

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>

LISA RANDALL

KARANLIK
MADDE VE
DİNOZORLAR



*Kitlesel Yok Oluşlarda Evrenin
Şaşırtıcı Bağlantıları*

ALFA | BİLİM

KARANLIK MADDE VE DİNOZORLAR

LISA RANDALL

Harvard Üniversitesinde kuramsal parçacık fiziği ve kozmoloji öğrenimi gören Dr. Randall halen aynı üniversitede profesör olarak görev yapmaktadır. Parçacık fiziği alanında iz bırakan bilimsel çalışmaları dünyanın en iyi fizik dergilerinde yayımlanmıştır ve *Discover*, *The Economist*, *Newsweek* ile *Scientific American* gibi ünlü dergilerde yazılar yazmıştır. *Time* dergisinin “100 Etkin İnsan” listesinde olan Dr. Randall’ın *Bükülmüş Geçitler* (Alfa, 2016) ve *Cennetin Kapısını Çalmak* (Alfa, 2016) adlı kitapları *New York Times*’ın en çok satan ve 100 tanınmış kitabından ikisidir. Dr. Randall Amerikan Ulusal Bilim Akademisi ve Amerikan Felsefe Derneği üyesidir. Kendi deyişiyle, “evrenin sırlarını çözmekle uğraşmadığı zamanlar kaya tırmanışı, kayak ve sanatla ilgilenmekten zevk almaktadır.”

ZEKERİYA AYDIN

1964 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun olup aynı bölümde akademik hayatına başlayan Zekeriya Aydın, 2008 yılında oradan emekli olmuştur. Çeşitli zamanlarda Colorado Üniversitesi, Hamburg Üniversitesi ile DESY Hızlandırıcı Merkezi ve Trieste Teorik Fizik Merkezi gibi yerlerde çalışmıştır. Kuramsal parçacık fiziği alanında çok sayıda araştırma makalesinin yanında, lisans ve lisansüstü düzeyde telif ve çeviri fizik ders kitapları vardır. Çevirdiği popüler bilim kitapları arasındaysa Weinberg’in *İlk Üç Dakika* ve *Atomaltı Parçacıklar*, Christianson’ın *Isaac Newton: Bilimsel Devrim*, Gordon Kane’in *Süpersimetri*, Goodstein’in *Feynman’ın Kayıp Dersi* (Alfa, 2013) ve Feynman’ın *Altı Kolay Parça* (Alfa, 2013), *Altı Zor Parça* (Alfa, 2014) ve *Fizik Dersleri I* (Alfa, 2017) kitapları sayılabilir.

Karanlık Madde ve Dinozorlar

© 2016, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Dark Matter and The Dinosaurs

© 2015, Lisa Randall.

Kitabın Türkçe yayın hakları Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankoçak

Çeviri Zekeriya Aydın

Redaksiyon Mehmet Ata Arslan

Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu

Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-171-605-3

1. Basım: Aralık 2017

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Çiftahavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu-İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 10905

LISA RANDALL

KARANLIK MADDE VE DİNOZORLAR



*Kitlesel Yok Oluşlarda Evrenin
Şaşırtıcı Bağlantıları*

Çeviri
Zekeriya Aydın

İÇİNDEKİLER

Teşekkürler, 7
Şekil Listesi, 10
Giriş, 13

I. Kısım EVRENİN GELİŞİMİ

1. GİZLİ KARANLIK MADDE CEMİYETİ	25
2. KARANLIK MADDENİN KEŞFİ	34
3. BÜYÜK SORULAR	47
4. NEREDEYSE EN BAŞI: BAŞLAMAK İÇİN ÇOK GÜZEL BİR YER	55
5. BİR GÖKADA DOĞUYOR	73

II. Kısım FAAL BİR GÜNEŞ SİSTEMİ

6. GÖKTAŞLARI, KAYAN YILDIZLAR VE METEORİTLER	91
7. KUYRUKLUYILDIZLARIN KISA, GÖRKEMLİ YAŞAMLARI	111
8. GÜNEŞ SİSTEMİNİN KIYISI	133
9. TEHLİKE İÇİNDE YAŞAMAK	137
10. ŞOK VE KORKU	160
11. SOY TÜKENİŞLERİ	177
12. DİNOZORLARIN SONU	201
13. YAŞANABİLİR BÖLGEDE HAYAT	229
14. NE EKERSEN ONU BİÇERSİN	246
15. KUYRUKLUYILDIZLARIN OORT BULUTUNDAN FIRLATILIP ATILMASI	260

III. Kısım

KARANLIK MADDENİN KİMLİĞİNİ ÇÖZME

16. GÖRÜNMEZ DÜNYANIN MADDESİ	281
17. KARANLIKTA NASIL GÖRÜRÜZ?	299
18. SOSYAL BAĞLANTILI KARANLIK MADDE	313
19. KARANLIĞIN HIZI	325
20. KARANLIK DİSKİN ARANMASI	341
21. KARANLIK MADDE VE KUYRUKLUYILDIZ ÇARPMALARI	356
22. SONUÇ: İYİYE GİDİŞ	372

Ek Okuma, 381

Dizin, 399

ŞEKİL LİSTESİ

1. Işığın kütleçekimsel merceklemesi.
2. Mermi kümesi.
3. Kozmik pasta.
4. Şişen evren.
5. Evrenin evrimi.
6. Evrende yapının oluşması.
7. Kozmik ağ.
8. Samanyolu gökadası.
9. Gezegenler, küçük-gezegenler kuşağı ve Kuiper kuşağı.
10. Uzay aracı tarafından ziyaret edilen küçük-gezegenler ve kuyruklu yıldızlar.
11. Küçük-gezegenlerin dağılımları.
12. Küçük-gezegenlerin adları ve simgeleri.
13. Giotto'nun *Magi'nin Tapınması* tablosu.
14. Kuiper kuşağı.
15. Oort bulutu.
16. Yeryüzüne Yakın Küçük-gezegenlerin sınıflamaları.
17. Çeşitli nedenlerle, yıl başına düşen ölümler.
18. Göktaşı boyutunun fonksiyonu olarak, çarpmalardan ileri gelen ölüm tehditleri.
19. Yeryüzüne-yakın cisimlerin tahmini dağılımları.
20. Çeşitli boyutlardaki cisimlerin Yeryüzüne çarpmaları arasındaki ortalama yıl sayısı.
21. Ortalama çarpma aralığı ve çarpma enerjisi.
22. Kayan yıldız krateri.
23. Zumaia yakınındaki Itzurun Plajı.
24. Şoklanmış kuartz.
25. Parçalanma konileri.
26. Basit krater.
27. Karmaşık krater.
28. Krater listesi.
29. Zaman dilimleri ve soy tükenişleri.
30. İspanya, Itzurun Plajındaki K-Pg sınırında.
31. Kiral molekül.

32. Küçük-gezegenlerin kuyruklu yıldızlara karşı akı ve hızları.
33. Samanyolunun spiral kolları.
34. Gökada boyunca Güneşin hareketi.
35. *Büyük Patlama Kuramı* setinin yemek salonu.
36. Karanlık madde saptamasının üç yolu.
37. Doruğa karşı çekirdekli madde yoğunluk dağılımları.
38. Samanyolunun orta-düzleminde karanlık disk.

TEŞEKKÜRLER

Bu kitap benim fizikteki araştırmalarından ve ayrıca beni burada sunduğum özel araştırmaya götüren astronomi, jeoloji ve biyolojideki birçok fikirden esinlenmişti. Birçok bilim insanı bu konulara dalmama katkılarda bulunmuştu; bu ve diğer araştırmalar esnasında benimle bilgilerini paylaşmış olan tüm fizikçilere ve gökbilimcilerine teşekkür etmek isterim. *Karanlık Madde ve Dinozorlar* hem dünyamıza düşkünlüğümü ve dünya hakkındaki heyecanımı hem de onun bazı gidişatları hakkındaki kaygılarımı yansıtmaktadır. Bu fikirlerin şekillenmesini, yıllardır aydınlatıcı sohbetler yaptığım birçok arkadaşla borçluyum. Bu yolda yardım eden herkese teşekkür etmek isterim.

Özellikle benim bilimsel merakımı paylaşan birçok meslektaşla ve karanlık madde diski araştırmalarının çeşitli yanlarına katkıda bulunmuş olan çalışma arkadaşlarım JiJi Fan, Andrey Katz, Eric Kramer, Matthew McCullough, Matthew Reece ve Jakub Scholtz'a teşekkür etmek istiyorum. Teşekkürlerim ayrıca bu kitaptaki fikirlerle yol açan bağlantıyı öneren Paul Davies'e ve bu konudaki işbirliği nedeniyle Matthew Reece'dir. İlk taslağı okuyan Matthew ve Lubos Motl gibi dostlara sahip olduğum için şanslıyım; ikisine de fikirleri ve teşvikleri nedeniyle teşekkür ederim (Lubos'un bazı tartışmalı konular hakkındaki fikirleri, onun teşvikini biraz seçici yaptıysa da...)

Çeşitli bölümleri inceleyen fizik ve astronomideki meslektaşlara da, Laura Baudis, James Bullock, Bogdan Dobrescu, Doug Finkbeiner, Richard Gaitskell, Jakub Scholtz, ve Tim Tait dahil, teşekkür ederim. Adam Brown'ın kitap son haline gelmeden önce yaptığı kontroller de çok değerliydi. Jo Bovi, Matthew Buckley, Sean Carroll, Chris Flynn, Lars Bergstrum, Ken Farley, Lars Hernquist, Johan Holmberg, Avi Loeb, Jonathan McDowell, Scott Tremaine'in ve Matt Walker'ın bilim üzerine yorumları da ayrıca kitabın içeriklerini yansıtmaktadır; olguları gözden geçiren ve iç-

görüler temin eden gökbilimcilerin –özellikle Francesca DeMeo, Dmatar Sassellov, ve Maria Zuber’in– katkıları da öyle. Zaman ve girdileriyle baştan sona çok cömert olan Martin Elvis ve Chris Flynn’e özel teşekkürler. Jerry Coyne, Nathan Mhyrvhold ve bilhassa Walter Alvarez, Andy Knoll ve David Kring soy tükenişleri, özellikle *K-Pg* soy tükenişi üzerine içerden biri olarak değerli görüşler temin etmişlerdi ve onların önerileri ve düzeltmeleri paha biçilmezdi. Jose Juan Blanco, Asier Hilario, Miren Mendea ve Jon Urrestilla’ya da İspanya’daki *K-Pg* sınırına ziyareti düzenledikleri için müteşekkirim.

Bilimi bilmek ile bir kitap yazmak ayrı şeylerdir. Pozitif bilim meslektaşlarımdan kavrayışlı yorumları ve dikkatli okuyuşlarına ilaveten, diğer ilgi alanlarından birçok arkadaşın desteği ve bilgeliğinden yararlanma açısından aşırı derecede şanslıydım. Andi Machl’a zamanı, desteği ve güvenilirliği nedeniyle ve çok fazla ya da çok az söylediklerimle ilgili onun samimi değerlendirmeleri için teşekkür ederim. Cormac McCarthy’nin dikkatli incelemesindeki yüksek standartı (ve onun itirazını sessizce ifade etme tavrı) da projeye ilerleme kattı. Arkadaşlarım Judith Donagh, Maya Jasanoff ve Jen Sacks’ın bilgi, öğüt ve teşvikleri bu kitaptaki fikirlerin ve sözcüklerin şekillenmesinde çok yararlı oldu; Jen’in sevgileri de birçok kısımlarıyla işe yaradı. David Lewis’in İngilizce dil kontrolü ve Anna Christina Buchmann’ın redaksiyon bilgisi son biçime büyük katkılar sağladı. Jim Brooks, Richard Engel, Timothy Ferris, Milo Goodell, Tom Levenson, Howard Lutnick, Dana Randall ve Michael Snediker’a katkı sağlayan güzel noktalara değindikleri için ayrıca teşekkür ederim.

Editör Hilary Redman’a bu kitabın tamamlanması süresindeki öğütleri, teşvikleri ve sabrı için ve onun yardımcısı Emma Janaskie’ye parçaları bir araya getirmedeki yardımları nedeniyle müteşekkirim. Random House UK’deki Stuart Williams ayrıca çok değerli yayıncı fikirleri vermişti. Dan Halpern’e ve Ecco’daki personele yardımları için ve Alison Saltzberg’e de kapak konusunda benimle cana yakın çalışması nedeniyle teşekkür ederim. Yetenekli ve düşünceli Rosa Lincoln bir portre fotoğrafına yardım etti, Gary Piovski yeni çizimler sağladı; Elisabeth Cheries, Robin Green, Emma Janaskie, Eric Kaplan, David Kring, Emily Lakdawalla, Tommy McCall ve Bill Prady resimlerin birkaçında yardımda bu-

lundu; Kathleen Rocheleau kaynakçada çok becerikliydi ve Elisabeth Cheries düzeltmelere yardım etti. Yaddo'ya ve orada birlikte oturduklarımıza zevkli ve üretken ikamet edişim nedeniyle, Marty ve Sarah Flug'a bazı önemli bağlantılardaki konukseverlikleri için ve Harvard'a bunun üzerinde çalıştığım zaman ve üretken fizik ortamı için teşekkür ederim. Temsilcim Andrew Wylie'ye bu projeyi lanse etmedeki yardımı için ve Andrew ve Sarah Chalfant'ın ikisine de taslak üzerindeki teşvik nedeniyle ayrıca teşekkür ederim. Ayrıca Wylie Acentası takımının kalanlarına da, James Pullen ve Kristina Moore dahil, yol boyunca pürüzleri giderdikleri için müteşekkirim.

Özel gönül borcu Jeff Goodell'edir, o durmaksızın iyi bir öykünün momentumunu anlayan ve onun nasıl iletileceğini bilen becerikli bir yazarın sezgilerini paylaşmıştı; onun merakına katılmaktan mutluluk duydum. Teşekkürlerim ayrıca onun ailesine ve benim aileme ve arkadaşlarıma, onların paha biçilmez merakı, ilgisi ve teşviki içindir.

Son olarak, anneme ve babama teşekkür etmeyi arzularım; onlar ne yazık ki bu kitabı paylaşamayacaklar, fakat inanıyorum ki onların etkisi kitabı yönlendiren bakış açısında hep mevcuttur. Bana, bunun gibi tutkulu girişimler dahil, ulaşılabilir amaçlara inanma esini verdikleri için onlara teşekkür etmek isterim.

GİRİŞ

"Karanlık madde" ve "dinozorlar," belki de çocuk oyun sahaları, fantezi oyun kulüpleri ya da henüz-piyasaya-sürülmemiş Spielberg filmleri dışında, birlikte çok seyrek duyduğunuz sözcüklerdir. Karanlık madde,* Evrende sıradan madde gibi kütleçekim aracılığıyla etkileşen, fakat ışık yaymayan ya da soğurmayan, anlaşılması zor bir nesnedir. Gökbilimciler onun kütleçekimsel etkisini algırlarlar, fakat kelimenin tam anlamıyla onu görmezler. Diğer taraftan dinozorlar... Dinozorları açıklamak zorunda olduğum hususunda kuşkuluyum. Onlar 231 milyon yıldan 66 milyon yıl öncesine kadar yeryüzünde yaşamış baskın türden omurgalılarıdır.

Karanlık madde ve dinozorlar, ikisi de, bağımsız olarak büyüleyici olsalar da, bu görülmeyen fiziksel cevher ile söz konusu popüler biyolojik ikonların tamamıyla ilişkisiz olduklarını akla uygun varsayardınız. Gerçek durum da bu olabilirdi. Fakat Evren tanım olarak bir tek varlıktır ve ilke olarak onun bileşenleri birbirleriyle etkileşir. Bu kitap kuramsal bir senaryoyu soruşturmaktadır; bu senaryoda iş arkadaşlarım ve ben, karanlık maddenin en sonunda (ve dolaylı olarak) dinozor soyunun tükenmesinden sorumlu olmuş olabileceğini önermekteyiz.

Paleontolojistler, jeologlar ve fizikçiler, 66 milyon yıl önce en azından onlarca kilometre genişliğinde bir cismin uzaydan Dünya'ya dik olarak düştüğünü ve gezegenimiz üzerindeki diğer türlerin üçte-ikisinin yanı sıra, yeryüzündeki dinozorları yok ettiğini göstermişlerdi. Bu cisim Güneş Sisteminin dış bölgelerinden gelen bir kuyrukluysıldız olmuş olabilirdi, fakat bu kuyrukluysıldızın zayıf bağlı, ama kararlı yörüngesinden neden tedirgin edildiğini hiç kimse bilmiyor.

* *İng. Dark matter.* Karanlığın İngilizce karşılığı daha çok *darkness* olmasına karşın, *dark matter* ve *dark energy* Türkçeye çoğu zaman "karanlık madde" ve "karanlık enerji" olarak çevrilmektedir. Ancak kimi çevirmenler (ve Türkçe yazan bazı fizikçiler) "kara madde" ve "kara enerji" terimlerini tercih etmekte. Bu kitapta çevirmenin tercihinine uyulmuştur -yn.

Bizim önerimiz şu: Samanyolunun orta düzlemi –açık bir gecede gökyüzünde gözleyebileceğiniz çeşitli yıldızlar ve parlak tozlar– içinden Güneşin geçişi esnasında, Güneş Sistemi uzaktaki cismi yerinden oynatan bir karanlık madde diskine rastlamıştı, dolayısıyla bu dehşet verici çarpma tetiklenmişti. Gökadamız civarında, bir karanlık madde yığını devasa düzgün ve yaygın bir küresel hale halinde bizi sarmalar.

Dinozorların ölümünü tetikleyen karanlık maddenin türü, Evrendeki ele geçmez karanlık maddenin çoğundan iyice farklı olarak dağılmış olabilir. Karanlık maddenin ek türü haleyi bozulmamış bırakmış olabilirdi, fakat onun çok farklı etkileşimleri onu Samanyolu düzleminin tam ortasında bir disk içine yoğunlaştırmıştı. Bu ince bölge o denli yoğun olabilmisti ki Güneş Sistemi onun içinden geçtiğinde, Güneş, gökadamızın içindeki yörüngesinde aşağı yukarı salınırken, diskin kütleçekimsel etkisi aşırı derecede kuvvetli olmuştu. Onun kütleçekimi, Güneş Sisteminin dış ucunda kuyruklu yıldızları yerinden oynatmaya yetecek kadar güçlü olabilmisti; orada Güneşin çekişi onları tekrar geri dizginlemek için aşırı zayıf kalabilmisti. Yoldan çıkan kuyruklu yıldızlar Güneş Sisteminden dışarı atılmışlardı ya da –daha ciddi şekilde– Güneş Sisteminin içlerine doğru gitmek üzere yönlendirilmişlerdi. Oralarda Dünya’ya çarpma potansiyeline sahip olabilirlerdi.

Bu fikrin doğru olup olmadığını henüz bilmediğimi size daha baştan söyleyeceğim. Ancak beklenmedik tipteki bir karanlık madde canlı varlıklar üzerinde (aslında, teknik olarak artık yaşamayan) ölçülebilir etkiler yaratabilir. Bu kitap tam da böyle beklenmedik etkili karanlık madde hakkında alışılmamış önerimizin öyküsüdür.

Bu kurgusal fikirler –olabilecekleri kadar kışkırtıcı olsalar da– bu kitabın birincil odağı değildir. Onu kuşatan bağlam ve bilim, en azından içerikçe dinozorları yok eden kuyruklu yıldızın öyküsü kadar önemli olup, kozmolojinin ve Güneş Sistemi biliminin fazlasıyla oturmuş çerçevelerini içine alır. Çalıştığım konular, benim araştırmamı sık sık, maddenin nelerden yapıldığı, uzay ve zamanın doğası ve Evrendeki her şeyin bugün gördüğümüz dünyaya nasıl evrildiği gibi büyük sorulara yönelttiği için kendimi şanslı hissediyorum. Bu kitapta, bunların çoğunu da paylaşacağımı ümit ederim.

Betimleyeceğim araştırmada, çalışmalarım beni kozmoloji, astrofizik, jeoloji ve hatta biyoloji hakkında daha geniş olarak düşünmeye başladığım bir yola soktu. Odak hâlâ temel fizik üzerindedir. Tüm yaşamımda, daha geleneksel parçacık fiziği yapmış, örneğin, üzerinde bu yazdıklarımı okuduğunuz kâğıt ya da ekranın malzemesini oluşturan sıradan maddenin yapı taşlarını çalışmış birisi olsam da, Güneş Sistemi ve Yeryüzü için temel fiziksel süreçlerin olası sonuçlarının yanı sıra, bilinen –ve çok yakında bilinecek olan– karanlık dünyayı da derinlemesine incelemeyi canlandırıcı buldum.

Karanlık Madde ve Dinozorlar kitabım, Yeryüzünün neyin sonucunda hayat için yaşanabilir bir bölge haline geldiğinin yanı sıra, Evren, Samanyolu, Güneş Sistemi hakkında bizim şu anki bilgimizi açıklar. Karanlık madde ve kâinatı tartışacağım, fakat kuyrukluyıldızları, küçük-gezegenleri (asteroidleri) ve yaşamın ortaya çıkışını ve yok oluşunu –özel olarak yeryüzü dinozorlarını öldürmek üzere Yeryüzüne düşen cisim üzerine odaklanarak– ve nihayet buradaki yaşamın geri kalanında pek çok şeyi derinlemesine araştıracağım. Bu kitap size bizleri buraya getiren birçok inanılmaz ilişkinin bilgisini aktarsın istiyorum; böylece şimdi olanları bütün anlamlarıyla anlayabilelim. Bugün gezegenimiz hakkında düşündüğümüzde, kuşkusuz orada gelişmiş olan içeriği de daha iyi şekilde anlamak isteriz.

Bu kitaptaki fikirlerin altında yatan kavramlar üzerine odaklanmaya başladığım zaman dehşete kapılmıştım. Sadece şu anki yerel-çevre, Güneşe dair-çevre, gökadayı dair-çevre ve evrene dair-çevreyle ilgili bilğimiz konusunda değil, ayrıca burada Yeryüzü üzerinde bizim rastlantısal küçücük tüneme yerimizden bunları eninde sonunda ne kadar anlamayı ümit ettiğimiz konusunda da büyülenmiştim. En sonunda bizim var olmamızı sağlayan olaylar arasındaki pek çok ilişkiyle de boğulmuştum. Açık olmak gerekirse, dinsel bir bakış açısı değildir benimki. Bir amaç ya da anlam yükleme gereği hissetmiyorum. Yine de, evrenin sınırsızlığını, geçmişimizi ve tüm bunların nasıl uygun geldiğini anladığımızda, elimde olmadan dinsel demeye meylettiğimiz duygular hissederim. Bu, günlük yaşamın aptallığıyla muhatap olunduğunda, herkese bir görüş açısı sunar.

Bu yeni araştırmalar, gerçekte beni dünyaya ve bizi yaratan Ev-

renin birçok parçasına farklı açıdan bakmaya yöneltti. Queens'de büyüyen ben New York kentinin etkileyici binalarını gördüm, fakat doğayı o kadar çok değil. Gördüğüm küçük doğa, yetiştirilip ıslah edilmiş parklar ya da çimenlerden ibaretti; insanların ulaşmasından önce olan yapıdan çok az şey kalmıştı. Buna karşın, bir kumsalda gezindiğinizde, baştan başa yaratıklar ya da en azından onların kabukları üzerinde yürürsünüz. Bir kumsalda ya da kırdaki görebileceğiniz kireçtaşı falezleri milyonlarca yıl önce yaşamış olan yaratıklardan oluşmuştur. Dağlar çarpışan tektonik tabakalardan yükselmiştir ve bu hareketleri süren sıcak magma Yeryüzünün çekirdeği civarında gömülü radyoaktif malzemenin bir sonucudur. Enerjimiz Güneşin nükleer süreçlerinden gelmektedir; başlangıçta bu nükleer tepkimeler meydana geldiğinden beri bu enerji dönüşmüş ve farklı şekillerde depolanmıştır. Kullandığımız kaynakların birçoğu dış uzaydan gelmiş ve küçük-gezegenler ile kuyrukluyıldızlar tarafından Yeryüzünün yüzeyine depolanmış ağır elementlerdir. Bazı aminoasitler de göktaşları vasıtasıyla –belki de yaşamı ya da yaşam tohumlarını getirerek– Yeryüzüne depo edilmiştir.

Ve bunlar meydana gelmeden önce, karanlık madde topraklar halinde çökmüş, onların kütleçekimi daha fazla madde çekmişti; en sonunda bunlar gökadalara, gökada kümelerine ve Güneş benzeri yıldızlara dönüşmüştü. Sıradan madde –bu şekliyle bizim için önemli olmakla birlikte– tüm hikâyeyi anlatamaz.

Kendi kendine yeten bir çevrenin yanlış izlenimine kapılmış olabilsek de, Güneşin doğduğu her gün ve Ay ile uzak yıldızların görünmeye başladığı her gece, gezegenimizin yalnız olmadığını hatırlarız. Yıldızlar ve bulutsular, aşırı büyük bir Evrenin içerisindeki bir gökadada bulunduğumuzun başka kanıtlarıdır. Bir Güneş Sistemi içinde dolanırız; orada mevsimler ayrıca onun içerisindeki yönelişimizi ve yerleşimimizi hatırlatır bize. Zamanı günler ve yıllar cinsinden ölçmemiz bile çevremizin uygunluğunu gösterir.

Paylaşmak istediğim dört esinlendirici ders, bu kitaba yol açan araştırma ve yorumlardan karşıma çıkmıştır. Benim en çok hoşlandığım, Evrenin parçalarının nasıl da bu denli olağanüstü yollarla birbirlerine bağlandığını anlama zevkidir. En temel düzeydeki büyük ders, temel parçacıklar fiziğinin, evren fiziğinin ve

yaşamın kendisinin biyolojisinin birbirlerine bağlantılı oluşlarıdır; bir Yeni-Çağ anlamında değil, fakat anlamaya degecek kadar olağanüstü şekillerde.

Dış uzaydan gelen madde Yeryüzüne sürekli çarpıp durur. Yeryüzü yine de çevresiyle sevgi-nefret ilişkisi içindedir. Gezegen çevremizdeki bazı şeylerden yararlanır, fakat bunun çoğu da öldürücü olabilir. Gezegenimizin konumu doğru sıcaklığa izin verir; daha dıştaki gezegenler gelen küçük-gezegenleri (asteroidleri) ve kuyrukluyıldızları Yeryüzüne çarpmadan önce yollarından saptırır, Ay ve Yeryüzü arasındaki mesafe etkili sıcaklık dalgalanmalarından korunmak üzere yörüngemizi yeterince dayanıklı hale getirir ve dış Güneş Sistemi tehlikeli kozmik ışınlarla karşı bize siper olur. Yeryüzüne çarpan göktaşları yaşam için kritik olan kaynakları depolamış olabilirler, fakat gezegendeki yaşamın yörüngesini çok daha zararlı şekillerde de etkilemişlerdi. En azından böyle bir cisim 66 milyon yıl önce mahvedici bir soy tükenişine yol açmıştı. Bu cisim karada yaşayan dinazorları silip süpürmüştü de, bizler de dahil, büyük memelilerin var olmalarına zemin hazırlamıştı.

İkinci ders –bu da etkileyici–, tartışacağım bilimsel gelişmelerin ne kadar yeni olduklarıdır. Belki de insanlık tarihinin herhangi bir noktasında aşağıdaki beyanda bulunulabilir, fakat bu onun geçerliliğini azaltmaz: Bilgimizi son [buraya konuya bağlı bir sayı koyun] yılda muazzam bir şekilde geliştirdik. Betimleyeceğim araştırma için, bu sayı elliden daha azdır. Kendi araştırmalarımı yaparken ve diğerlerinininkileri okurken, bu kadar çok yakın keşfin ne denli yeni ve alabildiğine devrimsel olduklarına müthiş vurulmuştum. Bilim insanları kendilerini dünya hakkında öğrendiğimiz çoğu kez şaşırtıcı, her zaman için eğlenceli ve bazen de korkutucu şeylere alıştırmaya çalıştıkça, insan zekâsı ve azmi tutarlı şekilde ortaya çıkmıştı. Bu kitabın sunduğu bilim, Evren üzerine mi yoksa Güneş Sistemi üzerine mi odaklandığınıza bağlı olarak, 13,8 ya da 4,6 milyar yıllık geniş bir tarihin bir parçasıdır. Bununla birlikte, bu düşünceleri açığa çıkaran insanoğlunun tarihi ancak bir asırdan biraz daha fazladır.

Dinazorların 66 milyon yıl önce soyları tükenmişti, fakat paleontologlar ve jeologlar bu tükenişin doğasını ancak 1970’lerde ve 1980’lerde ortaya çıkardılar. İlgili fikirler ortaya atılınca, bir

bilim insanları topluluğunun onları tam anlamıyla geliştirmesi yirmi otuz yıllık meseleydi. Zamanlama da tam olarak rastlantısal değildi. Tükenişin dünya dışından gelen bir cisme bağlanması, astronomların Aya ayak basması ve Güneş Sisteminin dinamik yapısının ayrıntılı kanıtını sunan kraterleri yakından görmeleriyle daha inanılır hale gelmişti.

Son elli yılda, parçacık fiziği ve kozmolojideki önemli ilerlemeler, bugün onları anladığımız kadarıyla, maddenin temel öğelerini betimleyen Standart Modeli düşündürdü bize. Evrendeki karanlık madde ve karanlık enerji miktarı da ancak yirminci yüzyılın son on yıllarında açık şekilde tanımlandı. Güneş Sistemi bilğimiz de aynı zaman çerçevesinde değişti. Bilim insanları ancak 1990'lar da Plüton'un yörüngesinde tek başına dönmediğini göstererek, Plüton'un civarındaki Kuiper kuşağı cisimlerini keşfettiler. Sadece ilkokulda öğrenebileceğiniz bilim nedeniyle azaltılmış olan gezegenlerin sayısı şimdi daha zengin ve daha karmaşıktır.

Üçüncü önemli ders değişme hızı üzerine merkezileşir. Türler evrimleşecek zamanı bulduklarında, doğal ayıklanma çevre koşullarına uymaya izin verir. Fakat bu uyum köklü değişiklikleri kapsamayacaktır. O aşırı yavaştır. Dinozorlar Yeryüzüne çarpan 10 kilometre genişliğindeki bir göktaşına hazırlanacak konumda değildiler. Buna uyum gösteremezlerdi. Kendilerini gizlemek için aşırı büyük olan bu yaratıkların toprağa batmış olanlarının gidecekleri uygun herhangi bir yer yoktu. Yeni fikirler ya da teknolojiler ortaya çıkınca, "yavaş değişme mi, yoksa felaket mi" tartışmaları büyük bir rol oynamıştı. En yeni gelişmelerin anlaşılmasına giden yol –bilimsel ya da değil– betimlenen süreçlerin ilerleme temposudur. Sık sık şunun önerildiğini duyuyorum; genetikteki çalışmalar ya da internetten çıkarılan ilerlemeler gibi belirli gelişmeler hiç görülmemiş derecede dramatiktir. Fakat bu tamamıyla doğru değildir. Hastalıkların ya da dolaşım sisteminin yüzlerce yıl önceye giden ileri düzeyde anlaşılması, en azından bugün genetiğin yaptığı kadar derin değişimlere neden olmuştu. Yazı dilinin ortaya çıkarılması ve daha sonrasında gelen matbuat, insanların bilgi kazanma ve düşünme yollarını en azından internetin hızlandırdığı kadar önemli derecede etkilemişti.

Bu gelişmelerle birlikte, geçerli değişme için çok önemli bir faktör onun hızlılığıdır; bu sadece bilimsel süreçlerle ilgili olma-

yıp çevresel ve sosyolojik değişmelerle de ilgili olabilir. Göktaşı vasıtasıyla ölüm bugün bizim için önemli bir mesele gibi görünmese de, çevredeki ve soy tükenişlerindeki değişimlerin hızını çabuklaştırması olasıdır ve çarpma birçok açıdan kıyaslanabilir. Belki de bu kitabın pek gizlenmeyen gündemi, buraya nasıl geldiğimizin şaşırtıcı öyküsünü daha iyi anlamamıza yardım etmek ve bu bilgiyi akıllıca kullanmamızı yüreklendirmektir.

Öyle olsa da, dördüncü önemli ders, dünyamızın ve onun gelişmesinin genelde gizli öğelerini betimleyen dikkate değer bilimdir ve Evrenin ne kadarını anlamayı ümit edebileceğimizdir. Pek çok kişi çoklu evren fikriyle –ulaşma alanımız dışındaki diğer evrenler– büyülenmiş durumdadır. Fakat araştırma ve haklarında daha çok şey öğrenme şansına sahip olduğumuz –hem biyolojik hem de fiziksel– birçok gizli dünya en azından büyüleyicidir. *Karanlık Madde ve Dinozorlar*'da, neler bildiğimizi derin derin düşünmenin ne kadar esinlendirici olabileceğini, ayrıca gelecekte neleri kavramayı bekleyebileceğimizi ya da umabileceğimizi iletmek istiyorum.

Bu kitap kozmolojiyi –yani, Evrenin bugünkü durumuna nasıl evrildiğinin bilimini– açıklayarak başlamaktadır. Birinci kısmı, Büyük Patlama kuramını, kozmolojik şişmeyi ve Evrenin oluşmasını sunmaktadır. Ayrıca bu kısım karanlık maddenin ne olduğunu, onun varlığını nasıl anladığımızı ve Evrenin yapısıyla niçin ilgili olduğunu da açıklamaktadır.

Olağan madde –yıldızlarda, gazda ve insanlarda içerilenler gibi– Evrende bulunan maddenin sadece yüzde 15'ini oluştururken, karanlık madde Evrendeki maddenin yüzde 85'ini oluşturmaktadır. Yine de insanlar esas itibarıyla olağan maddenin varlığına ve ilgisine –haklı olarak, olağan madde çok daha kuvvetli etkileşime girdiği için– kafa yormuşlardır.

Bununla birlikte, hümanizmde olduğu gibi, tüm dikkatimizi orantısız biçimde müthiş etkili küçük yüzdeli kısım üzerine odaklamanın anlamı yoktur. Maddenin gördüğümüz ve hissedebildiğimiz baskın olan yüzde 15'i hikâyenin sadece bir kısmıdır. Karanlık maddenin Evrendeki kritik rolünü –erken Evrendeki yapısız kozmik plazmadan hem gökadalara hem de gökada kümelerinin oluşmalarını– ve bu yapıların bugünkü dayanıklılıklarını sürdürmelerindeki rolünü açıklayacağım.

Kitabın ikinci kısmı, Güneş Sistemine odaklanır. Güneş Sistemi kuşkusuz tek başına bütün bir kitabın konusu olabilirdi; bir ansiklopedinin bile. Dolayısıyla dinozorlarla ilişkili olabilecek unsurlar –göktaşları, küçük-gezegenler ve kuyrukluysıldızlar– üzerine odaklanacağım. Bu kısım Yeryüzüne çarptıklarını bildiğimiz ve gelecekte çarpabileceklerini tahmin ettiğimiz cisimleri betimleyecektir; ayrıca soy tükenişleri için seyrek, fakat –açıkça– reddedilemez kanıttan ya da yaklaşık 30 milyon yıllık düzgün aralıklarla meydana gelen göktaşı çarpmalarından söz edilecektir. Bu kesim yaşamın oluşumunu da tartışır; dinozorları öldüren o mahvedici olay dahil, beş büyük toplu tükeniş hakkında bilinenleri gözden geçirerek yaşamın yok oluşunu da.

Kitabın üçüncü ve son kısmı, karanlık madde modellerinin bir tartışmasıyla başlayarak, ilk iki bölümden fikirleri birleştirir. Karanlık maddenin ne olabileceğine dair çok daha bildik modelleri ve yukarıda çitlatılan karanlık madde etkileşimleri için en yeni önerileri açıklar. Bu noktada, karanlık madde ve olağan maddenin sadece kütleçekim aracılığıyla etkileştiğini biliriz. Kütleçekimin sonuçları genelde öylesine küçüktür ki ancak devasa kütlelerin –Yeryüzü ve Güneş gibi– etkisini kaydederiz ve bunlar bile oldukça zayıftır. Ne de olsa, bir kâğıt kıskacını ufacık bir mıknaatısla kaldırabiliriz; buradaki kuvvet tüm Yeryüzünün kütleçekim etkisiyle başarıyla yarışır.

