerresine hapsedsin? Eğer insanların tapınmasını o kadar çok arzuladıysa, o halde, bunu kendisi için her zaman ve her yerde mevcut hale getirmiş olmalıydı diye düşünürsünüz.

Gördüğümüz gibi, savunucular, Tanrı'nın varlığı için düğüm noktası olduğunu düşündükleri, mantıksız bir argüman oluşturmaktadır. Evrendeki yaşamın, çok sayıdaki fiziksel parametrenin değerine çok hassas bir şekilde bağlı olduğunu ileri sürerler. Bu görüşe göre, yaşam için gereken parametrelerin özel değerlerinin, şanstın kaynaklanmış olması mümkün olamayacağı için (bunu kanıtlayamazlar), bunlar, bizi üretmek için Tanrı tarafından "ince ayarlanmış" olmalıdır.

Elbette, ismine layık herhangi bir Tanrı, muazzam, akortsuz bir evren inşa edip, ardından da, tek bir gezegen insanoğlunu üretebilsin diye, bütün bu topakları incelikte evirip çevirmek zorunda kalmak konusunda, bu kadar beceriksiz olmazdı. Bizi evrenin herhangi bir yerinde, dış uzayda dahi, yaşamamızı müm-

36 Ewin MacAskill, "George Bush: 'God Told Me to End the Tyranny in Iraq,'" (George Bush: Irak'taki Tiranlığı Sona Erdirmemi Tanrı Söyledi) 2005, <http://www.theguardian.com/world/2005/oct/07/iraq.usa> (28 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

kün kılmış olması, çok daha mantıklı olurdu. Ancak gerçek şu ki; böyle yapmadı.

Şimdiye kadar, Yeryüzü dışında evrende herhangi bir yerde bir yaşam formundan haberdar değiliz. En iyi ihtimalle, bir gün Mars'ta ya da güneş sistemindeki başka bir yerde ilkel yaşam bulabiliriz; herhangi bir başka akıllı yaşam, çok büyük uzaklıkta olmalı. 1979'dan beri, SETI programı, uzaylı medeniyetlerden muhtemel radyo yayınlarına rastlamak için dinleme yaptı, ancak başarısız oldu. Kabul edelim: evren yaşam dostu değil. Ancak yaşam düşmanı da değil, yoksa burada olmazdık.

2. Yalnız değiliz

Kepler Uzay Gözlemevi tarafından ölçülen binlerce yıldızın parlaklık değişimlerine dayanan yeni tahminler, ufkumuz içerisinde, bir tür biyolojik yaşam formunu sürdürebilir 5×10^{21} kadar çok gezegenin olabileceğini ortaya koymaktadır.³⁷ Ufkumuzun ötesinde çok daha uçsuz bucaksız bir uzay bölgesinin var olduğunu görmüştük. Bu bölgenin, ufkumuzun içindekilerden *minimum* 10^{23} kat daha fazla galaksiyi içerdiği, ancak çok daha büyük olmasının muhtemel olduğu tahmin ediliyor.³⁸ Bu da, evrenimizde en az 10^{44} muhtemel yaşanabilir gezegen olduğunu gösteriyor.

Bu, salt tahmin değildir. Gözlemlere ve artık deneysel olarak köklü olan kozmik şişme teorisine dayanmaktadır. Dolayısıyla başka türlü yaşanabilir bir gezegen için akıllı yaşam olasılığı çok küçük, diyelim trilyon-trilyonda bir (10^{-24}) olsa bile bu, bir tür akıllı yaşam formuna sahip 10^{20} gezegen bırakır.

Elbette, aşırı tutucular hâlâ gerçek anlamda Kitab-ı Mukaddes'teki kozmolojiye inanıyor ve bilim insanlarının bir

37 Erik A. Petigura, Andrew W. Howard ve Geoffrey W. Marcy, "Prevalence of Earth-Size Planets Orbiting Sun-like Stars," (Güneş Benzeri Yıldızların Yörüngesinde Dönen Yeryüzü Büyüklüğündeki Gezegenlerin Yaygınlığı) *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, no. 48 (2013): 19175-76; Seth Shostak, "The Numbers Are Astronomical," (Rakamlar Astronomik) 2013, http://www.huffingtonpost.com/seth-shostak/the-numbers-are-astronomi_b_4214484.html (6 Kasım 2013'te erişim yapıldı).

38 Alan H. Guth, *The Inflationary Universe: the Quest for a New Theory of Cosmic Origins* (Şişen Evren: Kozmik Kökenlere Dair Yeni bir Teori Arayışı) (Reading, MA: Addison-Wesley, 1997), sf. 186.

grup dolandırıcı olduğunu düşünüyor, bu nedenle burada öz-çelişmeleri yok. Bilim yanlıştır işte. Sadece aldatmaca olan evrim ya da iklim değişikliğine sahip olmayan, altı bin yıl önce yaratılmış yalnızca bir evren bulunmaktadır.

İlimli Protestanlar ve Katolikler, öte yandan, bilimle din arasında, hem bilimin bulgularını kabul edip, hem de hâlâ Hıristiyan inancının bir görünüşüne tutunmak için uzlaşmaları gereken birçoğunun arasında bir çatışmaya daha sahipler.

Yahudi-Hıristiyan-Müslüman Tanrı, onu ortaya çıkaran Orta Asya'daki çöl kavimlerinin bakış açısından bakıldığında, kudretli bir Tanrı'dır. Ancak o Tanrı, modern bilimin perspektifinden yeterince kudretli değildir.

Din bize tevazuyu öğrettiğini iddia eder. Ancak aslında sahte bir gururun ticaretini yapar; insanlara Tanrının çocukları olduklarını, evrenin merkezi ve varlığının sebebi olduklarını, yalnızca talimatlara uyarlarsa sonsuza dek yaşayacaklarını söyler. Ancak bu hak edilmemiş bir gururdur. Dolayısıyla, bilim, uzay ve zamanda yalnızca ufacık bir zerre kapladığımızı gösterdiğinde, dindarlar, bu dersten tevazu içinde irkilir.

Yine de, birkaç bin yıllık kısa süre içinde insanların, yalnızca göklere ve etraflarındaki dünyaya bakıp, gördükleri üzerinde akıl yürüterek çok şey öğrenmiş oldukları gerçeğinin ta kendisi, bu gezegendeki milyonlarca türün arasında eşsiz olduğumuzu ispatlıyor. Oralarda her ne akıllı yaşam formu olabilirse, onlarla kendimizi henüz kıyaslayamıyoruz. Ancak biz özeliz, en azından Yeryüzünde ve güneş sisteminde. Büyülü düşünme ve böbürlenme, hâlâ bizi mahvedebilirse de, eşsiz yeteneklerimizin bizi daha iyi bir geleceğe götüreceğini umabiliriz.

KAYNAKÇA

- Abdo, Aous A. ve ark. "Measurement of the Cosmic Ray $e^+ e^-$ Spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the Fermi Large Area Telescope." *Physical Review Letters* 102, no. 18 (2009): 181101.
- Ade, P. A. R. ve ark. "Planck 2013 Results. XVI. Cosmological Parameters." arXiv: 1303.5076. 2013. Yayınlanacak.
- Ade, P. A. R. ve ark. "Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2," *Physical Review Letters* 112, no. 24 (2014): 241101.
- Adriani, Oscar ve ark. "An Anomalous Positron Abundance in Cosmic Rays with Energies 1.5–100 GeV." *Nature* 458, no. 7238 (2009): 607–609.
- Aguilar, M. ve ark. "The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the International Space Station: Part I—Results from the Test Flight on the Space Shuttle." *Physics Reports* 366, no. 6 (2002): 331–405.
- Aguilar, M. ve ark. "First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays Of 0.5–350 GeV." *Physical Review Letters* 110, no. 14 (2013): 141102.
- Aguirre, Anthony ve Max Tegmark. "Born in an Infinite Universe: A Cosmological Interpretation of Quantum Mechanics." *Physical Review D* 84, no. 10 (2011): 105002.
- Aguirre, Anthony ve Steven Gratton. "Inflation without a Beginning: A Null Boundary Proposal." *Physical Review D* 67 (2003): 083515.
- . "Steady-State Eternal Inflation." *Physical Review D* 65, no. 8 (2002): 083507.
- Aharonian, F. A., A. N. Timokhin ve A. V. Plyasheshnikov. "On the Origin of Highest Energy Gamma-Rays from Mkn 501." *Astronomy and Astrophysics* 384, no. 3 (2002): 834–47.
- Akerib, D. S. ve ark. "First Results from the LUX Dark Matter Experiment at the Stanford Underground Research Facility." *Physical Review Letters* 112 (2014): 091303.
- Alexander, Amir R. *Infinitesimal: How a Dangerous Mathematical Theory Shaped the Modern World*. New York: Scientific American/Farrar, Strauss and Giroux, 2014.
- Al-Khalili, Jim. *The House of Wisdom: How Arabic Science Saved Ancient Knowledge and Gave Us the Renaissance*. New York: Penguin, 2011.
- Albert, David. "On the Origin of Everything." *New York Times*, March 25, 2012.
- Albrecht, Andreas ve Paul J. Steinhardt. "Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking." *Physical Review Letters* 48, no. 17 (1982): 1220–23.
- Alleyne, Richard. "God Is Not the Creator, Claims Academic." *Telegraph (Birleşik Krallık)*, 8 Ekim 2009.
- Alpher, Ralph ve Robert Herman. *Genesis of the Big Bang*. New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2001.

- . “Remarks on the Evolution of the Expanding Universe.” *Physical Review* 75 (1949): 1089–95.
- Alpher, Ralph A., Hans Bethe ve George Gamow. “The Origin of the Chemical Elements.” *Physical Review* 73, no. 7 (1948): 803–804.
- Alpher, Ralph A., James W. Follin Jr. ve Robert C. Herman. “Physical Conditions in the Initial Stages of the Expanding Universe.” *Physical Review* 92 (1953): 1347–61.
- Ambrosio, M. ve ark. “Search for Nucleon Decays Induced by GUT Magnetic Monopoles with the MACRO Experiment.” *European Physical Journal C-Particles and Fields* 26, no. 2 (2002): 163–72.
- Andrus, Hyrum Leslie. *God, Man, and the Universe*. Salt Lake City, UT: Bookcraft, 1968.
- Arneodo, Francesco. “Dark Matter Searches.” *Proceedings of the 32th International Symposium on Physics in Collision (PIC 2012)*. Strbské Pleso, Slovakia. 2012.
- Atkatz, David. “Quantum Cosmology for Pedestrians.” *American Journal of Physics* 62, no. 7 (1994): 619–627.
- Atkatz, David ve Heinz Pagels. “Origin of the Universe as a Quantum Tunneling Event.” *Physical Review Letters* D25 (1982): 2065–73.
- ATLAS İşbirliği. “Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC.” *Physics Letters B* 716, no. 1 (2012): 1–29.
- Baade, Walter. “A Revision of the Extra-Galactic Distance Scale.” *Transactions of the International Astronomical Union* 8 (1952): 397–98.
- Babinski, Edward T. “The Cosmology of the Bible.” In *The Christian Delusion: Why Faith Fails*, John W. Loftus, ed., 109–47. Amherst, NY: Prometheus Books, 2010.
- Bahcall, John N. “How the Sun Shines.” 2000. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/articles/fusion/. 24 Şubat 2013’te erişim yapıldı.
- Banks, T. “Heretics of the False Vacuum: Gravitational Effects on and of Vacuum Decay II.” arXiv preprint hep-th/0211160. 2002.
- Barbour, Ian G. *Religion and Science: Historical and Contemporary Issues*. San Francisco: HarperSanFrancisco, 1997.
- Barbour, Julian B. *Absolute or Relative Motion? A Study from Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1989.
- Bardeen, James M. “Gauge-Invariant Cosmological Perturbations.” *Physical Review D* 22, no. 8 (1980): 1882.
- Bardeen, James M., Paul J. Steinhardt ve Michael S. Turner. “Spontaneous Creation of Almost Scale-Free Density Perturbations in an Inflationary Universe.” *Physical Review D* 28 no. 4 (1983): 679.
- Bartholomew, David J. *God, Chance, and Purpose: Can God Have It Both Ways?* Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları. 2008.
- Bartusiak, Marcia. *Harlow Shapley 1885–1972: A Biographical Memoir*. New York: Pantheon Books, 2009.