Bununla birlikte, karanlık madde diğer kuvvetleri de hissedebilir. Yeni modelimiz insanların “bilinen madde tek ve biriciktir; çünkü elektromanyetik, zayıf ve yegın çekirdek kuvvetleriyle etkileşir” şeklindeki varsayımına –ve peşin hükmüne– meydan okur. Kütleçekimden çok daha güçlü olan bu geleneksel madde kuvvetleri, bizim dünyamızın ilginç özelliklerinin pek çoğundan sorumludur. Fakat karanlık maddenin bir kısmı ayrıca etkili kütleçekim dışı etkileşimler de hissediyorsa, ne olur? Bu doğruysa, karanlık madde kuvvetleri, temel madde ile makroskobik olaylar arasında –zaten var olduğunu bildiğimiz birçok ilişkiden daha da derin– ilişkilerin dramatik kanıtına yol açabilir.

Evrende her şey ilke olarak etkileşse de, böyle etkileşmelerin çoğu kolayca kaydedilmek için aşırı derecede küçüktür. Ancak bizi algılanacak şekilde etkileyecek şeyler gözlenebilir. Sizi iyice az etkileyen bir şey, hemen burnunuzun dibinde olabilir ama yine de

dikkatinizden kaçır. Tek tek karanlık madde parçacıklarının –belki de tamamen çevremizde oldukları halde– bugüne kadar keşfedilememiş olmalarının nedeni budur.

Kitabın üçüncü kısmı, karanlık madde hakkında çok daha geniş düşünmenin –bizim evrenimiz böylesine karmaşık olduğunda, karanlık evren niçin bu denli basit olmalıdır diye sorarak– bizi nasıl yeni olasılıklara yönelttiğini gösterir. Karanlık madde deneyimlerinin bir bölümü, kendi kuvveti olabilir; isterseniz ona karanlık ışık deyin. Eğer karanlık maddenin çoğu genelde pek sözü geçmeyen yüzde 85'e sürülmüşse, o zaman karanlık maddenin yeni önerilen bir türünü düşünebiliriz, bilinen maddeninkileri taklit eden etkileşmelerle yükselen bir orta sınıf gibi. Ek etkileşmeler gökadalara oluşmasını etkileyebilir ve karanlık maddenin bu bölümü sıradan madde bölgesindeki yıldızların ve diğer cisimlerin hareketinin etkilenmesine izin verir.

Gelecek beş yıl içinde, uydu gözlemleri gökadanın biçimini, yapısını ve özelliklerini öncekinden çok daha ayrıntılı olarak ölçecek; böylece bizim gökadasal çevremiz hakkında bize çok şey söyleyerek varsayımımızın doğru olup olmadığını sınavacaktır. Böylesi gözlenebilir çıkarımlar, karanlık maddeyi ve bizim modelimizi keşfe değer geçerli bilim haline getirir; karanlık madde sizin ve benim yapı-taşımız olmasa bile. Bunun sonuçları göktaşları çarpmalarını içerebilirdi; onlardan biri, kitabın adını anıştıran karanlık madde ile dinazorların yok oluşu arasındaki bağlantı olabilirdi. Bu olayları birbirine bağlayan genel bilgi ve kavramlar bize Evrenin 3-boyutlu geniş bir resmini verir. Bu kitabı yazmak-taki amacım, bu düşünceleri paylaşmak ve dünyamızın olağanüstü zenginliğini araştırmanız, değerini bilmeniz ve desteklemeniz için sizi yüreklendirmektir.

I. Kısım

EVRENİN GELİŞİMİ

GİZLİ KARANLIK MADDE CEMİYETİ

Genelde beklemediğimiz şeyleri gözden kaçıırız. Aysız gecelerde gökyüzünde meteorlar kayar geçer, ormanlık alanda yürüyüşe çıktığımızda bilmediğimiz hayvanlar gizlice izler bizi, bir kentte yürürken etrafımızı görkemli mimari ayrıntılar sarar. Buna karşın, onlar doğrudan doğruya bizim görüş alanımız içinde olsalar da, çoğu kez bu olağanüstü ilginç şeylerin farkına bile varmayız. Bizim gerçek vücutlarımız bakteri kolonilerine ev sahipliği yapmaktadır. İçimizde insan hücrelerinden on kat daha fazla bakteri hücresi yaşar ve hayatta kalmamıza yardımcı olurlar. Yine, bizde yaşayan, besinleri yakan ve sindirim sistemimize yardımcı olan bu mikroskobik yaratıklardan neredeyse haberdar bile değilizdir. Ancak bakteriler kötü davranıp bizi hasta ettiklerinde, çoğumuz ancak o zaman onların varlığını kabul ederiz.

Nesneleri görmek için, bakmalıyız. Ve nasıl bakacağımızı da bilmeliyiz. Fakat en azından biraz önce değindiğim olaylar ilke olarak görülebilir. Genel anlamıyla göremeyeceğiniz şeyleri anlamakta daha fazla ısrarcı olduğumuzu hayal edin. Bu, karanlık madde olabilir: Evrendeki anlaşılması güç zimbırta, anladığımız sıradan maddeyle sadece çok küçük etkileşmesi olan nesne. Gelen bölümde, astronomların ve fizikçilerin karanlık maddenin varlığını saptadıkları birçok deneyi açıklayacağım. Bu bölümde, ele avuca sığmayan bu maddeyi tanıtaacağım: Neyin nesidir? Niçin bu denli şaşırtıcı görünmektedir? Bazı açılardan bakıldığında da, neden öyle değildir?

ARAMIZDA GÖRÜNMEYEN

İnternet, milyarlarca insanın çevrim-içi birbirine bağlandığı tek devasa iletişim ağı olsa da, sosyal ağlar üzerinden haberleşen bu insanların çoğu birbirleriyle doğrudan doğruya –ya da dolaylı

olarak- etkileşmez. Katılanlar benzer düşüncelere sahip insanlarla arkadaş olma eğilimindedir, diğerlerini benzer ilgi alanları doğrultusunda izlerler ve dikkatlerini kendi özel dünya görüşlerini temsil eden haber kaynaklarına çevirirler. Böylesi sınırlı etkileşmelerle, pek çok kişi çevrim-içi parçayı belirgin, etkileşmeyen kitlelere geçirirler; bunların aralarında nadiren itiraz edilebilen görüşlerle karşılaşılır. Hatta kişilerin arkadaşlarının arkadaşları genelde bağımsız grupların çelişkili görüşleriyle karşılaşmazlar; böylece internet kullanıcılarının çoğu, farklı, uyumsuz fikirlere sahip bilinmedik toplulukların varlığını önemsemezler.

Hepimiz kendi dünyamızın dışındakilere böylesine kapalı değiliz. Fakat karanlık maddeye gelince, hepimizin suçu sabittir. Karanlık madde sadece sıradan maddenin sosyal iletişim ağı değildir. O, henüz nasıl gireceğimizi bilmediğimiz bir internet sohbet odasında yaşamaktadır. Görünür maddeyle aynı Evrendedir ve hatta onunla aynı uzay bölgesini doldurmaktadır. Fakat karanlık madde parçacıkları bildiğimiz sıradan maddeyle sadece sezilemez bir şekilde etkileşir. İnternet topluluklarıncı önemsenmediğimiz gibi, bize karanlık maddeden bahsedilmedikçe, günlük yaşamlarımızda onun varlığının farkında değiliz.

Bizim içimizdeki bakteriler gibi, karanlık madde de tam burnumuzun dibindeki başka birçok "evren"den biridir. Ve şu mikroskobik yaratıklar gibi, o da bizim tamamen çevremizdedir. Karanlık madde tam vücudlarımızın içinden geçmektedir ve dış dünyada oturmaktadır. Yine de, onun sonuçlarından hiçbirini fark etmiyoruz; çünkü o denli zayıf etkileşiyor ki; hatta o kadar ki ayrı bir topluluk oluşturur. Bildiğimiz maddeden tamamen ayrı bir topluluktur. Fakat önemli bir topluluk. Bakteri hücreleri -sayıca çok olsa da- ağırlığımızın sadece yüzde bir ya da ikisine karşılık geldiği halde, karanlık madde -vücudumuzun önemsiz bir kesri olsa da- Evrendeki maddenin yüzde 85 kadarını oluşturmaktadır. Çevrenizdeki her santimetre küp bir proton kütlesi kadar madde içerir. Bu, onu nasıl gördüğümüze bağlı olarak, çok ya da az gibi görünebilir. Fakat eğer karanlık madde bildiğimiz parçacıklarla karşılaştırılabilir kütleli parçacıklardan oluşmuşsa ve eğer bu parçacıklar anladığımız dinamiğe dayalı hızlarla hareket ediyorsa, her saniyede her birimizden milyarlarca karanlık madde parçacığı geçmektedir.

Yine de onların orada olduklarına hiç kimse dikkat etmiyor. Milyarlarca karanlık madde parçacığının bile etkisi miniciktir. Karanlık maddeyi hissetmediğimizden bu böyledir. Karanlık madde ışıkla etkileşmez; en azından insanların bugüne kadar araştırabildiği kadarıyla. Karanlık madde sıradan maddeyle aynı malzemedен yapılmamıştır; gördüğümüz her şeyin temeli olan ışıkla etkileşen atomlardan ya da bilinen temel parçacıklardan oluşmamıştır.

Arkadaşlarımın ve benim çözmeyi ümit ettiğim, karanlık madde nin nelerden oluştuğudur. Yeni tür bir parçacıktan mı oluşmaktadır? Öyleyse, onun nitelikleri nelerdir? Kütleçekim etkileşmelerinden başka, hiç başka etkileşmesi var mıdır? Güncel deneyler açısından şanslıysak, karanlık madde parçacıkları iyice küçük elektromanyetik etkileşmelere uğrarlar; bunlar bugüne dek saptanamayacak kadar küçüktüler. Özel amaçlı sondalar bunu araştırıyor; nasıl olduğunu kitabın üçüncü bölümünde açıklayacağım. Fakat şimdiye dek karanlık madde görünemedi. Onun etkileri, algılayıcıların güncel duyarlılık düzeyinde, algılayıcıları etkileyemedi.

Bununla birlikte, büyük miktarlarda karanlık madde yoğun bölgelerde kümелendiğinde, onun net kütleçekim etkisi önemli olur ve yıldızlarda ve yakındaki gökadalар üzerinde ölçülebilir etkilere yol açar. Karanlık madde Evrenin genişlemesini, bizden uzak yıldızlara giden ışık ışınlarının yolunu, gökadalарın merkezleri civarındaki yıldızların yörüngelerini ve başka birçok ölçülebilir olayı onun varlığına bizi inandıracak şekillerde etkiler. Bu ölçülebilen kütleçekimsel etkiler nedeniyle, karanlık maddeyi biliyoruz ve o gerçekten de var.

Üstelik, görülmese ve hissedilmede bile, Evrenin yapısının oluşmasında karanlık madde merkezi bir rol oynamıştı. Karanlık madde, toplumun takdir edilmemiş aşağı tabakasıyla karşılaştırılabilir. Seçkin karar alıcılara görünmediklerinde bile, piramitleri veya otoyolları inşa eden ya da elektronik parçaları bir araya getiren birçok işçi, ait oldukları uygarlıkların gelişmesinde çok önemliydiler. Aramızdaki diğer unutulmuş topluluklar gibi, karanlık madde de dünyamız için yaşamsaldı.

Erken Evrende karanlık madde var olmasaydı, Evrenin evriminin uyumlu bir resmini bir araya getirmek şöyle dursun, bunların

hiçbirini düşünmek için ortalıkta bile olmayabilirdik. Karanlık madde olmaksızın, şu anda gözlediğimiz yapıyı oluşturmak için yeterli zaman olmazdı. Karanlık madde topakları Samanyolu gökadasını döllediler; ayrıca diğer gökadalaları ve gökada kümelerini. Gökadalar oluşmasaydı, ne yıldızlar olurdu, ne Güneş Sistemi ne de bildiğimiz yaşam. Bugün bile, karanlık maddenin toplu eylemi gökadalaları ve gökada kümelerini bozulmamış olarak tutuyor. Girişte üstü kapalı olarak bahsedilen karanlık disk mevcutsa, karanlık madde Güneş Sisteminin yörüngesiyle bile ilgili olabilir.

Yine de karanlık maddeyi doğrudan gözleyemeyiz. Bilim insanları maddenin birçok biçimini incelediler, fakat yapısını bildiğimiz onların tümü ışığın –ya da, çok daha genel olarak, elektromanyetik ışınımın– bir biçimiyle gözlenmişlerdi. Elektromanyetik ışınım görünür frekanslarda ışık olarak ortaya çıkar; fakat örneğin, görebildiğimiz frekansların sınırlı bölgesi dışında radyo dalgaları ya da morötesi ışınım olarak da görünebilir. Bu etkiler bir mikroskop altında bir radar düzeneğiyle ya da bir fotoğraf üzerinde optik görüntülerde gözlenebilir. Fakat elektromanyetik etkiler daima ışın içine girer. Etkileşmelerin hepsi doğrudan etkileşme değildir; yüklü ögeler ışıkla tam doğrudan etkileşir. Fakat parçacık fiziğinin Standart Modelinin ögeleri –maddenin bildiğimiz en temel elemanları– birbirleriyle yeterince etkileşir; öyle ki ışık, doğrudan bir dost değilse bile, en azından maddenin görebildiğimiz tüm yapılarının bir dostunun dostudur.

Sadece görmemiz değil, fakat diğer duyularımız –dokunma, koku, tat ve duyma– atomik etkileşmelere dayanır; bunlar sırasıyla elektrik yüklü parçacıkların etkileşmelerine dayanır. Dokunma duyusu da, çok daha incelikli nedenlere karşın, elektromanyetik titreşimlere ve etkileşmelere bel bağlar. İnsan duyuları tamamen bir tür elektromanyetik etkileşmeye bağlı olduğundan, karanlık maddeyi doğrudan doğruya alışılmış yollarla algılayamayız. Karanlık madde tamamen etrafımızda olduğu halde, onu göremeyiz ya da hissedemeyiz. Işık karanlık madde üzerine düştüğünde, hiçbir şey yapmaz. Işık sadece geçip gider.

Asla görülmediği (ya da hissedilmediği veya kokmadığı) farz edildiğinden, konuştuğum pek çok kişi karanlık maddenin varlığına şaşırır ve onu oldukça gizemli bulur; hatta acaba bir tür hata mı diye meraklanır. İnsanlar bu kadar çok olan madde –sıradan

maddenin beş katı- nasıl olur da geleneksel teleskoplarla algılamaz diye sorar. Kişisel olarak, ben bunun tam tersini düşünüyorum (kuşkusuz herkes bunu bu şekilde görmese de). Gözlerimizle görebildiğimiz maddenin var olan tüm madde olması, bana daha da gizemli gelirdi. Neden her şeyi doğrudan algılayabilen mükemmel duylara sahip olalım ki? Fiziğin yüzlerce yıllık büyük dersi, gözümüzden kaçan ne kadar çok şeyin olduğudur. Bu açıdan soru şudur: Gerçekten de Evrenin mevcut enerji yoğunluğunun tümünü neden bilip haberdar olduğumuz madde oluşturmuş olsun ki?

Karanlık madde bazılarına egzotik bir öneriymiş gibi gelebilir, fakat onun varlığını önermek, kütleçekim yasalarını gözden geçirmekten çok daha az aceleye getirmektir işi; karanlık madde kuşkucularının yeğleyebileceği gibi. Karanlık madde -gerçekten alışılmadık olsa da- tüm bilinen fizik yasalarıyla tam olarak tutarlı olan geleneksel açıklamaya büyük olasılıkla aşağı yukarı sahiptir. Buna karşın, kütleçekim yasalarıyla uyum içinde hareket eden tüm madde neden tam olarak alışılmış madde gibi davran-sın? Bunu kısa ve öz biçimde söylersek, tüm madde neden ışıkla etkileşmek zorunda olsun? Karanlık madde basitçe farklı temel yüklere sahip olabilir ya da hiç temel yükü olmayabilir. Elektrik yükü ya da etkileşmeleri olmaksızın, karanlık madde basitçe ışığı soğuramaz ya da yayınlamaz.

Bununla birlikte, karanlık maddenin adı konusunda küçük bir problemim var. "Madde" kısmında sorun yok. Karanlık madde, gerçekten de bir madde şeklidir -diğer tüm madde gibi kütleçekimle etkileşen, kendi kütleçekimsel etkisiyle kümelenen ve kuvvet uygulayan özdektir. Fizikçiler ve astronomlar bu etkileşmeye dayanan çeşitli yollarla onun varlığını meydana çıkarırlar. Adındaki "karanlık"tır talihsiz olan; çünkü hem ışığı soğurdukları için karanlık şeyleri görürüz hem de uğursuz-tınlı etiket onu olduğundan daha kudretli ve negatif gibi gösterir. Karanlık madde karanlık değildir, saydamdır. Karanlık nesne ışığı soğurur. Saydam şeylerse, ona karşı ilgisizdir. Işık karanlık maddeye çarpabilir, fakat sonuç olarak ne madde ne de ışık değişecektir.

Çeşitli disiplinlerden insanları bir araya getiren son konferansta, markalaştırma işinde uzmanlaşan profesyonel pazarlamacı Massimo'yu tanıdım. Ona araştırmalarımı söylediğimde, bana kuşkuyla bakmış ve "Ona neden karanlık madde deniyor?"

diye sormuştu. İtirazı bilim yanına değildi, adının gereksiz yere yaratacağı olumsuz çağrışımlarınaydı. Her markanın, olumsuz niteliklerle “karanlık” (*dark*) ifadesiyle ilişkilendiği her zaman doğru değildir. Sözgelimi “Kara Şövalye” (Dark Knight), karmaşıklığına karşın, iyi bir karakterdi. Gelgelelim *Dark Shadows*, *His Dark Materials*, *Transformers: Dark of the Moon* ve Darth Vader için “Gücün karanlık yanı”nda kullanılışıyla karşılaştırıldığında –Lego filminden şamatalı karanlık şarkı şöyle dursun– “karanlık madde”nin “karanlık”ı (*dark*) oldukça uysaldır. Karanlık şeylerle açıkça büyülenmemize karşın, karanlık madde gerçekten de adındaki şöhretin karşılığını vermez.

Karanlık madde, bununla birlikte, bir niteliği şeytani şeylerle paylaşır: görünüşünü gizler. Karanlık madde şu anlamda uygun adlandırılmıştır; onu ne kadar ısıtırsanız ısıtın, ışık yayınlamaya-caktır. Bu anlamda gerçekten karanlıktır; donuk olmak anlamında değil, fakat ışık-yayınlayıcı ya da ışık-yansıtıcı olmanın tersi anlamında. Hiç kimse karanlık maddeyi doğrudan doğruya göremez; bir mikroskop ya da bir teleskopla bile. Filmlerde ve edebiyatta birçok kötücül ruhta olduğu gibi, onun görünmezliği onun kalka-nı olarak hizmet görür. Massimo “saydam madde”nin daha iyi, en azından daha az ürkütücü, bir isim olacağı konusunda fikir birliği içindeydi. Fizik açısından doğru olmakla birlikte, onun haklı olduğu konusunda emin değildim. “Karanlık madde,” benim gözde terimim olmasa da, makul miktarda dikkat çekici gibi görünüyor. Yine de, karanlık madde ne kaygı vericidir ne de güçlü; en azından büyük miktarlarda olmadığı sürece. Normal maddeyle öylesine zayıf şekilde etkileşir ki, keşfedilmesi aşırı derecede uğraş gerektirir. Onu böylesine ilginç kılan tarafı da budur.

KARA DELİKLER VE KARANLIK ENERJİ

“Karanlık madde” ismi –yukarıda değinilen kaygı verici çıkarımların da ötesinde– başka karışıklıklara da yol açar. Örneğin, araştırmaları hakkında konuştuğum pek çok kişi karanlık maddeyi kara deliklerden ayırmayı becerememektedir. Ayırımı açıklığa kavuşturmak için, aşırı küçük bir uzay bölgesine çok fazla madde koyarak meydana gelen cisimler olan kara delikleri tartışmak üzere

kısa bir yan yola sapacağım. Onların güçlü kütleçekim etkisinden, ışık dahil, hiçbir şey kaçamaz.

Kara delikler ve karanlık madde, siyah mürekkep ve siyah filminden daha fazla aynı değildir. Karanlık madde ışıkla etkileşmez. Kara deliklerse ışığı soğurur ve başka her şey aşırı yakınına gelir. Kara delikler, içine giren tüm ışık içeride kaldığı için karardır. Işıma yapmaz ve geriye yansıtmaz. Maddenin her şekli bir madde oluşturmak üzere çökebileceğinden, karanlık madde kara deliklerin oluşmasıyla ilgili olabilirdi.* Fakat kara delikler ve karanlık madde kesinlikle aynı şey değildir. Hiçbir şekilde karıştırılmamalıdır.

Bir başka yanlış anlama karanlık maddenin hoş olmayan adıdır. Evrenin bir diğer bileşeni "karanlık enerji" olduğundan –bu da sorunlu bir seçim– insanlar bunu da karanlık maddeyle karıştırırlar. Bizim asıl konumuzdan bir sapma da olsa, karanlık enerji bugün kozmolojinin esas bir parçasıdır. Dolayısıyla, farkı her zaman bilmenizi sağlamak için şimdi siz aydın okurlarıma bu diğer terimi açıklayacağım.

Karanlık enerji madde değildir; sadece enerjidir. Gerçek parçacık ya da diğer özdek biçimi etrafta olmasa da, karanlık enerji vardır. Evrenin içine işler, fakat sıradan madde gibi kümelenmez. Karanlık enerjinin yoğunluğu her yerde aynıdır; bir bölgede diğerinden daha yoğun değildir. Cisimlerde toplanan ve bazı yerlerde diğer yerlerden daha yoğun olabilen karanlık maddeden çok farklıdır. Karanlık madde, yıldızlar, gökadarlar ve gökada kümeleri gibi cisimlere bağlanan bilinen madde gibi davranır. Diğer taraftan, karanlık enerji dağılımı daima düzgündür.

Karanlık enerji zaman boyunca sabit kalır. Madde ve ışıınımdan farklı olarak, karanlık enerji Evren genişlediğinde daha seyreltik hale gelmez. Bu bazı yönlerden onu tanımlayan özelliktir. Karanlık enerji yoğunluğu –parçacıklar ya da madde tarafından taşınmayan enerji– zaman boyunca aynı kalır. Bu nedenle, fizikçiler genelde bu tür enerjiye bir *kozmozolojik sabit* olarak bakarlar.

Evrenin erken evrilme döneminde, enerjinin çoğu ışıınımla taşınıyordu. Fakat ışıınım maddeden çok daha hızlı şekilde seyreltik

* Kesin olmak gerekirse, kara delikler mümkün bir karanlık madde adayı olarak önerilmişti; daha sonra ele alacağım bir konu bu. Gözlemsel sınırlamalar ve kuramsal sorunlar artık bu senaryoyu olasılık dışına çıkardı.

hale geldiğinden, madde zamanla en büyük enerji dağılımı olarak egemen olmuştu. Evrenin evriminin çok sonrasında, ısıtım ve madde seyreltiği halde karanlık enerji asla seyrelmediğinden, karanlık enerji baskın hale gelmişti ve şimdi Evrenin enerji yoğunluğunun yüzde 70 kadarını karanlık enerji oluşturmaktadır.

Einstein özel göreliliğini önermeden önce, insanlar sadece bağıl enerjiyi –bir kurulum ile diğeri arasındaki enerji farkı– düşünüyorlardı. Fakat Einstein'ın kuramıyla donanmış olarak, öğrendik ki enerjinin mutlak miktarı kendi başına anlamlıdır ve Evreni büzen ya da genişleten bir kütleçekimsel kuvvet doğurur. Karanlık enerji hakkındaki büyük giz, onun neden var olduğu değil –kuantum mekaniği ve kütleçekim kuramı onun olması gerektiğini öngörür ve Einstein kuramı bize onun fiziksel sonuçlara sahip olduğunu söyler– fakat yoğunluğunun neden bu denli düşük olduğudur. Onun baskın olduğu dikkate alındığında, bu bir sorun olarak görülmeyebilir. Fakat Evrenin enerjisinin büyük çoğunluğunu bugün karanlık enerji oluşturduğu halde, karanlık enerjinin etkisinin diğeri enerji türlerinininkiyle yarışa girmeye başlaması ancak son zamanlarda –madde ve ısıtım, Evrenin genişlemesiyle aşırı derecede seyreltik hale geldikten sonra– ortaya çıkmıştır. Öncesinde, karanlık enerji yoğunluğu, diğeri çok daha büyük ısıtım ve madde katkılarıyla karşılaştırıldığında çok küçüktü. Işın başında yanıtı bilmeden, fizikçiler karanlık enerji yoğunluğunu şaşkınlık içinde 120 mertebe daha büyük olmalı diye tahmin etmişlerdi. Küçük boyutlu kozmolojik sabit sorunu, yıllarca fizikçilerin kafalarını karıştırmıştı.

Pek çok gökbilimci, artık kozmolojinin rönesans dönemini yaşamakta olduğumuzu söylemektedir; bu dönemde kuramlar ve gözlemler o aşamaya ulaşmıştır ki hassas şekilde ayarlanmış testler Evrende hangi fikirlerin gerçekleştiğini saptamaya yardımcı olacak durumdadır. Yine de, karanlık enerji ve karanlık maddenin baskınlığını ve hatta neden bu kadar çok sıradan maddenin bugüne kaldığı gizemini dikkate alan fizikçiler, herhalde karanlık çağlarda yaşıyoruz esprisini de yapmaktadırlar!

Fakat kozmosu inceleyen herkes için, bu dönemi heyecan verici yapan da bu gizemlerdir. Bilim insanları karanlık sektörü anlamada büyük ilerleme kaydettiler, yine de geliştirmeye hazır olduğumuz büyük sorular duruyor. Benim gibi bir araştırmacı için, bu en uygun durumdur.

Belki de “karanlık”ı araştıran fizikçilerin çok daha soyut bir yapıda Kopernik tarzı bir devrime katılmakta oldukları söylenebilir. Dünyamız Evrenin fiziksel olarak merkezi olmadığı gibi, bizim fiziksel yapımız da onun enerji bütçesine –ya da madde-sinin çoğuna– merkez oluşturmaz. Nasıl ki insanların kozmosta incelediği ve en iyi bildiği ilk cisim Yeryüzüyse, fizikçiler de ilkin kendilerinin yapıldıkları madde üzerine odaklanmışlardı; bu onların en kolay ulaşabilecekleri, apaçık ve yaşamları için esas olan şeydi. Yeryüzünün coğrafi olarak değişen ve merak uyandıran bölgesini keşfetmek her zaman kolay değildi. Fakat Yeryüzünün tam olarak anlaşılmasını istemek, onun çok daha uzaktaki karşıtlarını –Güneş Sisteminin alışılmadık bölgelerini ve dış uzayın ötelerini– araştırmaktan çok daha kolay ve erişilebilirdi.

Benzer şekilde, sıradan maddenin bile en temel öğelerini sezinleme işi meydan okuyucuydu; yine de onun incelenmesi, görünmeyen fakat hep etrafımızda olan “saydam” karanlık maddenin araştırılmasından çok daha dolambaızdı.

Bununla birlikte, durum artık dönüm noktasındadır. Karanlık maddenin araştırılması bugün çok ümit vericidir; çünkü güncel olarak etkin çok çeşitli deneysel sondaların etkisi altındadır ve artık geleneksel parçacık fiziği ilkeleriyle açıklanmalıdır. Etkileşmelerinin zayıflığına karşın, bilim insanları gelecek on yılda karanlık maddenin doğasını saptama ve sonuca ulaştırma konusunda gerçek bir şansa sahiptir. Karanlık madde, gökadalar ve diğer yapılar şeklinde kümелendiğinden, önümüzdeki gökada ve Evren gözlemleri fizikçileri ve gökbilimcileri onu daha yeni yollardan ölçmeye izin verecektir. Üstelik, göreceğimiz gibi, karanlık madde Güneş Sistemimizin göktaşı çarpmaları ve Yeryüzü üzerinde yaşamın gelişme biçimiyle ilgili bazı garipliklerine bile açıklama getirebilir. Karanlık madde uzayda ayrı ayrı yerlerde değildir (ve o gerçektir), dolayısıyla Yıldız Gemisi *Atılgan* bizi oraya taşımayacaktır. Fakat şu an geçerlikte olan fikirler ve teknolojiyle, karanlık madde son sınır –ya da en azından bir sonraki heyecan verici sınıır– olmaya hazırdır.

2

KARANLIK MADDENİN KEŞFİ

Manhattan'ın kaldırımlarında yürürken ya da Hollywood caddelerinde araba sürerken, bazen ünlü bir kişinin yakında olduğu hissine kapılırsınız. George Clooney'i doğrudan görmesiniz bile, ellerinde cep telefonları ve kameralarla bekleyen kalabalığın kestiği trafik, bir ünlünün yakında olduğu konusunda sizi alarma geçirmeye yeter. O varlığı sadece dolaylı olarak saptadığınız halde, George'un etraftaki bir başka kişi üzerine olan güçlü etkisi yoluyla, yine de özel birinin yakında olduğundan eminsinizdir.

Bazen bir ormanda yürürken, bir kuş sürüsü aniden başınızın üstünden çılgınca uçacak ya da bir tavşan yolunuzun üzerinden karşıya geçecektir. Bu hayvanları harekete geçiren yürüyüşçüyle ya da avcıyla doğrudan doğruya asla karşılaşmazsınız. Öyle olsa bile, hayvanların hareketi avcılarını akla getirir ve onların hikâyelerini anlatmaya yardım eder.

Karanlık maddeyi görmeyiz, fakat o –ünlü kişi ya da avcı gibi– çevresini etkiler. Gökbilimciler karanlık maddenin varlığını çıkar-samak için bu dolaylı etkileri kullanmışlardı. Bugünün ölçümleri, bize sürekli artan kesinlikle karanlık maddenin dağılımını söyler. Kütleçekim zayıf bir kuvvet olsa da, yeterince büyük miktarlarda karanlık madde ölçülebilir bir etkiye sahiptir ve gerçekten de Evrende ondan çok miktarda vardır. Henüz karanlık maddenin gerçek doğasını bilmiyoruz, ama şimdi betimleyeceğim ölçümler gösteriyor ki karanlık madde dünyamızın gerçek ve önemli bir bileşenidir. Karanlık madde, bugüne kadar gözlerimiz ya da doğrudan gözlemler için görünmez kalmış olsa da, tamamen gizlenemez.

KARANLIK MADDEYİ SAPTAMANIN KISA TARİHİ

Fritz Zwicky, bir kısmı saçma sapan olan bazı etkileyici sezgilere sahip bağımsız bir düşündü. Tuhaf durumunun iyice ayırdın-

daydı ve *Yalnız Kurt Operasyonu* [*Operation Lone Wolf*] adlı bir otobiyografi yazmaya bile niyetlenmişti. Ünü kısmen nedenini açıklamaktaydı, 1933'te yirminci yüzyılın en muhteşem keşiflerinden birini yaptığı halde, sonraki kırk yıl boyunca ciddiye alınmamıştı.

Oysa Zwicky'nin 1933 çıkarımı gerçekten dikkat çekiciydi. O, Coma Kümesindeki (bir *küme*, kütleçekimle bağlı gökadalardan büyük bir topluluğudur) gökadalardan hızlarını gözlemlemişti. Bir küme içindeki maddenin kütleçekimi, kararlı bir sistem yaratmak için içinde barındırdığı yıldızların kinetik enerjisiyle yarışır. Aşırı düşük bir kütleyle, kümenin kütleçekimi, yıldızların kinetik enerjisinin onları uzaklara sürmesinden alıkoymaz. Yıldızların hız ölçümlerine dayanarak, Zwicky kümenin yeterli kütleçekime sahip olması için gerekli kütle miktarının hesaplamış ve bu miktarı, ölçülen ışıldayan –ışık yayınlayan– maddenin katkısından 400 kere daha büyük bulmuştu. Tüm bu fazlalık maddeye bir açıklama getirmek için, Zwicky *dunkle Materie* adını verdiği –ki bu Almanca karanlık madde demektir ve nasıl telaffuz ettiğinize bağlı olarak ya çok keyif kaçırıcı ya da çok saçma sapan gibidir– yeni bir tür maddenin varlığını öne sürmüştü.

Parlak ve üretken bir Hollandalı gökbilimci olan Jan Oort, Zwicky'den bir yıl önce karanlık madde hakkında benzer bir sonuca ulaşmıştı. Oort bizim yerel gökadamızın komşuluğundaki yıldızların, sadece ışık-yayınlayan maddenin kütleçekim etkisine dayandırılan hareketleri için hızlarının aşırı derecede yüksek olduklarını fark etmişti. Oort bir şeylerin eksik olduğunu da çıkar-samıştı. Bununla birlikte, yalnızca ışık-yaymayan sıradan özdak-dışında, yeni bir madde biçimi varsaymamıştı; ışık yaymayan sıradan madde önerisi o zamandan beri çeşitli nedenlerle reddedil-mişti; bunu aşağıda tartışacağım.

Fakat Oort da bu keşfi yapan ilk kişi olmayabilirdi. Yakın zamanda Stockholm'de katıldığım bir kozmoloji konferansında, İsveçli arkadaşım Lars Bergström pek tanınmayan İsveçli gökbilimci Knut Lundmark'tan bahsederek, onun Oort'tan iki yıl daha önce gökadalarda madde noksanlığı gözlediğini söylemişti. Lundmark da, Oort gibi, daha cesurca tamamıyla yeni bir madde türü önerisi yapmamıştı; karanlık maddenin görünür maddeye oranı üzerine onun yaptığı ölçümler, şimdi beş olarak bildiğimiz gerçek değere en yakın olardı.

Yine de bu erken gözlemlere karşın, karanlık madde uzun süre esas olarak göz ardı edilmişti. Bu fikir ancak 1970'lerde gökbilimcilerin uydu gökadalara hareketlerini gözlemeleri sonucunda tekrar canlanmıştı; uydu gökadalara, büyük gökadalara yakınındaki küçük gökadalara olup, onların hareketleri sadece görünmeyen fazladan maddenin varlığıyla açıklanabilirdi. Bu ve başka gözlemler, karanlık maddeyi ciddi şekilde sorgulanan bir konu haline döndürmeye başlamıştı.

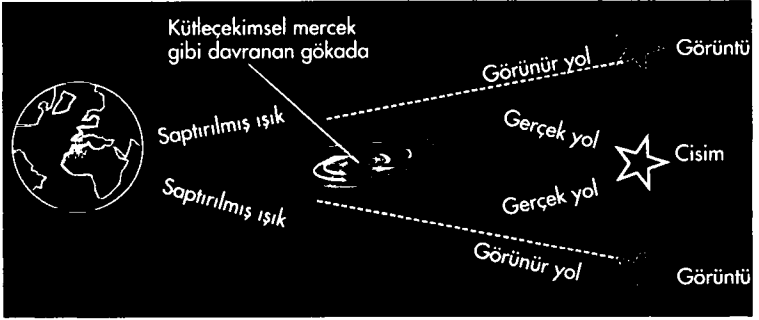
Fakat karanlık maddenin durumu, gökbilimci Kent Ford ile çalışan Washington Carnegie Enstitüsünden gökbilimci Vera Rubin'in çalışmalarıyla tamamen pekişti. Georgetown Üniversitesinden lisansüstü derecesi aldıktan sonra, Rubin, kısmen diğer bilim insanlarının fazlaca koruduğu alanlara girmekten kaçınarak, Andromeda'yla başlayıp öbür gökadalardaki yıldızların açısal hareketlerini ölçmeye karar vermişti. Gökadalara hızlarını ölçtüğü ve gökada kümelerinin varlığını doğruladığı tezi başlangıçta bilim topluluğunun çoğu tarafından reddedildikten sonra araştırma yönünü değiştirdi; bir bakıma diğerlerinin bilimsel bölgesine girdiği gibi nezaketsiz bir nedenle. Doktora sonrası çalışma için, Rubin pek kalabalık olmayan bir araştırma alanına girmeye karar verdi, böylece yıldızların yörüngesel hızlarını çalışmaya girişti.