- . *The Day We Found the Universe*. New York: Pantheon Books, 2009.
- Bekenstein, Jacob D. “Is a Tabletop Search for Planck Scale Signals Feasible?” *Physical Review D* 86, no. 12 (2012): 124040.
- Belenkiy, Ari. “Alexander Friedmann and the Origins of Modern Cosmology.” *Physics Today* 65, no. 10 (2012): 38–43.
- Bennett, C. L. ve ark. “Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results.” *Astrophysical Journal Supplement Series* 208, no. 2 (2013): 20.
- Berezinsky, Veniamin Sergeevich. “High Energy Neutrino Astronomy.” *Nuclear Physics B-Proceedings Supplements* 19 (1991): 375–87.
- Beringer, J. ve ark. (Particle Data Group). “The Review of Particle Physics.” *Physical Review D* 88 (2012): 010001.
- Bernstein, Jeremy ve Gerald Feinberg. *Cosmological Constants: Papers in Modern Cosmology*. New York: Columbia Üniversitesi Yayınları, 1986.
- Birx, H. James. *Encyclopedia of Time: Science, Philosophy, Theology, & Culture*. Thousand Oaks, CA: Sage, 2009.
- Boesgaard, Ann Merchant ve Gary Steigman. “Big Bang Nucleosynthesis: Theories and Observations.” *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* 23 (1985): 319–90.
- Bohm, David ve B. J. Hiley. *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*. Londra; New York: Routledge, 1993.
- Bok, Bart Jan ve Mildred Shapley Matthews. *Harlow Shapley, 1885–1972: A Biographical Memoir*. Washington, DC: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Bilimler Akademisi, 1978.
- Boltzmann, Ludwig. “On Certain Questions of the Theory of Gases.” *Nature* 51 (1895): 483–85.
- Bond, J. R., A. H. Jaffe ve L. Knox. “Radical Compression of Cosmic Microwave Background Data.” *Astrophysical Journal* 533, no. 1 (2000): 19.
- Bondi, Hermann ve Thomas Gold. “The Steady-State Theory of the Expanding Universe.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 252–70.
- Borde, Arvind, Alan H. Guth ve Alexander Vilenkin. “Inflationary Spacetimes Are Not Past-Complete.” *Physical Review Letters* 90 (2003): 151301.
- Bosma, Albert. “The Distribution and Kinematics of Neutral Hydrogen in Spiral Galaxies of Various Morphological Types.” Doktora tezi, Groningen Üniversitesi, 1978.
- Bottéro, Jean. *Religion in Ancient Mesopotamia*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 2001.
- Bousso, Raphael ve Leonard Susskind. “Multiverse Interpretation of Quantum Mechanics.” *Physical Review D* 85, no. 4 (2012): 045007.
- Brooke, John L. *The Refiner’s Fire: The Making of Mormon Cosmology, 1644–1844*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1994.
- Budge, E. A. Wallis. *Egyptian Ideas of the Future Life: Egyptian Religion*. New York: University Books, 1959.
- Bulbul, E. ve ark. “Detection of an Unidentified Emission Line in the Stacked

- X-Ray Spectrum of Galaxy Clusters.” *Astrophysical Journal* (2014); yayınlanacak.
- Burbidge, E. Margaret ve ark. “Synthesis of Elements in the Stars.” *Reviews of Modern Physics* 29, no. 4 (1957): 547–650.
- Burderi, Luciano ve Tiziana Di Salvo. “The Quantum Clock: A Critical Discussion on Space-Time.” arXiv preprint arXiv:1207.0207. 2012.
- Burles, Scott ve ark. “Sharpening the Predictions of Big-Bang Nucleosynthesis.” *Physical Review Letters* 82, no. 21 (1999): 4176.
- Butterfield, J. ve C. J. Isham. “On the Emergence of Time in Quantum Gravity.” In *The Arguments of Time*, J. Butterfield, ed., 111–68. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1999.
- Byers, Nina. “E. Noether’s Discovery of the Deep Connection between Symmetries and Conservation Laws.” *Proceedings of the Israel Mathematical Conference* 12 (1999): 67–82.
- Byers, Nina ve Gary A. Williams. *Out of the Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2006.
- Callahan, Tim. “Out of Nothing? The Genesis Creation Myth Is Not Unique.” *Skeptic* 17, no 3 (2012): 20–22.
- Carr, Bernard, ed. *Universe or Multiverse?* Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2007.
- Carroll, Sean M., William H. Press ve Edwin L. Turner. “The Cosmological Constant.” *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* 30 (1992): 499–542.
- Carroll, Sean M. *From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Theory of Time*. New York: Dutton, 2010.
- Carroll, Sean M. ve Jennifer Chen. “Spontaneous Inflation and the Origin of the Arrow of Time.” arXiv preprint hep-th/0410270. 2004.
- Carroll, Sean M. ve William Lane Craig. “Greer-Heard Forum: God and Cosmology.” <http://www.greerheard.com>. 23 Mart 2014’te erişim yapıldı.
- Catholic News Agency. “Believing in Aliens Not Opposed to Christianity, Vatican’s Top Astronomer Says.” 2008. http://www.catholicnewsagency.com/news/believing_in.aliens_not_opposed_to_christianity_vaticans_top_astronomer_says/. 15 Ağustos 2013’te erişim yapıldı.
- Chown, Marcus. *The Never-Ending Days of Being Dead: Dispatches from the Frontline of Science*. Londra: Faber and Faber, 2007.
- Clausius, Rudolf. “On the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat.” *Philosophical Magazine* 35 (1868): 404–19.
- Coleman, Sidney ve Frank De Luccia. “Gravitational Effects on and of Vacuum Decay.” *Physical Review D* 21, no. 12 (1980): 3305.
- Coles, Peter, ed. *The Routledge Companion to the New Cosmology*. London: Routledge, 2001.
- Collins, H. M. “Introduction: Stages in the Empirical Program of Relativism.” *Social Studies of Science* 11, no. 1 (1981): 3–10.
- Collins, Robin. “The Fine-Tuning Evidence Is Convincing.” In *Debating Christian Theism*, J. P. Moreland, Chad Meister ve Khaldoun A. Sweis, ed., 35–46.

- Oxford; New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2013.
- Courtois, H  lene M. ve ark. "Cosmography of the Local Universe." arXiv preprint arXiv:1306.0091. 2013.
- Cowley, Robert, ed. *The Collected What If?* New York: Putnam, 1998.
- Craig, William Lane. "The Craig-Pigliucci Debate: Does God Exist?" 1995. <http://www.leaderu.com/offices/billcraig/docs/craig-pigliucci2.html>. 13 Şubat 2010'da erişim yapıldı.
- . "Five Arguments for God." *The Gospel Coalition*. http://thegospelcoalition.org/pdf-articles/Craig_Atheism.pdf. 20 Aralık 2013'te erişim yapıldı.
- . "Hawking and Mlodinow: Philosophical Undertakers." <http://www.reasonablefaith.org/hawking-and-mlodinow-philosophical-undertakers>. 7 Ekim 2013'te erişim yapıldı.
- . *The Kalam Cosmological Argument*. Londra: Macmillan, 1979.
- . "Opening Speech." In *Is Faith in God Reasonable?* Paul Gould ve Corey Miller, ed. New York: Routledge, 2014.
- . "Philosophical and Scientific Pointers to Creatio ex Nihilo." *Journal of the American Scientific Affiliation* 32, no. 1 (1980): 5–13.
- Craig, William Lane ve James D. Sinclair. "The Kalam Cosmological Argument." *The Blackwell Companion to Natural Theology*, William Lane Craig ve James Porter Moreland, ed., 101–201. Chichester, Birleşik Krallık; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009.
- Craig, William Lane ve James Porter Moreland, ed. *The Blackwell Companion to Natural Theology*. Chichester, Birleşik Krallık; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009.
- Crowe, Michael J. *Theories of the World From Antiquity to the Copernican Revolution*. Mineola, NY: Dover Publications, 2001.
- Crume, Andrew. "Parallel Worlds." 2013. http://www.aeonmagazine.com/world-views/can-the-multiverse-explain-the-course-of-history/?utm_source=Aeon+newsletter&utm_campaign=9265966a75-Weekly_9_July_20137_26_2013&utm_medium=email&utm_term=0_411a-82e59d-9265966a75-68603881. 6 Eylül 2013'te erişim yapıldı.
- Cybert, Richard H., Brian D. Fields ve Keith A. Olive. "Primordial Nucleosynthesis in Light of WMAP." *Physics Letters B* 567 (2003): 227–34.
- D'Amico, Guido, Marc Kamionkowski ve Kris Sigurdson. "Dark Matter Astrophysics." *Dark Matter and Dark Energy: A Challenge for Modern Cosmology*, Sabiuno Matarrese ve ark., ed., 241–72. Dordrecht: Springer, 2011.
- Deem, Rich. "Evidence for the Fine Tuning of the Universe." 2013. <http://www.godandscience.org/apologetics/designun.html>. 12 Temmuz 2013'te erişim yapıldı.
- De Sitter, Willem. "On Einstein's Theory of Gravitation and Its Astronomical Consequences." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 78 (1917): 3–28.
- Deutsch, David. *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes—and Its Implications*. New York: Allen Lane, 1997.
- De Vaucouleurs, G. "The Extragalactic Distance Scale and the Hubble Constant." *Observatory* 102 (1982): 178–94.

- Dewitt, Bryce S. "The Many-Universes Interpretation of Quantum Mechanics." *The Many-worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Bryce S. DeWitt ve Neill Graham, ed., 167–218. Princeton, NJ: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1973.
- . "Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory." *Physical Review* 160 (1967): 1113–48.
- Dick, Philip K. *The Man in the High Castle, a Novel*. New York: Putnam, 1962.
- Dicke, R. H. ve ark. "Cosmic Black-Body Radiation." *Astrophysical Journal* 142 (1965): 414–19.
- Dirac, Paul. "A New Basis for Cosmology." *Proceedings of the Royal Society A* 165 (1938): 199–208.
- . *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Clarendon, 1930.
- . "Quantised Singularities in the Electromagnetic Field." *Proceedings of the Royal Society of London*, ser. A, matematiksel ve fiziksel bir karakterin makalelerini içermektedir (1931): 60–72.
- Dressler, Alan Michael. *Voyage to the Great Attractor: Exploring Intergalactic Space*. New York: A. A. Knopf, 1994.
- D'Souza, Dinesh. *Life after Death: The Evidence*. Washington, DC: Regnery, 2009.
- . *What's So Great about Christianity?* Washington, DC: Regnery, 2007.
- Duncan, Comer ve Michael Bradie. "Physics and Philosophy of Space and Time," Bowling Green Devlet Üniversitesi'ndeki kurs. 1998. <http://physics.bgsu.edu/~gcd/ppst.html>. 20 Aralık 2013'te erişim yapıldı.
- Dyson, Freeman J. "The Radiation Theories of Tomonaga, Schwinger, and Feynman." *Physical Review* 75, no. 3 (1949): 486–502.
- Eddington, Arthur S. "The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Physics." *Nature* 127 (1931): 447–53.
- . *The Expanding Universe*. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1933.
- Einstein, Albert. "Cosmological Considerations on the General Theory of Relativity." Çevrilmiş. *Cosmological Constants: Papers in Modern Cosmology*, Jeremy Bernstein ve Gerald Feinberg, ed., 16–26. New York: Columbia Üniversitesi Yayınları, 1986.
- Einstein, Albert, Max Born ve Hedwig Born. *The Born-Einstein Letters: Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955, with Commentaries by Max Born*. Londra: Macmillan, 1971.
- Eisenstein, Daniel J. ve ark. "Detection of the Baryon Acoustic Peak in the Large-Scale Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies." *Astrophysical Journal* 633, no. 2 (2005): 560.
- Englert, F. ve R. Brout. "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Bosons." *Physical Review Letters* 13 (1964): 321.
- Epicurus. *The Art of Happiness*. Çeviri, giriş ve açıklama: George K. Strodach. New York: Penguin Books, 2012.
- Everett, Hugh, III. "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics." *Reviews of Modern Physics* 29 (1957): 434–62.
- Exoplanet Team (Güneş Sistemi Dışındaki Gezegen Ekibi). *The Extrasolar Pla-*