Rubin'in kararı, herhalde zamanının en heyecan uyandıran keşfine yol açtı. 1970'lerde Rubin ve onun çalışma arkadaşı Kent Ford, yıldızların dönme hızlarının gökadasal merkezden her mesafede büyük ölçüde aynı olduğunu buldu. Yani, yıldızlar, ışık-yayan madde içeren bölgeden çok uzaklarda bile, sabit hızla dönmektedirler. Bunun tek olası açıklaması, bir miktar –henüz hesaba katılmamış– maddeydi; bu madde beklenenden çok daha hızlı hareket eden daha dıştaki yıldızları dizginlemeye yardım ediyordu. Bu fazlalık katkı olmaksızın, Rubin ve Ford'un ölçtüğü hızlara sahip olan yıldızlar gökadanın dışına uçup giderdi. Bu araştırmacıların dikkat çekici çıkarımına göre, hesaba katılan sıradan madde onları yörüngede tutmak için gereken kütlenin sadece altıda biriydi. Rubin ve Ford'un gözlemleri o zaman karanlık madde için en güçlü kanıt sağladı ve gökada dönüş eğrileri önemli bir ipucu olmayı sürdürdü.

1970'lerden bu yana, karanlık maddenin kanıtı ve Evrenin taşıdığı net enerji yoğunluğunun oranı daha da güçlü hale geldi ve çok daha iyi anlaşıldı. Karanlık maddeyi anlamamızı sağlayan dinamik etkiler biraz önce betimlediğim gökadalardaki yıldızların dönmelerini kapsamaktadır. Bununla birlikte, bu ölçümler sadece Samanyolu gibi spiral gökadalara uygulanmıştı; bunlar, dışarıya doğru uzanan spiral kolları olan bir diskte görünür maddeye sahiptir. Bir başka önemli sınıf eliptik gökadalardır; bunlarda ışık-yayan madde daha soğanımsı biçimdedir. Eliptik gökadalarda, Zwicky'nin gökada kümelerindeki ölçümlerinde olduğu gibi, *hız dağılımları* –yani, gökadalardan yıldızları arasında hızların ne kadar değiştiği– ölçülür. Bu hızlar bir gökadanın içindeki kütle tarafından saptandığından, onlar gökadanın kütlelerinin ölçümü yerine geçer. Ayrıca eliptik gökadalardaki ölçümler, oradaki yıldızların ölçülmüş dinamiğini açıklamak için ışık-yayan maddenin yeterli olmadığını göstermişti. Üstelik, yıldızlararası gazın –yıldızlarda bulunmayan gaz– dinamiğinin ölçümleri de karanlık maddeyi istiyordu. Bu özel ölçümler gökadalardan merkezlerine göre görünür maddenin kapsamından 10 kat daha ötede yapıldığından, sadece karanlık maddenin gerçekten var olduğunu göstermekle kalmamış, ayrıca karanlık maddenin erimini bir gökadanın görünür kısmının çok ötesine genişletmişti. Gazın sıcaklık ve yoğunluğunun X-ışını gözlemleri bu sonucu doğrulamıştı.

KÜTLEÇEKİMSEL MERCEKLEME

Gökada kümelerinin kütlesi, ışığın *kütleçekimsel merceklemesi*yle de ölçülebilir (*bkz.* Şekil 1). Bir kez daha hatırlayalım, hiç kimse karanlık maddenin kendisini göremez. Fakat karanlık madde yine de çevresindeki maddeyi, hatta ışığı bile, kendi kütleçekim dalgalanmasıyla etkileyebilir. Örneğin, Zwicky'nin Coma Kümesi gözlemlerine göre, karanlık madde gökadalardan hareketini onun gözleyebildiği şekillerde etkilemişti. Karanlık madde, bir başına görülme de, görünür cisimler üzerine olan etkisiyle ölçülebilirdi.



[ŞEKİL 1] Yıldız ya da gökada gibi parlak bir cismin yayınladığı ışık, gökada kümesi gibi bir kütleli cisim tarafından bükülür. Yeryüzündeki bir gözlemci ışığı özgün ışık-saçan kaynağın çoklu görüntüleri olarak izdüşürür.

İlk kez becerikli Fritz Zwicky tarafından öne sürülen kütleçekimsel merceklenme önerisinin ardındaki fikir, karanlık maddenin kütleçekimsel etkisinin, ışık-yayan bir cisim tarafından her yere salınan ışığın yolunu da değiştirmesiydi. Araya giren gökada kümesi gibi muazzam kütleli bir cismin kütleçekim etkisi, ışık-yayan cisim tarafından salınan ışık ışınlarının yollarını bükür. Küme yeterince cüsseli olduğunda, yollardaki bükülme gözlenebilir.

Yön değiştirme ışığın ilk yönüne bağlıdır: kümenin tepesi üstünden geçen ışık aşağı doğru eğilirken sağdaki ışık sola eğilir. Gözlemler, sanki düz çizgiler halinde gelmişler gibi ışınları geriye doğru izleyerek, ilk yerde ışığı üreten cisim her neyse onun çoklu görüntülerini yaratırlar. Zwicky şunu anlamıştı ki gökada kümelerindeki karanlık madde, ışık ışınlarında gözlenen değişmeye ve araya giren kümenin içerdiği toplam kütleyle bağlı olabilen sanal çoklu görüntüler vasıtasıyla saptanabilirdi. *Yeğin kütleçekimsel merceklenme* ışık-salan cismin çoklu görüntülerini verir. Biçimlerin büküldüğü fakat çoklu oluşturmadığı *zayıf kütleçekimsel merceklenme* ise kümenin kenarında kullanılabilir, orada etkilenme pek belirgin değildir.

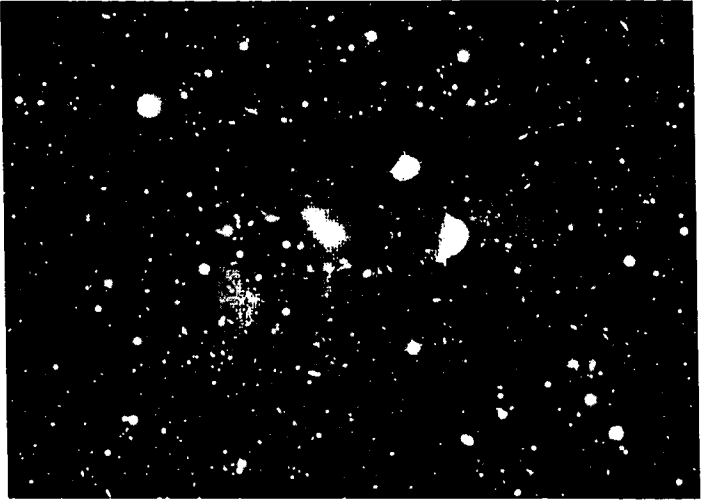
Bir küme içindeki gökadalardan hızları Zwicky'yi ilk köklü sonuca sevk ettiği gibi, mercek etkisine uğramış ışık da, karanlık maddenin kendisinin görünmezliğine karşın, kümenin toplam

kütlesinin görünür sonuçlarını verebilirdi. Bu dramatik gözlemsel sonuç, ancak ilk önerildiğinden uzun yıllar sonra gözlenmişti.

Bununla birlikte, mercekleme ölçümleri artık karanlık maddenin araştırılmasında en önemli gözlemlerden biridir. Kütleçekimsel mercekleme, karanlık maddeyi doğrudan görmenin (bir bakıma) bir yolu olduğu için heyecan vericidir. Işık-yayan cisim ile gözleyici arasındaki karanlık madde ışığı bükür. Bu, yıldız ya da gökada hız ölçümlerinde kullanılanlar gibi, her dinamik varsayımdan bağımsız olarak meydana gelir. Mercekleme doğrudan doğruya ışık kaynağı ile bizim aramızdaki kütleyle ölçer. Bir gökada kümesinin (ya da başka bir karanlık madde içeren cismin) arkasındaki bir şey bizim görüş çizgimiz boyunca ışık salar ve gökada kümesi bu ışığı bükür. Gökadanın arkasında yayınlanan yıldızsı (kuasar) ışığında gökadasal maddenin –karanlık, ışık yaymayan madde dahil– kütleçekim etkileriyle yaratılan bükülme sayesindeki çoklu görüntülerde ortaya çıkan mercekleme de gökadalardaki karanlık maddeyi ölçmek için kullanılmıştı.

KURŞUN KÜME

Karanlık madde için belki de en güçlü kanıt, şu anda (en azından fizikçiler arasında) ünlenmiş olan Kurşun Küme gibi kaynaşmış gökada kümelerinden gelmektedir; işte kütleçekimsel mercekleme ölçümleri ayrıca bu kanıtın içerisinde de bir rol oynar. (Bkz. Şekil 2.) Kurşun Küme aslında en azından iki gökada kümesinin kaynaşmasından oluşmuştu. Öncül kümeler, karanlık maddenin yanı sıra olağan madde, daha doğrusu X-ışını yayan gaz içermekteydi. Gaz elektromanyetik etkileşimlere maruz kalır ve bu, iki kümenin gazını etkin olarak birbirlerinin yanından geçmekten alıkoymak için yeterlidir; sonuçta, başta kümelerle birlikte hareket eden gaz ortada trafiğe takılıp kalır. Diğer taraftan karanlık madde hem gazla hem de Kurşun Kümenin gösterdiği gibi kendisiyle çok az etkileşir. Dolayısıyla karanlık madde engellenmeksizin kaynaşan kümenin dış bölgelerinde bombeli Miki Fare kulağı şeklinde olabilir. Gaz, farklı yönlerden kaynaşmış olan iki şeridin ardındaki araba kalabalığının trafik karmaşası gibi davranır, karanlık maddeyse ince yapılı, serbestçe hareket eden motorlu bisikletler gibi dosdoğru seyretebilir.



[ŞEKİL 2] Kurşun Kümeyi yaratmak üzere kümeler kaynaşır; gaz merkezi kaynaşma bölgesinde hapsedilir, karanlık maddeyse dış bölgelerde karanlık madde içeren bombeler yaratarak aradan geçer.

Gökbilimciler dış bölgelerde bulunabilecek karanlık maddeyi saptamak için kütleçekimsel mercekleme ölçümlerini, merkezde kalan gazı belirlemek içinse X-ışını ölçümlerini kullanmışlardır. Belki de işte karanlık madde" deme yolunda en kuvvetli kanıttır bu. İnsanlar kütleçekiminin değişiklikleri üzerine kafa patlatmayı sürdürseler de, bu acayip biçimi izah etmek için işin içine etkileşmeyen bir madde katmaksızın, Kurşun Kümenin (ve diğer benzer gözlemlerin) belirgin yapısını açıklamak zordur. Kurşun Küme ve diğer benzer kümeler, karanlık maddenin var olduğunu en doğrudan tarzda göstermektedir. Kümeler kaynaşırken, engellenmeden geçen nesnedir karanlık madde.

KARANLIK MADDE VE KOZMİK MİKRODALGA ARDALANI

Yukarıdaki gözlemler karanlık maddenin varlığını kanıtlamıştı. Fakat yine de bizi Evrendeki karanlık maddenin toplam enerjisinin ne olduğu sorusuyla karşı karşıya bırakmıştı. Gökadalarda ve gökada kümelerinde bulunan karanlık maddenin ne kadar ol-

duğunu bilsek bile, zorunlu olarak toplam miktarı bilemeyiz. Her tip maddenin belirgin özelliği, onun bir araya toplanması olduğundan, karanlık maddenin büyük kısmının gökada kümelerinde bağlı olduğu doğrudur. Öyleyse karanlık madde kütsel çekimle bağlı yapılarda bulunmalıdır ve Evren boyunca yaygın bir şekilde dağılmamıştır; öyle ki kümelerde kapsanan karanlık madde miktarı toplam miktara çok yakındır. Her şeye karşın, bu varsayımı yapmadan karanlık madde tarafından taşınan enerji yoğunluğunun ölçülmesi güzel olurdu.

Aslında, toplam karanlık madde miktarını ölçmenin çok daha sağlam bir yolu vardır. Karanlık madde miktarı, kozmik mikrodalga ardaalanını –Evrenin ilk anlarından kalan ışıınım– etkilemişti. Büyük duyarlılıkla ölçülmüş olan bu ışıının özellikleri, doğru kozmolojik kuramın kurulmasında can alıcı bir rol oynar. Karanlık madde miktarının en iyi ölçümü bu ışıının incelenmesinden gelir; bu, Evrenin en erken aşamaları içinde mevcut en temiz algılayıcıdır.

Hesaplamaların fizikçiler için bile incelikli olduğu konusunda sizi daha baştan uyarayım. Yine de, çözümlemeye katılan bazı esas kavramlar apaçıktır. Can alıcı bilgi parçası şudur; başlangıçta, atomlar –artı yüklü çekirdekler ile eksi yüklü elektronların elektrikçe yüksüz bağlı durumları– yoktu. Ancak sıcaklık atomik bağlanma enerjisinin altına düştükten sonra, elektronlar ile çekirdekler dengeli biçimde atomlar halinde birleşebildiler. Bu sıcaklığın üstünde ışıınım, protonları ve elektronları ayırmaktaydı ve bu nedenle atomlar parçalanmaktaydı. Evrene sinmiş olan ışıınım, ilk anlarda tüm yüklü parçacıklar nedeniyle, başlangıçta serbestçe hareket edememişti. Bunun yerine, erken Evrende kapsanan çok sayıdaki yüklü parçacıktan saçılmıştı.

Bununla birlikte, Evren soğudukça, yüklü parçacıklar yeniden birleşme sıcaklığı denen özel bir sıcaklıkta yüksüz atomları oluşturmak üzere birleşmişlerdi. Bağırsız yüklü parçacıklar ortadan kalkınca, fotonlara serbest seyahat ruhsatı verilmişti. Sonuç olarak, bu andan itibaren yüklü parçacıklar artık bağırsız olarak gezemeyip atomlara bağlı hale gelmişlerdi. Onlardan saçılacak yüklü parçacık kalmayınca, yeniden birleşmeden sonra yayınlanan fotonlar dosdoğru teleskoplarımıza yönelebilirlerdi. Böylece kozmik mikrodalga ardaalan ışıınınına baktığımızda, oldukça erken bu zamana geri bakıyoruz demektir.

Ölçüm açısından bakılınca, bu olağanüstüdür. Bu süre –Büyük Patlamadan 380.000 yıl kadar sonra– Evrenin ömründe yeterince erkendi; henüz yapı oluşmamıştı. Evren, aşağı yukarı ilk kozmolojik tasvirimizin öngördüğü basit yapıyı almıştı. Daha çok tekdüze (homojen) ve yönsemezdi (izotropik). Yani, gökyüzünün hangi kısmını incellerseniz inceleyin ya da hangi yönü seçerseniz seçin, sıcaklık hemen hemen aynıydı. Fakat sıcaklıkta on binde bir düzeyinde küçük dalgalanmalar bu homojenliği hafifçe tehlikeye sokuyordu. Bu dalgalanmaların ölçümleri, Evrenin içeriği ve bunu izleyen evrim hakkında devasa bilgiler taşır. Sonuçlar, Evrenin genişleme tarihi ve başka özellikleri hakkında çıkarımlar yapmamıza sağlar; bunlar da bize o zamanlar ve bugün mevcut olan ışıınım, madde ve enerji miktarını söyler, Evrenin özellikleri ve içeriği hakkında ayrıntılı kavrayışlar verir.

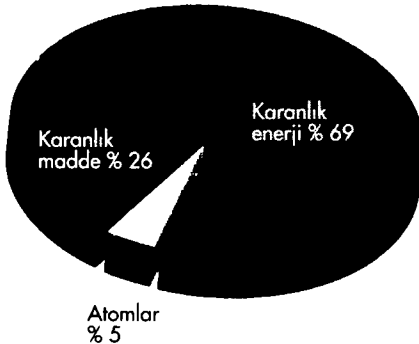
Bu eskiden kalma ışıınının neden bilgiyle bu denli zengin olduğunu anlamak için, erken Evren hakkında kıymeti bilinecek ikinci şey şudur; yeniden birleşme zamanında nötral atomlar nihayet oluştuklarında, Evrendeki madde ve ışıınım salınım yapmaya başlamıştı. *Akustik salınımlar* olarak bilinen bu olayda, maddenin kütleçekimi nesneleri içeri çekerken ışıınım basıncı onları dışarı kovuyordu. Bu kuvvetler birbirleriyle yarışmakta, böylece maddenin büzülüp genişlemesine yol açarak salınımlar yaratılmaktaydı. Karanlık madde miktarı, ışıınının dışı doğru olan kuvvetine direnerek, nesneleri içeri çeken kütleçekim potansiyelinin şiddetini belirlemekteydi. Bu etki salınımların biçimlenmesine yardım etmiş, gökbilimcilerin o zamanki mevcut karanlık maddenin toplam enerji yoğunluğunu ölçmelerine elvermişti. Daha bile incelikli bir etki içinde, karanlık madde, nesneler salınmaya başladıklarında, maddenin çökmeye başladığı zaman (ki bu, maddedeki enerji yoğunluğu ışıınımdakini aştığında olur) ile yeniden birleşme zamanı arasında ne kadar süre geçtiğini de etkilemişti.

KOZMİK PASTA

Bu, dünya kadar bilgi demektir. Fakat ayrıntıları bilmeksizin de, bu ölçümlerin olağanüstü kesinlikte olduklarını ve pek çok kozmolojik parametrenin çok doğru değerlerini –karanlık madde tarafından taşınan enerji yoğunluğu dahil– saptamamıza izin

verdiklerini anlayabiliriz. Ölçümler sadece karanlık enerji ve karanlık maddenin varlığını doğrulamakla kalmaz; ayrıca onlar tarafından içerilen Evren enerjisinin kesrini de sınırlar. Karanlık maddedeki enerji yüzdesi yüzde 26, sıradan maddedeki yüzde 5 ve karanlık enerjideki yüzde 69 kadardır. (Bkz. Şekil 3.) Sıradan maddenin enerjisinin çoğu atomlarda bulunur; kozmik pasta çizelgesinin “atomlar” ve “sıradan madde” ifadelerini değiştirilebilir biçimde kullanma nedeni budur. Başka bir deyişle, karanlık madde sıradan maddenin enerjisinin beş katını taşır; bu demektir ki Evrendeki maddenin enerjisinin yüzde 85’i karanlık madde tarafından taşınır. Ardalan ışınlımından türettiğimiz karanlık madde katkısı sonucunun daha önce gökada kümelerinden elde edilen sonuçla uyuşması bize güven verir; böylece mikrodalga ardalan ölçümlerinden elde edilen sonuç pekiştirilmiş olur.

Kozmik mikrodalga ardalan ölçümleri de karanlık enerjinin varlığını doğrulamıştı. Karanlık madde ile sıradan madde Büyük Patlama zamanından günümüze kadar ayakta kalmış olan kozmik ışınlım ardalanındaki tedirgemeleri farklı şekillerde etkilediği için, bu ardalan hakkındaki veriler karanlık maddenin varlığını doğrulamış ve üstelik ondan ne kadar mevcut olduğunu da ölçmüştü. Bununla birlikte, önceki bölümde tartıştığımız gibi, Evrende bulunan fakat hiçbir madde biçimi tarafından taşınmayan, enerjinin gizemli bir biçimi olan karanlık enerji de bu tedirgemeleri etkiler.



[ŞEKİL 3] Sıradan madde (atomlar), karanlık madde ve karanlık enerji içinde depolanmış göreceli enerji miktarlarını gösteren pasta çizelgesi. Dikkat ederseniz, karanlık madde toplam enerji yoğunluğunun yüzde 26’sı olduğu halde, maddenin enerjisinin yüzde 85 kadarını oluşturmaktadır; çünkü madde sadece atom ve karanlık madde katkılarını içermekte olup, karanlık enerji katkısını içermemektedir.

Fakat karanlık enerjinin esas keşfi, biri Saul Perlmutter ve diğeri Adam Riess ile Brian Schmidt tarafından yönetilen iki ayrı fizikçi ekibince yapılan süpernova ölçümlerinden gelmişti. Asıl ilgimiz karanlık madde olacağından, bu keşif küçük bir sapmadır. Fakat karanlık enerji de, burada kısa bir sapmayı değerli kılmaya yetecek kadar ilginç ve önemlidir.

IA TİPİ SÜPERNOVALAR VE KARANLIK ENERJİNİN KEŞFİ

Ia Tipi süpernovalar karanlık enerjinin keşfinde özellikle önemli bir rol oynamıştı. Ia Tipi süpernovalar *beyaz cücelerin* nükleer patlamalarından doğar; bunlar görünürde bazı yıldızların evrimi sürecinde merkezlerindeki tüm hidrojen ve helyumu termonükleer kaynaşmayla yaktıktan sonra kalan zararsız son durumlarıdır. Belirli bir kütlenin üzerinde, beyaz cüceler kararsız hale gelir ve patlarlar. Tüm kaynaklarını dışarıya sattıktan sonra kendini kalabalık, tatmin edilmemiş halkla devrimin eşiğinde bulan petrol zengini bir ülke gibi, beyaz cüceler de, onların kütlesi onları patlamanın eşiğine getirmeden önce ancak bu kadar çok malzeme soğurur.* Onları oluşturmak üzere patlayan beyaz cüceler hep aynı kütleye sahip olduklarından, Ia Tipi süpernovaların tümü –astrofizikçilerin *ışınım gücü bilinen nesneler* (standard candles) diye baktıkları– neredeyse aynı parlaklıkla ışırlar.†

Ia Tipi süpernovalar, aynı olmaları nedeniyle ve ayrıca hem parlak hem de görülmeleri –uzakta oldukları zaman bile– nispe-

* Kuşkusuz bu benzerlik ancak şu ana kadar sürmüştür. Kırgın sürgünlerin aksine, ağır elementler –Evrene bir kez dağılınca– dengesizlikleri daha fazla teşvik etmeyecektir. Daha da iyisi, onlar yıldız sistemlerine ve hatta yaşama bile katkı yaparlar.

† Aslında, bu temsil –yaygın şekilde kabul görmüş olsa da– uzmanlarca bugünlere tartışılan bir konudur. Diğer taraftan, patlayan beyaz cücelerin spektrumları ve ışık eğrileri için öngörüler gözlemlerle çok iyi uyuşmaktadır. Öte yandan, hiç kimse beyaz cücelere beklenen refakatçi çift yıldız görmemiştir. Dolayısıyla gökbilimciler bunun yerine patlamaya iki beyaz cücenin kaynaşmasının yol açmış olabileceğini ileri sürmektedir. Bazı veriler bu sonucu desteklemektedir –bilhassa çift yıldızın oluşumu ile onun patlaması arasındaki zaman farkını ölçmeyle ilgili olarak– fakat tek beyaz küce patlaması senaryosu için ayrıntılı öngörüler henüz doğrulanmamıştır; bu nedenle sorun henüz çözülmemiştir.

ten kolay oldukları için, Evrenin genişleme hızını bulmada özellikle yararlı bir algılayıcıdır. Bu da yetmezmiş gibi, onlar standart kandillerdir; dolayısıyla görünür parlaklıkları, sadece bizden farklı uzaklıkta olmaları nedeniyle değişir.

Buna göre, gökbilimciler bir gökadanın uzaklaşma hızını ve gökadanın parlaklığını ölçerlerse, içinde gökadanın yer aldığı Evrenin genişleme hızını ve ayrıca gökadanın ne kadar uzakta olduğunu saptayabilirler. Bu bilgiyle donanmış olarak, Evrenin genişlemesini zamanın fonksiyonu olarak belirtebilirler.

Süpernova araştırmacılarının iki ekibi, içlerinde Ia Tipi süpernovaların bulunduğu gökadalardan kırmızıya kaymalarını ölçtüklerinde, karanlık enerjiyi keşfetmek için 1998'de bu anlayışı kullanmışlardı. Kırmızıya kayma, uzaklaşan bir cismin yayındığı ışığın frekansındaki kaymadır; bu, uzaklaşan bir ambulansın siren sesinin pesleşmesi gibi, bir şeyin bir ışık ya da ses kaynağından ne kadar hızla hareket ettiğini söyler bize. Araştırmacılar, çalıştıkları süpernovaların kırmızıya kaymalarını ve parlaklıklarını bilince, Evrenin genişleme hızını ölçebilirlerdi. Süpernovaları beklenilenden daha donuk bulmaları onlar için sürpriz olmuştu; bu, süpernovaların Evrenin genişleme hızı hakkındaki geçerli geleneksel varsayımlar uyarınca beklediklerinden daha uzakta olduklarını göstermekteydi. Onların gözlemleri, beklenmedik bir enerji kaynağının Evrenin genişleme hızını ivmelendirdiği gibi şaşırtıcı bir sonuca yol açmaktaydı. Karanlık enerji buna uygun düşer, çünkü onun kütleçekim etkisi Evreni zamanla artan bir hızda genişletir. Kozmik mikrodalga ardalanındaki ölçümlerle birlikte, süpernova ölçümleri karanlık enerjinin varlığını saptamıştı.

KARANLIK MADDE FİNALİ

Bugün tüm ölçümler arasındaki uyuşma o denli iyidir ki, kozmologlar bir Λ CDM paradigmasından söz ederler; burada Λ işareti "Lambda"yı ifade eder ve CDM soğuk karanlık madde (*cold dark matter*) kısaltmasıdır. Lambda artık mevcut olduğunu bildiğimiz karanlık enerji için bazen kullanılan isimdir. Karanlık enerjiyle, karanlık madde ve sıradan madde kozmik pastaymışçasına dağılmışlardır; şimdiye kadarki tüm ölçümler öngörülerle uyuşmaktadır. Kesin şekilde ölçülmüş olan kozmik mikrodalga ardalan ışını-

mı, onun küçük fakat zengin yoğunluk tedirgenmeleriyle, sıradan madde, karanlık madde ve karanlık enerjinin enerji yoğunlukları dahil, birçok kozmolojik parametreyi, ayrıca Evrenin yaşını ve biçimini saptar. 5. Bölümde ele alacağımız WMAP ve Planck uydularından gelen çok daha yeni verilerin, Ia Tipi süpernovaların çalışılmasıyla elde edilenler gibi diğer gözlemlerden sağlanan verilerle mükemmelen uyuşması, kozmolojik modelin önemli bir doğrulamasıdır.

Fakat karanlık maddenin varlığı hususunda henüz değinmediğim çok önemli son bir kanıt parçası daha vardır. Bu kanıt –büyük olasılıkla bizim için en önemlisi– gökadalar gibi yapıların varlığıdır. Karanlık maddesiz, böyle yapılar oluşmak için zaman bulamazlardı. Bu önemli süreçte karanlık maddenin merkezi rolünün değerini anlamak için, Evren tarihinin daha önceki aşamalarının anlaşılması gerekir. Dolayısıyla yapıların oluşmasına varmadan önce, ilkin kozmolojiye, Evrenin zamanla nasıl değiştiğini araştırmaya dönelim.

3

BÜYÜK SORULAR

Birkaç kez insanlara kozmoloji üzerine çalıştığımı söylediğimde, beni bir kozmetikçiyle karıştırdılar; bu uğraşa ne kadar yetersiz görüldüğümü çok komik buldum. Fakat bu yanlış, çok dikkatli dinlemezseniz çarpıcı biçimde benzer ses veren bu sözcüklere bakmaya yöneltti beni. Her iki sözcüğün de Yunanca *cosmos*'un Latince biçiminden kaynaklandığını açıklayan Online Etimoloji Sözlüğünden yanlışın neredeyse haklı çıkarılabileceğini öğrendim. MÖ altıncı yüzyılda Sisamlı Pisagor Evrene uygulamak üzere kozmosu kullanan ilk kişiydi. Fakat MS 1200'lerden beri, kozmos sözcüğünün anlamı "düzen, iyi düzen ya da düzenli düzenleme"ydi. Sözcük on dokuzuncu yüzyıl ortalarına dek ilgi çekmemişti, ta ki Alman bilimci ve kâşif Alexander von Humboldt bir dizi ders verip *Kozmos* adlı bir tez yazıncaya kadar. Bu tez, Emerson, Thoreau, Poe ve Whitman gibi yazarlar dahil, pek çok okuyucuyu etkilemişti. Carl Sagan popüler *Kozmos* dizisinin özgün yeniden yüklemesini yaptı diye espri yapabilirsiniz.

Öte yandan, kozmetik sözcüğü 1640'lara kadar geri gider; Yunanca *kosmetikos* soyundan gelen Fransızca *cosmétique*'ten türetilmişti ve "süsleme ya da düzenlemede becerikli" anlamına gelir. Sadece Los Angeles sakinlerinin tam olarak anlayabileceklerini sandığım ikili anlamı sunan Online sözlük şunu ifade eder: "Böylece kozmos hem 'Evren, dünya' hem de 'süslemeler, bir hanımın elbisesi, dekorasyon' gibi ikinci bir algıya sahipti. Her durumda, karşılaştığım benzerlikler -ve can sıkıcı karışıklıklar- tamamen bir rastlantı da değildi. "Kozmoloji" ile "kozmetikçi" sözcüklerinin ikisi de *kozmos* sözcüğünden türer. Yüz gibi, Evren de hem güzelliğe hem de altta yatan düzene sahiptir.

Kozmoloji -Evrenin evrim bilimi- artık gerçekten de hak ettiği yere gelmişti. Son zamanlarda, çoğu kişinin otuz yıl önce bile mümkün olabileceğini düşündüğü ilerlemelerden çok daha geniş

ve ayrıntılı anlayışlar sağlayan –hem deneysel hem de kuramsal– devrimsel ilerlemelerin yapıldığı bir çağa girildi. Genel görelilik ve parçacık fiziğinden kaynaklanan kuramlarla birleştirilen gelişkin teknolojiler, Evrenin daha erken aşamalarının ve onun bugün gördüğümüz Evrene nasıl evrildiğinin ayrıntılı bir resmini temin etmişti. Gelecek bölüm, bu yirminci yüzyıl ilerlemelerinin Evrenin tarihini anlamamız hususunda bizi ne kadar öteye ve derine götüreceğini açıklayacaktır. Fakat bu olağanüstü başarıları keşfetmeden önce, insanlığın en eski ve en temel sorularından bazıları hakkında bilimin bize ne söylediğini ve ne söylemediğini açığa kavuşturmak için ilkin birazcık felsefe yapmak istiyorum.

YANITSIZ SORULAR

Kozmoloji, Evrenin nasıl başladığı ve ardından bugünkü durumuna nasıl geliştiği gibi büyük sorgulamalar hakkındadır. Bilimsel devrimin öncesinde, insanlar böyle soruları sadece ellerinin altındaki yöntemlerle, yani felsefe ve sınırlı sayıdaki gözlemlerle yanıtlamaya çalışıyorlardı. Bazı fikirlerin doğru olduklarını anlamışlardı, fakat birçokları –beklendiği gibi– yanlıştı.

Bugün bile, birçok ilerlemeye karşın, insanlar Evren ve henüz yanıtlamadığımız –doğrusu, bizi felsefe ile bilim arasındaki ayrım ile yüzleşmeye zorlayan– sorular hakkında düşündüklerinde, felsefeye dönmeye engel olamıyorlar. Bilim, en azından ilke olarak deneyler ve gözlemlerle doğrulayabildiğimiz ya da eleyebildiğimiz fikirlerle uğraşır. Felsefeyse, en azından bir bilim insanı için, asla güvenilir şekilde yanıt veremeyeceğimiz sorularla ilgilenir. Teknoloji bazen geride kalır, fakat en azından ilke olarak bilimsel önermelerin doğrulanacağına ya da eleneceğine inanmak isteriz.

Bu, bilim insanlarını ikilemde bırakır. Evren neredeyse kesinlikle gözleyebildiğimiz bölgenin ötesine uzanır. Eğer gerçekten ışığın hızı sonluysa ve Evrenimiz sadece sabit bir zaman süresinde ortalıkta olmuşsa, sadece sonlu bir uzay bölgesine ulaşabiliriz; teknoloji ne kadar ilerlemiş olursa olsun. Sadece bir ışık ışınlı ya da Evrenin ömrü esnasında ışık hızıyla seyahat eden başka bir şeyle ulaşabileceğimiz bölgeleri görebiliriz. Sadece bu bölgelerden Evrenin ortalarda olduğu süre içinde gelen bir sinyal muhtemelen bize ulaşabilir. Daha uzaktaki –fizikçilerin *kozmetik*

ufuk dediğinin ötesinde– hiçbir şey, bu sürede yapabileceğimiz herhangi bir gözleme ulaşamaz.

Bu demektir ki bilim en doğru biçimiyle bu bölgenin ötesine uygulanamaz. Hiç kimse ufkun ötesine uygulanan varsayımları deneysel olarak doğrulayamaz ya da eleyemez. Bilim tanımımız uyarınca, bu uzaktaki bölgeler felsefenin yüce krallığıdır. Bu, meraklı bilimcilerin fiziğin ilkeleri ya da oraya uyguladıkları süreçler hakkında asla büyük soruları sorgulamadıkları anlamına gelmez. Aslında, pek çoğu bunu yapar. Böyle sorgulamaları reddetmek istemem; onlar genelde derin ve büyüleyici olabilirler. Fakat sınırlamalar verildiğinde, bu bölge hakkında bilim insanlarının yanıtlarına güvenmeyebilirsiniz; en azından herhangi birine güvendiğinizden daha çok değil. Yine de, bana bu kadar sık sorulduğuna göre, bu bölümde insanların sık sık söz etmek istedikleri büyük soruların birkaçını sunmayı üstleneceğim.

Çok sık olarak duyduğum bir soru şudur: neden hiçbir şey yok da, bir şeyler var? Hiçbirimiz gerçek nedeni bilmediğimiz halde, size iki yanıtımı vereceğim. Yadsınamaz olan birincisi şudur: Hiçbir şey olmasaydı, bu soruyu sormak için siz burada olamazdınız ve onu yanıtlamak için ben de burada olamazdım. Diğer yanıtımsa şu: Sadece bir şeyi daha büyük olasılıkla düşünürüm. Ne de olsa, “hiçbir şey” çok özeldir. Bir sayı çizgisine sahipseniz, “sıfır” seçebileceğiniz olası sayılar sonsuzluğu içinde sadece sonsuz küçük bir noktadır. “Hiçlik” öylesine özeldir ki altta yatan bir neden olmaksızın, onun Evrenin bir durumunu belirtmesini beklemesiniz. Fakat altta yatan bir neden bile bir şeydir. Siz en azından gerçekte rastgele olmayan bir oluşumu açıklamak için fiziksel yasalara gerek duyarsınız. Bir şaka gibi görünse de, gerçekten buna inanıyorum. Neyi aradığınızı daima anlamayabilirsiniz, fakat “hiç”i rastgele bulamazsınız.

Fakat bir felsefi sorudan çok bilimsel bir soru olan, fizikçiler bizleri oluşturan maddeyi ele aldıklarında ortaya çıkan, anlamamız gerektiğini düşündüğümüz bir soru da şudur: Evrenimizde neden bizi oluşturan maddeden –protonlar, nötronlar, elektronlar– bu kadar çok madde var? Sıradan maddeyi büyük ölçüde anladığımız halde, onun bu kadar çoğunun neden hâlâ burada olduğunu tam olarak anlamıyoruz. Sıradan maddedeki enerji miktarı çözülmemiş bir problemdir. Neden bugünkü kadar bol miktarda kaldığını henüz anlamış değiliz.