- nets Encyclopaedia*. 1995. exoplanet.eu. 2013'te erişim yapıldı.
- Fairbanks, Arthur, ed. *The First Philosophers of Greece*. Londra: K. Paul, Trench, Trübner, 1898.
- Ferngren, Gary B., Edward J. Larson ve Darrel W. Amundsen. *The History of Science and Religion in the Western Tradition: An Encyclopedia*. New York: Garland, 2000.
- Feynman, Richard. "Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics." *Physical Review* 76, no. 6 (1949): 769–89.
- "Finds Spiral Nebula Are Stellar Systems." *New York Times*, November 23, 1924, sf. 6.
- Freedman, D. Z., D. N. Schramm ve D. L. Tubbs. "The Weak Neutral Current and Its Effects in Stellar Collapse." *Annual Reviews of Nuclear Science* 27 (1977): 167–207.
- Friedmann, Alexander. "On the Curvature of Space." *General Relativity and Gravitation* 31, no. 12 (1999): 1991–2000.
- . "Über die Krümmung des Raumes." *Zeitschrift für Physik* 10, no. 1 (1922): 377–286.
- Galilei, Galileo. *Sidereus nuncius, Or, The Sidereal Messenger*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1989; ilk olarak 1610'da yayınlanmıştır.
- Gamow, George. "The Origin of the Elements and the Separation of Galaxies." *Physical Review* 74 (1948): 505–506.
- Ganga, Ken ve ark. "Cross-Correlation between the 170 Ghz Survey Map and the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps." *Astrophysical Journal* 410 (1993): L57–60.
- Garriga, Jaume ve Alexander Vilenkin. "Many Worlds in One." *Physical Review D* 64 (2001): 043511.
- Geller, Margaret J. ve John P. Huchra. "Mapping the Universe." *Science* 246, no. 4932 (1989): 897–903.
- Genz, Henning. *Nothingness: The Science of Empty Space*. Reading, MS: Perseus Books, 1999.
- Georgi, Howard ve S. L. Glashow. "Unity of All Elementary-Particle Forces." *Physical Review Letters* 32 (1974): 438–41.
- Gingerich, Owen. *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*. New York: Amerikan Fizik Enstitüsü, 1993.
- Goldman, T. J. ve D. A. Ross. "A New Estimate of the Proton Decay Lifetime." *Physics Letters B* 84, no. 2 (1979): 208–10.
- Gonzalez, Guillermo ve Jay Wesley Richards. *The Privileged Planet: How Our Place in the Cosmos is Designed for Discovery*. Washington, DC; Lanham, MD: Regnery, 2004.
- Gorbunov, D. S. ve V. A. Rubakov. *Introduction to the Theory of the Early Universe: Hot Big Bang Theory*. Singapur; Hackensack, NJ: World Scientific, 2011.
- Gott, J. Richard, III ve ark. "A Map of the Universe." *Astrophysical Journal* 624, no. 2 (2008): 463.
- Gott, Richard, III ve ark. "Will the Universe Expand Forever?" *Scientific American*, Mart 1976, sf. 65.

- Gould, Paul ve Corey Miller, ed. *Is Faith in God Reasonable? The Great Debate in Light of Contemporary Science, Philosophy, and Rhetoric*. New York: Routledge, 2014.
- Grant, Edward. *Science and Religion, 400 B.C. to A.D. 1550: From Aristotle to Copernicus*. Westport, CT: Greenwood, 2004.
- Greene, Brian. *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*. New York: Alfred A. Knopf, 2011.
- Greenstein, Jesse L. ve Maarten Schmidt. "The Quasi-Stellar Radio Sources 3C 48 and 3C 273." *Astrophysical Journal* 140 (1964): 1–34.
- Greenstein, Jesse L. ve Thomas A. Matthews. "Red-Shift of the Unusual Radio Source: 3C 48." *Nature* 197 (1963): 1041–42.
- Gribbin, John. *Search of the Multiverse: Parallel Worlds, Hidden Dimensions, and the Ultimate Quest for the Frontiers of Reality*. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- Guralnik, G. G., C. R. Hagen ve T. W. Kibble. "Global Conservation Laws and Massless Particles." *Physical Review Letters* 13 (1964): 585.
- Guth, Alan H. "Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems." *Physical Review D* 23, no. 2 (1981): 347–56.
- . *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.
- Guth, Alan H. ve Erick J. Weinberg. "Could the Universe Have Recovered from a Slow First-Order Phase Transition?" *Nuclear Physics B* 212, no. 2 (1983): 321–64.
- Guth, Alan H. ve Paul J. Steinhardt. "The Inflationary Universe." *Scientific American* 250 (1984): 116–28.
- Guth, Alan H. ve S.-H. H. Tye. "Phase Transitions and Magnetic Monopole Production in the Very Early Universe." *Physical Review Letters* 44, no. 10 (1980): 631–35.
- Guth, A. H. "Quantum Fluctuations in Cosmology and How They Lead to a Multiverse." 25. *Solvay Fizik Konferansı, Kuantum Dünyasının Teorisi* (2011).
- Hagen, Kirk D. "Eternal Progression in a Multiverse: An Explorative Mormon Cosmology." *Dialogue: A Journal of Mormon Thought* 39, no. 2 (2006): 1–45.
- Haines, Todd ve ark. "Neutrinos from SN1987a in the IMB Detector." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 264, no. 1 (1988): 28–31.
- Halvorson, Hans ve Helge Kragh. "Theism and Physical Cosmology." *Routledge Companion to Theism*, Stewart Goetz, Victoria Harrison ve Charles Taliaferro, ed. New York; Abingdon, Birleşik Krallık: Routledge, 2009.
- Hamilton, Jean-Christophe. "What Have We Learned from Observational Cosmology?" *Modern Kozmolojinin Felsefi Yönleri Toplantısı*, Grenada, İspanya, 22–23 Eylül 2013.
- Hancock, S. ve ark. "Constraints on Cosmological Parameters from Recent Measurements of Cosmic Microwave Background Anisotropy." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 294, no. 1 (1998): L1–L6.

- Hand, Eric. "Hunt for the Sterile Neutrino Heats Up." *Nature* 464 (2010): 334–35.
- Hanson, D. ve ark. "Detection of B-Mode Polarization in the Cosmic Microwave Background with Data from the South Pole Telescope." *Physical Review Letters* 111 (2013): 141301.
- Harrison, Edward R. "Fluctuations at the Threshold of Classical Cosmology." *Physical Review D* 1, no. 10 (1970): 2726.
- . *Masks of the Universe*. New York; Londra: Macmillan; Collier Macmillan, 1985.
- Hartle, James B. ve Stephen W. Hawking. "Wave Function of the Universe." *Physical Review D* 28 (1983): 2960–75.
- Hawking, Stephen. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*. Toronto; New York: Bantam Books, 1988.
- . "Quantum Cosmology." In *Three Hundred Years of Gravitation*, S. W. Hawking ve W. Israel, ed., 631–51. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1987.
- Hawking, Stephen ve Leonard Mlodinow. *The Grand Design*. New York: Bantam Books, 2010.
- Hawking, Stephen ve Roger Penrose. "The Singularities of Gravitational Collapse." *Proceedings of the Royal Society of London*, ser. A, 314 (1970): 529–48.
- Hawking, S. W. ve W. Israel. *Three Hundred Years of Gravitation*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1987.
- Hewish, A. ve ark. "Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source." *Nature* 217 (1968): 709–13.
- Higgs, Peter W. "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons." *Physical Review Letters* 13 (1964): 508.
- Hilbert, David. "On the Infinite." *A Source Book in Mathematical Logic, 1879–1931*, Jean Van Heijenoort, ed., 370–71. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1967.
- . "On the Infinite." *Philosophy of Mathematics*, Paul Benacerraf ve Hilary Putnam, ed., 139–41. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964. İlk önce 24 Haziran 1925'te Westphalian Matematik Topluluğu'nun bir kongresinde, Karl Weierstrauss'un onuruna (Almanca olarak) sunuldu.
- Hinshaw, G. ve ark. "Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results." *Astrophysical Journal Supplement Series* 180, no. 2 (2009): 225.
- Hirata, K. ve ark. "Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A." *Physical Review Letters* 58 (1987): 1490–93.
- Holt, Jim. *Why Does the World Exist? An Existential Detective Story*. New York: Liveright, 2012.
- Holtzman, Jon A. "Microwave Background Anisotropies and Large-Scale Structure in Universes with Cold Dark Matter, Baryons, Radiation, and Massive and Massless Neutrinos." *Astrophysical Journal Supplement Series* 71 (1989): 1–24.
- Hoskin, Michael A. *William Herschel and the Construction of the Heavens*. New York: Norton, 1964.

- Hoyle, Fred. *Home Is Where the Wind Blows: Chapters from a Cosmologist's Life*. Mill Valley, CA: University Science Books, 1994.
- . “A New Model for the Expanding Universe.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 372–82.
- . “On Nuclear Reactions Occurring in Very Hot Stars. I. The Synthesis of Elements from Carbon to Nickel.” *Astrophysical Journal Supplement* 1 (1954): 121–46.
- . “The Universe: Past and Present Reflections.” *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* 20 (1982): 1–35.
- . “The Universe: Past and Present Reflections.” *Engineering and Science*, (Kasım 1981): 8–12.
- Hoyle, Fred, Geoffrey R. Burbidge ve Jayant Vishnu Narlikar. *A Different Approach to Cosmology: From a Static Universe through the Big Bang Towards Reality*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2005.
- Hu, Wayne ve Martin White. “The Cosmic Symphony.” 2004. <http://background.uchicago.edu/~whu/SciAm/sym1.html>. 6 Haziran 2014’te erişim yapıldı.
- Hubble, Edwin. “Cepheids in Spiral Nebulae.” *Publications of the American Astronomical Society* 5 (1925): 261–64.
- . “Extra-Galactic Nebulae.” *Astrophysical Journal* 64 (1926): 331–69.
- . “Problems of Nebular Research.” *Scientific Monthly* 51 (1940): 391–408.
- . *The Realm of the Nebulae*. New Haven, CT; London: Yale University Press; H. Milford, Oxford Üniversitesi Yayınları, 1936.
- . “A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 3 (1929): 168–73.
- Huber, Patrick ve Jon Link. “White Paper on Sterile Neutrinos.” 2012. http://cnp.phys.vt.edu/white_paper/whitepaper.pdf. 10 Eylül 2012’de erişim yapıldı.
- Humason, Milton. “The Large Radial Velocity of N.G.C. 7619.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 3 (1929): 167–68.
- IceCube İşbirliği. “Evidence for High-Energy Extraterrestrial Neutrinos at the Icecube Detector.” *Science* 342, no. 6161 (2013): 1242856.
- Iocco, F. ve ark. “Primordial Nucleosynthesis: From Precision Cosmology to Fundamental Physics.” *Physics Reports* 472 (2009): 1–76.
- Isaacson, Walter. *Einstein: His Life and Universe*. New York: Simon & Schuster, 2007.
- Jaffe, Andrew H. ve ark. “Cosmology from MAXIMA-1, BOOMERANG, and COBE DMR Cosmic Microwave Background Observations.” *Physical Review Letters* 86, no. 16 (2001): 3475–79.
- Jansky, Karl G. “Electrical Disturbances of Extraterrestrial Origin.” *Proceedings of the IEEE* 86, no. 7 (1988): 1510–15.
- Jarosik, N. ve ark. “Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results.” *Astrophysical Journal Supplement Series* 192, no. 2 (2011): 14.
- Jastrow, Robert. *God and the Astronomers*. New York: Norton, 1992.

- Jeans, James. *Astronomy and Cosmogony*. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1928.
- Kaiser, David. "Physics and Feynman's Diagrams." *American Scientist* 93 (2005): 156–65.
- Kant, Immanuel. *Universal Natural History and Theory of the Heavens*. Ann Arbor: Michigan Üniversitesi Yayınları, 1969.
- Kazanas, Demos. "Dynamics of the Universe and Spontaneous Symmetry Breaking." *Astrophysical Journal* 241 (1980): L59–63.
- Kerzberg, Pierre. *The Invented Universe. The Einstein-de Sitter Controversy (1916–17) and the Rise of Relativistic Cosmology*. Oxford: Clarendon, 1989.
- Kibble, T. W. B. "Topology of Cosmic Domains and Strings." *Journal of Physics A: Mathematical and General* 9, no. 8 (1976): 1387–98.
- Kirk, Geoffrey S., John E. Raven ve Malcolm Schofield. *The Presocratic Philosophers: A Critical History with a Selection of Texts*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1983.
- Kirshner, Robert P. "Hubble's Diagram and Cosmic Expansion." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, no. 1 (2004): 8–13.
- Klauber, Robert D. "Mechanism for Vanishing Zero Point Energy." 2007. <http://lanl.arxiv.org/abs/astro-ph/0309679v3>. 5 Ağustos 2010'da erişim yapıldı.
- Kolb, Edward W. ve Michael S. Turner. *The Early Universe*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.
- Komatsu, E. ve ark. "WMAP Five-Year Observations: Cosmological Interpretation." *Astrophysical Journal Supplement Series* 180 (2009): 330–76.
- Kragh, Helge. *Conceptions of Cosmos from Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*. Oxford; New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2007.
- . *Entropic Creation: Religious Contexts of Thermodynamics and Cosmology*. Aldershot, Hampshire, İngiltere; Burlington, VT: Ashgate, 2008.
- . *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology*. Londra: Imperial College Yayınları, 2004.
- . "Quasi-Steady-State and Related Cosmological Models: A Historical Review." arXiv preprint arXiv:1201.3449. 2012.
- Krauss, Lawrence M. *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather Than Nothing*. New York: Free Press, 2012.
- Krauss, Lawrence M. ve Michael S. Turner. "The Cosmological Constant Is Back." *General Relativity and Gravitation* 27, no. 11 (1995): 1137–44.
- Kuhlmann, Meinhard. "What Is Real?" *Scientific American*, August, 2013, sf. 40–47.
- Kuhn, Thomas S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1962.
- Lang, Kenneth R. ve Owen Gingrich, ed. *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900–1975*. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1979.
- Lederman, Leon M. ve Christopher T. Hill. *Beyond the God Particle*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2013.
- . *Symmetry and the Beautiful Universe*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2004.

- Lederman, Leon M. ve Dick Teresi. *The God Particle: If the Universe Is the Answer, What Is the Question?* Boston: Houghton Mifflin, 1993.
- Leeming, David Adams. *Creation Myths of the World: An Encyclopedia*. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 2010.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Theodicy: Essays on the Goodness of God, the Freedom of Man, and the Origin of Evil*. La Salle, IL: Open Court, 1985.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm ve Samuel Clarke. *The Leibniz-Clarke Correspondence: Together with Extracts from Newton's Principia and Opticks*. Manchester, Birleşik Krallık: Manchester Üniversitesi Yayınları, 1956.
- Lemaître, Georges. "The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory." *Nature* 127 (1931): 706.
- . "Expansion of the Universe: A Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 91 (1931): 490–501.
- . *The Primeval Atom: An Essay on Cosmogony*. New York: Van Nostrand, 1950.
- . "Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques" ("A Homogeneous Universe of Constant Mass and Growing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extragalactic Nebulae"). *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* 47 (1927): 49.
- Lerner, Eric J. *The Big Bang Never Happened*. New York: Times Books/Random House, 1991.
- Leslie, John, ed. *Modern Physics and Cosmology*. Amherst, NY: Prometheus Books, 1998.
- Lewis, Bernard. *The Assassins: A Radical Sect in Islam*. New York: Basic Books, 2003.
- Liberati, Stefano. "Greek Cosmology: From Course at University of Maryland." 2003. <http://www.physics.umd.edu/courses/Phys117/Liberati/Support/cosmology.pdf>. 29 Ekim 2012'de erişim yapıldı.
- Lifshitz, Evgenii. "On the Gravitational Stability of the Expanding Universe." *Journal of Physics—USSR* 10 (1946): 116.
- Lindberg, David C. *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, Prehistory to A.D. 1450*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 2007.
- Lindberg, David C. ve Ronald L. Numbers. *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*. Berkeley: California Üniversitesi Yayınları, 1986.
- Linde, André. "Chaotic Inflation." *Physics Letters B* 129, no. 3 (1983): 177–81.
- . "Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe." *Physics Letters B* 175, no. 4 (1986): 395–400.
- . "The Inflationary Universe." *Reports on Progress in Physics* 47 (1984): 925–86.
- . "A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Hori-

- zon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems." *Physics Letters B* 108 (1982): 389.
- . "Quantum Creation of the Inflationary Universe." *Physics Letters* 108B (1982): 389–92.
- . "The Self-Reproducing Inflationary Universe." *Scientific American* 271, no. 5 (1994): 48–55.
- Lindsay, James A. *Dot, Dot, Dot: Infinity Plus God Equals Folly*. Fareham, Hampshire, Birleşik Krallık: Onus Books, 2013.
- Livio, M. "Lost in Translation: Mystery of the Missing Text Solved." *Nature* 479 (2011): 171–73.
- Livio, M. ve ark. "The Anthropic Significance of the Existence of an Excited State of C12." *Nature* 340 (1989): 281–84.
- Lucretius. *De rerum natura*. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1992.
- Luminet, Jean-Pierre. "Editorial Note to: Georges Lemaître, 'The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory.'" *General Relativity and Gravitation* 43 (2011): 2911–28.
- MacAskill, Ewin. "George Bush: 'God Told Me to End the Tyranny in Iraq.'" *Guardian*, 2005.
- Manly, Steven L. *Visions of the Multiverse*. Pompton Plains, NJ: New Page Books, 2011.
- Martinetti, Pierre. "Emergence of Time in Quantum Gravity: Is Time Necessarily Flowing?" J arXiv preprint arXiv:1203.4995. 2012.
- Massey, Richard, Thomas Kitching ve Johan Richard. "The Dark Matter of Gravitational Lensing." *Reports on Progress in Physics* 73, no. 8 (2010): 086901.
- Matarrese, Sabiuno ve ark., ed. *Dark Matter and Dark Energy: A Challenge for Modern Cosmology*. Dordrecht: Springer, 2011.
- Mather, John C. ve ark. "Measurement of the Cosmic Microwave Background Spectrum by the COBE FIRAS Instrument." *Astrophysical Journal* 420 (1994): 439–44.
- Matthews, J. G., T. Kajino ve T. Shima. "Big Bang Nucleosynthesis with a New Neutron Lifetime." *Physical Review D* 71 (2005): 021302.
- Maxwell, James Clerk. *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. New York: Dover, 1965.
- McLaughlin, P. J. *The Church and Modern Science*. New York: Philosophical Library, 1957.
- Milgrom, Mordehai. "A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis." *Astrophysical Journal* 270 (1983): 365–70.
- Milne, Edward Arthur. *Kinematic Relativity; a Sequel to Relativity, Gravitation and World Structure*. Oxford: Clarendon, 1948.
- . *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*. Oxford: Clarendon, 1952.
- . *Relativity, Gravitation and World-Structure*. Oxford: Clarendon, 1935.
- Milstead, D. ve E. J. Weinberg. "Magnetic Monopoles." 2011. <http://pdg.web>.

- cern.ch/pdg/2011/reviews/rpp2011-rev-mag-monopole-searches.pdf. 9 Mart 2013'te erişim yapıldı.
- Moffat, J. W. "A New Nonsymmetric Gravitational Theory." *Physics Letters B* 355, no. 3 (1995): 447–52.
- Moreva, Ekaterina ve ark. "Time from Quantum Entanglement: An Experimental Illustration." arXiv preprint arXiv:1310.4691. 2013.
- NASA Ames Araştırma Merkezi. "Kepler Discoveries." 2013. <http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/>. 6 Kasım 2013'te erişim yapıldı.
- NASA/WMAP Bilim Ekibi. "WMAP: Build a Universe." 2012. http://wmap.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool/index.html. 11 Mayıs 2013'te erişim yapıldı.
- Nemiroff, Robert J. ve ark. "Bounds on Spectral Dispersion from Fermi-Detected Gamma Ray Bursts." *Physical Review Letters* 108, no. 23 (2012): 231103.
- Netterfield, C. Barth ve ark. "A Measurement of the Angular Power Spectrum of the Anisotropy in the Cosmic Microwave Background." *Astrophysical Journal* 474, no. 1 (1997): 47.
- Neugebauer, Otto. *Notes on Hipparchus*. Locust Valley, NY: J. J. Augustin, 1956.
- Nickell, Joe. *The Science of Miracles: Investigating the Incredible*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2013.
- Nolta, M. R. ve ark. "Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Angular Power Spectra." *Astrophysical Journal Supplement Series* 180, no. 2 (2009): 296.
- North, John David. *Cosmos: An Illustrated History of Astronomy and Cosmology*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 2008.
- Olive, Keith A. ve Evan D. Skillman. "A Realistic Determination of the Error on the Primordial Helium Abundance: Steps Toward Nonparametric Nebular Helium Abundances." *Astrophysical Journal* 617, no. 1 (2004): 29.
- Ort, Mary Ackworth. *Dante and the Early Astronomers*. Port Washington, NY: Kennikat, 1969; ilk olarak 1914'te yayınlandı, Londra, Edinburgh: Gall and Inglis.
- Ostriker, Jeremiah P. ve Simon Mitton. *Heart of Darkness: Unraveling the Mysteries of the Invisible Universe*. Princeton, NJ; Oxford: Princeton Üniversitesi Yayınları, 2013.
- Overbye, Dennis. "Essay; Remembering David Schramm, Gentle Giant of Cosmology." *New York Times*, 10 Şubat 1998.
- . "Space Ripples Reveal Big Bang's Smoking Gun." *New York Times*, 17 Mart 2014.
- Padmanabhan, Thanu. "Grappling with Gravity." *Scientific American India*, Ocak 2011, sf. 31–35.
- Page, Don. "Does God So Love the Multiverse?" *Science and Religion in Dialogue*, Melville Y. Stewart, ed., 380–95. Chichester, Birleşik Krallık: Wiley-Blackwell, 2010.
- Page, Don N. ve William K. Wootters. "Evolution without Evolution: Dynamics Described by Stationary Observables." *Physical Review D* 27, no. 12 (1983): 2885.
- Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford; New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1982.