Bu problem, neden her zaman eşit miktarda madde ve *karşı-madde* yoktu sorusuna indirgenir. Karşı-madde, sıradan maddeyle aynı kütleli fakat zıt yüklü özdektir. Fizik kuramları, her madde parçacığı için bir karşı-madde parçacığının var olması gerektiğini söyler. Örneğin, bir elektronun -1 yüküne sahip olduğu bilindiğine göre, aynı kütleli fakat zıt $+1$ yüklü pozitron denen bir karşı-parçacık da var olmalıdır. Herhangi bir karışıklığa meydan vermemek için, karşı-maddenin karanlık madde olmadığını açıkça ifade edeyim. Karşı-madde sıradan maddeyle aynı türden yükler taşır ve dolayısıyla ışıkla etkileşir. Tek fark, karşı-maddenin yüklerinin, ilgili maddenin yüklerine zıt olmalarıdır.

Karşı-madde olağan maddemize göre zıt yükler taşıdığından, madde ve karşı-maddenin net yükü sıfırdır. Madde ve karşı-madde birlikte net yük taşımadığına göre, yük korunumu ve Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ formülü der ki madde karşı-maddeyle karşılaştığında saf enerjiye yok olur, ki o da yüke sahip değildir.

Evren soğuduğunda, esas olarak tüm bilinen maddenin karşı-maddeyle birlikte ortadan kalkmasını beklerdik; madde ile karşı-madde saf enerjiye dönüşmek üzere birleşir ve böylece yok olur anlamında. Fakat bu soruyu tartışmak üzere burada olduğumuz göre, bunun söz konusu olmadığı açıktır. Maddeyle baş başa kaldık –Şekil 3'te gördüğünüz gibi, Evrenin enerjisinin şu yüzde beşiyle– öyle ki Evrendeki madde miktarı karşı-madde miktarından daha büyük olmalıdır. Evrenimiz –ve kendimiz– için kritik bir özellik şudur; standart ısı beklentilerin tersine, olağan madde yerinde durur ve hayvanları, kentleri ve yıldızları yaratmak üzere yeterli miktarda var olmaya devam eder. Bunun mümkün olması, ancak maddenin karşı-maddeye baskın çıkmasından, yani madde/karşı-madde simetrisizliğinden dolayıdır. Bu miktarlar her zaman eşit olsaydı, madde ve karşı-madde birbirlerini bulup ortadan kaldırır ve yok olurdu.

Maddenin bugüne kadar yerinde durmuş olması için, erken Evrende belli bir zamanda madde ile karşı-madde arasında bir simetrisizliğin kurulmuş olması gerekir. Fizikçiler bu dengesizliği neyin yaratabileceği hususunda birçok işler senaryo önermişlerdi; fakat bunlardan, varsa, hangisinin doğru olduğunu henüz bilmiyoruz. Simetrisizliğin kaynağı kozmolojideki önemli çözülmemiş problemlerden biri olarak durmaktadır. Bu demektir ki sa-

dece karanlık bileşenleri anlamamakla kalmıyoruz, ayrıca bilinen maddeyi temsil eden kozmik pastanın küçük parçası olan olağan maddeyi bile tam olarak anlamıyoruz. Pastanın bu küçük kısmının neden kaldığını açıklamak için, Evrenin evriminde vaktinden önce özel bir şey meydana gelmiş olmalıdır.

Şu anda yanıtlanamayan ikinci bir soru, Büyük Patlama esnasında tam olarak ne olduğudur. Bilim insanları ve popüler basın sık sık Evren 10^{-43} saniyeden daha genç ve 10^{-33} cm kadar büyükken meydana gelen Büyük Patlamaya değinirler ve görkemli çok renkli görüşlerle patlamayı "resimlerler." Fakat bunu izleyen bölümde daha fazla tartışacağım gibi, "Büyük Patlama" terimi yanıltıcıdır. Statik bir Evreni yeğleyen gökbilimci Fred Hoyle, bir BBC radyo programında, inanmadığı bu kurama gönderme yaparak aşağılayıcı anlamda kullanmak üzere 1949'da bu terimi icat etmişti.

Evrenin bildiğimiz başlangıcından sonra bir saniyenin sadece bir kesrinde Evrenin evrimini çok başarılı bir şekilde betimleyen Büyük Patlama kozmolojisine karşı tutumunuz ne olursa olsun, bu en erken anda ne olduğunu kimse bilmiyor. Büyük Patlamanın güvenilir bir nitelendirilmesi –ve öncesinde büyük olasılıkla ne olduğu– bir kuantum kütleçekim kuramını gerektirir. Bu en erken zamanla ilgili ufakık mesafe ölçeklerinde, hem kuantum mekaniği hem de kütleçekim önemlidir; ama bu sonsuz küçük mesafe rejimine uygulanabilecek çözülebilir bir kuramı henüz hiç kimse bulmuş değil. Ancak bu aşırı küçük mesafe ölçeğindeki fiziksel süreçler hakkında daha fazla şeyler öğrendiğimiz zaman, Evrenin başlangıcının iç yüzünü anlayacağız. O zaman bile sonuçları doğrulayacak gözlemler çok büyük olasılıkla mümkün olmayacaktır.

Çok sık işittiğim ve yanıtlanmasının daha bile olanaksız olduğu bir diğer soru, "Büyük Patlamadan önce ne olmuştu?" sorusudur. Bunu yanıtlamak herhalde Büyük Patlamanın kendisini anlamaktan bile daha fazla bilgi gerektirir. Büyük Patlama zamanında ne olduğunu bilmiyoruz ve ayrıca öncesinde ne olduğunu hiç kimse bilmiyor. Fakat bu boşlukla aşırı hayal kırıklığına uğramanızdan önce, muhtemelen bu soruya verilecek herhangi bir yanıtı tatmin edici bulmayacağınız hususunda sizi rahatlatayım. Ya Evren sonsuz uzun bir zaman süresince vardı ya da belirli bir özel zamanda başladı. Her iki yanıt da tedirgin edici görünüyor, fakat seçenekler sadece bunlar!

Bunu bir adım öteye götürelim. Evren hep vardıysa ve Büyük Patlama onun bir parçasıydıysa; ya Evrenimiz var olan tek evrendi ya da kendi Büyük Patlamalarından diğer evrenler de ortaya çıkmıştı. *Çoklu evrenler (multiverse)*, kendi evrenimize ek olarak birçok evrenin var olduğu bir kozmosla ilişkili bir isimdir. Bu senaryoda, her biri kendi evrenini oluşturan birçok farklı genişleyen bölge olabilir.

Bu uslamlama bizi üç seçenekle baş başa bırakır. Ya Evrenimiz Büyük Patlamayla başlamıştı, ya Evren daima ortalıkta olmuştu, ama Büyük Patlamanın öngördüğü gibi zamanla genişlemeyi sürdürmüştü ya da daima var olmuş olan bir evrenden/çoklu evrenden gelişmiş birçok evrenin birindeyiz. Bunlar tüm olasılıkları kapsar. Sonuncusu bana en mantıklısı gibi geliyor, çünkü bizim dünyamızı, hatta bize özgü evrenin özel olduğunu bile varsaymıyor; oysa Kopernik zamanından beri yürütölmüş olan mantık buydu. Ayrıca bu seçim, sadece evrenin uzaysal boyutunun –en azından benim düşünme şeklime göre– sonlu yerine sonsuz olmasının çok daha inandırıcı olduğunu anırtıyor; evrimleşen evrenin zaman içinde bir başlangıca ya da sona sahip olması –bizim özel evrenimiz öyle olsa bile– pek olası değildir. Çoklu olarak ortaya çıkıp en sonunda yok olan evrenlerin varlığı, tümüyle kavranabilir olasılıkları teşkil etmeyen üç seçenekten herhalde en az yetersiz olanıdır.

Bu beni bir üsttekinin yol açtığı son felsefi sorgulamaya getiriyor: Acaba böyle bir çoklu evren var mı? Mevcut fizik kuramları, çoklu evrenlerin olası olduklarını; özellikle bugünlerde formüle edilen kuantum kütleçekim kuramlarında birçok olası çözümün verildiğini öne sürmektedir. Bu hesaplamalar ayrıntılı incelemeye yeter mi dersanız, başka girilemez evrenlerin var olması gerektiği hususunda bahse girebilirim. Peki, onlara niçin ulaşamaz? Fiziksel yasaların ve güncel teknolojinin sınırlamalarını bildiğimiz dikkate alındığında, onların orada olmadıklarına karar vermek hem mecazi hem de genel anlamda öngörüsözlüktür. Dünyamız hakkında hiçbir şey, bir çoklu evrenin varlığıyla bağdaşmaz değildir.

Fakat bu, onları hiç bilmeyeceğiz anlamına gelmez. Hiçbir şey ışık hızından daha hızlı gitmiyorsa, aşırı uzaktaki –kozmik ufuk ötesi– her bölge gözlemler için yasak bölgedir. Yine de bu diğer bölgeler, ilke olarak, bizimkinden tamamıyla ayrı başka evrenleri içerebilirler. Bu ayrı evrenler zamanla temasa geçtikleri du-

rumlarda, onların bazı sinyalleri olanak dahilinde yakalanabilir. Fakat bu oldukça uzak bir ihtimaldir ve genelde başka evrenler ulaşılamazdır.

Dürüst olmam gerekirse, okuyucuyu düşünerek, çoklu evrenler tartışmasında açıklayıcı olması için şimdi yana sapıp *Bükülmüş Geçitler* kitabımda betimlediğim çok-boyutlu senaryolara gönderme yapmayacağım. Bize ufuktan daha yakın fakat bizden uzayın bir başka boyutu –gözlediğimiz üç boyutun ötesinde bir boyut– boyunca ayrılmış evrenler de var olabilir: sol-sağ, üst-alt ve ileri-geri. Henüz hiç kimse böyle bir boyut görmüş olmasa da, böyle bir boyut var olabilir ve ilke açısından bu boyut boyunca bizden ayrılmış bir evren de var olabilir. Bu türden bir evren, *zar-evren* olarak bilinir. Benim ilk kitabımı okuyanların bileceği gibi, en fazla ilgilendiğim zar-evrenler, potansiyel olarak gözlenebilir sonuçlara sahip olabilirler; çünkü onlar mutlaka çok uzakta olmayabilirler. Bununla birlikte, zar-evrenler, insanların genelde kastettikleri kütleçekimle bile etkileşmeyen birçok ayrı evren içeren çok daha genel çoklu evren senaryoları değildir. Çoklu evrenler o kadar çok uzaktadırlar ki, bu diğer evrenlerin birinden ışık hızıyla hareket eden bir şeyin bile bize Evrenimizin ömrü içinde ulaşması için yeterli zamanı olmaz.

Yine de, halkın hayal gücü içerisinde çoklu evrenler fikrine çok ilgi vardır. Yakınlarda çoklu evren fikrinden oldukça etkilenmiş bir arkadaşla konuşuyordum ve bu fikri neden zorunlu olarak onun kadar ilginç bulmadığımı anlamıyordu. Benim için ilk neden yukarıda ifade edilmiş olandır: büyük bir olasılıkla, asla bir çoklu evrende yaşayıp yaşayamadığımızı kesinlikle bilemeyeceğiz. Başka evrenler var olsa bile, büyük ihtimalle algılanamaz olarak kalırlar. Arkadaşım bunu kibarca hayal kırıcı bulmuş ve ilgisini sürdürmüştü. Sanıyorum ki o –ve onunla birlikte başkaları– bu fikirden hoşlanıyor, çünkü bu uzak alanların birinde kendisinin bir kopyasının yaşadığını düşünüyor. Bu görüşte olmadığımı alenen söylüyorum. Başka evrenler varsa, onlar büyük olasılıkla bizimki gibi değildirler. Herhalde bizdekilerle aynı madde yapılarını ya da kuvvetleri içermezler. Oralarda yaşam var olsaydı, çok büyük olasılıkla onun farkında bile olmazdık ve herhalde çok uzakta olmasaydı bile öncelikle onu algılayamazdık. Bir tek insanoğlunu yaratmak için sonsuz sayıda birleşme bile daha az muhtemel ola-

bilirdi. Olanaklar el verdiğinde daha bile büyük bir evrenin –hatta birçok başka evrenle birlikte– nasıl var olabileceğini izah ettikten sonra, arkadaşım ne demek istediğimi anlamıştı.

Aslında, çoklu evrenler senaryosu geçerli olsa bile, diğer evrenlerin pek çoğu savunulup korunamaz olacak ve ya çökecek ya da patlayacaktır; bu durumda neredeyse derhal hiçe doğru seyreleceklerdir. Sadece bizim kendi evrenimiz gibi birkaçı, yapıların ve belki yaşamın bile gelişmesine yetecek kadar uzun süre kalabilir. Kopernik’in öngörülü bakış açısına karşın, bizim özel Evrenimiz –gökadalara, Güneş Sistemine ve yaşama izin veren– çok sayıda olağandışı özelliklere sahip gibi görünüyor. Bazı kişiler Evrenimizin bu özel niteliklerini, çoklu evrenlerin varlığını farz edip, en azından onlardan biri varlığımız için gerekli gördüğümüz ayrıcalıklı niteliklere sahiptir diye düşünerek açıklamaya çalışıyor. Bu şekilde düşünen pek çok kişi, *insan-merkezli akıl yürütmeye* başvurur; buna göre Evrenimizin ayrıcalıklı özellikleri, yaşamı –ya da en azından yaşamı destekleyebilecek gökadalara– esas alan temeller üzerine gerekçelendirilmeye çalışılır. Burada sorun şudur: Hangi özelliklerin insan-merkezli olarak saptandığını ve hangilerinin temel fizik yasalarına dayandığını ya da hangi özelliklerin yaşam için vazgeçilmez ve hangilerinin sadece gördüğümüz yaşam için temel olduğunu bilmiyoruz. İnsan-merkezli akıl yürütme bazı durumlarda doğru olabilir, fakat her zamanki sorun bu fikirlerin nasıl sınanacağını bilmememizdir. Büyük olasılıkla, böyle fikirleri, ancak daha iyi, daha öngörülü bir fikir ortaya çıkarsa eleyeceğiz.

Yukarıda tartışılan böyle fikirler dayanaksız görüşlerdir. İlgi uyandırıcıdır, fakat yanıtlarına sahip değiliz; en azından çok yakın zamanda değil. Araştırmalarımda, hemen burada olan ve anlamayı ümit ettiğimiz madde topluluklarının “çoklu evrenleri” hakkında düşünmeyi yeğliyorum. Terimi metaforik olarak kullanıyorum, fakat gerçeklikten çok da uzak olmasın istiyorum. Bir karanlık madde evreni hemen burnumuzun dibindedir. Henüz onunla genel olarak etkileşmiyoruz ve onun ne olduğunu henüz bilmiyoruz. Fakat kuramsal ve deneysel fizikçiler bu “karanlık evren”in ne olabileceği hakkındaki fikirlerimizi bugünlerde ileri götürüyorlar. Yakında bir gün yanıtı bilebiliriz ve böyle bir keşfi beklemeye değer.

NEREDEYSE EN BAŞI: BAŞLAMAK İÇİN ÇOK GÜZEL BİR YER

Oldukça matrak ve açık sözlü bir Rus kuramsal fizikçi, geçenlerde kahve arasında, bir hafta sonraya planladığı semineri betimlerken herkeste tedirginlik yaratmıştı. Bir fizik semineri, öğrencilere, doktora sonrası kişilere ve profesörlere yönelik genel bir konuşmadır; zorunlu olarak konuşmacının çok daha dar olarak tanımlanmış alanına odaklı olmasa da, bu kişilerin tümü genel fizik bilgisine sahiptir. Bu özel fizikçinin kendi önerdiği semineri betimleyişi “kozmoloji hakkında konuşacağım” şeklindeydi. İfade tarzına bakılınca, bu biraz geniş görünmekteydi –ne de olsa, kozmoloji tam bir bilim dalıdır–, kozmolojide sadece birkaç fikir ve ölçmeye değer nicelik olduğunu ve bunların tümünü –kendi katkılarının yanı sıra– bir saatlik bir konuşmada sunabileceğini iddia etmekteydi.

Bu aşırı kozmoloji görüşünün gerçekten de doğru olup olmadığı kararını size bırakacağım, ama kuşku duyduğumu alenen söylüyorum. Birçok konu araştırmaya ve anlaşılmaya kalıyor. Fakat gerçekten de, Evrenin ilk baştaki gelişiminin güzelliğinin bir bölümü birçok bakımdan şaşılacak derecede basittir. Bugün gökbilimcilerin ve fizikçilerin gözlediği ve çalıştığı açık gökyüzüne bakarak, Evrenin milyarlarca yıl önceki bileşimi ve etkinlikleri hakkındaki gerçekleri tahmin edebiliriz. Bu bölümde, geçen yüzyılın güzel kuramları ve ölçümlerinin bize kazandırdığı Evrenin tarihini anlamamızdaki ilerlemeleri keşfe çıkacağız.

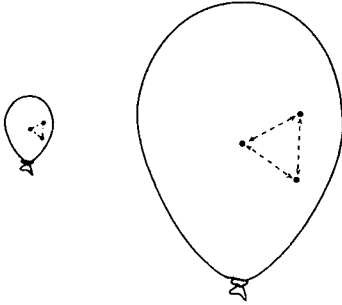
BÜYÜK PATLAMA KURAMI

Evrenin ilk anlarını güvenilir bir şekilde tarif etmek için araçlara sahip değiliz. Fakat Evrenin nasıl başladığını bilmemek, çok fazla şey bilmiyoruz anlamına gelmez. Bilinen hiçbir kuramın betimleyemediği ilk başlangıcın tersine, Evrenin evrimleşmesi, bu baş-

langıçtan sadece bir saniyenin küçük bir kesri kadar sonra bildiğimiz fizik yasalarına uymuştu. Fizikçiler, görelilik denklemlerini uygulayarak ve Evrenin içeriği hakkındaki basitleştirici varsayımları kullanarak, Evrenin başlangıcından sadece küçücük bir zaman aralığı –belki 10^{-36} saniye ya da o kadar– sonraki davranışı hakkında çok şey saptayabilirler. Evrenin genişlemesini betimleyen Büyük Patlama kuramı bu 10^{-36} saniyeden itibaren uygulanır. Bu erken zamanda Evren tekdüze ve eşyönlü –her yerde ve her yönde aynı– olan madde ve ışınlı doluydu; böylece onun erken fiziksel özelliklerini betimlemek için sadece birkaç nicelik yeterlidir. Bu betimleme Evrenin erken gelişimini basit, öngörülür ve anlaşılabilir kılmaktadır.

Büyük Patlama kuramının temel taşı Evrenin genişlemesidir. 1920’lerde ve 1930’larda Rus meteoroloji uzmanı Alexander Friedmann, Belçikalı rahip ve fizikçi Georges Lemaître, Amerikalı matematikçi ve fizikçi Howard Percy Robertson ve İngiliz matematikçi Arthur Geoffrey Walker –son ikisi birlikte çalışırlardı– Einstein’ın genel görelilik denklemlerini çözmüşler ve zaman geçtikçe Evrenin büyümesi (ya da büzülmesi) gerektiği sonucunu çıkarmışlardı. Onlar ayrıca uzayın genişleme hızının madde ve ışınının kütleçekimsel etkisine nasıl cevap verebileceğini hesaplamışlardı; Evren evrimleşirken ikisinin enerji yoğunlukları da değişir.

Evrenin öteden beri büyük olasılıkla sonsuz olduğu dikkate alındığında, Evrenin genişlemesi belki de tuhaf bir kavramdır. Fakat genişleyen, uzayın kendisidir, gökadarlar gibi cisimlerin arasındaki mesafelerin zamanla arttığı anlamında. Sık sık şunu soruyorum: “Eğer Evren genişliyorsa, neyin içine genişliyor?” Yanıt şudur: Hiçbir şeyin içine genişlemiyor. Uzayın kendisi büyüyor. Evreni bir balonun yüzeyi olarak düşünürseniz, balonun kendisi gerilmektedir (Şekil 4). Balonun yüzeyi üzerinde iki nokta işaretlemişseniz, bu iki nokta gitgide birbirinden ayrılır; tıpkı genişleyen bir evrende gökadarların birbirlerinden uzaklaştıkları gibi. Benzetişimimizin mükemmel olmadığı açık, çünkü balonun yüzeyi sadece iki boyutludur ve aslında üç-boyutlu uzay içine genişlemektedir. Benzetme ancak orada tek şey balonun yüzeyiyse –o uzayın kendisiyse– çalışır. Bu doğru olsaydı –orada içine genişleyeceği başka hiçbir şey olmasaydı bile– işaretli noktalar yine de birbirinden ayrılırdı.



[ŞEKİL 4] Evren genişlerken gökadarlar birbirlerinden uzaklaşırlar; tıpkı şişmekte olan bir balonun üzerindeki noktaların birbirlerinden uzaklaşması gibi.

ŞİŞEN EVREN

Benzetişimin daha da iyi olması için, sadece işaretli noktaların arasındaki uzay genişleyebilir; noktaların kendileri değil. Genişleyen bir evrende bile, diğer kuvvetlerle ya da daha yeğin kütleçekimsel etkilerle sıkıca bağlı olan yıldızlar, gezegenler ya da başka her şey, gökadarları birbirlerinden uzaklaştıran bu genişlemeyi hissetmeyecektir. Elektromanyetik kuvvetle çok yakın tutulan bir çekirdek ve elektronlardan oluşan atomlar daha da büyümmezler. Evrenin ortalama yoğunluğundan trilyonlarca kez daha fazla yoğunluğa sahip olan gökadarlar –hatta bizim kendi vücutlarımız– gibi kuvvetli şekilde bağlı oldukça yoğun yapılar da daha fazla büyümmez. Genişlemeyi yürüten kuvvet, tüm bu yoğun bağlı sistemler üzerine de etkir, fakat diğer kuvvetlerin katkıları o denli güçlüdür ki vücutlarımız ve gökadarlar Evrenin genişlemesiyle büyümmezler ya da büyülerse bile, bu öylesine ihmal edilebilir bir miktardadır ki asla farkına varamayız ya da etkiyi ölçemeyiz. Genişlemeyi yürüten kuvvetten çok daha yeğin olarak bağlı olan madde, aynı boyutta kalır. Genişleyen uzay onları birbirlerinden uzağa sürerken, büyüyen, sadece böyle cisimler arasındaki mesafedir.

Einstein herkesin bildiği gibi öncelikli olarak evrenin genişlemesini kendi görelilik denklemlerinden türetmişti. Şu var ki, bunu, herhangi bir genişleme ölçülmeden önce yapmıştı; dolaısıyla kendi sonucunu kabul etmemiş ya da savunmamıştı. Kuramının öngörülerini bir statik evrenle uyuşturma girişiminde, Einstein yeni bir enerji kaynağı ortaya atmıştı; bu ona öngörülen genişlemeyi önleyebilecek gibi görünmüştü. 1929'da Edwin Hubble gökadarların zamanla birbirlerinden uzaklaşmasıyla Evrenin

gerçekten de genişlediğini keşfettiğinde, bu derme çatma şekilde yanlış yönlendirilmiş fikri kanıtlamıştı (inanılmaz derecede olsa da, herhangi bir özel kurama güvenmeyen bir gözlemci olarak, onun sonuçlarının bu yorumunu kabul etmemiştir). Einstein yapmış olduğu saçmalıktan rahatlıkla vazgeçmişti; buna (belki de sonradan uydurulmuştur) “en büyük hatam” dediği söylentisi yaygındır. Yine de, düzeltme tamamıyla yanlış değildi, Einstein’ın orada önerdiği enerji türü gerçekten de vardır. Çok yakınlardaki ölçümler göstermiştir ki onun eklediği ve artık “karanlık enerji” dediğimiz yeni enerji türü, –Evrenin genişlemesini dizginleyen büyüklük ya da tipte olmasa da– gerçekten de son zamanlarda gözlenen kesinlikle zıt etkinin –yani, Evrenin hızlandırılmış genişlemesinin– açıklanması için gereklidir. Fakat sanıyorum ki Einstein aslında hatasının –eğer gerçekten de onu hata olarak adlandırdıysa– ilk genişleme öngörüsünün doğruluğu ve önemi bakımından olmadığını düşünmüştü; oysa bu onun kuramının bir ana öngörüsü olarak görülebilirdi.

Doğrusu, Hubble sonuçlarını sunmadan önce, Evren hakkında çok az şey biliniyordu. Harlow Shapley, Samanyolunun boyutunu bir yandan diğer yana 300.000 ışık-yılı olarak ölçmüştü; fakat Samanyolunun Evrenin içerdiği şeylerin tümü olduğuna inandırılmıştı. 1920’lerde Hubble birçok bulutsunun –Shapley onların bu ilham vermeyen ismi hak eden toz bulutları olduklarını sanmıştı– aslında milyonlarca ışık-yılı uzaktaki başka gökadalar olduğunu keşfettiğinde bunun doğru olmadığını anlamıştı. On yılın sonuna doğru, Hubble daha da ünlü olan *gökadaların kırmızıya kayması* keşfini yapmıştı; ışığın frekansındaki bu kayma bilim insanlarına Evrenin genişlemekte olduğunu söylemekteydi. Hareketli bir ambulansın siren sesinin pesleşmesi (yani frekansının düşmesi) onun uzaklaşmakta olduğunu söylediği gibi, gökadaların kırmızıya kayması da diğer gökadaların bizim gökadamızdan uzaklaşmakta olduklarını belirtiyordu; bu da bizim, gökadaların birbirlerinden uzaklaştığı bir Evrende yaşadığımızı göstermekteydi.

Bugün, bazen bir Hubble sabitinden söz ederiz; bu, Evrenin şu andaki genişleme hızıdır. Bu şu anlamda sabittir; bugün onun değeri uzayın her yerinde aynıdır. Fakat aslında Hubble parametresi sabit değildir. Zamanla değişir. Evrenin daha erken zamanlarında,

her şey daha yoğun ve kütleçekimsel etkiler daha kuvvetliyen, Evren şimdikinden çok daha hızlı genişlemekteydi.

Oldukça yakın zamanlara kadar, Hubble parametresi için “ölçülen” değerlerin oldukça geniş bir bölgesi –bugünkü genişleme hızını belirtir– Evrenin yaşını kesin olarak saptayamayız anlamına gelir. Evrenin ömrü Hubble parametresinin tersine bağlıdır; dolayısıyla bu ölçüm iki çarpanıyla belirsizse, onun yaşı da öyledir.

Çocukken gazetede bazı son ölçümlerin Evrenin yaşının bu miktarda değiştirilmesine neden olduğunu okuduğumu hatırlıyorum. Bunun genişleme hızı ölçümünü temsil ettiğini bilmeyerek, bu köklü değişikliğe olan şaşkınlığımı anımsıyorum. Evrenin yaşı kadar önemli bir şey nasıl olup da değişmeye konu olmuş olabilirdi? Sonunda, Evrenin kesin yaşını bilmeksizin de, onun genişlemesini niteliksel düzeyde oldukça iyi bir şekilde anlayabileceğimiz ortaya çıkmıştı. Fakat onun yaşının daha iyi bilinmesi, Evrenin içeriğini ve altında yatan geçerli fiziksel süreçlerin daha iyi kavranmasını besler.

Bu belirsizlik artık her durumda çok daha iyi kontrol altındadır. O zamanlar Carnegie Gözlemevlerinde olan Wendy Freedman ve onunla çalışanlar genişleme hızını ölçmüşler ve en sonunda tartışmayı bastırmışlardı. Aslında, Hubble parametresinin değerinin kozmoloji için böylesine önemli olması nedeniyle, mümkün olan en doğru değeri garantilemek için uyumlu bir çaba harcanmıştı. Hubble Uzay Teleskobunu (verilen isim, adil görünüyor) kullanarak gökbilimciler yüzde 11’lik bir doğrulukla 72 km/sn/Mpc’lik bir değer ölçmüşlerdi (1 megaparseklik bir mesafedeki bir şeyin 72 km/sn hızla uzaklaşması anlamında); bu değer, Hubble’ın 500 km/sn/Mpc’lik özgün ve çok hatalı ölçümünden dağlar kadar farklıdır.

Bir megaparsek (Mpc) bir milyon parsektir ve bir parsek, birçok astronomik birim gibi, ilk zamanlardaki uzaklık ölçme yönteminin bir tarihsel kalıntısıdır. “Paralaks saniye”nin (ıraklık açısı saniyesinin) kısaltılmış biçimi olup, gökyüzünde bir cismi gören açıyla ilgilidir; içinde açısal birim olmasının nedeni budur. Birçok gökbilimci, sezgisel olmayan ama tarihsel gerekçeli pek çok başka ölçümde yaptığı gibi, hâlâ bu birimleri kullandığı halde, çoğu kişi parsek cinsinden düşünmeyi yeğlemez. Belki de biraz daha iyi bilinen mesafe ölçümüne çevrilirse, bir parsek yaklaşık 3,3 ışık-yılı-

dır. Saklı ölçeğin kabaca çok daha kolaylıkla yorumlanan niceliğe eşdeğer olması rastlantısal bir çakışmadır.

Hubble parametresi için Hubble Teleskobunun çok daha doğru sonucu yüzde 10'dan 15'e kadar belirsizliğe sahipti, iki çarpımıyla belirsiz değildi. Kozmik mikrodalga ardalan ışıının ölçüm verilerine dayanan çok daha yeni sonuçlar daha da iyidir. Evrenin yaşı artık birkaç yüz milyon yıl hatayla bilinmektedir ve ölçümlerin iyileştirilmesi sürdürülmektedir. Ben ilk kitabımı yazdığımda, Evrenin yaşı 13,7 milyardı, fakat onun şimdi biraz daha yaşlı olduğuna inanıyoruz; Büyük Patlamadan bu yana 13,8 yıl. Dikkat ederseniz, sadece değişen Hubble parametresi değil, fakat 1. Bölümde değindiğim karanlık maddenin keşfi de bu daha doğru sonuca yol açmıştı; çünkü Evrenin yaşı ikisine de bağlıdır.

BÜYÜK PATLAMA EVRİMİNİN ÖNGÖRÜLERİ

Büyük Patlama kuramı uyarınca, iyice erken Evren 13,8 milyar yıl önce, trilyon kere trilyon dereceden daha yüksek sıcaklıklı etkileşen birçok parçacıktan oluşan sıcak, yoğun bir ateş topu olarak başlamıştı. Sürekli etkileşen, yok olan ve Einstein kuramıyla uyum içinde enerjiden yaratılan tüm bilinen (ve büyük olasılıkla henüz bilinmeyen) parçacıklar, her yerde ışık hızına yakın hızlarda sıkıştırılmış haldeydiler. Birbirleriyle yeterli derecede kuvvetli olarak etkileşen tüm madde türleri ortak bir sıcaklığa sahipti. Fizikçiler Evrenin erken aşamalarında Evreni dolduran sıcak, yoğun gaza *ışınım* derler. Kozmolojik amaçlar için, ışıının, ışık hızında ya da ona çok yakın hızlar anlamına gelen göreceli hızlarda hareket eden her şey olarak tanımlanır. Işınım olarak sayılması için, cisimler o kadar büyük momentuma sahip olmalıdırlar ki onların enerjileri kütlelerinde depolanmış enerjiyi çok fazla aşmalıdır. Erken Evren o kadar korkunç sıcak ve o kadar yüksek enerjiliydi ki temel parçacıklar gazı bu ölçütü kolaylıkla sağlayacak durumdaydı.

Bu Evrende sadece temel parçacıklar mevcuttu ve örneğin, elektronlarla bir araya bağlı çekirdeklerden oluşmuş atomlar ya da kuark denen daha temel parçacıklardan yapılmış protonlar yoktu. Bu kadar çok ısı ve enerjinin karşısında, hiçbir şey bir bağlı cisimde kapana kısılmış kalamazdı. Uzay genişledikçe, Evrene yayılmış ışıının ve parçacıklar daha seyreltik hale gelmişler ve

soğumuşlardı. Onlar bir balonun içine hapsedilmiş sıcak hava gibi davranıyor, balon genişledikçe daha az yoğun ve daha soğuk hale geliyorlardı. Her enerji bileşeninin kütleçekimsel etkisi genişlemeyi farklı şekilde etkilediğinden, Evrenin zamanla genişlemesinin incelenmesi gökbilimcileri ışıınım, madde ve karanlık enerjinin ayrı ayrı katkılarını ayırt etmeye izin verir. Madde ve ışıınım genişlemeyle seyrekleşir, fakat düşük enerjiye doğru kırmızıya kayan ışıınım –bir sirenin uzaklaşırken frekansça azalmasına benzer şekilde– maddeden daha bile hızlı seyrekleşir. Öte yandan, karanlık enerji hiç mi hiç seyrelmez.

Evren soğurken, sıcaklığı ve enerji yoğunluğu artık özel bir parçacığı üretmeye yetmez hale geldiğinde, dikkat çekici olaylar ortaya çıkmaya başlamıştı. Bu durum, bir parçacığın kinetik enerjisi artık mc^2 'yi aşamaz hale düştüğü zaman meydana gelmişti; burada m o özel parçacığın kütlesi ve c ışık hızıdır. İri parçacıklar birer birer soğuyan Evren için aşırı ağır hale gelmişti. Karşı-parçacıklarıyla birleşerek bu ağır parçacıklar enerjiye dönüşerek yok olmuş ve sonra bu enerji geri kalan hafif parçacıkları ısıtmıştı. Böylece ağır parçacıklar ayrıştırılmış ve esas olarak ortadan kalkmıştı.

Fakat Evrenin içeriği değişmiş olsa bile, Evrenin Büyük Patlama gelişimi içinde birkaç dakika boyunca gözlenebilir hiçbir şey meydana gelmemişti. Böylece Evrenin içeriğinin büyük ölçüde değiştiği ilerideki bir zamana doğru bir atlama yapacağız; ve bu doğrulanabilir bir şekilde olacak. Yukarıda değinilen Hubble genişlemesi Büyük Patlama kuramının bir kanıtıydı. Başka iki önemli ölçüm –ikisi de Evrenin içeriğini kapsar– fizikçilerin bu kuramın doğru olduğu yolundaki güvenini pekiştirmişti. Önce Evrenin çok erken zamanlarında meydana gelmiş olan ve gözlenmiş yoğunluklarla oldukça iyi uyuşan farklı türlerdeki çekirdeklerin bağıl kesirleriyle ilgili öngörülleri ele alacağız.

“Büyük Patlama”dan birkaç dakika sonra, protonlar ve nötronlar yalnız başlarına etrafta uçuşmayı bırakmışlardı. Sıcaklık yeterince düşmüş, bu parçacıklar yeğin çekirdek kuvvetleriyle bir arada tutulacak şekilde çekirdeklere bağlı hale gelmişlerdi. Ayrıca o zamana kadar, başlangıçta proton ve nötron sayılarını aynı tutmuş olan madde etkileşimleri artık etkin değildi. Nötronlar zayıf çekirdek kuvvetleriyle hâlâ protonlara bozunabildiğinden,

onların bağıl sayısı değişmişti. Nötron bozunumu yeterince yavaş gerçekleştiğinden, nötronların önemli bir kesri, var olan protonlarla beraber çekirdeklerin içine soğurulmak için yeterince uzun yaşamıştı. Sonra helyum, döteryum ve lityum çekirdekleri oluşmuştu; hidrojenin yanı sıra, bu elementlerin kozmik kalıntı miktarı –onların yoğunluğu helyum oluştuğunda iyice azalmış haldeydi– saptanmıştı. Farklı elementlerin kalıntı miktarları, hem protonların ve nötronların bağıl sayısı hem de Evrenin genişleme hızına göre fiziksel süreçlerin ne kadar çabuk gerçekleştiğiyle belirlenmişti. Böylece *nükleosentezin (çekirdekbireşimi)* öngörüler, Büyük Patlama genişlemesinin ayrıntılarının yanı sıra, çekirdek fiziği kuramını da sınamadan geçirmektedir. Büyük Patlama kuramı ve çekirdek fiziğinin ikisinin de önemli bir doğrulamasında, gözlemler öngörülerle çarpıcı biçimde iyi uyushmaktadır.