- Peebles, P. J. E. *The Large-Scale Structure of the Universe*. Princeton, NJ: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1980.
- Peebles, Philip J. E. ve J. T. Yu. "Primeval Adiabatic Perturbation in an Expanding Universe." *Astrophysical Journal* 162 (1970): 815–36.
- Penrose, Roger. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford; New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1989.
- . *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. Londra: Jonathan Cape, 2004.
- Penzias, Arno A. ve Robert W. Wilson. "A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s." *Astrophysical Journal* 142 (1965): 419–21.
- Perlmutter, Saul ve ark. "Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae." *Astrophysical Journal* 517, no. 2 (1999): 565.
- Petigura, Erik A., Andrew W. Howard ve Geoffrey W. Marcy. "Prevalence of Earth-Size Planets Orbiting Sun-like Stars." *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2013): 19175–76.
- Planck İşbirliği, P. A. R. Ade, et al. "Planck 2013 Results. I. Overview of Products and Scientific Results." arXiv preprint arXiv:1303.5062. 2013.
- . "Planck 2013 Results. XXIII. Isotropy and Statistics of the CMB." arXiv preprint arXiv:1303.5083. 2013.
- Pogosian, Dmitri. "Astronomy 122: Astronomy of Stars and Galaxies." 2013. http://www.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/ASTRO_122/lect27/lecture27.html. 21 Şubat 2013'te erişim yapıldı.
- Polyakov, Alexander M. "Particle Spectrum in Quantum Field Theory." *Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 20 (1974): 194–95.
- Papa XII. Pius. "The Proofs for the Existence of God in the Light of Modern Science." Papa XII. Pius'un Papalık Bilimler Akademisi'ne hitabı, 22 Kasım 1951. <http://www.papalencyclicals.net/Pius12/P12EXIST.HTM>. 27 Ocak 2013'te erişim yapıldı.
- . "The Proofs for the Existence of God in the Light of Modern Natural Science." *Catholic Mind* 49 (1972): 182–92.
- Price, Huw. *Time's Arrow & Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time*. New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1996.
- Price, Robert M. ve Edwin A. Suominen. *Evolving out of Eden*. Valley, WA: Tellectual, 2013.
- Riess, Adam G. ve ark. "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant." *Astronomical Journal* 116, no. 3 (1998): 1009.
- Roberts, B. H. *New Witness for God*. Salt Lake City, UT: George Q. Canon & Sons, 1898.
- Robertson, Howard P. "On the Foundations of Relativistic Cosmology." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15, no. 11 (1929): 822–29.
- Robinson, George L. *Leaders of Israel: a Brief History of the Hebrews from the Earliest Times to the Downfall of Jerusalem, A.D. 70*. New York: Uluslararası Genç Erkekler Hristiyan Dernekleri Komitesi, 1906.

- Rogers, Eric M. *Physics for the Inquiring Mind; the Methods, Nature, and Philosophy of Physical Science*. Princeton, NJ: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1960.
- Ross, Hugh. "Big Bang Model Refined By Fire." *Mere Creation: Science, Faith & Intelligent Design*, William A. Dembski, ed., 363–83. Downers Grove, IL: Intervarsity, 1998.
- . *The Creator and the Cosmos: How the Greatest Scientific Discoveries of the Century Reveal God*. Colorado Springs, CO: NavPress, 1995.
- Roth, Philip. *The Plot against America*. Boston: Houghton Mifflin, 2004.
- Rundle, Bede. *Why There Is Something Rather Than Nothing*. Oxford; New York: Clarendon Oxford Üniversitesi Yayınları, 2004.
- Sachs, Rainer K. ve Arthur M. Wolfe. "Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background." *Astrophysical Journal* 147 (1967): 73.
- Sagan, Carl. *Cosmos*. New York: Random House, 1980.
- Sakharov, Andrei. "Vacuum Quantum Fluctuations in Curved Space." *Doklady Akademii Nauk SSSR* 177, no. 1 (1967): 70–71.
- . "Violation of CP Invariance, C Asymmetry, and Baryon Asymmetry of the Universe." *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 5 (1967): 24–27.
- Salpeter, E. E. "Nuclear Reactions in Stars without Hydrogen." *Astrophysical Journal* 115 (1952): 326–28.
- Sato, Katsuhiko. "First-Order Phase Transitions of a Vacuum and the Expansion of the Universe." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 195 (1981): 467–79.
- Schellenberg, J. L. *Divine Hiddenness and Human Reason*. Ithaca, NY: Cornell Üniversitesi Yayınları, 1993.
- Schmidt, Maarten. "3C 273: A Star-like Object with Large Red-Shift." *Nature* 197 (1963): 1040.
- Schombert, James. "Cosmology: Course at the University of Oregon." 2012. <http://abyss.uoregon.edu/~js/cosmo/>. 6 Haziran 2014'te erişim yapıldı.
- Schönbom, Christoph. "Finding Design in Nature." *New York Times*, 7 Temmuz 2005.
- Schwinger, Julian. "On Quantum-Electrodynamics and the Magnetic Moment of the Electron." *Physical Review* 73, no. 4 (1948): 416–17. "Scientists Gather for 1920 Conclave." *Washington Post*, 25 Nisan 1920, sf. 38.
- Sedley, D. N. *Creationism and Its Critics in Antiquity*. Berkeley: California Üniversitesi Yayınları, 2007.
- Seljak, Uros ve Matias Zaldarriaga. "A Line of Sight Approach to Cosmic Microwave Background Anisotropies." *Astrophysical Journal* 469 (1996): 437–44.
- Shapley, Harlow ve Herber D. Curtis. "The Scale of the Universe." *Bulletin of the National Research Council* 2, no. 11 (1921): 171–217.
- Shostak, Seth. "The Numbers are Astronomical." 2013. http://www.huffingtonpost.com/seth-shostak/the-numbers-are-astronomi_b_4214484.html. 6 Kasım 2013'te erişim yapıldı.
- Silk, Joseph. *The Big Bang*. New York: W. H. Freeman, 2001.

- . “Cosmic Black-Body Radiation and Galaxy Formation.” *Astrophysical Journal* 151 (1968): 459–71.
- Silvestri, Alessandra ve Mark Trodden. “Approaches to Understanding Cosmic Acceleration.” *Reports on Progress in Physics* 72 (2009): 096901.
- Slipher, Vesto M. “Spectrographic Observations of Nebulae.” *Popular Astronomy* 23 (1915): 21–24.
- Smith, George. *The Chaldean Account of Genesis, Containing the Description of the Creation, the Fall of Man, the Deluge, the Tower of Babel, the Times of the Patriarchs, and Nimrod: Babylonian Fables, and Legends of the Gods; From the Cuneiform Inscriptions*. New York: Scribner, Armstrong, 1876.
- Smith, Robert. “Edwin P. Hubble and the Transformation of Cosmology.” *Physics Today* 43, no. 4 (1990): 52–58.
- Smolin, Lee. *The Life of the Cosmos*. New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1997.
- . “A Perspective on the Landscape Problem.” 2012. <http://arxiv.org/pdf/1202.3373v1.pdf>. 5 Eylül 2012’de erişim yapıldı.
- . “The Status of Cosmological Natural Selection.” 2006. <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0612185v1.pdf>. Accessed September 5, 2012.
- . *Three Roads to Quantum Gravity*. New York: Basic Books. 2002.
- Smoot, George ve ark. “COBE Differential Microwave Radiometers-Instrument design and implementation.” *Astrophysical Journal* 360 (1990): 685–95.
- Smoot, George ve Keay Davidson. *Wrinkles in Time*. New York: W. Morrow, 1993.
- Smoot, George F. ve ark. “Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps.” *Astrophysical Journal* 396 (1992): L1–L5.
- Sobel, Dava. *A More Perfect Heaven: How Copernicus Revolutionized the Cosmos*. New York: Walker, 2011.
- Spergel, D. N. ve ark. “Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology.” *Astrophysical Journal Suppl.* 170 (2007): 377.
- Stacey, Frank. “Kelvin’s Age of the Earth Paradox Revisited.” *Journal of Geophysical Research* 105, no. B6 (2000): 155–58.
- Stallings, A. E. ve Richard Jenkyns. *Lucretius: The Nature of Things*. London; New York: Penguin, 2007.
- Starobinsky, Alexei A. “A New Type of Isotropic Cosmological Models without Singularity.” *Physics Letters B* 91, no. 1 (1980): 99–102.
- Stecker, Floyd W. “IceCube Observed PeV Neutrinos from AGN Cores.” J arXiv preprint arXiv:1305.7404. 2013.
- Steigman, Gary, David N. Schramm ve James E. Gunn. “Cosmological Limits to the Number of Massive Leptons.” *Physics Letters B* 66, no. 2 (1977): 202–204.
- Steinhardt, Paul J. ve Neil Turok. *Endless Universe: Beyond the Big Bang*. New York: Doubleday, 2007.
- Stenger, Victor J. *The Comprehensible Cosmos: Where Do the Laws of Physics Come From?* Amherst, NY: Prometheus Books, 2006.

- . *The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe Is Not Designed for Us*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2011.
- . *God: the Failed Hypothesis. How Science Shows That God Does Not Exist*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2007.
- . *God and the Atom: From Democritus to the Higgs Boson*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2013.
- . *Has Science Found God? The Latest Results in the Search for Purpose in the Universe*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2003.
- . “Neutrino Oscillations in DUMAND.” *Neutrino Mass: Mini-Conference and Workshop Transparencies*, V. Barger ve D. Cline, ed., 174–78. Madison: Wisconsin Üniversitesi, 1980.
- . *Not By Design: the Origin of the Universe*. Amherst, NY: Prometheus Books, 1988.
- . “The Production of Very High Energy Photons and Neutrinos from Cosmic Proton Sources.” *Astrophysical Journal* 284 (1984): 810–16.
- . *Quantum Gods: Creation, Chaos, and the Search for Cosmic Consciousness*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2009.
- . “A Scenario for the Natural Origin of the Universe.” *Philo* 9, no. 2 (2006): 93–102.
- . *Timeless Reality: Symmetry, Simplicity, and Multiple Universes*. Amherst, NY: Prometheus Books, 2000.
- . *The Unconscious Quantum: Metaphysics in Modern Physics and Cosmology*. Amherst, NY: Prometheus Books, 1995.
- . “The Universe Shows No Evidence for Design.” In *Debating Christian Theism*, J. P. Moreland, Chad Meister ve Khaldoun A. Sweis, ed., 47–58. Oxford; New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2013.
- Subrahmanyam, Ravi, ve ark. “A Search for Arcminute Scale Anisotropy in the Cosmic Microwave Background.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 263, no. 2 (1993): 416.
- Sunyaev, Rashid A. ve Ya B. Zel’dovich. “Small-Scale Fluctuations of Relic Radiation.” *Astrophysics and Space Science* 7, no. 1 (1970): 3–19.
- Süper-Kamiokande İşbirliği. “Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos.” *Physical Review Letters* 81 (1998): 1562–67.
- . “Proton Lifetime Is Longer Than 1034 Years.” 2011. <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/whatsnew/new-20091125-e.html>. 22 Şubat 2013’te erişim yapıldı.
- Susskind, Leonard. *Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. New York: Little, Brown, 2005.
- Svoboda, R. ve K. Gordan. “Neutrinos in the Sun.” 1998. <http://apod.nasa.gov/apod/ap980605.html>. 11 Ocak 2012’de erişim yapıldı.
- Tegmark, Max. “The Mathematical Universe.” *Foundations of Physics* 38, no. 2 (2008): 101–50.
- . *Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality*. New York: Alfred A. Knopf, 2014.
- Tegmark, Max ve Martin J. Rees. “Why Is the CMB Fluctuation Level 10⁻⁵?” *Astrophysical Journal* 499 (1998): 526–32.

- Tegmark, Max ve ark. "Cosmological Parameters from SDSS and WMAP." *Physical Review D* 69, no. 10 (2004): 103501.
- Tegmark, Max, Matias Zaldarriaga ve Andrew Hamilton. "Towards a Refined Cosmic Concordance Model: Joint 11-Parameter Constraints from the Cosmic Microwave Background and Large-Scale Structure." *Physical Review D* 63 (2000): 043007.
- Thompson, Darcy Wentworth. *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1992.
- Thompson, Gary D. "The Development, Heyday, and Demise of Panbabylonism." 2012. <http://members.westnet.com.au/Gary-David-Thompson/page9e.html>. 28 Ekim 2012'de erişim yapıldı.
- 't Hooft, Gerard. "Magnetic Monopoles in Unified Gauge Theories." *Nuclear Physics B* 79, no. 2 (1974): 276–84.
- Tolman, Richard C. *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*. Oxford: Clarendon, 1934.
- Tomonoga, Sin-Itiro. "On a Relativistically Invariant Formulation of the Quantum Theory of Wave Fields." *Progress in Theoretical Physics* 1, no. 2 (1946): 27–42.
- Tong, David. "Is Quantum Reality Analog after All?" *Scientific American*, 26 Kasım 2012.
- Tully, R. Brent ve J. Richard Fisher. *Nearby Galaxies Atlas*. Cambridge; New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1987.
- . "A New Method of Determining Distances to Galaxies." *Astronomy and Astrophysics* 54 (1977): 661–73.
- Turner, Michael S. "David Norman Schramm 1945–1997." 2009. <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/schramm-david.pdf>. 6 Şubat 2012'de erişim yapıldı. "Universe Multiplied a Thousand Times by Harvard Astronomer's Calculations." *New York Times*, 31 Mayıs 1921, sf. 1.
- Van Bebber, Mark. "What Does the Bible Say about Intelligent Life on Other Planets?" *Christian Answers*. 2014. http://christiananswers.net/q-edn/edn-c012.html?zoom_highlight=intelligent+life. 17 Şubat 2014'te erişim yapıldı.
- Verlinde, Erik. "On the Origin of Gravity and the Laws of Newton." *Journal of High Energy Physics* 2011, no. 4 (2011): 1–27.
- Vilenkin, Alexander. "Birth of Inflationary Universes." *Physical Review D* 27, no. 12 (1983): 2848–55.
- . "Boundary Conditions in Quantum Cosmology." *Physical Review D* 33 (1986): 3560–69.
- . "Creation of Universes from Nothing." *Physics Letters B* 117, no. 1 (1982): 25–28.
- . *Many Worlds In One: The Search for Other Universes*. New York: Hill and Wang, 2006.
- . "Predictions from Quantum Cosmology." *Physical Review Letters* 74 (1995): 846.

- Von Helmholtz, Hermann. *Science and Culture. Popular and Philosophical Essays*. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1995.
- Von Weizsäcker, Carl Friedrich. "Element Transformation inside Stars." *Physikalische Zeitschrift* 39 (1938): 633–46.
- Walmsley, C. M. ve ark. "Herschel: The First Science Highlights." *Astronomy & Astrophysics* 518 (2010): L10.
- Weekes, Trevor C. ve ark. "Observation of TeV Gamma Rays from the Crab Nebula Using the Atmospheric Cerenkov Imaging Technique." *Astrophysical Journal* 342 (1989): 379–95.
- Weinberg, Steven. "The Cosmological Constant Problem." *Reviews of Modern Physics* 61, no. 1 (1989): 1–23.
- . *Dreams of a Final Theory*. New York: Pantheon Books, 1992.
- . *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books, 1993.
- . *Gravitation and Cosmology*. New York: Wiley, 1972.
- . "Living in the Multiverse." *Universe Or Multiverse?* B. Carr, ed., 2. Bölüm. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2007.
- Wells, Steve. *The Skeptics Annotated Bible*. Moskova, ID: SAB Books, 2012.
- Wheeler, John A. "Superspace and the Nature of Quantum Geometrodynamics." *Batelle Recontres*, C. M. DeWitt ve J. A. Wheeler, ed. New York: Benjamin, 1968.
- Wheeler, John Archibald ve Kenneth William Ford. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. New York: Norton, 1998.
- White, Andrew Dickson. *A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom: Two Volumes in One*. Amherst, NY: Prometheus Books, 1993.
- Whittle, Mark. "Big Bang Acoustics." 2000. http://www.astro.virginia.edu/~dmw8f/BBA_web/index_frames.html. 12 Mayıs 2013'te erişim yapıldı.
- . *Cosmology: The History and Nature of Our Universe*. Chantilly, VA: Teaching, 2008.
- Wilczek, Frank. "The Cosmic Asymmetry between Matter and Antimatter." *Scientific American* 243, no. 6 (1980): 82–90.
- Will, Clifford M. "The Confrontation between General Relativity and Experiment." *Living Reviews in Relativity* 9, no. 3 (2006).
- . *Was Einstein Right? Putting General Relativity to the Test*. New York: Basic Books, 1986.
- Wootters, William K. "'Time' Replaced by Quantum Correlations." *International Journal of Theoretical Physics* 23, no. 8 (1984): 701–11.
- Wright, Edward L. "Big Bang Nucleosynthesis." 2012. <http://www.astro.ucla.edu/~wright/BBNS.html>. 7 Şubat 2013'te erişim yapıldı.
- . "Ned Wright's Cosmological Tutorial." 2013. <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>. 14 Şubat 2013'te erişim yapıldı.
- Wright, E. L. ve ark. "Interpretation of the Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropy Detected by the COBE Differential Microwave Radiometer." *Astrophysical Journal* 396 (1992): L13–L18.
- Wyman, Mark ve ark. "Neutrinos Help Reconcile Planck Measurements with the

- Local Universe.” *Physical Review Letters* 112, no. 5 (2014): 051302.
- Zehavi, I. ve A. Dekel. “Evidence for a Positive Cosmological Constant from Flows of Galaxies and Distant Supernovae.” *Nature* 401 (1999): 252–54.
- Zel’dovich, Yakov B. “A Hypothesis, Unifying the Structure and the Entropy of the Universe, 1972.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 160 (1972): 1–3.
- Zuckerman, Miron, Jordan Silberman ve Judith A. Hall. “The Relation between Intelligence and Religiosity: A Meta-Analysis and Some Proposed Explanations.” *Personality and Social Psychology Review* 17, no. 4 (2013): 325–54.

DİZİN

A

açısız güç tayfı 276, 288
açısal momentumun korunumu 120
ada evrenler 135, 136
Adams, John Couch 29, 86, 90, 182, 382
Aguirre, Anthony 308, 321, 330, 371
Alamut 53
Albert, David 64, 65, 66, 69, 107, 110, 115, 141, 206, 326, 360, 371, 373, 376, 385
Albrecht, Andreas 241, 371
alfa parçacıkları 167
al-Khalili, Jim 52
Almagest (Büyük Sistem ya da Görkemli) 45, 46, 51
Alpher, Bethe ve Gamow 167, 168, 169, 179, 183, 371, 372
alternatif geçmişler 363
alt kuantum kuvvetleri 327
Alvarez, Luis 252
AMANDA (Antarktik Müon ve Nötrino Dedektör Dizilişi) 299
Amerikan Bilimsel Gelişme Birliği 140
Ampère, André-Marie 99, 100
Anaksimandros 32, 33, 35
Anaksimenos 33
Anderson, Carl 124, 128, 129
Andromeda 134, 135, 136, 137, 139, 141, 149, 154, 155, 161, 279, 297, 306
Andrus, Hyrum 335, 336, 372
Antakyalı Teofilos 51
antropik ilke 344
Apache Point Gözlemevi 281
apeiron 32
Apollo 11 201
Apollo 17 201
Aquino Tommaso 43
Aristoteles 31, 36, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 64, 66, 67, 68, 71, 72, 107, 335, 361
Aristotelesçi skolastisizm 44

Aristoteles'in kozmolojisi 42, 43
astroloji 15
ATIC 295
Atkatz, David 315, 316, 372
atomcular 35, 44, 72, 80
axionlar 268
ayar teorileri 216
Aydınlanma 73, 85, 86
ayrıklaştırma (ayrıca Bkz. Yeniden birleşim) 188, 199, 287, 298

B

Baade, Walter 155, 372
Babcock, Horace 161
Babil astronomisi 23
Bacon, Francis 12
bakış açısı değişmezliği 216, 359
Bardeen, James 250, 372
Barrow, John 342, 343, 354
baryon 192, 194, 197, 207, 223, 224, 225, 226, 228, 250, 281, 353
baryon salınım spektroskopik tarama (BOSS) 281
BATSE (Patlama ve Geçici Kaynak Deneyi) 260
Baykal Gölü 298
Becquerel, Henri 126
beliren kütleçekim 332
beliren zaman 332
Bell, Jocelyn 162, 171, 177, 180
Bernoulli, Daniel 89
Bessel, Friedrich Wilhelm 89
beta bozunumu 191, 212, 264
Bethe, Hans 166, 167, 168, 169, 372
BGV teoremi 322
Blake, William 86
blazarlar 176
BL Lac nesneleri 176
B modu polarizasyon 10, 206
Bohm, David 327, 373
Bohr, Niels 88, 127, 146, 167, 325
Boltzmann, Ludwig 101, 103, 104, 188, 346, 373
Boltzmann sabiti 346
Bondi, Hermann 170, 173, 373

Boomerang (Balonla Galaksi Dışı
Milimetrik Işınım ve Jeofizik
Gözlemleri) 278, 282, 283,
380
Borde, Arvind 308, 373
Borelli, Giovanni Alfonso 204
Born, Max 124, 146, 326, 330, 371,
376
boşlukların Tanrısı argümanı 357
Bouvard, Alex 90
Bradley, James 68
Brillouin, Léon 146
Brout, Robert 218, 376
Brown, Robert 126, 218, 270, 330,
349, 389
Brown hareketi 126
Brugsch, Heinrich 28
Bruno, Giordano 62, 319
Budge, Sir Wallis 28, 373
Bunsen, Robert 88
Burbidge, Geoffrey 170, 172, 179,
183, 255, 374, 380
Bush, George W. 368, 383
Büyük Çekici 247
büyük çöküş 179, 306
Büyük Patlama 13, 14, 130, 152, 157,
161, 166, 169, 170, 172, 173,
174, 179, 183, 184, 185, 191,
193, 194, 195, 197, 203, 207,
223, 231, 232, 235, 237, 246,
255, 284, 345
Büyük Patlama nükleosentezi 169,
191, 197, 207, 223

C

Calán/Tololo Süpernova Araştırması
272
California Üniversitesi, Berkeley 252,
271
Callahan, Tim 27, 28, 374
Cantor, Georg 309, 310
Carroll, Sean 7, 308, 322, 323, 374
Cavendish, Henry 70
Centaurus A (Erboğa A) 176
CERN 9, 114, 208, 219
Cerro Tololo Inter-Amerikan Gözle-
mevi 272
Chadwick, James 128
Chen, Jennifer 308, 374

Cherenkov ışınımı 262
Chown, Marcus 362, 374
Clausius, Rudolf 96, 97, 374
Cleveland, Lemuel 46, 140, 227, 228
CMB açılal güç tayfı 288
CMBFAST 285
COBE (Kozmik Mikrodalga Ardalan
Kaşığı) 253, 255, 257, 258,
276, 277, 282, 283, 377, 380,
383, 387, 391
Collins, Robin 18, 343, 345, 347, 348,
354, 358, 359, 374
Compton Gama Işını Gözlemevi 260
Cowan, Clyde 261, 357
Cowley, Robert 337, 375
Craig, William Lane 27, 232, 236,
239, 307, 308, 309, 310, 319,
321, 322, 334, 335, 342, 343,
348, 374, 375
Cremonalı Gerard 50
Crossley, Edward 93, 135, 136
Crossley teleskobu 93
Curie, Marie, Pierre 126, 234
Curtis, Heber 135, 136, 137, 138, 387
Cusali Nicolas 54, 62, 77, 160
çekirdek ışınımı 128
çift kutup eşyönsüzlüğü 252, 276
Çin Seddi 248
Çin yaratılış miti 153
Çok Geniş Tabanlı Diziliş
(VLBA) 259
Çoklu-Ayna Teleskobu (MMT) 202
çoklu dünyalar yorumu (MWI) 328
çok yüksek enerjili gama ışınları 176