Bu ölçümler sadece mevcut kuramları doğrulamakla kalmamış, ayrıca yeni kuramları da sınırlamıştır. Çünkü çekirdek bollukları belirlendiğinde, genişleme hızı genelde zaten bildiğimiz madde türleri tarafından taşınan enerjiyle açıklanır. O anda var olan herhangi bir çeşit yeni maddenin aşırı çok enerji katkısı yapmamış olması iyiydi, yoksa genişleme hızı aşırı çabuk olurdu. Evrende nelerin var olabileceği hususunda çok daha spekülâtif fikirler ele aldığımızda, bu sınırlama benim ve meslektaşlarım için önemlidir. Sadece yeni madde yapılarının küçük miktarları dengede olabilirdi ve çekirdekbireşimi zamanında bilinen maddeyle aynı sıcaklığa sahipti.

Bu öngörülerin başarısı bize, bugün bile, sıradan maddenin miktarının, gözlenmiş olandan çok büyük olamayacağını söyler. Çok fazla normal madde ve çekirdek fiziğinin öngörüler, Evrendeki gözlenmiş ağır element bolluklarıyla uyushmaz. Bir önceki bölümde betimlenmiş olan ölçümler, ışık veren maddenin gözlemleri açıklamaya yetmediğini söylemişti. Bununla birlikte, çekirdekbireşiminin başarılı öngörülerinin bize söylediğine göre, sıradan madde –sırf yanmadığı ya da yansımadağı için görünmez olduğu beklentisini büyük ölçüde ortadan kaldırarak– Evrendeki tüm gözlenen maddeyi açıklayamaz. Işık veren madde içinde gözlenen den çok daha fazla sıradan madde olsaydı, başarılı çekirdek fiziği öngörüler, bazı yeni içerikler olmadıkça, artık uygulanamazdı. Sıradan madde çekirdekbireşimi esnasında bir şekilde gizlene-

mediği sürece, karanlık maddenin var olması gerektiği sonucuna varmak zorundayız.

Fakat belki de Evrenin gelişiminde en önemli kilometre taşı, en azından kozmolojik öngörülerin ayrıntılı testi cinsinden, Büyük Patlamadan yaklaşık 380.000 yıl sonra ortaya çıkmıştı. Evren ilk başta yüklü ve yüksüz parçacıklarla doluydu. Fakat bu kadar süre içinde, Evren yeterince soğumuş ve pozitif yüklü çekirdekler negatif yüklü elektronlarla nötral atomları oluşturmak üzere birleşmişlerdi. O tarihten itibaren, Evren elektrik yükü taşımayan nötral maddeden oluşmuş haldeydi.

Eletromanyetizma kuvvetini ileten parçacıklar olan *fotonlar* için, yüklü parçacıkların atomlar haline dönüşmesi önemli bir değişimdi. Onları saptıracak yüklü maddenin yokluğunda, fotonlar engellenmeden Evreni boydan boya geçebilirlerdi. Bu demekti ki, Evrende daha sonra olabilecek herhangi çok daha karmaşık bir gelişmeden esasen bağımsız olarak, erken Evrenden ışıınım ve ışık bize doğrudan ulaşabilirdi. Bugün gördüğümüz ardaalan ışıınımı, Evrenin 380.000 yıllık gelişiminde hayatta kalmış ışıınımdır. Bu ışıınım Evrenin Büyük Patlama genişlemesiyle başlamasından hemen sonraki aynı ışıınımdır, fakat şimdi çok daha düşük sıcaklıktadır. Fotonlar soğumuş, fakat yok olmamıştı. Işıınımın bugünkü sıcaklığı 2,73 Kelvindir * ve bu da aşırı derecede soğuktur. Işıınımın sıcaklığı, -her şeyin en soğuk olabileceği, mutlak sıfır olarak da bilinen- sıfır Kelvinden sadece birkaç derece daha ılıktır.

Bu ışıınımın saptanması Büyük Patlama kuramı için bir anlamda "tartışmasız kanıt"tı; belki de denklemlerin doğru olduklarına dair en inandırıcı delil. Alman asıllı gökbilimci Arno Penzias ve Amerikalı Robert Wilson bu kozmik mikrodalga ardaalan ışıınımını 1963'te New Jersey'deki Bell Laboratuvarlarındaki bir teleskobu kullanırken rastlantısal olarak bulmuşlardı. Aslında Penzias ve Wilson kozmik kalıntıları aramıyorlardı. Astronomi çalışmanın bir yolu olarak radyo antenleriyle ilgilenmekteydiler. Kuşkusuz, bir telefon şirketiyle ilişkisi olan Bell Laboratuvarları radyo dalgalarıyla da ilgilenmekteydi. Fakat Penzias ve Wilson teleskoplarını ayarlamaya çalıştıklarında, tüm yönlerden gelen

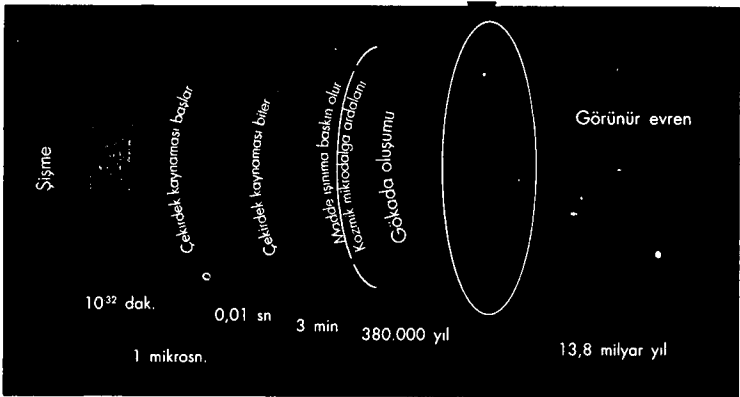
* Kelvin ölçeğindeki sıcaklık farkları Santigrat derecesiyle ölçülen farklara eşdeğerdir, fakat minimum olası sıcaklık 0'dır; oysa bu, santigrat biriminde -273,15 ya da Fahrenheit birimlerinde -459,67'dir.

ve mevsimlerle değişmeyen düzgün bir ardaan gürültüsü (radyo paraziti gibi) kaydetmişlerdi. Bu asla ortadan kalkmamıştı, böylece onu göz ardı edemeyeceklerini anlamışlardı. Tercihli yönü olmadığından, yakındaki New York kentinden, Güneşten ya da bir önceki yılın bir nükleer silah testinden gelmiş olamazdı. Teleskobun içinde yuva yapmış güvercinlerin pisliklerinin temizlenmesinden sonra, bu gürültünün, Penzias'ın kibarca dediği gibi, güvercinlerin "beyaz dielektrik malzemesi"nden de gelebileceği sonucuna varmışlardı.

Robert Wilson bana keşiflerinin zamanlamasında ne denli şanslı olduklarının hikâyesini anlatmıştı. Büyük Patlama hakkında hiçbir şey bilmiyorlardı, fakat yakındaki Princeton Üniversitesindeki kuramsal fizikçiler Robert Dicke ve Jim Peebles biliyorlardı. Princeton fizikçileri Büyük Patlama kuramının can alıcı bir çıkarımı olduğunu anladıkları kalıntı ışıınımını ölçmek için bir deney tasarlama süreci içindeydiler; bunu keşfettiklerinde vurgunu yapacaklardı; Bell Laboratuvarının bilimcileriye henüz ne bulduklarının farkında değillerdi. Penzias ve Wilson şükretsün ki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü astronomu Bernie Burke, hem Princeton araştırmasını hem de Penzias ve Wilson'ın esrarengiz buluşunu biliyordu; Robert Wilson onun bana kendisinin ilk kişisel interneti olarak tarif etmişti. Burke düşünüp taşınmış ve ilgili oyuncuları temasa getirerek ilişkiyi perçinlemişti. Penzias ve Wilson, kuramsal fizikçi Robert Dicke ile görüştüktan sonra, keşfettikleri şeyin önem ve değerini anlamışlardı. Hubble genişlemesinin çok daha önceden yapılan keşfiyle birlikte, sonuçta 1978'de iki Bell Laboratuvarı fizikçisine Nobel Ödülünü kazandıran ardaan ışıınımının bu keşfi, genişleyen ve soğuyan bir Evrenin Büyük Patlama kuramını sağlama bağlamıştı.

Bu, eylem halindeki bilimin sevimli bir örneğidir. Araştırma özel bir amaç için yapılmıştı, fakat yardımcı teknolojik ve bilimsel yararlar da sahipti. Gökbilimciler bulduklarını aramıyorlardı; fakat onlar aşırı derecede teknolojik ve bilimsel becerilere sahip olduklarından, buluşlarını bırakıvermemişlerdi. Araştırma, görece küçük keşifler aramak şeklinde olduğu halde, devasa derin çıkarımlara sahip bir keşifle sonuçlanmıştı; çünkü diğerleri eşzamanlı olarak büyük resmi düşünmekteydiler. Bell Laboratuvarı bilimcilerinin keşfi rastlantısaldı, fakat kozmoloji bilimini sonsuza dek değiştirmişti.

Üstelik, bu keşiften sonraki birkaç on yıl içinde, bu ışınlam ayrıca kozmolojiye temelden gelişkin yeni içgörüler getirmişti. Olağanüstü bir başarı olarak, bu ışınlamın ayrıntılı ölçümleri *koz-molojik şişmenin* öngörülerini doğrulamaya yardım etmişti; koz-molojik şişme, Evrenin iyice başlarında genişlemenin patlayıcı bir aşamasına karşılık gelir.



[ŞEKİL 5] Evrenin şişmeli ve Büyük Patlamalı evriminin tarihi; çekirdeklerin oluşumu, yapıların oluşmaya başlaması, gökyüzünde izi kalmış kozmik mikrodalga ardalan ışınlamı dahil ve modern Evren; orada gökadalalar ve gökada kümeleri kurulmuş durumdadır.

KOZMOLOJİK ŞİŞME

Birçok çığır açıcı bilimsel buluş, acaba değişme yavaş yavaş mı, yoksa aniden mi olur veya –başlangıçta Evrenin genişlemesinden habersiz olduğumuz için– hiç mi değişme olmaz şeklindeki temel tartışmadan ortaya çıkmıştı. İnsanlar bu önemli faktörün ilişkisini genelde göz ardı etseler de, örneğin teknolojinin sonuçları düşünüldüğünde ya da çevresel dönüşümler değerlendirildiğinde, bugünün dünyasındaki değişme hızının muhasebesi çok yararlı olabilir.

Değişim temposu hakkındaki tartışmalar, 19. yüzyıl ortalarındaki çatışmaların birçoğunu Darwinci evrim üzerinden de değerlendirmişti. 11. Bölümde göreceğimiz gibi, tartışmalar, jeoloji halinde Charles Lyell tarafından benimsendiği gibi, değişimin yavaş yavaş gerçekleşmesi şeklinde karşılanmıştı ve onun yardımcısı

Charles Darwin ise Fransız Georges Cuvier tarafından ortaya atılan ani jeolojik değişimler lehindeki savlarla çıkmıştı. Cuvier ayrıca Darwin'in özenli şekilde gösterdiği gibi, sadece yeni türlerin ortaya çıktığını değil de, soy tükenişiyle onların yok olduklarını da önererek, tartışmalı şekilde, bir başka türden köklü değişimi fark etmişti.

Değişim temposu tartışmaları, evrenin gelişimini anlamamızda da yaşamsal öneme sahipti. Evrenle ilgili ilk sürpriz onun hevrilmesi idi. Büyük Patlama kuramı ilk kez yirminci yüzyılda önerildiğinde, onun çıkarımları dinbilim açısından yeğlenen statik Evren çıkarımlarından çok farklıydı; o zamanlar çoğu kimse bunu benimsemiş durumdaydı. Fakat bir başka ileri sürpriz, çok erken zamanlarda Evrenimizin bir patlayıcı genişleme evresinden –kozmozik şişme– geçmiş olmasıydı. Yeryüzündeki yaşamda olduğu gibi, Evrenin tarihinde hem yavaş yavaş olan hem de felaket getiren süreçler rol oynamıştı. Evren için “felaket” şişmeydi. Felaketle, bu sürecin sadece aniden ve çarçabuk meydana geldiğini kastediyorum. Şişme Evrenin başlangıçtaki içeriğini yerle bir etmişti; fakat bu, patlayıcı evre sona erdiğinde, Evrenimizi dolduran maddeyi de yaratmıştı.

Şu ana kadar sunulan tarih, genişleyen, soğuyan, yaşlanan bir Evrenin standart Büyük Patlama kuramıdır. Olağanüstü derecede başarılıdır, fakat tüm hikâye değildir. Kozmozik şişme Büyük Patlama evrilmesi işe başlamadan önce olmuştu. Evrenin ilk başlangıcında neler olduğunu size söyleyemesem bile, oldukça kesinlikle söyleyebilirim ki onun evrilmesinin iyice önceki bir anında –herhalde 10^{-36} saniye kadar erken bir anda– şişme denen bu heyecan verici olay gerçekleşmişti. (Bkz. Şekil 5.) Şişme esnasında, Evren standart Büyük Patlama evrilmesinde olduğundan çok daha hızlı biçimde –büyük olasılıkla üstel olarak– genişlemişti. Öyle ki Evren bu şişme evresi süresinde boyutça kat kat büyümesini sürdürmüştü. Üstel genişleme şu anlama gelir; Evren, örneğin, evrilmenin başladığı andakinden altmış kere daha yaşlı olduğu zaman, Evren trilyon kere trilyon kattan daha fazla büyümüş olurdu; oysa şişmesiz halde Evrenin boyutu ancak sekiz çarpanıyla artardı.

Şişme sona erer ermez –ki bu da Evrenin evrilmesi içinde bir saniyenin sadece bir kesridir– ardında büyük, düz, yeknesak bir

Evren bırakır ve bunun sonraki gelişimi geleneksel Büyük Patlama kuramıyla öngörülür. Şişmeye dayalı patlama, bir anlamda kozmolojik evrilmenin biraz önce betimlenen daha yumuşak, daha yavaş evrilmeye başladığı “güm” diye bir patlamadır. Hızlı soğumanın sıcaklığı sıfıra çok yakın değere göndermesiyle, şişme başlangıçtaki maddeyi ve ışıınıyı iyice seyreltmmişti. Ancak şişme sona erdiği ve şişmeyi sağlayan enerji muazzam sayıda temel parçacığa çevrildiğinde, sıcak madde yeniden kazanılmıştı. Şişme sona erdiği zaman, geleneksel, daha yavaş genişleme yönetimi ele almıştı. Bu aşamadan itibaren, eski Büyük Patlama kozmolojisi uygulamayı üstlenmişti.

Fizikçi Alan Guth şişme kuramını geliştirmişti, çünkü Büyük Patlama kuramı –bu şekliyle başarılı olsa da– çeşitli konuları çözümsüz bırakmıştı. Evren sonsuz küçük boyutlu bir bölgeden büyümüşse, içinde niçin böylesine çok ıvrır zıvrır madde içermektedir? Ve Evren neden böylesine uzun ömürlü olmuştu? Kütleçekim kuramı temel alınarak, bu kadar çok madde içeren bir Evrenin hiçlik içine genişlemesini ya da çok kısa sürede çökmesini beklerdiniz. Ama yine de muazzam madde ve enerji içerdiği halde, Evrenin üç sonsuz uzaysal boyutu neredeyse düzdür ve Evrenin evrimi, 13,8 milyar yıllık varlığını kutlamamız için, yeterince yavaş olmuştur.

Özgün Büyük Patlama kozmolojisindeki bir başka esas kusur, Evrenin neden bu kadar birörnek olmasına getirilemeyen bir açıklamaydı. Şimdi gözlediğimiz kozmik ışıını yayınladığında, Evren şimdiki büyüklüğünün sadece binde-biri kadardı; yani ışığın gidebileceği mesafe aşırı küçüktü. Yine de gözlemciler bundan sonra gökyüzünün farklı bölgelerinden yayınlanan ışıınıyı incelediklerinde, ışıını özdeş olarak görünür; yani sıcaklık ve yoğunluktaki sapmalar küçücüktür. Bu anlaşılmaz bir şeydir, çünkü özgün Büyük Patlama senaryosu uyarınca, kozmik ışıınının yüklü maddeden bağlaşımı kesildiği anda Evrenin yaşı aşırı küçüktü; öyle ki ışığın, gökyüzünün bir yanından diğer yanına olan mesafenin yüzde birini bile gitmesi için yeterli zamanı olmazdı. Yani, zamanda geri gider ve acaba gökyüzünün bu ayrılmış parçalarında sonlanan ışıını onlar arasında bazı sinyaller gönderebilmiş ya da alabilmiş midir diye sorarsak, yanıt “hayır” olurdu. Fakat bu ayrı bölgeler birbirleriyle asla iletişime geçmemişlerdi, öyley-

se neden aynı görünsünlerdi ki? Bu, sanki sizin ve ilham kaynağı olarak farklı mağazalara ve farklı magazin dergilerine sahip farklı yerlerden binlerce yabancı kişinin özdeş şekilde giyinmiş halde bir tiyatroya girmesi gibidir. Birbirinizle ya da ortak medya kuruluşlarıyla hiç temas etmemişseniz, sizin için her yerde benzer şekilde giyinmiş olmak şaşırtıcı bir rastlantı olurdu. Gökyüzünün birörnekliliği daha bile şaşırtıcıdır, zira birörneklik 10.000'de bir kesinlikle uygulanır. Ve görünen o ki Evren birbirleriyle iletişime girmemiş 100.000'den daha fazla bölgeyle başlamıştır.

Guth'un 1980'de önerdiği fikir bu yetersizliklerin ışığında çok çekici görünmektedir. O Evrenin olağanüstü aşırı derecede hızlı olarak genişlediği erken bir dönem ileri sürmüştü. Standart Büyük Patlama senaryosunda Evren sakince ve kararlı bir şekilde büyürken, şişme döneminde Evren bir anda genişleme evresinden geçmişti. Kozmolojik şişme kuramı uyarınca, iyice başlangıçtaki Evren, ufacık bir bölgeden aşırı kısa bir zaman aralığında üstel olarak genişlemiş bir bölgeye büyümüştü. Bir ışık ışınının katedebileceği bir bölgenin büyüklüğü, trilyon kere trilyonluk bir çarpanla artmıştı. Şişmenin ne zaman başladığına ve ne kadar sürdüğüne bağlı olarak, bir ışık ışınının katedebileceği özgün bölge boyutça 10^{-29} metrede başlamış olabilirdi, fakat şişme süresince en azından bir milimetre büyüklüğe kadar –bir kum tanesinden biraz daha büyük– genişlemişti. Evrenin boyutunu o andaki gözlenebilir bölge olarak ölçerseniz, William Blake'in sizi inandırabileceği gibi, şişmeyle, bir anlamda Evrene bir kum tanesi içinde –ya da en azından bir kum tanesi boyutunda– sahip olursunuz.

Şişme Evreninin aşırı hızlı genişlemesi, Evrenin iriliğini, birörnekliliğini ve düzlüğünü açıklar. Evren büyüktür, çünkü üstel olarak büyümüştü; çok kısa bir sürede çok büyük hale gelmişti. Üstel olarak genişleyen Evren, özgün Büyük Patlama senaryosunun çok daha yavaş hızla genişleyen evreninden çok daha fazla bölgeyi kaplar. Evren birörnektir, çünkü şişme süresindeki muazzam genişleme, uzayzaman kumaşındaki/bünyesindeki kırışıklıkları düzleştirir, tıpkı ceketinizin kollarını gerince kumaşındaki buruşuklukların yok olması gibi. Şişen Evrenle, her şeyin ışınlıma iletişim kurabileceği kadar yakın olduğu bir tek çok küçük bölge, bugün gördüğümüz Evrene büyümüştü.

Şişme düzlüğü de açıklar. Dinamik bir açıdan, Evrenin düzlüğü şu anlama gelir; Evrendeki yoğunluk, bir bütün olarak, çok uzun bir süre devam edebileceği sınırdadır. Her daha büyük enerji yoğunluğu uzayın pozitif eğriliğine –bir kürenin sahip olduğu eğrilik türü– neden olur; bu da Evrenin hızlıca çökmesine yol açar. Her daha az enerji yoğunluğuyse Evrenin öyle hızlı genişlemesine neden olurdu ki mevcut malzeme asla bir araya gelip yapılanma oluşturamazdı. Teknik olarak, birazcık abartıyorum. Eğriliğin çok ufacık bir miktarıyla, Evren olabildiği kadar uzun sürebilirdi. Fakat bu eğrilik, şişmesiz onun değerinin doğrulanamaz olabileceği kadar gizemli bir şekilde küçük olabilmisti.

Bir şişme senaryosunda, Evren çok erken büyümüş olduğundan, şu anda çok büyük ve düzdür. Bir balonu istediğiniz kadar büyük olacak şekilde üfleylebildiğinizi düşünün. Balonun özel bir parçasına odaklanırsanız, balon büyüdükçe onun daha düz hale geldiğini görebilirsiniz. Benzer şekilde, insanlar başlangıçta yeryüzünün düz olduğunu düşünmüşlerdi, çünkü çok daha geniş bir kürenin yüzeyinin sadece küçük bir bölgesini görmekteydiler. Evren için de aynı şey doğrudur. Genişledikçe düzleşir. Fark şudur ki o trilyon kere trilyonu aşan bir çarpanla genişlemiştir.

Evrenin aşırı düz oluşu şişmenin başlıca doğrulanışydı. Bu sürpriz sayılmayabilir, çünkü düzlük sonuçta şişmenin dikkate sunulmasının düşünüldüğü problemlerden biriydi. Fakat şişmenin tasarlandığı zamanda, Evrenin basit beklentilerin öngördüğünden daha düz olduğu biliniyordu; fakat şişmenin aşırı öngörüsü neredeyse hiç hassasiyet aranmadan test edilmek istenmişti. Evrenin şimdi yüzde bir düzeyinde düz olduğu ölçüldü. Bu doğru olmasaydı, şişme çöpe atılmış olurdu.

1980’de ben lisansüstü öğrencisiyken, şişme ilginç bir fikir olarak ele alınmaktaydı, fakat çoğu parçacık fizikçisi onu ciddiye almamıştı. Bir parçacık fizikçisi açısından, uzun-ömürlü bir üstel genişlemenin gerektirdiği koşullar aşırı uzak ihtimal olarak görülmekteydi. Aslında bunlar hâlâ böyle. Şişmenin, Evrenin genişlemesiyle ilgili başlangıç koşullarının doğallığına hitap ettiği farz edilirdi. Fakat şişmenin kendisi doğal değilse, problem çözülmemiş demektir. Şişmenin nasıl meydana geldiği sorusu –onun altında yatan fizik modeli– spekülasyon sorunu olarak kalır. 1980’lerde bizi rahatsız eden model-kurma sorunları hâlâ bir ta-

saydı. Diğer taraftan, şu anda Stanford'da bulunan ve şişme üzerine ilk çalışanlardan biri olan Rusya doğumlu Andrei Linde gibi kişiler, fikir önce basit olarak önerildiği halde, şişmenin doğru olması gerektiğini düşünmekteydi. Çünkü büyüklük, düzlük ve birörneklik gizemlerine hiç kimse hiçbir başka çözüm bulamamıştı; oysa şişme bunları bir çırpıda çözebilecek güçteydi.

Kozmik mikrodalga ardalan ışıının son zamanlardaki ayrıntılı ölçümlerinin ışığında, pek çok fizikçi artık aynı fikirdedir. Her ne kadar şişmenin kuramsal desteklerini henüz kesinleştiremediyse ve şişme çok önce meydana geldiyse de, o sınanabilir öngörülere yol açar ve bu da çoğumuzu şişmenin ya da şişmeye çok benzeyen bir şeyin meydana gelmiş olduğuna inandırmıştır. Bu gözlemlerin en kesini, Penzias ve Wilson'ın keşfettiği 2,73 derecelik ardalan ışıını hakkındaki ayrıntılarla ilgiliydi. NASA'nın Kozmik Ardalan Kâşifi (COBE) bu aynı ışıını çok daha kapsamlı bir şekilde ve geniş bir frekans bölgesi üzerinden –onun gökyüzü boyunca aşırı yüksek düzeyde birörnek olduğunu tespit ederek– ölçmüştü.

Fakat en görkemli COBE keşfi –neredeyse tüm şişme kuşkucularının sevgisini kazanan bir keşif– şuydu: Erken Evren tam olarak birörnek değildi. Geniş kapsamlı olarak, şişme Evreni aşırı derecede türdeş yapmıştı. Fakat şişme ayrıca iyice ufak *türdeşsizlikler* de –mükemmel birörneklikten sapmalar– ortaya çıkar-mıştı. Kuantum mekaniği bize şişmenin sona erdiği tam zamanın belirsiz olduğunu söyler; bu da şişmenin gökyüzünün farklı bölgelerinde birazcık farklı zamanlarda sona erdiği anlamına gelir. Bu ufacık kuantum etkileri, ışıında mükemmel birörneklikten küçük sapmalar olarak iz bırakmıştı. Bunlar, aşırı küçük olsalar da, bir havuza bir çakıl taşı bıraktığınızda, suda ortaya çıkan te-dirgemeler gibidir.

Son birkaç onyılın akıllara en fazla durgunluk veren keşifleri arasında kesinlikle COBE'nin kuantum dalgalanmalarını keşfetmiş olması yer alır; bu dalgalanmalar, kabaca Evrenin bir kum tanesi büyüklüğünde olduğu zaman üretilmişti ve bunlar en sonunda sizin, benim, gökadalara ve kısacası Evrendeki tüm yapının kökeniydi. Bu ilk kozmolojik türdeşsizlikler, şişme sona ererken oluşmuştu. Bunlar ufacık-uzunluk ölçeğinde başlamış, fakat Evrenin genişlemesiyle, gelen bölümde açıklanacağı gibi, gökadalara-

rın ve tüm diğer ölçülebilir yapının tohumları olabilecek büyüklüklere gerilmişti.

Bu yoğunluk tedirgemelerinin keşfi –sıcaklık ve madde yoğunluğundaki bu küçük sapmaların anlaşılması– gerçekleşince, bunların ayrıntılı olarak araştırılması sadece bir zaman sorunuuydu. 2001’de, Wilkinson Mikrodalga Eşyönsüzlük Araştırmacısı (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe – WMAP) yoğunluk tedirgemelerini çok daha hassas ve daha da küçük açisal ölçeklerde bile ölçmüştü. Güney Kutuptaki teleskoplarla birlikte WMAP, ışınlam yoğunluğunda tam o anda yaratılmaya başlamış olan karmaşıklık özetleyen küçük dalgalanmaları –tedirgemeleri– gözlemiştir. Bu ölçümlerin ayrıntıları, Evrenin düzlüğünü pekiştirmiş, karanlık maddenin toplam miktarını belirlemiş ve bir erken üstel genişlemenin öngörülerini doğrulamıştır. WMAP’den çıkan en efsanevi sonuçlardan biri, gerçekten de, şişme paradigmasının deneysel doğrulanışydı.

Avrupa Uzay Ajansı, tedirgemeleri daha da hassas olarak incelemek için kendi uydusunu –Planck misyonu– Mayıs 2009’da fırlatmıştı. Gerçekten de, uydunun sonuçları hassasiyeti ilerletmiştir; onlarla artık çoğu kozmolojik nicelik bilinmektedir ve bunlar erken Evren bilgimizi pekiştirmeye yardım etmiştir. Planck uydusunun en önemli başarılarından biri, şişmeye dayalı genişlemeyi süren dinamikteki ipuçlarını çıtlatan daha ileri bir niceliği yerine oturtmuş olmasıdır. Evren daha çok tekdüzeyken, bu tekdüzeliği bozan küçük tedirgemeler vardır; gökteki tedirgemelerin genliği genelde onların uzaysal boyutlarından bağımsız olmakla birlikte, küçük bir ölçeğe bağımlılık gösterir. Ölçeğe bağımlılık, şişmenin sonlandığı zamanda Evrenin enerji yoğunluğunun değişimini yansıtır. Şişme dinamiğinin etkileyici doğrulanışında, WMAP ve çok daha hassas olan Planck uydusu, bu ölçeğe bağımlılığı, hızlı genişlemenin erken bir aşamasının yavaş yavaş sona erdiğini saptayarak ve ona şişme dinamiğini sınırlayan bir değer biçerek ölçmüştü.

Kavrayışımız tam olmaktan uzak olsa bile, kozmologlar artık şişmenin ve ardından gelen Büyük Patlama genişlemesinin Evrenimizin tarihinin bir parçası olduğunu kabul etmektedirler. Bu kuramları ayrıntılı olarak kurabiliriz, çünkü erken Evren, yüksek dereceli tekdüzeliğiyle, oldukça kolay çalışılır haldedir. Denklemler çözülebilir ve veriler kolaylıkla geliştirilebilir.

Bununla birlikte, milyarlarca yıl önce yapı meydana geldiğinde, Evren oldukça basit bir sistemden aşırı karmaşık bir sisteme değişmişti; böylece Evrenin daha sonraki gelişimi söz konusu olduğunda, kozmoloji daha büyük meydan okumalarla karşı karşıya kalır. Evrenin içeriğinin dağılımını, “yıldızlar, gökadar ve gökada kümeleri gibi yapılar oluşmuştu” şeklinde öngörmek ve yorumlamak daha zor hale gelmişti. Yine de, birçok bilgi Evrenin gitgide gelişen bu yapısı içine gömülmüştü; bunları eninde sonunda gözlemler, modeller ve bilgisayar gücü açığa çıkarmalıdır. Kitabın daha sonraki kısmında göreceğimiz gibi, bu yapının ölçülmesi ve öngörülmesi, bize –karanlık maddenin dünyamızla ilişkisi dahil– oldukça çok şey öğretmeyi vaat etmektedir. Fakat şimdilik her şeyden önce bu yapının nasıl meydana gelmiş olduğunu araştıralım.

5

BİR GÖKADA DOĞUYOR

Münih'teki akşam yemeği söyleşimde marka oluşturma uzmanı Massimo'nun "karanlık madde" ismine karşı çıktığını hatırlayabilirsiniz. O aynı yemekte, Massimo'yu bana tanıtan bir başka konferans katılanı, Matt, bu anlaşılması zor maddenin gücünden insanların yararlanma potansiyelini sormuştu. Bir oyun tasarımcısı olan o kişi için anlaşılabilir bir soruydu bu. Kısa süre sonra bir senarist arkadaş aynı şeyi sormuştu; yine, onun bilimkurgu tercihlerinin ışığında beklendiği gibiydi bu da.

Fakat bu sorgulama, içinde çok fazla hayal barındırmaktadır; bunu bir kez daha yetersiz isim seçimine bağlayacağım. Karanlık madde bizim yerel çevremizde ne uğursuz -ne de cömert- bir stratejik güç kaynağıdır. Aşırı derecede zayıflığı dikkate alındığında, bildiğimiz madde büyük olasılıkla karanlık maddeyi etkilemez; hiç kimse onu bodrum katında ya da garajında toplamaz. Sıradan maddeden oluşmuş olan ellerimiz ve araçlarımızla karanlık madde füzeleri yapamayız ve karanlık madde kapanları oluşturamayız. Karanlık maddeyi bulmak yeterince zordur. Ondan yararlanmak büsbütün bir başka şey olabilir. Karanlık maddeyi kontrol altına almanın bir yolunu bulsak bile, bizi herhangi görülebilir bir şekilde etkileyemez; çünkü sadece kütleçekim ya da bugüne kadar çok duyarlı araştırmalarla bile saptanamamış aşırı zayıf olan kuvvetler aracılığıyla etkileşir. Astronomik-boyutlu muazzam cisimlerin yokluğu halinde, karanlık maddenin Yeryüzü üzerine etkisi önemsenecek kadar küçüktür. Onu bulmanın bu denli zor olmasının nedeni de budur.

Fakat Evren tarafından bir bütün olarak toplanmış büyük miktarda karanlık madde büsbütün bir başka konudur. Evren boyunca dağılmış muazzam miktardaki karanlık madde gökada kümelerini ve gökadalara yaratmak üzere çökmüş ve toplanmıştı; bunlar böylece yıldızların oluşumuna olanak sağlamıştı. Karan-

lık madde insanları ya da laboratuvar deneylerini [henüz] herhangi tanınabilir bir tarzda etkilememiş olsa da, onun kütleçekimsel etkisi Evrendeki yapının oluşumu için çok önemlidir. Maddenin konumlandığı bu muazzam çökme bölgelerinde yoğunlaşmış büyük miktarlar nedeniyle, karanlık madde bugün yıldızların hareketini ve gökadalara yörüngelerini etkilemeyi sürdürür. Göreceğimiz gibi, daha da yoğun hale gelmek üzere çökmüş olan karanlık maddenin daha az alışılmış bir türü, muhtemelen Güneş sisteminin yörüngesini de etkilemiş olabilir. Böylece insanlar karanlık maddenin kuvvetinden yararlanamamaları bile, çok daha güçlü olan Evren bundan yararlanabilir. Bu bölümde karanlık maddenin, Evrenin gelişimindeki ve onun bilinen sonlu ömrü esnasında gökadalara oluşumundaki kritik rolü açıklanacaktır.

YUMURTA VE TAVUK

Yapı oluşumu kuramı bize yıldızların ve gökadalara şişmenin son mirası olan aşırı derecede –fakat tam olmayan– sıkıcı, birörnek gökten nasıl geliştiklerini söyler. Yapı oluşumunun bu tutarlı resmi, bu kitapta bunca sunulduğu gibi, oldukça yeni bir ilerlemedir. Fakat bu kuram artık sıkı bir şekilde, şişme ilaveli Büyük Patlama kuramı gibi ve daha iyi ölçülmüş içerik öğeleri –örneğin, karanlık madde– gibi, kozmolojik gelişmelere dayanmaktadır. Bu destekleyici unsurların, yeni başlayan Evreni oluşturan sıcak, düzensiz, belirleyici özellikleri olmayan bölgeyi bugün gördüğümüz gökadalara ve yıldızlara haline nasıl geliştirdiğini açıklayalım.

Başlangıçta Evren sıcak, yoğun ve genelde birörnekti, yani uzayda her noktada aynıydı. Ayrıca eşyönlüydü; tüm doğrultularda aynıydı. Parçacıklar etkileşmekte, ortaya çıkmakta ve yok olmaktaydı; fakat parçacıkların yoğunluğu ve davranışı her yerde aynıydı. Bu, kuşkusuz, Evren resimlerine baktığınızda ya da basitçe gece gökyüzünün güzelliğine hayran olmak üzere gözünüzü yukarılara diktiğinizde gördüğünüz resimden çok farklı bir görüntüdür.

Evren artık hiç mi hiçbir örnek değildir. Yıldızların yanı sıra, gökadalara, gökada kümeleri, gök kubbe boyunca düzgün olmayan bir dağılım halinde, uzayın enginliğine noktalama işaretleri gibi çakılmışlardır. Böyle yapılar dünyamızda her şeyin merkezinde-

dir; bunlar ağır elementlerin ve yaşam dahil tüm şaşırtıcı şeylerin oluşmasına temel teşkil eden yoğun yıldız sistemleri olmaksızın yaratılamazlardı; bunlar en azından böylesine yoğunlaşmış bir yıldız ortamında gelişmişti.

Evrenin görünür yapısı gaz ve *yıldız sistemleri* içinde bulunmaktadır. Bu yıldız toplulukları çeşitli boyutlarda ve farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Bir yıldızın diğeri etrafında döndüğü ikili yıldızlar bir yıldız sistemi oluşturur; içinde yüz binden bir trilyona kadar yıldız barındıran gökadalara da yıldız sistemleridir. Bundan bin kez daha fazla yıldızlı gökada kümeleri de yıldız sistemleridir.