D

dalga fonksiyonu 124, 265, 316, 325,
326, 327, 328, 329, 330, 331,
334
dalga fonksiyonu çökmesi 326
Dalton, John 101
Darwin, Charles 92
Davidson, Keay 252, 255, 256, 387
Davisson, Clinton 123
Dawkins, Richard 79
de Broglie, Louis 123, 146, 327
de Cheseaux, Jean-Philippe 77
değişmezlik 214
deizm 73, 84, 86

de Lalande, Joseph Jérôme Lefrançois 87

Demiurgos 41

Demokritos 9, 11, 33, 34, 63, 69, 72, 101, 114, 223

De rerum natura 34, 383

De revolutionibus orbium celestium 45, 54, 58, 61

Descartes, René 67, 72, 73

de Sitter, Willem 142, 143, 144, 150, 151, 236, 238, 242, 243, 250, 273, 306, 321, 323, 381

de Sitter evreni 238, 243

de Vaucouleurs, Gérard 270

Dick, Philip K. 218, 336, 376, 382

Dicke, Robert 179, 180, 181, 376
diferansiyel mikrodalga radyometre 252

Digges, Thomas 62, 77

Dirac, Paul 124, 125, 127, 128, 130, 146, 158, 159, 221, 234, 316, 376

Dirac'ın görelî kuantum teorisi 127

Dirac'ın kuantum mekaniği 125

doğrusal momentumun korunumu 120

Donner, Jerzy 59

Doppler, Christian Andreas 91, 134, 135, 157, 176, 207, 252

Doppler etkisi 157, 252

Doppler kayması 134

döngüsel evren 30

döteron 168, 190, 192, 223

D'Souza, Dinesh 27, 232, 239, 376

Duhem, Pierre 99

durum denklemi 290

düzlük problemi 266

Dyson, Freeman 211, 376

E

Eddington, Arthur 105, 117, 146, 150, 152, 158, 164, 168, 376

EGRET (Enerjik Gama Işını Deneyi Teleskobu) 261, 263

eğrilik parametresi 145, 205, 316

Einstein, Albert 69, 100, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 124, 126, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147,

150, 151, 165, 198, 201, 205, 273, 313, 326, 358, 359, 375, 376, 380, 381, 385, 391

Einstein'ın kütleçekim teorisi (ayrıca bkz. Genel görelilik) 115

Eisenstein, Daniel 281, 282, 376

Ekpirotik evren 291, 293

elektromanyetik dalgalar 101, 105, 107, 111

El-Kindî, Yâkub İbn İshak 52, 309

Empedokles 39, 40, 42

enerjinin korunumu 70, 95, 97, 120, 273, 358, 359

Englert, François 218, 219, 376

entropi problemi 322

Epikuros 34, 44

esir 35, 42, 107, 109, 110

etkin galaksiler 171, 175, 176, 261, 305

Euler, Leonhard 81, 82

Everett, Hugh, III. 328, 329, 334, 335, 377

evrenin dalga fonksiyonu 316, 330, 331

evrenin genişleme hızı 150, 348, 355

evrenin kütle yoğunluğu 355

evrenin yaşı 13, 155, 232

ex nihilo 27, 29, 41, 335

F

Faraday, Michael 99, 100, 110, 217
faz geçişleri 223, 229, 240, 302, 303

Fermi, Enrico 129, 130, 185, 295, 297, 314, 371, 384

Fermi Gama Işını Uzay Teleskobu 295, 314

Fermi Ulusal Laboratuvarı (Fermilab) 185

Feynman, Richard 210, 211, 212, 217, 221, 329, 363, 376, 377, 381

Feynman diyagramı 211

Fisher, Richard 247, 248, 389

Fitzgerald-Lorentz daralması 111

Follin, James 183, 372

Fourier, Jean Baptiste 203, 204

Fourier dönüşümleri 203

Fowler, William 172, 179, 185

France, Anatole 88, 364

Fraunhofer çizgileri 88

Friedmann, Alexander 143, 144, 145,
146, 164, 166, 180, 184, 194,
231, 238, 302, 316, 317, 323,
373, 377

Friedmann denklemleri 144

G

galaksi kümeleri 161, 288

Galileo 12, 15, 42, 49, 55, 60, 63, 64,
65, 66, 67, 68, 69, 71, 73, 90,
99, 107, 111, 377

Galileo göreliliği 68, 107

gama ışını patlamaları 260, 314

Gamow, George 166, 167, 168, 169,
372, 377

Gauss, Johann Carl Friedrich 99, 243

Geiger, Hans 126

Geller, Margaret 248, 377

genel görelilik 100, 112, 115, 118,
125, 147, 153, 160, 161, 210,
236, 267, 307, 312, 315, 358,
359

Genesis (Yaratılış) 24, 25, 26, 27,
153, 157, 167, 173, 345, 371,
374, 387

Georgi, Howard 226, 377

Gerard Hooft, 50, 234, 389

Germer, Lester 123

Giacconi, Riccardo 201

Gibbons, Gary 249

Gibbs, Josiah Willard 101

Giese, Tiedemann 58, 59

Glashow, Sheldon 217, 226, 377

Goddard Uzay Uçuş Merkezi 236,
299

Gold, Thomas 170, 173, 373

Gorham, Peter 263

Gratton, Steven 308, 321, 371

GRB 090510 314

Greene, Brian 221, 230, 378

Greenstein, Jesse 175, 378

Gregoryen (Miladi) takvim 57

Greisen-Zatsepin-Kuzmin sınırı 263

Grosseteste, Robert 51

Gunn, James 186, 388

Guralnik, Gerry 218, 378

Guth, Alan 7, 235, 237, 238, 240, 241,
242, 249, 257, 258, 308, 341,
369, 373, 378

GUT'ler (büyük birleşme teorileri)
225

güçlü merceklenme 293

güç tayfı 203, 205, 276, 288, 292

H

Hagen, Dick 218, 335, 378

Hale, George Ellery 132, 138, 155,
174

Halley, Edmund 23, 71, 74, 77

Harrison, Edward 204, 205, 319, 320,
378, 379

Hartle, James 315, 379

Haşhaşiler 53

Hawking, Stephen 20, 119, 232, 236,
239, 249, 256, 307, 315, 333,
334, 335, 362, 363, 375, 379

HEAO 1 201

HEAO 2 201

HEAO 3 201

HEGRA (Yüksek Enerjili Gama Işını
Astronomisi) 263

Heisenberg, Werner 124, 127, 146,
316, 325, 359

Heisenberg belirsizlik ilkesi 359

Henderson, Thomas
89

Herman, Ralph 167, 169, 179, 183,
371, 372

Herschel, Frederick William 77, 89,
380, 390

Hertz, Heinrich 101, 107

Hesiodos 31

Hewish, Antony 171, 177, 379

Higgs, Peter 9, 11, 34, 63, 101, 209,
214, 218, 219, 221, 224, 228,
234, 303, 313, 348, 372, 379,
388

Higgs bozonu 9, 209, 214, 218, 219,
221, 224, 303

Hilbert, David 310, 379

Hipparkos 44, 45

Hippolu Augustinus 49

Homeros 31, 39

Hooke, Robert 72, 75

Hoyle, Fred 152, 168, 170, 171, 172,
173, 174, 179, 183, 185, 255,
350, 380

H-teoremi 103

Hubble, Edwin 135, 138, 139, 140,
141, 147, 148, 149, 150,
151, 152, 154, 155, 157,
160, 165, 169, 174, 175,
184, 195, 232, 233, 239,
246, 248, 250, 259, 260,
270, 271, 272, 288, 302,
348, 353, 375, 380, 381, 387

Hubble genişlemesi 233, 250, 302

Hubble parametresi 150, 348, 353

Hubble sabiti 149, 150, 259, 270

Hubble Uzay Teleskobu (HST) 259

Hubble yasası 147, 149, 248, 348

Huchra, John 248, 377

Huggins, William 91

Humason, Milton 147, 148, 149, 150,
151, 380

Huygens, Christiaan 75, 106

Hülagü Han 53

Hydra-Centaurus (Suyılanı-Erboğa)
süperkümesi 247

I

IceCube (Buz Küpü) 299, 380, 388

ılık kara madde 267

ışığın dalga teorisi 106, 110, 118

ışığın parçacık teorisi 76, 117

ışınım baskınlığı 198, 251

ışınal kapma 168

iç enerji 143, 243

ikili evren 318, 322, 330

ilahi bir yaratılış için termodinamik
durum 96

ilksel dalgalanmalar 276, 281

ilmekler 46

İmparator Konstantin 49

ince ayar 197, 232, 239, 342, 343,
344, 350, 351, 352, 353, 355,
357, 363

inflaton parçacığı 245

İskenderiye 45, 50

izotop 128, 201

J

Jeans kütleli 203

Jül Sezar 45, 47, 57

K

kahverengi cüceler 207, 267, 306

Kamioka Nükleon Bozunum Deneyi
(KAMIOKANDE) 227

Kant, Emmanuel

76, 87, 381

kaon (K-mezon) 213, 265

kaotik şişme 242, 246, 250

kara cisim ışınlı 106

kara enerji 249, 272, 283, 290, 305,
349, 353

kara enerji yoğunluğu 305

kara madde 161, 197, 206, 251, 252,
267, 268, 269, 282, 283, 286,
287, 293, 294, 295, 296, 303

kararlı durum evreni 170

karmaşıklık 248, 361

karşı-madde 128, 190, 197, 224, 225

Kazanas, Demosthenes 236, 237, 381

Keck teleskopları 259

Keeler, James 92, 93, 135, 136

Kepler, Johannes 63, 64, 65, 70, 71,
74, 77, 81, 82, 339, 340, 369,
377, 384

Kepler'in gezegensel hareket yasaları
63, 81

Kepler Uzay Gözlemevi 339, 369

kızıl kayma 91, 135, 175, 206, 248,
251, 281, 282

Kibble, Thomas 218, 234, 378, 381

Kirchhoff, Gustav 88

Kitab-ı Mukaddes 24, 25, 26, 27, 51,
52, 59, 61, 65, 73, 74, 116,
156, 157, 369

Kolb, Edward (Rocky) 186, 381

Kopenhag yorumu 325

Kopernik devrimi 54

Kopernik modeli 60, 63

Koshiba, Masatoshi 266

kozmik ışınlar 201, 263

kozmik mesafe merdiveni 247

kozmik nötrino ardalını
(CnB) 268

kozmozolojik ilke 171
 kozmozolojik ölçek faktörü 316, 330
 kozmozolojik sabit 116, 141, 142, 145,
 171, 251, 270, 272, 273, 275,
 307, 349, 350
 kozmozolojik sabit problemi 275, 350
 Kragh, Helge 23, 30, 35, 43, 46, 49,
 51, 67, 76, 96, 98, 152, 157,
 159, 160, 165, 166, 169, 171,
 378, 381
 Krauss, Lawrence 7, 270, 360, 381
 kuantum alan teorisi 211, 220, 312
 kuantum dalgalanmaları 9, 14, 250,
 302
 kuantum elektrodinamiği 82
 kuantum köpüğü 314
 kuantum kromodinamiği 212
 kuantum kütleçekimi 314
 kuantum mistisizmi 220
 kuantum tünelleme 315
 kuasarlar 171, 174, 175, 196, 287
 Kuhlmann, Meinhard 221, 222, 381
 Kur'an 52, 336
 kusursuz kozmozoloji ilkesi 170
 Küresel Konumlama Sistemi (GPS)
 112
 küresel kümeler 132, 133
 kütleçekimsel dalgalar 9, 290, 291
 kütleçekimsel mercekleme 207, 291,
 293, 294
 kütleçekimsel zaman genişlemesi 118

L

Lactantius 49
 Lagrange, Joseph-Louis 82, 83, 84
 Lagrange denklemleri 82
 Laplace, Pierre-Simon 82, 83, 84, 85,
 86, 87, 119
 Laplace'ın şeytanı 85
 Lawrence Berkeley Ulusal Laboratu-
 varı 252
 Lazer Girişimölçer Kütleçekim Dalgası
 Gözlemevi (LIGO)
 291
 Leavitt, Henrietta 131, 132, 133, 138,
 361
 Lederman, Leon 185, 382
 Leibniz, Gottfried Wilhelm 70, 74,

76, 78, 79, 84, 85, 337, 382
 Lemaître, Georges 146, 147, 150, 151,
 152, 153, 154, 155, 157, 160,
 164, 165, 168, 184, 382, 383
 Lemaître-Eddington modeli 164
 Lemaître'in ilk atomu 165
 Le Verrier, Urbain Jean Joseph
 90, 116