İlgili cisimlerin tipleri hakkında bir değerlendirmeye sahip olmak için, evrenimizin içerdiği cisimlerin tipik kütlelerini ve boyutlarını ele alalım. Astronomik boyutlar genelde parsek ya da ışık-yılı cinsinden ölçülür; oysaki astronomik kütleler daha çok Güneş kütlesi cinsinden verilir; eşdeğer kütleyi bulmak için kaç Güneş kütlesi alınmalıdır gibi. Gökadaların büyüklük aralığı, 10 milyon Güneş kütleli cüce gökadalardan 100 trilyon Güneş kütleli en büyük gökadalara kadar uzanır. Samanyolu gökadası, daha küçük, bir trilyon Güneş kütlesi kadar tipik bir boyutta olmakla övünür; bu değer, baskın karanlık madde bileşeni dahil, onun toplam kütlelerini temsil eder. Gökadaların çoğu, çap olarak birkaç bin ila birkaç yüz bin ışık-yılı büyüklüğüne sahiptir. Gökada kümeleri, diğer taraftan, 100 trilyon ila 1000 trilyon Güneş kütlesi içerir; çaplarıysa 5 ila 50 milyon ışık-yılı kadardır. Kümeler bine varan gökada içerirken, süper-kümeler içlerinde bu sayının on katını barındırabilirler.

Bununla birlikte, bu cisimler bugün var oldukları halde, erken Evrende onlar yoktular. Erken Evren aşırı derecede yoğundu; dolayısıyla çok düşük yoğunluklarda olan yıldızları ve gökadalara henüz içermemekteydi. Yıldız sistemleri ancak Evren, en sonunda oluşan bu cisimlerin yoğunluğundan daha düşük bir ortalama yoğunluğa sahip olduğu bir sıcaklığa kadar soğuduktan sonra oluşabilmişti. Yapının oluşumu da, Evrendeki madde ışıınımdan daha fazla enerji taşır hale gelinceye dek beklemek zorundaydı. Işık hızıyla ya da ona yakın hızlarla hareket eden foton gibi parçacıklar dahil, her şey olan ışıının kozmolojik tanımını kullandığıma dikkat ediniz. Sıcak erken Evrende, neredeyse her şey bu ölçütü

sağlamaktaydı, çünkü sıcaklık o denli yüksekti ki ışıınım Evrenin enerjisine haydi haydi baskındı.

Evren genişlerken, ışıınım ve maddenin ikisi de seyrelmişti ve enerji yoğunlukları da öyle olmuştu. Kırmızıya kayarak düşük enerjiye giden ışıınımdaki enerji çok daha hızlı azaldığından, madde –ilgi odağı altında 100.000 yıl sırasını bekledikten sonra– sonuçta Evrenin enerjisini bastırarak hale gelmişti. Madde, bu önemli çağda, Evrenin enerjisine başlıca katkıyı yapan bileşen olarak ışıınımı sollamıştı.

Yapının ilk önce nasıl gelişme gösterdiğini izlemek için iyi bir başlangıç noktası, maddenin baskın hale gelmeye başladığı, Evrenin gelişiminde yaklaşık ilk 100.000 yıl sonraki bu zamandır. Bu dönem, tedirgemelerin ilk kez büyümeye başladığı zamanla kıyaslandığında oldukça geçtir; fakat gözlediğimiz ardaalan ışıınıminin izini bırakmasından önce, bu o kadar da uzun değildir. Madde-hâkimiyeti kozmoloji için önemliydi, çünkü yavaş olarak hareket eden madde ışıınımdan çok daha az basınç taşır ve dolayısıyla Evrenin genişlemesini farklı şekilde etkiler. Madde yönetimi ele geçirdiğinde, Evrenin genişleme hızı değişir. Fakat yapı oluşumu için daha önemlisi, işte o zaman küçük, tıkız yapıların büyümeye başlayabilmesidir. Işık hızında ya da ona yakın hızlarda hareket eden ışıınım, kütleçekimle bağılı küçük sistemlere yakalanmak için yeterince yavaşlamamıştır. Işınım tedirgemeleri yok eder; tıpkı rüzgârın plajdaki kum tepeliklerini silmesi gibi. Diğer taraftan, madde yavaşlar ve bir araya kenetlenir. Sadece yavaş-olarak hareket eden madde yapı oluşturmak üzere yeteri kadar çöker. Kozmologlar bazen bu nedenle karanlık maddenin *soğuk* olduğunu söylerler; bu onun sıcak ve göreceli olmadığı, ışıınım gibi davranmadığı anlamına gelir.

Madde Evrenin enerji yoğunluğuna hükmeder hale geldikten sonra, yoğunluk tedirgemeleri –ışışme sona erdiğinde yaratılmış olan hafifçe daha yoğun ya da diğerlerinden daha az yoğun bölgeler– yapının büyümesini döllemiş olan maddenin çöküşünü hızlandırmıştı. Bu tedirgemeler sonra büyümüşler ve başlangıçta tekdüze olan Evreni en sonunda gökte farklılaşmış bölgeler halinde güçlendirilmiş yapılara dönüştürmüşlerdi. Yoğunluktaki 10.000’de 1’den daha düşük düzeyli ufacık değişimler, düz olduğu için neredeyse tekdüze bir Evrenden yapı yaratmaya yetmişti; bu

öyle bir kritik enerji yoğunluğuna sahip olmak demektir ki, hızlı çöküş ile hızlı genişleme arasındaki sınırın her iki yanını da kucaklamak anlamını taşır. Kritik yoğunluk, Evrenin yavaş-olarak genişlediği ve yapının oluşması için yeterince uzun sürdüğü en etkili noktayı yaratır. Bu incelikle saptanmış ortamda, küçük yoğunluk tedirgemeleri bile maddenin çökme bölgelerine neden olur, dolayısıyla yapının oluşması başlar.

Rekabet eden iki kuvvet, bu çöküşün yapıya geçmesine önayak olmaya katkıda bulunmuştu. Işınım –enerjinin baskın türü olmasa da– maddeyi dışarı itmekteyken, kütleçekim maddeyi içeri çekmekteydi. Bu dengenin yıkılabileceği eşik, *Jeans kütlesi* olarak bilinir. Dışa doğru ışınım basıncının içe doğru kütleçekimi dengeleyemediği bölge içindeki gaz çöker ve onun çekici potansiyelinden büyüyen madde ve cisimler, ışık yayan gökadalara çekerdekleri ve yıldızların oluşumu haline gelirler.

Büyük yoğunluklu bölgeler daha az yoğunluklu bölgelerden çok daha fazla kütleçekim uygulamışlardı, dolayısıyla gitgide artan oranda yoğun bölgeler yaratılmış ve zaten dağılan çevre bölgeler daha da tüketilmişti. Maddece zengin bölgeler daha zenginleşerek ve maddece fakir bölgeler daha fakirleşerek Evren daha topaklı hale dönüşmüştü. Maddenin bir araya toplanması –kütleçekimle bağlı cisimler yaratarak– sürmüştü ve madde bir pozitif geri beslemeli süreç içinde çökmeye devam etmişti. Yıldızlar, gökadalara ve gökada kümeleri tümüyle şişmenin sonunda yaratılmış olan ilk küçük kuantum mekaniksel dalgalanmalar üzerindeki kütleçekim etkileriyle bu zamanda yaratılmıştı.

Onun ışınlama bağısıklığı ve çok bol oluşu nedeniyle, maddeyi çökmeye uğratan çekici potansiyel kuyuları oluşturan maddenin büyük yoğunluğu karanlık maddeydi; sıradan madde değil. Yıldızları ve gökadalara ışık yaydıkları için görüyor olsak da, görünür maddeyi başlangıçta gökadalara ve ardından da yıldızların ortaya çıkabileceği bu yoğun bölgelere çeken karanlık maddedir. Yeterince büyük bir bölge çöktüğünde, karanlık madde kabaca bir küresel hale oluşturmıştı, onun içinde sıradan madde gazı soğumuş, merkeze yoğunlaşmış ve sonunda yıldızlara parçalanabilmişti.

Karanlık maddenin varlığı halinde sadece sıradan maddeyle mümkün olabilenden daha çabuk çökmüş olan bölgeler, daha bü-

yük toplam madde enerjisi yoğunluğu nedeniyle maddenin ışıma daha çabuk hâkimiyet kurmasını sağlamıştı. Fakat karanlık madde de önemliydi, çünkü elektromanyetik ışıyım başlangıçta sıradan maddeyi bir gökadanın büyüklüğünden yaklaşık yüz kereden daha küçük ölçeklerdeki yapıya gelişmekten alıkoymuştu. Sadece karanlık madde aracılığıyla gökada oluşmaktaydı; Evrenimizdeki cüsseli cisimlerin ve yıldızların tohumlarının oluşmak için zamanları vardı. Çökmeyi başlatacak karanlık maddesiz, yıldızlar geçerli kütleye ve dağılıma erişemezlerdi.

Böylece çökmeyi yapıya dönüştüren karanlık maddedir. Sadece ondan daha çok miktarda var olduğundan değil, fakat karanlık maddenin esasında ışığın etkisine bağışık olması nedeniyle, elektromanyetik ışıyım sıradan maddeyle yapabildiği şekilde onu uzaklaştıramazdı. Dolayısıyla ışıyım bağlaşımı kesildiğinde sıradan maddenin tepki gösterdiği madde dağılımındaki dalgalanmaları karanlık madde oluşturmuştu. Karanlık madde etkin olarak sıradan maddeye avantaj sağlamıştı; gökadalardan ve yıldız sistemlerinin oluşumuna yol açarak. Işıyım bağışık olduğundan, sıradan madde çökemediği halde bile, karanlık madde –üzerinde protonların ve elektronların çöken bölgelere götürüldüğü bir alt katman oluşturarak– çökebilmişti.

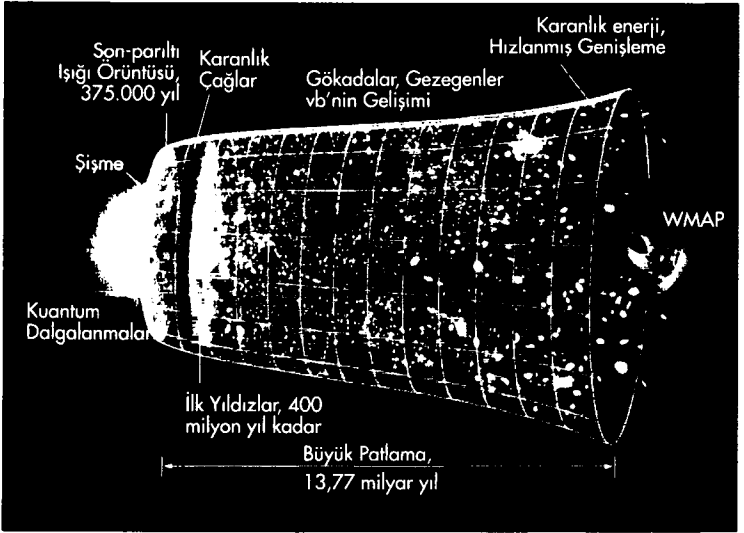
Karanlık madde ve sıradan maddenin aynı anda gökadalardan ve yıldızlar olarak görünür cisimlere bu çöküşü, yapı oluşumu ve de gözlemler için önemlidir. Biz doğrudan doğruya sadece sıradan maddeyi görüyor olsak bile, karanlık madde ve sıradan maddenin aynı gökadalarda var olduğuna iyice eminiz. Sıradan madde yapıyı dölleme konusunda karanlık maddeye bağılı olduğundan, laf olsun diye işe katılan sıradan madde çoğunlukla yapılarda bulunur ve bu yapılarda önemli miktarda karanlık madde de yer alır. Böylece, bir anlamda, karanlık maddeyi sokak lambasının altında aramak uygundur.

Karanlık maddenin bugün önemli bir rol oynamaya devam etmesi de ilginç bir noktadır. Karanlık madde sadece yıldızları uzaklara uçup gitmekten koruyan kütsel çekime katkı yapmakla kalmaz, ayrıca süpernovalar tarafından atılan maddenin bir kısmını gökadalardan içine geri de çeker. Karanlık madde böylece ileriki yıldız oluşumuna ve en sonunda yaşamın kendisine gerekli olan ağır elementlerin alıkonulmasına yardım eder.

Bununla birlikte, fizikçilerin kurama dayalı olarak ilk yapı oluşumunu öngörmelerine karşın, hiçbir gözlemci Evrenin ilk yapı oluşumu esnasındaki geçişine ayrıntısıyla tanık olamamıştır. Teleskoplar çok daha yakın zamanlarda yayınlanmış ışığı saptarlar ve olsa olsa milyarlarca yıl önce oluşmuş en erken gökadalari inceleriz. Diğer taraftan, gözlenebilir kozmik mikrodalga ardalari ışıınıımı, evrenin ışıınıımla dolu olduğu, fakat kütleçekimsel olarak bağılı çökmüş cisimlerin henüz oluşmadığı bir zamandan gelir bize. Ardalan ışıınıımı, gelecek nesiller için ilk yoğunluk dalgalanmalarını evrenin gelişimi içine 380.000 yıl boyunca işlemişti, fakat yıldızların ya da gökadalari var olabilmesi ve gözlenebilir ışık yayınlaması için yaklaşık bir diğer yarım milyar yıl daha geçmesi gerekirdi.

Yüksüz atomların oluştuğu ve kozmik mikrodalga ışıınıımının işlenmiş olduğu yeniden-birleşmeden sonraki ve ışık yayan cisimlerin meydana gelmesinden önceki ara zaman, şimdiki gözlemsel araçların ulaşamayacağı çok karanlık bir dönemdi. Yıldızlar henüz oluşmadığından, cisimler ışık yaymamaktaydı; öncesinde yaygın elektrik yüklü maddeyle etkileşmiş olan mikrodalga ardalari ışıınıımı artık göğü aydınlatmamaktaydı. Bu kez geleneksel teleskoplara görünmezdir (bkz. Şekil 6). Yine bu, ilksel çorbanın şimdi gördüğümüz zengin ve karmaşık Evrenin öncül yapılarına dönüştüğü zamanki dönemdir tam olarak.

Harvard gökbilimcisi Avi Loeb, en eski yıldızların oluşumunu gözlemek için şimdiki teknolojiyle olan yetersizliğimizi, bir yumurtadan bir civcivin oluşumuna tanık olmamızın yetersizliğiyle kıyaslar. Bir yumurta çorba gibi yapışkan bir yapı içerir. Fakat hele bir tavuk onun üzerinde yeterince uzun bir süre oturmaya dursun, bu yumurtadan olgunlaşmış bir tavuk haline gelişecek hareketli bir civciv çıkacaktır. Kırılan yumurtadan bildiğimiz yumurta sarısı ve yumurta akının ortaya çıkan nesneyle hiçbir benzer yanı yoktur, fakat bunlar ortaya çıkacak olan civcivin tüm tohumlarını içerir. Geçiş kabuğun içinde meydana gelir, böylece özel araçlar olmadan hiç kimse neler olduğunu göremez.



[ŞEKİL 6] Kozmik mikrodalga ardalan ışıınımı boyunca gözlediğimiz zamandan sonra, içinde yapının oluştuğu bir karanlık dönem ortaya çıkar; bunu da ilk yıldızların ortaya çıkışı (ve dağılması), ardından gökadalaların ve diğer yapıların oluşumu ve Evrenin genişlemesine egemen olmak için karanlık enerjinin gelişti izler. (NASA.)

Benzer şekilde, yapının en eski oluşumuna tanık olmak için yeni teknolojiye ihtiyacımız olacaktır. Evrenin gelişiminde karanlık dönemi şimdi hiç kimse görmeyebilir; öneriler geliştirilmekte olsa da. Yine de bir yumurta gibi yoğunluk tedirgemeleri daha sonraki yapının tohumlarını içermektedir. Fakat tavuk/yumurta ikileminden farklı olarak, ilk sırada neyin geldiğini biliriz.

HİYERARŞİK YAPI

Yapı oluşumunun yukarıdaki resmi –yani, ayrı ayrı tedirgemelerin tek tek gökadalaları tohumlayıp sonra her birinin bağımsız olarak evrildiği şeklindeki resim– ilgili çökme fiziğinden çok şey içerir. Daha ileri sorgulama, önce dev yıldızların oluştuğunu gösterir; fakat onlar ya Evrene ilk ağır elementleri salarak çabucak süpernovalara dönüşür ya da kara delikler haline çökerler. Bu ağır elementler Evrenin daha sonraki gelişmesinde önemli bir rol oynar.

Sadece metallerin –ki gökbilimcileri bunlara ağır element der– ortaya çıkmasından sonra, daha soğuk, daha yoğun bölgelerde küçük yıldızlar (Güneş gibi) oluşabilir ve şimdi gözlediğimiz yapı oluşur.

Fakat bu yıldızlar oluşmadan önce, gökadalara ortaya çıkmıyordu. Gerçekten de, gökadalara var olacak olan ilk karmaşık yapılarıydı. Gökadalara –her biri görünüşte kendi kendine yeterliydi, fakat yakında göreceğimiz gibi, tümü bağlantılıydı– pek çok bakımdan Evrenin yapı taşlarıydı. Gökadalara bir kez oluşunca, gökada kümeleri gibi daha büyük yapılara kaynaşırlardı. Ve yeterli çöküşten sonra, yıldızlar içlerinde en yoğun bölgeler oluşturabilirler. Fakat bugün gördüğümüz yapının oluşumu gökadalara başlamıştı.

Bununla birlikte, tek tek oluşan gökadalara bu resmi bir basitleştirmedir. Aslında, bu resmin sizi inandırmaya çalıştığı gibi, gökadalara yalıtılmış ada evrenler değildir. Diğer gökadalara karşılaştıkları ve kaynaşmaları, onların gelişmeleri için can alıcıdır. Gökada oluşumu, önce küçükçe gökadalara oluşması ve ardından daha büyük yapının gelmesi şeklinde, hiyerarşiktir. Yalıtılmış olarak görünen gökadalara bile, daha büyük karanlık halelerle sarılmış olup bunlara da diğer gökada haleleriyle bitişiktir. Gökadalara uzayın epeyce büyük bir kısmını –1000’de 1 kadar– kapladığından, gökadalara yıldızlardan çok daha sık olarak çarpışırlar; yıldızlara 10 milyon kere trilyon’da 1 gibi bir hacim işgal ederler. Gökadalara, kaynaşmalar ve diğer kütleçekim etkileşimleri yoluyla, birbirlerini etkilemeyi sürdürürler. Gökadalara gazları, yıldızları ve karanlık maddeyi kıvrımları içine çekmeyi sürdürdükçe daha da evrilirler.

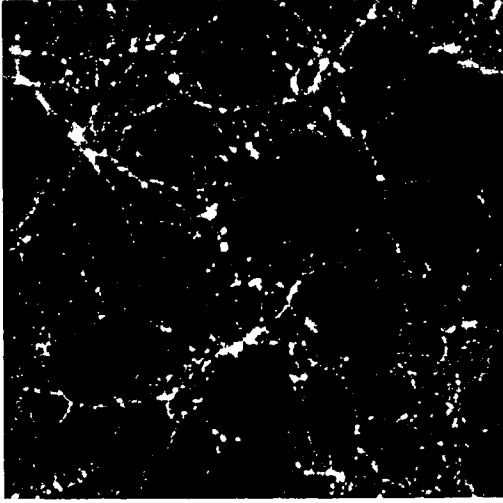
Bu fazla bilgiyle donatılmış olarak, yapı oluşumunda ne olduğunu yeniden inceleyelim. Süreci daha iyi anlamak için, zengini-daha zengin ve fakiri-daha fakir yapma benzetmesi çok uygundur. Bugünün dünyasında artan sıklık ve ivedilikle tartışıldığı gibi, fakirler sadece daha fakir hale gelmezler. Onlara sayıca da çok artarlar. Aslında, son zamanlarda insanlık için kıyamet senaryolarının çok tartışıldığını duyarım; zenginlerin küçük bölgelere doluşacağını, çok daha kalabalık fakir toplulukların yayılarak kenarlara itileceklerini öngörürler. Bu çok istenmeyen senaryoda, Güney Afrika’da Durban’ın dış bölgelerinde beyazların banliyö mahallelerini ziyaret ettiğim zaman gördüğüm gibi, zenginler kentlerin

varoşlarında oturacaklardır. Fakat o vakit –benzetimi sürdürerek– yöredeki kentler de benzer olaylar yaşayacaktır. Bir kez yeterince yaygınlaştı mı, mahalleler çarpışacak ve zenginler sadece arakesitlerde kalacaktır. O zaman zenginler, ayrılmış nüfus aile işletmelerinde ve güvenlik sistemlerinde yatırım yaparlar, fakat tüm bu gelişme ve hızlı büyüme toplumun ayrıcalıklı sınıflarının çakıştığı/kesiştigi düğümlere terk edilecektir.

Bu, toplum için çekici bir resim olmasa da, Evrendeki yapı oluşumunun ilerlediği yola çok benzemektedir. Az yoğun bölgeler Evrenin bir bütün olarak genişlemesine göre çok daha hızlı genişlerken, çok yoğun bölgeler çok daha yavaş genişler. Sonuç olarak, az yoğun bölgeler çok yoğun bölgelere yer bırakmazlar; onları sadece başlangıçta genişleyen düşük-yoğunluklu bölgelerin kıyılarına iterler. Yayıcı bölgeler boşaltılmış olup boşluklar haline gelir ve böyle olunca da, güdülen-madde sınırda yüksek-yoğunluk levhalarına dönüştürülür.

Böyle levhalar kesiştikleri zaman, yüksek-yoğunluk bölgeleri lifleri oluşur. Bu bölgelerden gelen kütleli çekim tüm kalan madde “servetini” toplar. Bu artan madde miktarları, boşlukları çevreleyen ince, yoğun levhaların bir kozmik ağına hapsolür. Bu kozmik ağ, liflerin bir şebekesi haline gelir; öyle ki içinde en yoğun madde, liflerin kesiştiği düğümlere yerleşmiştir. Böylece basit küresel çökmeden ziyade, malzeme önce levhalar boyunca düğümleri oluşturmak üzere kesişen liflerin içine düşer. (Şekil 7.) Bu düğümler sonra gökadalarn oluşumunu tohumlar. Ve bu süreç zaman içinde sürer durur. Yapı oluşur ve örüntü gitgide artan daha büyük ölçeklerde tekrarlanır. Bu küçük yapıların büyüklerden önce meydana geldiği, küçük gökadalarn önce oluştuğu, tabandan-yukarı bir hiyerarşik model verir.

Sayısal benzetimler [simülasyonlar], karanlık maddenin Evrendeki yoğunluğu ve yapının biçimini gerektiği gibi açıklaması sayesinde, bu öngörülerini büyük ölçeklerde doğrulamaktadır. Küçük-ölçekteki uyuşmazlıklar, bu kuramın biraz daha geliştirilmesine ipuçları olabilir, fakat onları çözüme kavuşturabilecek olan henüz pek de iyi-saptanmamış bu öngörülerini, gözlemleri ve modelleri daha sonraki bir tartışmaya bırakacağız.



[ŞEKİL 7] Maddenin “kozmetik ağ”ının benzetimi [simülasyonu]: Düğüm-lerde kesişen karanlık madde lifleri, karanlık, nispeten boş yerlerin çevresini sarar. Çok parlak bölgeler olarak gösterilen gökada kümeleri düğümlerde oluşur. (Yan uzunluğu 179 Mpc olan 18 Mpc kalınlıklı bir dilim boyunca izdüşürülmüş karanlık madde yoğunluğunun görüntüsü, Kaehler, Hahn ve Abel’in 2012 görselleştirme algoritmasını kullanarak, Benedikt Diemer ve Philip Mansfield tarafından meydana getirilmişti.)

Sıradan madde ve karanlık madde uyumlu şekilde çöktüğünden, gökadalardan gelen ışınlam bol karanlık maddeli bölgeleri de ortaya çıkarır. Nasıl dünya üzerindeki çevre ışıkları şehirlerin haritasını çıkarıyorsa, Evrendeki en parlak bölgeler de en büyük sayılardaki yıldızlarıyla en yoğun gökada bölgelerini haritalar. Dünyanın ışık haritası nüfus yoğunluğunu saptadığı gibi, ışık da toplam kütle yoğunluğunu ortaya çıkarır.

Bununla birlikte, şunu aklımızda tutmalıyız ki, ışıktaki olduğu gibi, gördüğümüzün gerçek nüfusa oranı değişebilir. Karanlık maddenin sıradana oranı, örneğin, cismin bir cüce gökada mı, bir gökada mı, yoksa bir gökada kümesi mi olduğuna bağlıdır. Yine de, değişen oranlarla bile, ışığın olduğu yerde karanlık da vardır. Bu da, yapı oluşumu kuramını doğrulamada değerli bir gözlemsel araçtır.

BİZİM 'HOOD

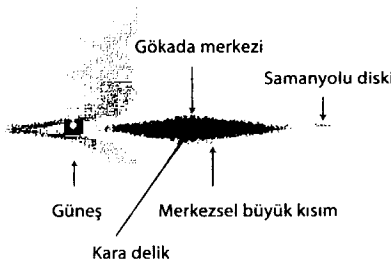
Bu bölümü –ve kitabın ilk kısmını– kapatmadan önce, şimdi en iyi bildiğimiz gökada olan Samanyolunun ve onun içinde en sevdiğimiz yıldız olan Güneşin içindeki sıradan maddenin dağılımına ve etkisine dönelim. Gökadamız, temiz, kuru bir gecede gökyüzünde görünen saman beyazı ışık şeridi nedeniyle adlandırılmıştır. Bu ışık, Samanyolu düzlemi içinde yerleşik çok sayıda sönük disk yıldızının biriken ışığından ileri gelmektedir. Siyah çukulata türü üzerindeki davetkâr ambalaja karşın, malt süt kokteyli, Samanyolu çubuk şekeri (ki ben çok severim ve ondan çok fazla yemişimdir) olarak adlandırılmıştır; onun endüstriyel olarak üretilmiş nefis tadı paylaşılmalıdır.

Samanyolu gökadası, Yerel Grup olarak bilinen bir gökadalardan grubu içindedir; bu Grup kütleçekimsel olarak bağlı bir gökadalardan sistemi olup, yoğunluğu ortalamadan yüksektir. Samanyolu ve M31 olarak da bilinen Andromeda gökadası, bu grubun kütlelerinde baskındır, fakat düzinelerce küçük gökada da gruba dahildir; daha çok bu iki büyük gökadanın uyduları gibi. Yerel Grubun kütleçekimsel bağlayıcı kuvveti, Samanyolu ve Andromedanın birbirlerinden Hubble genişlemesiyle uzaklaşmasına engel olur. Onların yolları aslında yakınlaşmaktadır ve yaklaşık dört milyar yıl sonra çarpışıp kaynaşacaklardır.

SAMANYOLU

Samanyolu gaz ve yıldızlardan oluşmuş bir diske sahip olup, bu disk kabaca bir baştan öbür başa 130.000 ışık-yılı ve düşey doğrultuda 2000 ışık-yılı kadar geniştir; bu “yassı-ülke” yapısı ona ayrıcalıklı biçimini verir. Disk hem yıldızları hem de hidrojen gazı ve yıldızlararası ortam olarak bilinen küçük, katı parçacık tozlarını –ki bunlar toplamda yıldızların net kütlelerinin onda biri kadar kütleyle sahiptir– içerir. Yıldızlararası toz ışığı örttüğünden, en çok yıldızın yer aldığı gökada merkezi yakınındaki ışığın daha parlak yoğunluğunu aslında görmeyiz. Bununla birlikte, astronomlar gökada merkezini kızılaltında görürler, çünkü toz bu düşük-frekanslı ışığı soğurmaz. Samanyolunun merkezi, dört milyon kadar Güneş kütleli –bazen Sagittarius A* olarak bilinen– bir kara delik de içerir.

Merkezdeki kara delik ve karanlık madde tamamıyla farklı şeylerdir. Bununla birlikte, karanlık madde orada büyük bir küresel hale şeklinde vardır; 650.000 ışık-yılı kadar geniştir. Boyut ve kütle açısından gökadamızın bu en büyük bileşeni, Samanyolu diskini saran kabaca bir küresel bölge halinde olup bir trilyon Güneş kütlesi kadar kütle taşır. Tüm gökadalarda olduğu gibi, karanlık madde önce yoğunlaşır ve sıradan maddeyi çeker, bu da gördüğümüz ne varsa onları oluşturur (Şekil 8).



[ŞEKİL 8] Merkezsiz büyük kısım, kara delik ve onları çevreleyen bir karanlık madde halesiyle birlikte Samanyolu diski. Güneşin konumu da gösterilmiştir (onun büyüklüğü ölçekli değildir).

Fakat henüz bir diskin nasıl ve neden oluşabildiğini betimlemedim; bu, karanlık madde diski fikri ve onun sonuçları bakımından göktaşları için önemli olacaktır; bunu daha sonra ayrıntılarıyla tartışacağım. Sıradan madde, bir gökada içinde karanlık maddeden çok daha farklı bir dağılıma sahip olabilmesi açısından ilginçtir. Karanlık madde yaygın bir küresel hale oluşturur, oysaki sıradan madde bir disk içine çöker, tıpkı Samanyolu düzleminin yıldızlarının bilinen diski gibi.

Sıradan maddenin elektromanyetik ışınlama ile etkileşmesi bu çöküşten sorumludur. Sıradan madde ile karanlık madde arasındaki önemli bir fark, sıradan maddenin ısıyabilmesidir. Soğumaya yol açan ışıma olmaksızın, sıradan madde karanlık madde kadar yaygın kalabilir. Aslında, onun enerji bütçesi ancak beşte bir ka-

dar büyük olduğundan, o daha az yoğun bile olabilirdi. Bununla birlikte, sıradan maddenin fotonlarla etkileşmeleri, onun enerji harcamasına ve soğumasına izin verir; böylece çok daha toplu bir bölgeye –yani bir diske– çökebilir. Foton yayımıyla enerji kaybı buharlaşmaya benzemektedir; orada suyun buharlaşması derinizden dışarı enerji taşır. Fakat madde harcanmasından farklı olarak, terleyip soğuduğunuzda genelde çökmezsiniz. Yine de, sıradan madde enerji harcayabildiğinden, gaz çöker ve daha küçük çökmüş bir bölgede yoğunlaşır; burada karanlık maddeden daha yüksek yoğunluğa çıkar.

Sıradan maddenin küçük bir top içine değil de bir disk içine yerleşmesinin nedeni maddenin net dönüşü olup, bu dönüş, oluşumların sırasında açısal momentum (dönme momentumu) kazanan gaz bulutlarından miras kalmıştır. Soğuma bir doğrultuda çökmeye direnci düşürür, fakat çökme içerilen gazın dönmesinin merkezkaç kuvvetiyle diğer iki doğrultuda önlenir ya da en azından azaltılır. Sürtünme ya da üzerine etkiyen bir başka kuvvet olmaksızın, bir dairesel ray etrafında harekete koyduğunuz bir bilye sonsuza dek dönmesini sürdürecektir. Benzer şekilde, madde döner dönmez, ona bir kuvvet momenti uygulanıncaya ya da enerjiyle birlikte açısal momentum harcayıncaya kadar açısal momentumunu koruyacaktır.

Açısal momentum korunduğundan, gazlı bölge yarıçapsal yönde (dönmeyle tanımlandığı gibi), dikey yöne göre, etkili biçimde çökmez. Madde dönme eksenine paralel doğrultuda çökebilse de, açısal momentum bir şekilde ortadan kaldırılmadıkça, yarıçapsal yönde çökmeyecektir. Gökyüzünde bir uçtan bir uca gerilmiş olduğunu gördüğümüz Samanyolunun bu oldukça yassı diskine yol açan, işte bu farklılık gösteren çökmedir. Çoğu spiral gökadalaların disklerine de neden olan budur.

GÜNEŞ VE GÜNEŞ SİSTEMİ

Gökadamızın net kütlesinde karanlık madde baskındır; fakat Samanyolu düzlemindeki fiziksel süreçlere, Samanyolunun diskinde yoğunlaşmış olan sıradan madde egemendir. Sıradan madde sadece yapıyı başlatmada sınırlı bir rol üstlenmiş olsa da, onun yüksek yoğunluğu ve de çekirdek ve elektromanyetik etkileşmele-

riyle, sıradan madde pek çok önemli süreç için –yıldız oluşumu dahil– can alıcıdır.

Yıldızlar, çekirdek kaynaşması (füzyon) yakıtıyla beslenen kütleçekimle bağlı sıcak, yoğun gaz toplarıdır. Gaz topları, bir gökadanın yoğun gazlı bölgelerinde yaratılmışlardır. Diskteki gaz gökadanın merkezi etrafında yörüngede dönerken, daha yoğun bölgeler olan bulutlara parçalanır ve onlar da daha fazla çöker. Bu haleler içinde çok yüksek yoğunluklara çöken gazdan yıldızlar oluşur.

Bu gaz toplarından biri olan Güneşimiz 4,56 milyar yıl önce, içinde kütleçekim, gaz basıncı, manyetik alanlar ve dönmenin rol oynadığı aktif bir sistem olarak başlamıştı. Neredeyse Güneş Sistemi kadar eski malzeme içeren göktaşları bulunmuştu ve birçok müzede bunların örnekleri vardır. Güneş, Samanyolunun orta düzlemine çok yakın bir yerde, 27.000 ışık-yılı kadar bir yarıçapta bulunmaktadır; yarıçapsal olarak en azından diğer yıldızların dörtte üçünden daha dışta.

Samanyolu diskindeki diğer yüz milyar yıldız gibi, Güneş gökadanın etrafında saniyede 220 kilometre kadarlık bir hızla dolaşır. Güneş bu hızla gökada merkezinin etrafını yaklaşık 240 milyon yılda kateder. Gökada düzlemi 10 milyar yıldan daha az yaşlı olduğundan, düzlemdeki yıldızlar bu süre içinde 50'den daha az devir yapmışlardır. Bu süre bir sistemin bazı geniş kapsamlı niteliklerini türdeş hale getirmek için yeterlidir, fakat gerçekte sistemlerin hepsi bu kadar çok tur atmış değildir.

Güneş Sistemi ve onun oluşumu, son birkaç on yılda bilgilerin serpiştiği birçok bilimsel konu arasındadır. Çoğu yıldızda olduğu gibi, Güneş ve Güneş Sistemi devasa boyutlu bir molekül gaz bulutundan ortaya çıkmıştı. Güneş doğmadan önce, o bölgede her şey hızla hareket etmiş ve sık sık çarpışmalar olmuştu. Yüz bin yıl kadar sonra, bu sistem, içinde henüz çekirdek kaynaşmalarının olmadığı bir *ilkel yıldız* ve bir *ilkel gezegensel* diske çökmüştü; işte bu en sonunda Güneş Sistemindeki gezegenlere ve diğer cisimlere dönüştürülecek olan şeydi. Yaklaşık 50 milyon yıl sonra, hidrojen kaynaşmaya başlamış ve bizim Güneşimiz oluşmuştu. Güneş, bulutsu sistemin kütlelerinin çoğunu çabucak yalayıp yutmuştu; yine de Güneş çevresinde bir diskte toplanmak üzere biraz malzeme kalmıştı geriye; bunlardan da gezegenler ile kuyruklu-

yıldızlar ve göktaşları gibi diğer Güneş Sistemi cisimleri ortaya çıkacaktı. Güneş tarafından üretilen enerji kütleli çekime direnir direnmez, Güneş Sistemi doğmuştu.

Beni ve meslektaşlarımı gerçekten şaşırtan, çoğu yıldızın oluşmasına izin vermek için gazın yeterince soğumasında moleküllerin ve ağır elementlerin oynadığı önemli roldü. Ağır elementler sadece çekirdek yanması/kaynaşması için önemli değildir. Onlar ayrıca saçılmayla yanmanın bile bir seçenek olduğu noktaya kadar maddenin soğumasına olanak tanımak için vazgeçilmezdir. Güneş-büyüküklü yıldız oluşumu aşırı derecede düşük sıcaklığı –onlarca kelvini– gerektirir. Fazla yüksek sıcaklıklı gaz çekirdek yanmasını ateşlemek için asla yeterli yoğunluğa ulaşamaz. Esas temel süreçlerle Evrenin doğası arasındaki bir başka şaşırtıcı bağlantı içinde, ağır elementler ve sıradan maddenin deneyimlediği molekülsoğuma olmaksızın, Güneşi yaratmış olan gaz hiçbir zaman yeterince soğuyamazdı.

Ancak önceki parçacık fiziği çalışmalarımın daha çok astronomik sistemlerin ayrıntılarına odaklanmış olan en son araştırmama başladıktan sonra, Evrendeki dinamik sistemlerin güzelliğini ve uyumunu içtenlikle takdir ettim. Gökadalar oluşmuştu, yıldızlar yaratılmıştı ve bu yıldızlar tarafından ağır elementler oluşturulmuştu ve onların fırlattığı gaz daha başka yıldız oluşumuna katkıda bulunuyordu. Bunun insanın zaman ölçeğinde görünebilmesine karşın, Evren ve onun içindeki her şey durgun olmaktan uzaktır. Sadece yıldızlar evrimleşmez, aynı zamanda gök-adalar da evrimleşir.

Bu kitabın bir sonraki kısmı Güneş Sistemi üzerine odaklanır ve küçük-gezegenleri, kuyrukluyıldızları, ayrıca yaşamın ortaya çıkışını ve ortadan kalkışını tartışır. Etkileşimlerin ve değişimlerin aynı örüntüsünün bizim hemen çevremizde de geçerli olduğunu göreceğiz.

II. Kısım

FAAL BİR GÜNEŞ SİSTEMİ

6

GÖKTAŞLARI, KAYAN YILDIZLAR VE METEORİTLER

Colorado'da Grand Junction kenti yakınındaki çölü ziyaret ettiğimizde, birinin bana ödünç olarak bir çift gece görüş gözlüğü vermiş olması beni sevindirmişti. Özel olarak tasarlanmış bu gözlükler ışığı o kadar çok artırıyordu ki normalde insan gözü için aşırı sönük olan pek çok şeyi görmek üzere yeterince aydınlatıyordu. Bu gece görüş gözlükleri öyle güçlüdürler ki yasalar şimdilik bunların Birleşik Devletlerin dışına ihraç edilmelerini yasaklamaktadır. Ordu onları düşman askerlerini aramak için ve dağlarda oturanlarsa gece hayvanlarını bulmak için kullanır.

Bu iki kullanım alanının dışında, gökyüzüne bakma olanağından yararlanmıştım, gökyüzünde yardımsız asla fark edemeyeceğim kadar sönük cisimleri bununla seçebilirdim. Yukarıda temiz, kuru göklerde farkına vardığım ziyadesiyle çarpıcı şey, atmosfere girip yanan küçük göktaşları olan "kayan yıldızların" sıklığıydı. Birkaç dakikalık zaman içinde, görüş alanımdan belki beş ya da on adedi hızlıca geçip gitmişti. Bir kayan yıldız sağanağı esnasında baktığım için şanslıydım; böylece ışık çizgileri normalde olduğundan çok daha sık geçmişti. Fakat kayan yıldız sağanakları oranı artırmasa bile, kum taneleri her zaman atmosferde yanıp yok olur.

Bu toz taneleri tarafından yaratılan kayan yıldızlar, ilginç olmaları dışında önemsizdirler. Uzaydan uçarak geçenken romantizm ve gizem saçan toz ya da çakıl taşlarından fışkıran harika ışıklar başımızın üzerinde sergilenir. Yıkım düşüncelerini tetiklemedikleri sürece, bu böyledir. Ne kadar küçük olursa olsun, yüksek-hızlı bir kaya tarafından çarpılmış olmayı kimse istemez. Ve büyük bir kayanın Yeryüzüne çarpmasını kesinlikle istemeyiz. Neyse ki, yeterince büyük cisimler zarar verecek şekilde Yeryüzüne çok seyrek olarak çarpar ya da yakına gelirlerse de, onu oluşturan

ran maddenin çoğu bize yakın hiçbir yerde endişeye neden olmaz. Her gün Yeryüzü atmosferine milyonlarca küçük göktaşı taşıyan 50 ton kadar dünya dışı malzeme girer. Hiçbirimiz bundan fark edilir hiçbir şekilde etkilenmeyiz.

Bu kitabın ilk kısmı karanlık madde ve bir bütün olarak Evren üzerine odaklanmıştı; Samanyoluna ve sonunda Güneş Sistemine de kısaca değinilmişti. Bu kısım Güneş Sistemine ve özellikle bir karanlık diskin varlığı halinde ilgili olabilecek cisimlere yoğunlaşır. Uzaydan Yeryüzüne ya da yakınımıza nelerin gelebileceğini de, astronomik özelliklerin gezegenimizdeki yaşam üzerinde zaten sahip olduğu bazı ana etkileyişlerle birlikte, araştırır. Bu bölüm gezegenleri, küçük-gezegenleri, kayan yıldızları, göktaşlarını ve meteoritleri –ve astronominin kullandığı kafa karıştırıcı ve sık sık değişen terimceyi– tartışır. Bir sonraki bölümse, dikkatleri, Yeryüzüne-bağlı yörüngelerin –kuyrukluysıldızların– ve hatta onların öncüllerinin ikamet ettiği Güneş Sisteminin daha öte erişimlerinin bir başka kaynağına çevirir.

BULANIK SINIRLAR

Ben ve çalışma arkadaşlarım belli başlı kuramsal parçacık fizikçileriyiz. Biz maddenin esas içerikleri olan temel parçacıkların özelliklerini çalışırız. Gökbilimcilerse, araştırmalarını uzaydaki en büyük cisimler üzerine odaklarlar. Onlar bu cisimlerin ne olduklarını ve bugün gördüğümüz hallerine evrilmeleri için daha temel maddelerden nasıl bir araya geldiklerini araştırırlar. Parçacık fizikçileri süslü terimleri yaratmayı öteden beri bilirler; ya da “kuarklar,” “Higgs bozonu” veya “aksiyonlar” gibi henüz keşfedilmemiş ve bazen tamamen kuramsal-cisimleri adlandıran birilerinin isimlerine zorla el koyarlar. Fakat bizim adlandırmamız, birçok astronomi ismine kıyasla daha açık sistemli olup, parçacık fizikçilerinin şakalarının hedefi haline gelir. Şu anda hizmetimizdeki bilime dayalı bir yorumdan değil de tarihsel bağlamlarından çıkmış olarak, astronominin adlandırma anlayışmaları ve ölçü birimleri genelde sır dolu ve karışıklık yaratacak kadar sezgi-dışıdır. Terimler genelde bilinenlerle ilgili olur; ya da bir şey keşfedildiğinde, isimlendirme –güncel anlayışımızdan ziyade– sadece tahmin yürütülerek yapılır.

Örneğin, Evrendeki ilk yıldızlara gönderme yapmanın iyi bir yolunun Öbek I olabileceğini düşünebilirdiniz. Fakat Öbek I zaten sonraki bir yıldızlar grubuna verilmişti ve Öbek II bir başkası için kullanılmıştı. Dolayısıyla çok kısa ömürlü en erken yıldızlar grubu varsayıldığında, o Öbek III olarak adlandırılmıştı. Benzer bir kafa karıştırıcı örnek *gezegenimsi bulutsu* terimidir; bu bir kırmızı dev yıldızın son aşaması olup gezegenlerle hiç ilgisi yoktur. Onun şaşırtıcı adı, astronom William Herschel'in on sekizinci yüzyılın sonlarında onu ilk gözlediğinde, teleskobunda gördüğü cismi yanlış tanımladığından ortaya çıkmıştı. Astrofizikçiler herhalde en fazla kafa karışıklığı yaratan terimlemeye sahiptirler, çünkü insanlar yüzyıllar boyu astronomik gözlemler yapmışlardı ve onların sonuçları, verilen terimler her ne olursa olsun, doğru açıklama yapan herhangi bir kuramdan önemli ölçüde daha önce alınmıştı. Daha tam resmin keşif zamanında kavranması çok seyrek olmuştu; genelde bu tam resim ancak daha sonra ortaya çıkarılmıştı. Daha iyi bir anlaşılma olmaksızın, isimler geçerli bir düzenleme ilkesinden kök salmaz.

Gezegenler, küçük-gezegenler ve göktaşları için kullanılmış olan terimlendirme sıra dışı değildir. Özgün sınıflamalar çok farklı türlerden pek fazla cismi kapsamına almaktadır. Ancak yeni cisimlerin keşfi özgün terimlerin uygun olmadığını ortaya koyduktan sonra, insanlar bunu anlayabilmişti. Yine de, özgün isimler genelde yaşamaktaysa da, zamanla tanımlar değiştirilmiştir. Genelde isim değişikliği konusunda dikkatli olurum, işte ya da politikada dikkati gerçek konulardan başka tarafa çevirmek için kullanılır bu. Bununla birlikte, astronomideki terimlendirmenin gelişimi, gerçek bilimsel ilerlemeyi yansıtır. Terimlerin akışının gösterdiği ilginç olay, zaman içinde Güneş Sistemini anlayışımızda meydana gelmiş olan çarpıcı ilerlemedir.

GEZEĞENLER

Gezegen terimi, ilk vücut bulmasında, böyle özgürce uygulanmış bir sözcüktü. Antik Yunanlar terimi "gezegen" olarak ilk kurduklarında, birçok gök cismi arasındaki ayrımlardan habersizdiler. Bilim insanları gökyüzünde özdeş-görünen ışık lekeleri arasındaki farkları tanımak için daha karmaşık ölçü aletlerine gerek duy-

muşlardı. Yunan astronomların gözleyebildikleri bir şey şuydu: Bazı cisimler hareket etmekteydi, böylece onlar bunlar için *asters planetai* ya da “gezen yıldızlar” dedikleri ayrı bir terim oluşturdular. Fakat ilk tanım sadece gezegenleri değil, fakat Güneş ve Ayı da kapsamaktaydı.

Daha başka keşifler terimlendirmede daha ileri geliştirmeleri davet etmişti. Başlangıçta çok kapsayıcı olsa da, zamanla *gezegen* terimi gitgide artarak kısıtlayıcı hale gelmişti. Onun anlamı, önce çıplak gözle görülebilen beş gezegene gönderme yapacak kadar inceltilmişti (yermerkezli modelde, Yeryüzü bir gezegen olarak nitelenmemişti) ve sonra bunlara teleskoplarla keşfedilmiş diğerleri eklenmişti.

Gezegenler –artık terimi anlamış olarak– Güneşin doğumundan sonra şöyle oluşmuştu: Toz tanecikleri gitgide artan büyük malzeme miktarları şeklinde toplanmış ve sonra bunlar çarpışarak belki de birkaç milyondan birkaç on milyon yıllık zaman süresinde –astronomik bakış açısından çok kısa bir süre– aşağı yukarı şimdiki durumuna büyümüşlerdi. Bir gezegenin bileşimi ve durumu, onun sıcaklığına bağlıdır; küçük-gezegenler ve kuyruklu yıldızlar üzerine de önemli bir etkidir bu. Doğal olarak, Güneşin yakınındaki gezegenlerin üzerine eklenen malzeme, daha uzakta-kiler üzerine toplanandan çok daha sıcaktır. Yüksek sıcaklık, su ve metanı, Güneşten Yeryüzünün şimdiki yerleşim mesafesinden dört kat uzağa kadar yayılmış bir bölge içinde gaz durumunda tutmuştu; böylece başlangıçta bu malzemenin sadece çok azı orada yoğunlaşmıştı. Üstelik, Güneş yüklü parçacıkları dışarı göndermiş, hidrojen ve helyum çok daha yerel yörelere süpürülmüştü. Böylece sadece bu sıcaklıklarda ergimeyen demir, nikel, alüminyum ve silikatlar gibi dayanıklı malzemeler içteki gezegenlere yoğunlaşabilmişlerdi.

Gerçekten de, içteki dört dünyasal gezegenin –Merkür, Venüs, Yeryüzü ve Mars– meydana geldiği malzeme budur. Bu elementler oldukça kıttır, böylece iç gezegenlerin büyümeleri için zamana gerek vardı. Çarpışmalar ve kaynaşmalar, onların şimdiki büyüklüklerine ulaşmaları için önemliydi. Her şeye karşın, onlar dıştaki gezegenlerin büyüklükleriyle karşılaştırıldıklarında küçüktürler (Şekil 9).



[ŞEKİL 9] İçteki dört kayalık gezegen ve dıştaki dört daha büyük gazlı gezegen göreceli büyüklükleriyle görülüyor. Küçük-gezegenler kuşağı ve Kuiper kuşağı da gösterilmiştir. Aşağıdaki efsane, gezegen isimlerini ve onların Güneş Sistemindeki göreceli konumlarını vermektedir.

Güneşten oldukça ötelerde, Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında, bir sınır yer alır, onun ötesinde su ve metan gibi uçucu bileşikler buz olarak donmuş dururlar. Bu dış bölgedeki gezegenler çok daha etkin şekilde büyürler, çünkü dünyasal gezegenleri oluşturan malzemeden aşırı derecede bol malzemeden yapılmışlardır. Bu hidrojeni içermekteydi; hidrojenler yeterince hızlı oluştuklarında, büyük miktarlarda birikir. Hep birlikte, bu dört gazlı dev gezegen –Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün– Güneş Sisteminin kütlelerinin (Güneşin kendisinin dışında) yüzde 99'unu kapsar; bunun çoğunu da, o malzemenin birikebildiği bölme çizgisine en yakın olan Jüpiter taşır.

Geçen yirmi yıl boyunca, dış Güneş Sistemimiz içinde daha fazla gezegenimsi cisim keşfedilmişti; diğer yıldızların etrafında dönmekte olan birçok başka cisimlerin de bulunmuş olduğundan söz etmiyorum bile. "Gezegen" artık basit bir sınıf değildir, grubun üyeleri olarak büyüklükçe Aydan daha küçükten neredeyse

bir yıldızın karakteristikleri olan çekirdek-kaynaşmasını üretecek kadar büyüğe değişebilirler. Gerçi daha şekilsel tanımlar isteyen böyle düzeltmeler daha önce birçok kez olmuştu. Ceres keşfedildikten sonra elli yıl boyunca bir gezegen olarak nitelendirilmişti, ama daha sonra bir küçük-gezegen olarak yeniden sınıflandırıldı; en son tartışma yeterince yakındır, çoğumuz meydana gelmiş olan çekişmeye dikkat etmişti.

Plüton'un bir gezegen olarak nitelendirilmesinin sürdürülüp sürdürülmemesi hususundaki haber hikâyelerini hatırlayabilirsiniz. Astronomlar konu hakkında gayri resmi olarak hâlâ tartışmaktalar ve bazen eski konumuna döndürülmesi için oylama bile yapmaktalar. Biraz keyfi şekilde hararetlenmiş olan ilk tartışma, oldukça yeni bazı bilimsel buluşlarla parlamıştı. Plüton ilk keşfedildiği zaman, insanlar 1920'den beri onun acayip olduğunu bildiklerinden, çekişme hiç de beklenmedik değildi. Onun yörüngesi diğer gezegenlerinkinden çok daha basıktı. Onun eğikliği –Güneş Sisteminin düzlemine göre açısı– çok daha büyüktü. Plüton Güneş Sistemindeki gaz ve buz devleri denen diğer uzak gezegenlere kıyasla çok da küçüktü. Gezegen krallığında garip bir nesne olduğu açıktı.

Fakat yakındaki yörüngelerde çeşitli benzer cisimlerin keşfedilmesinden yetmiş yıl önce, çılgın Plüton'un gerçekten de hiç özel olmadığı gösterilmişti; bu nedenle, her şeyden önce, gezegen-sel durumunda seçilmiş olmayı gerektirecek bir şey olmamalıydı. Plüton'un sınıflandırılmasını gözden geçirme tartışması, kısaca, birçok keyfi kural yarattığınızda onlardan birinin kullanılması gibi bir şeydir. "Sizi içeri alırsak, o zaman bir başkasını da almamız gerekir." Çok daha incelikli sınırlandırmalardan kaçınmak için tasarlanmış gevşek bir sav olabilir bu ve pek doyurucu ya da inandırıcı değildir. Fakat Plüton'la büyüklükçe ve yörüngesel konumla kıyaslanabilir cisimler bulunmuştu. Plüton bir gezegen olarak devam etseydi, 2005'te keşfedilmiş olan Eris denen benzer bir cisim de –ve büyük olasılıkla birkaçı daha– gezegen olurdu. Ölçümler Eris'in Plüton'dan yüzde 27 kadar daha ağır olduğunu gösterdiğinde, Eris özellikle tedirgin ediciydi. Böyle daha fazla keşfin tehditiyle, birileri (ya da bir örgüt) bir cismin gezegen statüsü kazanabilmesi için kütle kesiminin alt ucunun ne olması gerektiğine karar verebilmeliydi. Fakat Plüton'un rütbesini indir ve

problem böylece çözülmüş olsun. Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) Prague'daki Genel Kurul toplantısında buna karar verdi. Bu gibi durumlarda yapılan piyes metnini izlediler. Kayıt kurallarını değiştirdiler.

Böylece artık bir *gezegen* kendi kütleçekimi nedeniyle yuvarlak ve "çevresini küçük cisimlerden temizlemiş" bir cisim olarak sınıflandırılmaktadır; yoksa bu küçük cisimler onun yakınlarında Güneş etrafında yörünge çizerler. Bu demektir ki neredeyse bağımsız olarak dolanan çevredeki cisimlerin oluşturduğu kuşakların bir parçası olan Plüton ve Eris gibi cisimler artık gezegen olarak sınıflandırılmazlar. Diğer taraftan, Merkür ve Jüpiter gibi cisimler kabaca küreseldirler ve kendi yörüngelerinde tecrit edilmişlerdir. Birbirlerinden çok farklı olsalar da, ikisi de kendisini kanıtlamıştır.

Bu demektir ki çoğumuz dokuz Güneş Sistemi gezegenli bir dünyaya doğmuş olsak da, şimdi sadece sekizli bir dünyada yaşamaktayız. Bunu üzücü bulabilirsiniz, fakat herhalde 1984'te Birleşik Devletlerde koleje gidenlerin yaşadığı derecede değil; o yılın 17 Temmuzunda bir yasa değişikliğiyle yasal içki içme yaşı yükseltilince, içki içme hakkından mahrum kalmışlardı. Plüton da benzer şekilde 2006'da IAU'nun gezegen kayıt kurallarını değiştirmesiyle tenzili rütbeye uğratılmıştı.

İlginç olarak, Eris ve Plüton'un göreceli büyüklüklerinin ilk tahminlerinin yanlış olduğu anlaşılmıştı. Eris'in Plüton'dan büyük olduğu sanılmışsa da, hata payı o kadar büyüktü ki astronomlar bu iddianın doğrulanması için daha ayrıntılı görüşleri beklemeliydiler. Yeni Ufuklar (The New Horizons) uzay aracının Temmuz 2015'te Plüton'un yakınından uçuşuyla elde edilen harika görüntüler ve daha ayrıntılı bilgiler, Plüton'un boyutunun (kütlesi değilse) aslında daha büyük olduğunu göstermişti. Bu muğlaklık daha baştan giderilmiş olsaydı, Plüton hâlâ elitler sınıfında olabilirdi.

Bir teselli ödülü olarak, "gezegen" in yeniden-tanımlandığı aynı toplantıda IAU Plüton gibi küçük-gezegenlerle gezegenlerin arasına düşen cisimler için *cüce gezegen* terimini icat etmişti. Plüton bu yeni yaratılmış klübün ilk üyesi ve örneği haline gelmişti. Cüce gezegen özel ismi bir tartışma konusuydu ve hâlâ öyledir, çünkü –cüce yıldızlardan farklı, onlar aslında yıldızdırlar– cüce gezegen-

ler gerçekte gezegen değildirler. Kuşkusuz başlangıçta ayrım açık olmadığı için bu isim ortaya çıkmıştı. Önerilen “planetoid” ya da “alt gezegen” gibi diğer isimler daha bile komikti.

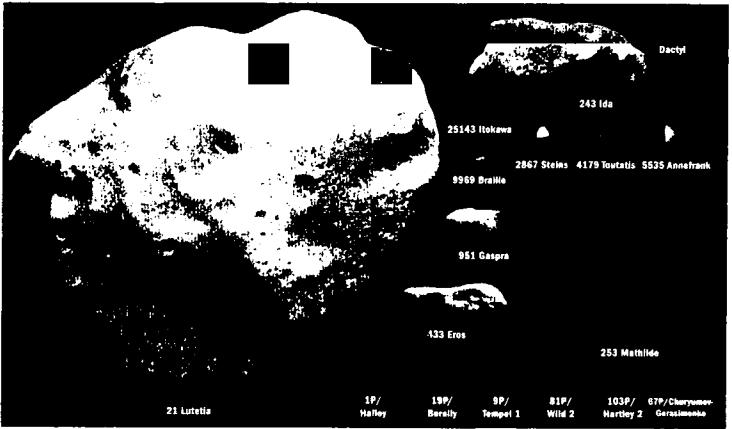
Gezegenler gibi, cüce gezegenler de Güneşin çevresinde dönmelidirler; ay gibi bir diğer gezegenin etrafında değil. Onlar küçük-gezegenlerden de farklıdır; sırf keyfi biçimli kayalar değildir. Tanım uyarınca, küçük-gezegenlerden daha büyük olan cüce gezegenler, kendi kütleçekimleri altında neredeyse küresel hale gelecek kadar kütleli olmalıdırlar. Fakat cüce gezegenler gerçek gezegenler gibi yalıtılmış olmayacaklardır. Birçok başka cisim yakınlarda dolanacaktır. Sadece bu yalıtım noksanlığı, yani çevresini temiz tutmama, onları gezegen statüsünden çıkarır. Bir astrofizikçi meslektaş, gezegenlerin –kıdemli öğretim üyesi gibi– yakın yörüngeleri temizlediği esprisini yapmıştı. Bu durumda cüce gezegenler daha çok doktora-sonrası arkadaşlar gibidir; bağımsız çalışırlar, fakat yine de lisansüstü öğrencilere yakın ofislere sahiptirler; onlar, küçük-gezegenler gibi, tam oluşmamışlardır.

Bugüne kadar, cüce gezegen oldukça sınırlı bir sınıftır. Sadece Plüton ve Ceres –küçük-gezegenler kuşağında en büyük cisim, fakat bilinen cüce gezegenlerin en küçüğü– onaylanmış cüce gezegenlerdir. Ceres ayrıca iç Güneş Sistemi içinde tektir. Daha dış cisimler olan Haumea, Makemake ve Eris de resmen tanınmıştır; çünkü yeterince büyüktürler, öyle ki neredeyse kesinlikle oldukça küreseldirler, yine de biçimleri güvenilir şekilde gözlenmelidir. Gizemli cisim Sedna gibi diğer adaylar da muhtemelen gereken özellikleri karşılar, fakat ancak daha iyi ölçümler tamamlandıktan sonra bunu bileceğiz. Yine de, birçok astronom daha fazla –belki de uzak Kuiper kuşağında kapsanan 100 ya da 200 kadar çok– cüce gezegen olduğunu düşünmektedir. Buna yakında geri döneceğiz. Kuiper kuşağı büyük olasılıkla yukarıda değinilen cisimlerin ortaya çıktığı yerdedir ve çok muhtemeldir ki benzer tipten çok daha fazla cismin kaynağı henüz keşfedilmeyi beklemektedir.

KÜÇÜK-GEZEĞENLER

“Gezegen” ve “cüce gezegen”in aksine, “küçük-gezegen” (asteroid) biraz belirsiz kalmakta ve halk diline kaçmaktadır, çünkü astronomi topluluğu onu resmen asla tanımlamamıştır. On dokuzun-

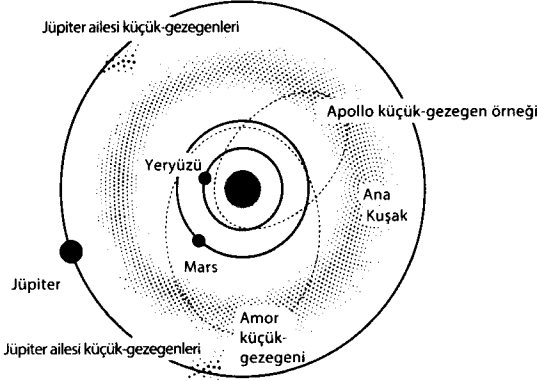
cu yüzyılın ortalarına kadar bile, “küçük-gezegen” ve “gezegen” sözcükleri birbirini yerine kullanılmış ve genelde eşanlamlı olarak alınmıştı. Bugün *küçük-gezegen* terimini kullandığımızda, genel olarak bir göktaşından daha büyük, fakat bir gezegenden daha küçük bir cismi kastetmekteyiz; bunlar, iç Güneş Sisteminde boyutları çaprazlama onlarca metreden neredeyse bin kilometreye varan cisimleri kapsamaktadır. Onları uygun biçimde adlandıran *New Yorker*’ın yazarı Jonathan Blitzer’ın betimlediği gibi, “Küçük-gezegenler Güneş Sisteminin en emektar kazazedeleridir: Güneş Sisteminin oluşumundan arta kalmış, Güneş çevresinde dolanan kayalık cisimlerdir. Gezegen olmak için aşırı küçük, göz ardı edilmeyecek kadar da büyük olan bu cisimler ilksel geçmişimiz hakkında pek çok şey açıklayabilirler.”



[ŞEKİL 10] Ağustos 2014’te uzay aracıyla ziyaret edilmiş olan küçük-gezegenlerin ve kuyruklu yıldızların görüntüleri. Boyutları 100 kilometreden bir kilometrenin kesirlerine kadar uzanır. (Bileşke görüntü Emily Lakdawella tarafından yaratılmıştı. Veriler, NASA / JPL / JHUAPL / UMD / JAWA / ESA / OSIRIS ekibi / Rusya Bilimler Akademisi / Çin Ulusal Uzay Ajansındadır. Emily Lakdawalla, Daniel Machacek, Ted Stryk, Gordan Ugarkovic tarafından işlenmiştir.)

Cüce gezegenlerden farklı olarak, küçük-gezegenler genelde düzensiz biçimlidirler. (Şekil 10.) Küçük-gezegenlerin gözlenmiş dönme hızlarının düşük üst limiti, bilim insanlarını onların çoğunun sıkı bağlı cisimler olmayıp sadece kalıntıların birikimleri

olduklarından kuşkulananmaya sevk etmiştir; çünkü dönme hızları daha yüksek olsaydı, bu enkaz dağılıp giderdi. Bu varsayım için destek, küçük-gezegenleri ziyaret etmiş olan uzay aracından ve birkaç küçük-gezegen ayının gözlemlerinden gelir; bunların her ikisi de düşük küçük-gezegen yoğunluğunu savunur.



[ŞEKİL 11] Mars ile Jüpiter arasındaki ana küçük-gezegenler kuşağı ve bunun yanı sıra Jüpiter ailesi küçük-gezegenleri, bir Apollo küçük-gezegen örneği ve bir Amor küçük-gezegeni.

Küçük-gezegenler az bulunur değildir. Onlardan büyük olasılıkla milyarlarca vardır. Ve bileşimleri itibarıyla çılgınca değişirler. Çoğu ya sıradan silikat kayalarından yapılmış daha çok Mars yöresinde bulunan S-tipinde taşlı küçük-gezegenlerdir ya da C-tipinde, karbonca zengin olup daha çok Jüpiter'e yakın yerlerde bulunurlar. Güneş Sisteminde yaşamın kökenlerini ele aldığımızda, ikinci tip özel olarak dikkati çeker; çünkü bildiğimiz gibi, karbon yaşam için kritiktir. Merak uyandırma bakımından, meteoritlerin laboratuvar çalışmaları göstermiştir ki bazı küçük-gezegenler ufak aminoasit miktarları da içerirler ve bu onları bu açıdan daha da ilginç kılar. Gelen bölümde bunun kuyrukluysıldızlar için de doğru olduğunu göreceğiz; yaşamın kökenleri ele alındığında, bu da bir diğer önemli konu olacak ve buna daha sonra geri geleceğim. Su da yaşamın bir ana bileşenidir ve kuyrukluysıldızlar genelde daha çok su içerse de, bazı küçük-gezegenlerde de su vardır. Başlıca demir ve nikelden oluşan metalsi küçük-ge-

zegeenler de vardır, fakat daha nadirdirler; onlar küçük-gezegeen öbeğinin sadece yüzde birkaçı kadardır, ama yine de en azından oldukça iyi incelenmiş, bir nikel-demir göbeğ ve bir bazaltik kabuğa sahip bir küçük-gezegeen bilmekteyiz.

Gezegeenlerden farklı olarak, küçük-gezegeenler nadiren yalnızdırlar. Güneş Sisteminde belirli bölgelerde, yakınlarında dolanan başkalarıyla birlikte dönmektedirler. Bunların çoğu, dünyasal kayalık gezegeenler bölgesinin dış ucunu daha dıştaki donmuş gaz cisimlerin iç ucuna kadar geren, yani Mars'tan Jüpiter'in yörüngesini içeren bölgeye kadar uzanan *küçük-gezegeenler kuşağına* yerleşmiştir. (Şekil 11.) Bu kuşak yaklaşık iki AU'dan (astronomik birim) dört AU'ya kadar uzanır; kabaca Güneşten 250 milyon kilometreden 600 milyon kilometre kadar uzağa. Ana kuşağın dışında, bir diğer küçük-gezegeenler sınıfı olan *Trojanlar*'ın (*Jüpiter ailesi küçük-gezegeenleri*) yörüngeleri daha büyük bir gezegeenin ya da Ayın yörüngesine bağlıdır; böylece onların kararlılığı uzun süre garanti edilmiş olur.

KÜÇÜK-GEZEĞENLERİN DAĞILIMI

Astronomlar erken Güneş Sisteminde gezegensel göç hareketlerini anlamaya başladıklarında, küçük-gezegeenler kuşağının oluşumu konusunda, 2000 yılından başlayarak pek çok ilerleme yapılmıştı. Artık biliyoruz ki gezegeenler oluşmaya başladıktan birkaç milyon yıl sonra, Güneş tarafından fırlatılan yüklü parçacıklar kalan gaz ve tozların çoğunu diskten yok etmişti. Daha sonra gezegeenlerin oluşumu sona ermiş, fakat Güneş Sisteminin oluşumu henüz sona ermemişti. Bu zamandan sonra gezegeenler, bazen çok kesikli şekilde, malzemeyi tamamen Güneş Sisteminin dışına saçarak ya da küçük cisimlerin etrafta gezinmesiyle harekete geçmişti. Son birkaç on yılın gezegeen bilimindeki önemli araştırma ilerlemelerinden biri, artık bildiğimiz gibi, Güneş Sisteminin oluşmasında bu gezegeen göçlerinin rolünün tanınması ve değerinin bilinmesidir. Gaz gezegeenleri en anlamlı bir tarzda hareket ederek küçük-gezegeenlerin ve kuyrukluyıldızların gelişmesini etkilemişlerdi. İçteki gezegeenler de içe doğru göç etmişlerdi, fakat bu hareket çok az olmuş ve dolayısıyla büyük olasılıkla çok az rol oynamışlardı. Öyle görünüyor ki dış gezegeenlerin dışa doğru çe-

şitli hareketleri ve Jüpiter'in içe doğru hareketiyle rahatsız edildiklerinde, çok sayıda küçük-gezegen iç Güneş Sistemine doğru yollanmıştı. Bu, Geç Ağır Bombardıman olarak bilinen bir olayın başlangıcı olup, dört milyar yıl kadar önce meydana gelmişti (Güneş Sisteminin oluşumundan 500 milyon yıl kadar sonra). Bu çarpmalardan Ay ve Merkür üzerinde bol çukurların açılması, bu olay için kanıt oluşturur.

Astronomlar, küçük-gezegenlerin, gezegenler oluşmadan önce mevcut olan ilksel-gezegen diskinin kalıntıları olduklarını düşünmektedir. Büyük olasılıkla küçük-gezegenler kuşağı başlangıçta çok fazla kütleye sahipti; bunun çoğu, Güneş Sisteminin ilk hareketli günlerinde kaybedilmişti. Jüpiter başlangıçta bu bölgede olan cisimlerin birçoğunu, onlar bir araya gelmeden önce, ötelere saçmıştı; herhalde bu o bölgede gezegenlerin olmayışını açıklamaktadır. Bu kadar çok malzeme kaybettiğinden –gerçi kuşak bir kilometreden daha büyük yüz binlerce cisme sahiptir– onun toplam kütlesi bugün Ayın sadece yirmi beşte bir kütlesi kadardır; tek cisim olan Ceres bu miktarın üçte birini içerir. Ceres'in kütlesi sonraki en büyük üç küçük-gezegenin kütlesiyle birleştiğinde, toplamın yarısı eder; geri kalanı milyonlarca küçük cisimce taşınır. Bir kilometreden daha geniş yüz binlerce ya da belki bir milyon küçük-gezegene ilaveten, kuşak daha bile fazla sayıda küçüklüğü içerir. Görmek zor olsa da, daha küçük boyutlarda sayılar hızla artar; başparmak kuralıyla on kez daha küçük cisimlerden kabaca 100 kez daha fazla cisim.

Küçük-gezegenler kuşağından küçük gezegencik adayı parçaların atılması sürecinde, Jüpiter ayrıca Dünyaya bazı su-taşıyan cisimler de atmış olabilir. Dünyanın suyunun kökeni kusurlu şekilde anlaşılmış olsa da, Jüpiter'in neden olduğu erken çarpmalar Dünyanın bol su kazanmasında bir rol oynamış olabilir; çünkü su başlangıçta Güneş Sisteminin daha soğuk dış kısımlarında daha kolaylıkla yeterli olarak birikebilirdi. İlginç olarak, erken bombardıman dönemi sona erdikten sonra, yaşam "hemen" (jeolojik ölçeklerde) –3,8 milyar yıl kadar önce– ortaya çıkmaya başlamıştı. İyiki onun işlemesi için, daha küçük olsa da, daha seyrek çarpmalar bugüne kadar sürmüştür; küçük-gezegenler ve kuyrukluysıldızlar erken dönemde gezegenimizi ciddi şekilde topa tutmuşlardı, ama artık bunu tehlikeli oranda yapmıyorlar.

Gezegenler gibi, keşfedilmiş olan ilk küçük-gezegenlere de çeşitli simgeler verilmişti. 1855 yılına kadar onlardan iki düzine vardı. Onların adlarının birçoğu mitolojik kökenliydi, fakat çok yeni keşiflere popüler kültür ikonlarını içeren "James Bond" ve "Cheshire Cat" gibi hayali adlar ve hatta kâşiflerin akrabalarının isimleri bile verilmişti. Tek tek küçük-gezegenlere verilen simgelere bakmak, bana hiyerogliflerin bir tablosuna bakmayı hatırlatıyor. (Şekil 12.) Çalışma arkadaşımın dediği gibi, onlar "öncele-ri Prens olarak bilinen artist"e verilen ismi andırıyor. Benzerlik özellikle uygundur, çünkü Prensın kendisi gibi, bu cisimler şimdi çok daha kolaylıkla telaffuz edilebilir isimlere sahiptir.

GEZEĞEN	SİMGELER		YIL
1 Ceres	☿ ♀	Ceres tırpanı, çift ters çevrilmiş C harfi	1801
2 Pallas	♀ ♀	Atena'nın (Pallas) mızrağı	1801
3 Juno	♂ ♀	Asaya monte edilmiş bir yıldız, Göklerin Kraliçesi Juno için	1804
4 Vesta	☿ ☿ ☿ ☿	Vesta'nın sunağı ve kutsal ateşi	1807
5 Astraea	♂ ☿	Terazi ya da ters çapa, adaletin simgeleri	1845
6 Hebe	☿	Hebe'nin kadehi	1847
7 Iris	☿	Gökkuşağı (iris) ve yıldız	1847
8 Flora	☿	Çiçek (flora) (özellikle İngiltere Gülü)	1847
9 Metis	☿	Akıl gözü ve yıldız	1848
10 Hygiea	☿ ☿	Hygiea'nın yılanı ve yıldız ya da Asclepius'un Bastonu	1849

[ŞEKİL 12] Bulunan ilk on küçük-gezegenin isimleri, simgeleri ve keşif tarihleri.