M

Messier 87 263
 meta yasalar 301, 323, 359, 360
 Mezopotamya kozmozolojisi 24
 Mısır kozmosu 23
 Michell, John 119
 Michelson, Albert 107, 110, 111,
 114, 291
 Millikan, Robert 122
 Milne, A. A. 159, 160, 161, 384
 Minkowski, Hermann
 113, 145
 Mlodinow, Leonard
 333, 334, 335, 362, 363, 375,
 379
 momentumun korunumu 69, 120
 Morley, Edward 107, 110, 111, 114
 Mormon Kitabı 336
 morötesi felaketi 121
 M-teorisi 230, 269, 349, 363

N

Napolyon 83, 84, 88
 Narlikar, Jayant 170, 380
 NASA 42, 43, 61, 201, 202, 236, 253,
 255, 256, 260, 271, 277, 283,
 295, 296, 339, 384
 Nasîrüddin Tûsî 53
 nebularlar 135, 138, 149
 negatif basınç 171
 Nemiroff, Robert 7, 314, 384
 Neptün 90, 91, 116
 Newton, Isaac 12, 13, 15, 57, 67, 69,
 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 81,
 82, 83, 84, 85, 88, 89, 92, 100,
 101, 105, 109, 110, 114, 115,
 116, 117, 118, 122, 158, 160,
 161, 162, 198, 204, 206, 207,

217, 245, 266, 267, 313, 325,
327, 346, 359, 382, 390
Newton'ın dünya makinesi 85
Newton'ın kütleçekim sabiti 245
Newton'ın kütleçekim yasası 267
Noether, Emmy 119, 120, 121, 215,
216, 358, 374
Noether teoremi 121
North, John 22, 36, 384
nötrino 269, 295
nötrino kütlesi 264, 265, 351
nötron bozunumu 351
nötron yıldızı 177, 201, 262
nükleer füzyon 166, 168
nükleon sayısı 128, 192

O

Ockham'ın usturası 267, 320
Olbers, Heinrich Wilhelm Matthias
77, 78
Olbers paradoksu 78
Oort, Jan 161
Orr, Mary Ackworth 32, 33, 34, 36,
37, 38, 39, 45, 47, 384
Osiander, Andreas 57, 58, 59, 64
Overbye, Dennis 186, 293, 384
ölçek değişmezliği 204, 250, 258
Ömer Hayyam 53
Öpik, Ernst 139
özel görelilik 69, 91, 110, 111, 160,
198, 312

P

Page, Don 194, 321, 331, 383, 385
Pagels, Heinz 315, 316, 372
Palomar Gökyüzü Araştırması 164
PAMELA (Karşı madde Arama ve
Hafif Çekirdekler Astrofizik
için Yük deneyi) 295, 297
Papa III. Paul 59
Papalık Bilimler Akademisi 155, 385
Papa VIII. Urbanus 66
Papa XII. Pius 155, 169, 335, 385
paralaks 131, 148, 247
Parçacık Astrofizik Merkezi 271
parite (bkz. ayna simetrisi) 214, 215
Pauli, Wolfgang 127, 129, 146, 230
Pauli dışarlama ilkesi 127, 230

Peebles, James 180, 181, 183, 205, 385
Penrose, Roger 236, 307, 379, 385
Penzias, Arno 180, 181, 182, 385
periyot-parlaklık ilişkisi 132
Perlmutter, Saul 271, 272, 273, 385
Perrin, Jean Baptiste 126, 146
pertürbasyon teorisi 82
Petreius, Johanne 58, 59
Philolaos 35, 36, 37, 38, 39
Philoponus, John 50, 52, 309, 310
Pickering, Charles 131, 138
pilot dalgalar 327
pion (pi-mezonu) 213, 265
Pisagor 35, 36, 37, 203
Pisces-Cetus
(Balıklar-Balina) Süperküme Kom-
pleksi 247
Planck, Max 118, 121, 122, 125, 126,
146, 181, 182, 188, 194, 195,
208, 210, 231, 236, 242, 243,
244, 245, 246, 256, 278, 288,
289, 290, 298, 301, 306, 311,
312, 313, 314, 315, 316, 317,
318, 324, 330, 346, 347, 348,
371, 373, 385, 391
Planck enerjisi 126
Planck Gözlemevi 290
Planck kütlesi 347
Planck sabiti 121
Planck tayfı 181
Planck uzunluğu 125
Planck zamanı 125, 188, 312
Platon 17, 36, 40, 41, 42, 72, 335
Poe, Edgar Allan 78
Poincaré, Jules Henri 83, 103, 146
Poisson, Siméon Deni 83
POLARBEAR (Kutup Ayısı) 206
Pollock, Jackson 345
Polyakov, Alexander 234, 385
pozitivizm 98
Preskill, John 235
Presokratikler 30, 31, 40
Price, Robert 365, 385
Principia 71, 74, 382
Protestan Reformu 61
proton bozunumu 213, 261
Ptolemaios, Klaudios 12, 45, 46, 47,
50, 51, 52, 54, 60, 62, 63,
64, 83

Ptolemaios'un modeli 46
pulsar 177, 262

R

radyo astronomi 174, 180
Rankine, William 97
Rees, Martin 353, 389
Reines, Fred 261, 357
Rheticus, Georg Joachim 57, 58, 59
Richey, George 136
Riess, Adam 271, 272, 273, 274, 386
Robertson, Howard 144, 386
Robertson-Walker metriği 144
Roll, Peter 180, 181, 182
Rosenberg, Alex 308

S

Sisamlı Aristarkhos 12, 44, 54
skaler alan 100, 242, 244, 250
SK teleskobu 277
Slipher, Vesto 134, 135, 141, 149, 387
Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması
(SDSS) 281
Smith, Joseph 26, 86, 147, 335, 336,
387
Smoot, George 252, 253, 255, 256,
257, 258, 276, 387
SN 1987A 228
Sobel, Dava 12, 55, 56, 57, 58, 387
soğuk kara madde 267, 269, 283, 286
Sokrates 30, 31, 40
sonsuz şişme 321
Sosigenes 48
Soyuz 295
sparçacık 229
Starobinsky, Alexsei
236, 388
Stecker, Floyd 299, 388
Steigman, Gary 186, 373, 388
Steinhardt, Paul 241, 250, 291, 293,
371, 372, 378, 388
steril nötrinolar 268, 298
Suiminen, Edwin 365, 385
Surya Siddhanta 30
Susskind, Leonard, Leonard 389
Süper-Kamiokande 227, 264, 265,
266, 389
Süpernova Kozmoloji Projesi 272

süpernovalar 136, 163
süpersimetri(SUSY) 230, 294
Swedenborg, Emanuel
86, 87

şişme 10, 236, 237, 238, 239, 242,
244, 245, 246, 249, 250, 255,
256, 257, 258, 267, 270, 273,
276, 278, 290, 291, 293, 303,
306, 318, 321, 322, 341, 369

T

takiyonlar 114
Tarayıcı Tünel Mikroskobu 102
Taylor, Roger
183
Tegmark, Max 330, 332, 333, 335,
371, 389
tekillik 17, 236, 307
tek kutup problemi 237
Teller, Edwar 167
Telstar 180
temel parçacıkların standart modeli
11, 39
Tertullian 49
Thomson, J. J. 91, 97, 102, 109
Timaeus 91, 97, 102, 109
Ting, Samuel 296
Tıp 1a süpernova 271
Tipler, Frank 342, 343, 354
Titan 75
Tolman, Richard 158, 389
Tomonaga, Sin-Itiro 211, 376
Tong, David 220, 221, 389
triton 168, 190, 192
Tully, Brent 7, 247, 248, 389
Turner, Michael 186, 193, 250, 270,
372, 374, 381, 389
Turok, Neil 291, 388
Tûsî çifti 54
Tycho Brahe 62
Tye, Henry 240, 241, 378

U

ufuk problemi 237
Uranüs 77, 89, 90
uzay dönme simetrisi 215
uzay öteleme simetrisi 215

V

- vakum enerjisi 243
- vakumun enerji yoğunluğu 349
- van Maanen, Adriaan 136, 140
- van Wolde, Ellen 27
- Vega 89
- Vela uyduları 260
- Viking uzay aracı 201
- Vilenkin, Alexander 7, 166, 308, 315, 321, 373, 377, 390
- Voltaire 86, 337
- von Fraunhofer, Joseph 88
- von Helmholtz, Hermann 76, 91, 97
- von Soldner, Johann Georg 117
- von Struve, Friedrich Georg Wilhelm 89
- von Weizsäcker, Carl Friedrich 166
- Voyager 1 201

W

- Walker, Arthur 12, 55, 144, 387
- Wallace, Alfred Russel 92
- Weekes, Trevor 262, 263, 390
- Weinberg, Steven 180, 182, 183, 184, 217, 235, 241, 275, 349, 378, 384, 390
- Wheeler, John 119, 314, 316, 330, 332, 390
- Wheeler-DeWitt denklemi 330
- Whittle, Mark 243, 284
- Wilczek, Frank 362, 391
- Wilkinson, David 180, 181, 182, 194,

278, 283, 284, 285, 373, 379, 381, 384, 387

Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlüğü
Sondası
(WMAP) 194, 278

Y

- yaratılış miti 24, 25, 29, 153
- yarı denge 223
- Yengeç Nebulası 262
- yeniden birleşim 199, 251, 282, 304
- yeniden iyonlaşma 286, 287
- yeni şişme 242, 244
- yıldız nükleosentezi 168, 172, 174
- yoğunluk 78, 95, 100, 122, 168, 179, 193, 203, 204, 205, 231, 249, 250, 252, 266, 305, 349
- yorgun ışık 158, 163

Z

- zaman genişlemesi 111, 118
- zamanın oku 105
- zamanın tersine çevrilmesi 329
- zarlar 291
- zayıf bozonlar 212, 218
- zayıf etkileşim 130, 212
- Zayıf Etkileşimli Büyük Kütleli
Parçacık (WIMP) 269

Tanrı ve Çoklu Evren'in amacı, uçsuz bucaksız evrenimizin hali-hazırdaki resminin ve çoklu evrenlerin büyük olasılığının, insanlar gökyüzüne bakıp orada ne olduğunu sordukları ilk andan itibaren bin yıllar içerisinde nasıl geliştiğini göstermek. Kitapta doğaüstü yaratılışa dair antik düşüncenin, sonunda tamamen doğal süreçlerle açıklanabilir hale gelen şeyi anlatmak üzere nasıl doğduğu inceleniyor.

Hikâye zorunlu olarak uzun. Bu nedenle okuyucudan sabırlı olup kronolojik ilerlemeyi; insanlığın kozmosa bakışını, yukarıda gök-ler ve aşağıda sular olan düz bir Yeryüzünden her biri yüz milyar yıldız ve yaşamı sürdürebilir sayısız gezegene sahip yüz milyar galaksiye, ardından da sınırsız ve sonsuz bir çoklu evrene doğru genişlemesini adım adım takip etmesi istenmekte.

“Tanrı ve Çoklu Evren sizi çoklu evrenler, sonsuz şişme, kuantum kütleçekim ve Tanrı kavramlarını keşfedeceğiniz bir yolculuğa çıkarıyor. Bu kitap gerçeklik algınızı değiştirecek.”

—Dr. Peter Boghossian, *A Manual for Creating Atheists*'in yazarı

“Dünya akıllıca ince-ayarlanmıştırdıyenlere en iyi cevabı bu kitap veriyor. Aynı zamanda harika bir kozmoloji özeti var.”

—Guy P. Harrison, *Think: Why You Should Question Everything*'in yazarı

“Victor J. Stenger kozmoloji ve evrenin kökeniyle ilgili son bilimsel kuramları herkesin anlayabileceği bir dille açıklıyor ve Tanrı kavramının bunlarla ilişkisini sorguluyor.”

—Demos Kazanas, NASA, Goddard Uzay Uçuşları Merkezi



ISBN-978-605-81111-5-8