Erken zamanlardaki bilim insanları herhalde keşiflerine eski Mısırlılarınkinden çok farklı olmadan gizemli bir durumda yaklaşmışlardı. Bu demek değildir ki eskiler düzen bulmaya çalışmamışlardı. Fakat Evren karmaşık bir yerdir; içinde onun içerdiği cisimlerin doğasını başarılı şekilde sınıflamak için zaman, sunuş ve teknoloji esastır. Ancak sınırlı gözlemsel kapasiteyle bir cismin –boyutu, içeriği ya da konumu nedeniyle– soluk ya da parlak, büyük ya da küçük olduğunu söylemek zordur. Sadece zaman –ve daha iyi ölçüm araçları– doğru bilimsel anlayışa yol açabilir.

Özgün “gezegenler”in keşfedildikleri zamanlarda, hiç kimse küçük-gezegenleri bilmemekteydi. Küçük-gezegenler –gezegenler gibi– görünür ışık yayınlamazlar. Gezegenler, küçük-gezegenler ve göktaşları sadece Güneşten yansıttıkları ışıkla aydınlanırlar. Bununla birlikte, küçük-gezegenleri bulmak daha zordur; çünkü onlar iyice küçük ve dolayısıyla soluklardır ve zor görülürler. Kuyrukluysıldızlar sürüklenen parlak kuyruklara sahiptir ve kayan yıldızlar oldukça yakın ve parlaktırlar. Diğer taraftan, küçük-gezegenlerin kolayca görünen nitelikleri yoktur, dolayısıyla onları keşfetmek bir meydan okumaydı ve hâlâ öyledir.

Gerçekten de, insanların yukarıya bakıp küçük-gezegenlerin gök kubbeyi süslediğini fark etmesi birkaç bin yıl almıştı. Aşırı duyarlı araçlar olmaksızın, bu soluk cisimleri bulmanın tek yolu gözünü ayırmadan çok uzun süre bakmaktır; önceden nereye bakacağınızı bilmek de buna yardım ederdi. İlk girişimler bu ikinci yönteme dayanmıştı. Astronomlar aslında en iyi hedef konumlarını bilmiyorlardı, fakat araştırmalarında onlara yardım edebileceğini düşündükleri bir teşvik edici yasa kullanmışlardı. Kullandıkları Titius-Bode yasası bilinen gezegenlerin konumuyla tutarlı görünüyordu ve diğerlerinin konumunu öngörmüştü. 1781’de yasanın söylediği yerde Uranüs’ün keşfi büyük bir başarı olarak görülmüştü. Öyle olsa bile, “yasa”yı doğrulayacak gerçek bir kuram yoktu ve herhalde Neptün’ün konumu bu yasanın öngördüğünü doğrulamaz.

Önerilen konumların keyfiliğine karşın, gezegenleri araştırmak için (hatırlayın, o zaman daha henüz hiçbir küçük-gezegen bulunmamıştı) kullanılan yöntem –sadece on sekizinci yüzyıl teknolojisiyle bile– sağlamdı. Gözlemciler farklı gecelerdeki gökyüzü haritalarını karşılaştırmışlar ve konumları değişmiş olan cisimleri araştırmışlardı. Yakın gezegenler dikkat çekici şekilde hareket etmişler, oysa uzak yıldızların sabit oldukları görülmüştü. Bu yöntemi kullanarak (ve Titius-Bode yasasının rehberliğinde), Sicilya’daki Palermo Gözlemevinin kurucusu, müdürü ve ayrıca bir Katolik rahip olan Giuseppe Piazzi 1801’in ilk gününde, Mars ile Jüpiter arasında yörünge çizen bir cisim keşfetmişti ve bunun ardından matematikçi Carl Friedrich Gauss onun Yeryüzünden olan mesafesini hesaplamıştı.

Artık biliyoruz ki onların keşfetmiş oldukları cisim, Ceres, bir gezegen değildi, fakat bulunmuş olan ilk küçük-gezegendi. O, Mars

ile Jüpiter arasında konuşlanmış olan, şimdi küçük-gezegenler kuşağı olarak bildiğimiz, kuşak içinde bulunmaktadır. Bunu izleyen böylesi çeşitli keşiflerin ardından, astronom Sir William Herschel onlar için ayrı bir terim olarak, *asteroid (küçük-gezegen)* terimini önermişti. İsim, Yunanca *asteroeidés* sözcüğünden türetilmiş olup, yıldız biçimli anlamına gelmekteydi, çünkü onlar gezegenlerden daha noktasal görünmekteydi. Artık neredeyse küresel ve bin kilometre kadar çapında olduğunu bildiğimiz Ceres, diğer küçük-gezegenlerden daha bile özeldi; keşfedilmiş ilk cüce gezegen olduğu da anlaşılmıştı.

Teknoloji ve uzay programı bu cisimlerin birçoğunun daha iyi gözlenebileceği bir noktaya ilerleyinceye dek, küçük-gezegenler ancak en az düzeyde anlaşılmıştı. Bu alandaki araştırmacılar gelen dikkate değer ve sürekli gelişmeler olağanüstüdür. Küçük-gezegenlerin keşfedilmesi heyecan verici olabildiği gibi, onları gözlemek ve incelemek daha bile iyidir. Süregelen uzay programı bu amacı düşünerek çeşitli yeni görevler tasarlamıştı. Daha direkt olan bu incelemeler, yakın görüntüler önce küçük-gezegenlerin düzensiz biçimlerini açığa çıkardığında, 1970'lerde başlayan daha önceki, daha az ayrıntılı gözlemleri büyük ölçekte ilerletecektir.

Geçmişte küçük-gezegenlere yapılan ünlü uçuş görevleri, ilk küçük-gezegen sondası olan NEAR Shoemaker'ı içerir; 2001'de bu uçuşlarda, Yeryüzüne-yakın ilk küçük-gezegen olarak keşfedilmiş olan Eros'un fotoğrafları çekilmiş ve hatta üzerine bile inilmişti. Japonya'nın Hayabusa uçuşu 2010'da taşıdığı küçük-gezegen örnekleriyle geri dönmüştü. Japon bilim insanlarının yakın zamanlarda fırlatmış oldukları çok daha ihtiraslı Hayabusa 2, bir küçük-gezegene inecek ve oraya on yılın sonuna kadar daha fazla örnek toplamak için üç gezici makine salacaktır. NASA, OSIRIS-Rex'i fırlatma aşamasındadır; bu da karbon içeren bir küçük-gezegenden örnekler getirmeyle görevlidir.

Avrupa'nın Rosetta uzay aracı son haberlerde daha bile göze çarpar durumdadır; alçaktan uçmuş ve onun daha ünlü ve çok daha yeni kuyruklyıldız randevusu öncesinde, Lutetia ve Steins küçük-gezegenleri hakkında ayrıntılı bilgi toplamıştı. NASA'nın Dawn uzay aracı da bugünlerde haber olmaktadır. Şimdiden Vesta'yı ziyaret etmiş olup, şu anda cüce gezegen Ceres'e ulaşmıştır.

Şu sıralarda inceleme altında olan ihtiraslı küçük-gezegen madencilik işletmeciliği –mutlaka ekonomik kazanca en açık yol olmasa da– gelecekte herhalde pek çok küçük-gezegeni de beklemektedir. Böylece uzay araçları şimdilerde çalışılan küçük-gezegenlere doğru göz sapmasıyla tasarlanmaktadır; tıpkı NASA'nın geliştirdiği ihtiraslı Küçük-gezegenlere Yeni-yön-verme Görevi (Asteroid Redirect Mission – ARM) gibi. Güncel Amerikan uzay programının küçük-gezegenlere –gezegenlerin daha az büyüleyici, fakat daha çok girilebilir karşıtları– odaklanması, büyük olasılıkla bize Güneş Sistemimiz hakkında çok şey öğretecektir.

KAYAN YILDIZLAR, GÖKTAŞLARI VE METEORİTLER

Artık küçük gezegenlerden göktaşları denen daha küçük cisimlere dönelim. Göktaşlarının incelenmesi, “meteoroloji” terimiyle değil de, kötü-tınlayan “meteoritik” terimi vasıtasıyla bilinir; “meteoroloji” herhalde gökyüzündeki küçük taşı cisimlerin incelenmesi için çok daha duyarlı-tınlayan bir isim olmuş olurdu. Fakat Yunanca *meteoreon*’dan –“gökyüzünde yüksek” anlamında– ve *logos*’tan –“bilgi” anlamında– gelen bu terimi astronomi istemedi önce, hava incelemeleri onu zaten gasp etmişti. Bugünün terimlendirmesi için yazık olsa da, Antik Yunanlar hava incelemelerinin, meteoroloji –gökyüzündeki cisimlerin incelenmesi– için öneriye uyacağını düşünmüşlerdi.

Göktaşı’nın Uluslararası Astronomi Birliği tarafından ancak 1961’de yapılan ilk standart tanımı, gezegenler arası uzayda hareket eden, bir küçük-gezegenden oldukça küçük ve bir atomdan epeyce büyük bir katı cisim olarak verilmişti. Astronomik açıdan “meteoroloji”den daha anlamlı olmakla birlikte, pek de özel değildir. 1995’te, iki bilim insanı boyutu 100 mikrometre ile on metre arasına sınırlamayı önermişti. Fakat on metreden daha küçük olan küçük-gezegenler bulununca, Meteoritik Topluluğundaki bilimciler boyutu on mikrometre ile bir metre –en küçük olarak gözlenmiş küçük-gezegenin boyutu– arasındaki bölgeye değiştirmeyi önermişlerdi. Fakat bu değişiklik asla resmileşmedi. Ben genelde “göktaşı” terimini epeyce liberal olarak gökyüzündeki orta-büyüküklüklü cisimler için kullanacağım, fakat daha doğru olan *mikrogöktaşı* ya da *kozmetik toz* isimleriyle daha bile küçük cisimlere de gönderme yapacağım.

Küçük-gezegenler gibi, göktaşları da büyük olasılıkla Güneş Sisteminde çılgınca değişen kökenlerinin bir sonucu olarak, doğaları itibariyle dramatik şekilde fark edilirler. Bazıları buzun sadece dörtte bir yoğunluğuna sahip kartopu gibi cisimler, bazıları yoğun nikel ve demirce zengin kayalardır, bazılarıysa çok daha bol karbona sahiptirler.

“Kayan yıldız” terimi için halk kullanımı sık sık onu yaratan küçük-gezegen ya da mikro-küçük-gezegen içerse de, sözcüğün doğru kullanımı terimin “havada asılı” anlamındaki Yunanca köküne karşılık gelir ve sadece gökyüzünde gördüğümüz şeylere göndermede bulunur. Bir *kayan yıldız*, bir küçük-gezegen ya da mikro-küçük-gezegen Yeryüzünün atmosferine girdiğinde yaratılan görünür bir ışık çubuğudur. Bu tanıma karşın, çoğu insan – haberciler bile– Yeryüzüne düşen kayan yıldızlar hakkında yanlış şeyler söylerler; genellikle heyecanla konuşulan 1979 filmi *Kayan Yıldız*’ın (*Meteor*) adında yapıldığı gibi, oysa doğrusu filmin kendi eğlendirici anları vardır.

Hoş şekilde, “meteoroloji” gibi, “kayan yıldız” teriminin de havayla ilişkili –özgün olarak, dolu ya da tayfun gibi her atmosfer olayını kapsayan– erken yapılmış bir tanımı vardı. Rüzgârlara “havasal meteorlar” denmişti, yağmur, kar ve doluya “sulu meteorlar” adı verilmişti, gökkuşağı ve aurora gibi ışık olayları “ışıklı meteorlar”dı, nihayet şimşek ve şimdi kayan yıldız dediğimiz şeylere “ateşli meteorlar” denmişti. Bu terimler, herhangi bir şeyin ne kadar yüksek olduğunu ya da bu hava niteliklerinin dramatik olarak astronomik kökenli olmayıp farklı şeylerden kaynaklandığını hiç kimsenin bilmediği bir zamandan kalmadır. Bir terim olarak “meteoroloji” belki de tamamıyla yanlış değildir, çünkü hava gerçekten de Güneş Sistemimizdeki konumumuzla ilgilidir –fakat kuşkusuz başlangıçta inanılandan çok farklıdır. Ne iyi ki, “meteorologlar”ın daha önceki yanlış anlamalarına karşın, “kayan yıldız” terimi artık bu şekilde kullanılmıyor.

Kayan yıldızları kolayca görüyoruz, çünkü onları yaratan cisimler atmosfere girişte ısınır ve ışık olarak gördüğümüz akkor halinde malzeme salar; bu, göktaşının yüksek hızı nedeniyle bir kıvılcım şeklinde görünür. Pek çok kayan yıldız rastgele meydana geliyorsa da, Yeryüzümüz kuyruklu yıldız kalıntıları içinden geçerken ortaya çıkan kayan yıldız sağanakları daha düzenli olay-

lardır. Kuşkusuz kayan yıldızlar, Güneşin ışıkları onları belirsiz hale getirmeden, geceleri çok daha kolay gözlenirler. "Koskoca ormanda hangi ağacın düştüğü" türünden bir felsefi şüpheyse burada yer yoktur. Kayan yıldızların varlığı aslında gözlemcilere bağlı değildir. Işık ışınları ilke bakımından tam görünür olmalıdırlar.

Kayan yıldızların çoğu, toz ya da çakıltaşı-büyükülüğündeki cisimlerden ortaya çıkar. Onlardan milyonlarcası her gün atmosferimize girer. Pek çok küçük-gezegen 50 kilometre yüksekliğin üzerinde dağıldığından, kayan yıldızlar tipik olarak orta yuvar (mezosfer) denen deniz yüzeyinden yaklaşık 75 ile 100 kilometre arasında meydana gelir. Kesin sürat bir cismin belli özelliklerine ve hızının Yeryüzüne göre yönelimine bağlı olmakla birlikte, kayan yıldız yaratan cisimlerin hızları genelde saniyede onlarca kilometre basamağındadır. Bir kayan yıldızın yörüngesi, onu yaratan küçük-gezegenin nereden geldiğini saptamaya yardım eder, oysa bir kayan yıldızın yaydığı görünür ışığın spektrumu ve onun radyo sinyalleri üzerine olan etkisi küçük-gezegenin içeriğini saptamak üzere araştırmacılara yardımda bulunur.

Atmosferi boylu boyunca geçip Yeryüzüne çarpan küçük-gezegenler *meteoritlere* yol açabilir. Meteoritler, bir dış dünyasal cisim Yeryüzüne çarptıktan, parçalandıktan, eridikten ve kısmen buharlaştıktan sonra Yeryüzü yüzeyinde bıraktığı kayalardır. Meteoritler, Yeryüzünün aslında bir kozmik çevrenin parçası olduğunu da hatırlatır. Bir küçük-gezegen çarpmasının yakınında bir meteorit bulma konusunda şanslı olabilirsiniz fakat laboratuvarlarda, müzelerde ya da yeterince saplantılı, şanslı ya da zengin insanların evlerinde onları görmemiz çok daha muhtemeldir. Vatikan Gözlemevi Müzesi çok hoş bir koleksiyona sahiptir, en kapsamlısını içeren Smithsonian Enstitüsünün Amerikan Doğa Tarihi Müzesi de öyledir. Üç-yıldızlı bir general bana Savunma Bakanlığının güzel bir sınıflamaya da sahip olduğunu söylemişti. Onların koleksiyonu füze savunmasıyla ilişkilidir, fakat ne yazık ki küçük-gezegen çarpmaları konusundaki verileri gizli tutulmaktadır. Bilim insanlarının ulaşabildiği meteoritlerin incelenmesi, bize Güneş Sistemi ve onun kökenleri hakkında çok şey öğretmişti.

Meteoritler kuyruklu yıldızlardan da ortaya çıkabilir; dış Güneş Sisteminin bu cisimleri gelecek bölümde ön plana çıkacaktır. İç Güneş Sisteminde dolanan cisimler dış Güneş Sisteminde-

kilerden yeterince farklıdır. Sadece Jüpiter'in yörüngesi içindeki cisimler küçük-gezegenler ya da *ikincil gezegenler* olarak anılacaktır; ikincil –küçük-gezegenden farklı olarak– bir bakıma önemsenmez-gibi görünse de resmi terimdir. Kuyrukluysıldızlar ve küçük-gezegenler arasındaki ayırım, gün gibi açık görünebilir; en çarpıcı fark kuyrukluysıldızların seçkin kuyruklarıdır, fakat resmetme gerçekten daha inceliklidir. Kuyrukluysıldızlar genelde çok basık yörüngelere sahiptir, fakat bazı küçük-gezegenlerin de benzer basık yörüngeleri vardır; belki de onlar başlangıçta kuyrukluysıldızlardı. Üstelik, su-içeren küçük-gezegenler, mutlak şekilde dış Güneş Sisteminin kuyrukluysıldız-oluşturan öbeklerinden ayrı bir öbek değildir. Küçük-gezegenlerin bu değişik terkihi, ayrıca küçük-gezegenler olarak düşünülen öbekle kuyrukluysıldızlar olarak düşünülen öbeğin biraz örtüştüğünü gösterir.

Ayırım yeterince bulanıktır, 2006'da Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) küçük Güneş sistemi cismi terimini, ikisini de –fakat cüce gezegenleri değil– içine almak üzere icat etmişti. Cüce gezegenler küçük Güneş Sistemi cisimlerini de içerebilirdi, fakat onlar daha büyük ve daha küresel olduklarından –ki bu, onların katı cisimler olduklarını çok daha muhtemel kılan yeğin kütleçekimi gösterir– IAU onları sınıflamanın dışında tutmayı ve onları kendi ismiyle tasnif etmeyi seçmişti. Genelde, IAU “küçük Güneş Sistemi cismi” terimini “ikincil gezegen” terimine kesinlikle yeğlemektedir, çünkü küçük-gezegenler kuşağındaki cisimler bazen kuyrukluysıldız çekirdeklerinin niteliklerine sahip olabilir. Onların ikisini de içine alan bir tek terim –daha az bilgi verici olsa da– hataları önler. Böyle olsa bile, küçük-gezegenler genelde daha kayalıktır ve kuyrukluysıldızlar çoğunlukla daha uçucu maddeler içerirler; bu nedenle çoğu astronom bu ayırımda diretmektedir.

Bununla birlikte, bu kitabın geri kalanında Yeryüzüne çarpan büyük cisimlere gönderme yaptığımda, bu kötü terimce beni bir çıkmaz içinde bırakmaktadır. Gökyüzünde yanan küçük cisimler göktaşları ya da mikro göktaşlarıdır. Ya küçük-gezegenlerden ya da kuyrukluysıldızlardan kaynaklanan daha büyük cisimler, Yeryüzüne ya da onun atmosferine bile ulaşmayı ara sıra başarır. Ancak yörüngeyi gözlersek, onun hangisi olduğunu ve dolayısıyla onun kökenini biliriz. Herhangi birine gönderme yapabilen bir terime ihtiyacımız var. Hantal bir terim olan “küçük Güneş Sistemi

cismi" teknik olarak bu önermeye uyar, fakat gökyüzünden içeri uçuşan –özellikle Yeryüzünün yakınına gelen ya da ona çarpan– cisimler için çok seyrek kullanılır. Başlıkları kontrol edin, sık sık kullanılan "kayan yıldız," "küçük-gezegen" ya da hatta "meteorit" terimlerini bulacaksınız; oysa cisim bir metreden daha büyükse, teknik olarak bunların hepsi yanlıştır. Mademki yeterince özel, herkesçe bilinen halk ağzı terim yok gibi görünüyor ("ateş topu" terimi bazen kullanılsa da), atmosfere giren ya da Yeryüzüne çarpan dünya dışı bir cismi andığım zaman, bu kitap boyunca bu cisimlere –bunların en az aykırı olanlarına– "göktaşları" diyeceğim. Terim biliminin biraz kötüye kullanılmasıdır bu; şöyle ki bu terim genelde sadece daha küçük bir cisme göndermede bulunur. Fakat sözün gelişinde ne demek istediğim açık olmalıdır.

KUYRUKLUYILDIZLARIN KISA, GÖRKEMLİ YAŞAMLARI

İtalya'da Padua şehrine seyahat etme fırsatı geçerse elinize, Scrovegni Şapelini ziyaret etmeyi unutmayın. On dördüncü yüzyıl başlarından kalma iyi-korunmuş bu mücevher yapı, erken Rönesans sanatkârı Giotto tarafından yapılmış muhteşem bir fresk'e ev sahipliği yapar. Benim çok sevdiğim –ve orada tüm fizikçi meslektaşlarımdan üzerine titrediği– resim *Magi'nin Tapınması*'dır (Şekil 13). Bu resim, klasik doğum sahnesi üzerinden belirgin bir biçimde geçen bir kuyruklu yıldız göstermektedir. Belki de, sanat tarihçisi Roberta Olson'un ileri sürdüğü gibi, çok daha tanıdık bir düzenleme ögesi olan Davut Yıldızı yerine, tablo tamamlanmadan sadece birkaç yıl önce insanların yukarıda şahit oldukları parlak bir dramatik cisim olarak kuyruklu yıldız yerleştirilmişti. Mecazi niyetten bağımsız olarak, beşik üzerindeki ışık flaşı besbelli ki bir kuyruklu yıldızdır; büyük olasılıkla, dünyanın bu kısmında yaşayan herkesin gördüğü Halley kuyruklu yıldızı. Eylül ve Ekim 1301'de gökyüzünün önemli bir kısmı üzerinde uzanan devasa kuyruğu olağanüstü bir görünüşe sahip olmuştur; özellikle elektirik ışıklarından önce gelen bir çağda.

Yukarılara dikkatlice bakan ve bugün hayran kaldığımız aynı astrofiziksel mucizeleri takdir eden on dördüncü yüzyıl başlarındaki İtalyanları düşünmek istiyorum. Antik Yunan ve Çin uygarlıklarından çıkan kanıtlar gösteriyor ki, insanlar o zamandan en az iki bin yıl önce de kuyruklu yıldızları gözlüyor ve takdir ediyorlardı. Aristoteles bile kuyruklu yıldızların doğasını, onları üst atmosferdeki olaylar olarak yorumlayarak anlamaya çalışmıştı; oradaki kuru, sıcak malzeme yanmaya başlayabilir demişti.

Antik Yunanlardan bu yana çok yol aldık. Bilim insanlarının matematiğe ve daha iyisi gözlemlere dayanan daha yeni anlayışları bize şunu öğretti ki kuyruklu yıldızlar soğuktur, yanan bir

şey yoktur; onların içerdikleri uçucu malzeme, Güneşe yeterince yaklaştıklarında, kolayca gaz buharına ya da suya dönüşmektedir.

Artık Güneş Sistemi içinde oldukça yakınlardan gelen küçük-gezenlerin doğasını araştırmış olarak, kuyrukluyıldızlara geçelim; bunlar Kuiper kuşağı ve Güneş Sistemimizin dış bölgelerine uzanan Oort bulutunu örten saçılmış disk diye bilinen uzak bölgelerden ortaya çıkarlar. Kuyrukluyıldızlar diğer yıldız sistemlerinde de ortaya çıkar. Fakat biz burada en iyi bildiklerimize, bizim kendi bölgemizden ortaya çıkanlara odaklanacağız.



[ŞEKİL 13] Giotto'nun *Magi'nin Tapınması* tablosu, geleneksel beşik üzerinde bir kuyrukluyıldızla.

KUYRUKLUYILDIZLARIN DOĞASI

Artık kuyrukluyıldızların uzak bölgelerden ortaya çıktığını ve ancak çok seyrek olarak onları Yeryüzümüzün yakınlarına getiren yolları izlediklerini biliyor olsak da, on-altıncı yüzyılda Tycho Brahe'nin 'kuyrukluyıldızlar Yeryüzü atmosferinin dışında oturmaktadır' şeklindeki çıkarımı bilimsel kavrayışın önemli bir kilometre taşıydı. Tycho 1577'de Büyük Kuyrukluyıldızın ıraklık

açısını, farklı yerlerdeki gözlemcilerin bakışlarının ortalamasını alarak ölçmüştü; bu yolla kuyruklu yıldızların Aya olan uzaklığın en azından dört katı ötelede olduklarını saptamıştı. Bu kuşkusuz düşük bir tahmindir, fakat bu o zamanlar için ileriye doğru büyük bir atlamaydı.

Isaac Newton kuyruklu yıldızların yatık yörüngelerde hareket ettiklerini fark ettiğinde, bir başka önemli çıkarımda bulunmuştu. İki kat uzaktaki bir cisim için kütleçekimin şiddeti dört kere daha küçüktür diyen kendi kütleçekimsel ters kare yasasını kullanarak, gökyüzündeki bu cisimlerin eliptik, parabolik ya da hiperbolik yörüngeler izlemeleri gerektiğini göstermişti. Newton 1680'in Büyük Kuyruklu Yıldızın yolunu bir parbole uydurduğunda, o sadece harfi harfine noktaları birleştirmişti; insanların gördükleri ve farklı olduklarına inandıkları cisimlerin aslında bir tek yörünge üzerine düştüklerini, yani bir tek şeyin yolu olduğunu göstermişti. Kuyruklu yıldızın yörüngesi gerçekten de uzatılmış bir elips olmakla birlikte, yol şekilce yeterince bir parbole yakındı; yani Newton'ın bir tek hareketli cisim çıkarımı doğru kalmıştı.

Başlangıçta, keşfedilmiş olan ilk kuyruklu yıldızlar görüldükleri yıldan sonra adlandırılmışlardı. Yirminci yüzyılın başlarında, adlandırma anlaşması değişmiş ve onlar yörüngeyi öngören kişinin adaşı haline gelmişlerdi; Alman astronomu Johann Franz Encke ve Alman-Avusturyalı askeri subay ve amatör astronom Wilhelm von Biela gibi. İkisi de adlarını taşıyan kuyruklu yıldızlara sahiptir.

Yirminci yüzyıldan çok önce saptandığı halde, Halley Kuyruklu Yıldızına da, onun yeniden ne zaman ortaya çıkacağını öngörmek için yörüngesini yeterince iyi anlamış olan kişinin adı verilmişti. 1705'te Newton yasalarını kullanarak ve Jüpiter ile Satürn'ün tedirgemelerini hesaba katarak, Newton'ın arkadaşı ve basımcı Edmond Halley 1378, 1456, 1531, 1607 ve 1682'de zaten görünmüş olan bir kuyruklu yıldızın 1758-59'da yeniden görünebileceğini öngörmüştü. Bir kuyruklu yıldızın periyodik hareketini ileri süren ilk kişi Halley'di ve onun hakkını elde etmişti. Üç Fransız matematikçi daha bile kesin hesaplar yapmış ve 1759 tarihini bir aylık hatayla öngörmüştü. Yeryüzündeki birinin Halley kuyruklu yıldızına 2061'den önce tekrar şahit olamayacağını saptamak üzere bugün benzer hesaplamalar yapabiliriz.

Daha sonra yirminci yüzyılda, kuyruklu yıldızlara onları keşfeden insanların isimlerinin verilmesi anlaşması yeniden değiştirildi. Kuyruklu yıldız keşfi daha ileri gözlemsel araçlara dayalı bir ortak çaba haline gelince, kuyruklu yıldızlara onları bulan düzeneğin adı verilir olmuştur. Güncel liste 5000 kadar kuyruklu yıldız içermektedir, fakat onların toplam sayısının gerçekçi bir tahmini en az bin kez daha fazladır ve daha fazla bile olabilir; belki bir trilyon kadar çok.

Kuyruklu yıldızların doğasını ve bileşimini anlamak, maddenin durumları hakkında biraz bilgiyi gerektirir. Maddenin bilinen evreleri, katı, sıvı ve gazdır; bunlar su için buz, su ve buhar anlamına gelir. Her bir evrede atomlar farklı şekilde düzenlenir; katı buzda en örgütlü ve buhar halinde en rastgele. Bir evre geçişi, örneğin, sıvıyı gaza –bu, su kaynadığında olur– ya da katıyı sıvıya dönüştürdüğünde –bu ise buz küpleri eridiğinde olur–, malzeme aynı kalır, çünkü tüm aynı atomlar ve moleküller ortalıktadır. Fakat malzemenin doğası çok farklı hale gelmiştir. Maddenin aldığı yapı onun sıcaklığına ve bileşimine bağlıdır; bu, her özel madde için kaynama ve erime noktalarını belirler.

Yakınlarda birinin bir şişe suyu havaalanı güvenliğinden geçirmeyi denemek için farklı evrelerden yararlanmaya çalıştığını duyduğumda çok eğlenmişim. Suyu dondurmuş ve şişesindeki katı buzun sıvı-yaşasını ihlal etmediğini iddia etmişti. Ama ne yazık ki

Taşıma Güvenliği Yönetiminin memuru ikna olmamıştı. Fizik okumuş olsaydı, sadece standart sıcaklık ve basınç altında katı olan maddelerin izinli olduğunu etkili şekilde söyleyebilirdi. Bununla birlikte, eminim ki denen bu değildi. (Sıcaklık ve fiziğin ikisinin de rol oynadığına dikkat edin, çünkü erime ve kaynama noktaları farklı basınçlarda farklıdır; bunu deniz düzeyinden 2440 metre yükseklikteki Aspen, Colorado'da makarna pişirmeye çalışmış olan herkes bilir.)

Erime ve kaynama noktaları herhangi bir yapı için kritiktir, çünkü bu yapı malzemesinin alacağı evreyi bunlar saptar. Hidrojen ve helyum gibi bazı elementler aşırı derecede düşük kaynama ve erime noktalarına sahiptir. Örneğin, helyum mutlak sıfırın sadece dört derece üzerinde sıvı haline gelir. Gezegen bilimcileri, maddenin içinde bulunduğu gerçek evreden bağımsız olarak,

erime noktası 100 kelvin derecesi altında olan elementlere gaz derler. Düşük erime noktalı olan, fakat gaz olarak bu kadar düşük olmayan elementler –yine gezegen bilimcileri tarafından– buz olarak anılır; malzemenin gerçekte buz olup olmaması ayrıca gerçek sıcaklığa bağlıdır. Jüpiter ve Satürn’e gaz devler denmesinin nedeni budur, oysa Uranüs ve Neptün’e bazen buz devleri denir. Her iki halde, iç kısım aslında sıcak, yoğun bir sıvıdır.

Gazlar (gezegen bilimcilerin kullandığı anlamda) *uçucuların* bir altkütmesi olup, bir gezegende ya da atmosferde bulunabilen –azot, hidrojen, karbondioksit, amonyum, metan, sülfür-dioksit ve su gibi– düşük kaynama noktalarına sahip elementler ve bileşiklerdir. Düşük erime noktalı bir malzeme çok daha kolaylıkla bir gaza dönecektir. Soğuk sıvı azottan yapıma dondurma görmüş olabilirsiniz. (Bu, modern restoranlarda molekül sel yemek pişirme usulünün bir ana maddesidir; ayrıca, bir standart bilim fuarı gösterisi. Bununla birlikte o, Harvard Bilim Merkezi yiyecek kamyonlarının birinde piyasaya sürülmüş; sağlığım için iyi ki, genelde hoşlanmadığım dondurma çeşnileri yapmıştı.) Böyle herhangi bir örnek görmüşseniz, azot atomlarının oda sıcaklığında gaz olarak ne kadar kolay kaçtıklarına, böylece düzeneği de çok dramatik görünüşlü ve biraz da bir laboratuvar deneyinin karikatürü gibi yaptıklarına, dikkat etmişsinizdir.

Yerküremizin Ayında uçucular azdır, çünkü çoğunlukla silikatlardan (birazı hidrojen, azot ya da karbon tarzında) oluşmaktadır. Diğer taraftan, kuyruklu yıldızlar bol miktarda uçucular içerir; onların dramatik kuyruklarını bunlar meydana getirir. Kuyruklu yıldızlar Güneş Sisteminin dış bölgelerinde Jüpiter’in çok ötesinden ortaya çıkarlar, orada su ve metan soğuk ve donmuş kalır. Güneşten uzak olan bu çok soğuk bölgelerde buz gaza dönüşmez. Buz öylece kalır. Ancak kuyruklu yıldızlar Güneşin ısıttığı iç Güneş Sistemi içinden geçtiği zaman, kuyruklu yıldız içindeki uçucu malzemeler buharlaşır, öyle ki bunlar, biraz tozla birlikte, dışarı akarak çekirdeğin etrafında taç (coma) denen bir atmosfer yaratır. Taç, çekirdekten çok daha büyük olabilir –çaprazlamasına binlerce ya da milyonlarca kilometre, bazen Güneş boyutuna kadar bile büyür. Daha büyük toz parçacıkları taçta kalır, oysaki hafif olanlar Güneş ışıını ve yüklü parçacık salımıyla kuyruk içine itilir. Bir kuyruklu yıldız, taç, onun sardığı çekirdek ve uzaklara akan kuyruktan ibarettir.

Kuyruklu yıldızların arkalarında bıraktıkları katı kalıntılardan ortaya çıkan kayan yıldız sağanakları, kuyruklu yıldızların olağanüstü kanıtlarıdır. Bunlar, bir kuyruklu yıldızın Yeryüzünün yörüngesini kesmesinden sonra meydana gelir; öyle ki atılan malzemenin bir kısmı Yeryüzünün yolu boyunca yayılır. Sonra Yeryüzü düzenli bir biçimde kalıntı içinden geçerek o olağanüstü görünümü, periyodik kayan yıldız sağanaklarını yaratır. Swift-Tuttle kuyruklu yıldızının kalıntısı, ağustos başlarında meydana gelen Perseid kayan yıldız sağanakının kaynağıdır ve ben bir fizik merkezinin yaz çalışma toplantılarına ev sahipliği yaptığı Aspen'in temiz gökyüzünde bu sağanakla bilmeden karşılaşmışım.

Kuyruklu yıldızlar, tepemizde çıplak gözle şahit olabildiğimiz en harikulade cisimlerdir. Çoğu iyice sönüktür, fakat teleskopsuz görülebilen Halley gibileri belki de on yılda birkaç kez geçerler. Kuyruklu yıldızlar parlak iyon kuyrukları ve genelde farklı yönleri gösteren ayrı toz kuyruklarıyla Güneşin etrafında yörünge çizerler. Parlak biçimde ışıldayan bu toz ve gaz izleri onların adlarının kaynağı olup, "uzun saç taşıyan" olarak çevrilen Yunanca bir sözcükten gelir. Toz kuyruğu genelde kuyruklu yıldızların yolunu izlerken, iyon kuyruğu Güneşten öteye uzanmaktadır. Güneşin morötesi ışınımı taça çarptığında, oradaki atomların bazılarının elektronlar kopararak iyon kuyruğunu oluşturur. İyonlanmış parçacıklar *manyeto yuvar* olarak bilinen bir manyetik alan bölgesi yaratırlar.

Kuyruklu yıldızların bu görünümlerinde, *Güneş yeli* denen bir olay önemli bir rol oynar. Herkes, Yeryüzü üzerinde ısı ve ışık olarak hissettiğimiz fotonlara neden olan Güneş ışınımını bilir. Daha az bilinen yüklü parçacıklardır —elektronlar ve protonlar— onları da Güneş yayınlar ve onlar Güneş yelini oluşturur. 1950'lerde Alman bilim adamı Ludwig Biermann (ve bağımsız olarak bir başka Alman, Paul Ahnert) şu olağanüstü gözlemi yapmıştı: Bir kuyruklu yıldızın parlak iyon kuyruğu daima Güneşten öteye doğru uzanır; öyleyse demişti Biermann, Güneş kuyruklu yıldızın kuyruğunu "iten" ve böylece onun bu şekilde yönelmesini sağlayan parçacıklar salmaktadır. Mecazi anlamda, "Güneş yeli" iyon kuyruğunu oraya "üfler." Bu sürecin anlaşılması, bilim insanlarına hem kuyruklu yıldızlar hem de Güneş hakkında bilgi vermişti ve beni de gizemli ismin kökeni konusunda aydınlatmıştı.

Kuyruklu yıldızların kuyrukları on milyonlarca kilometreye kadar uzanır. Kuyruklu yıldız çekirdeklerinin boyutları kuşkusuz çok daha küçük, fakat tipik bir küçük-gezegenle kıyaslandığında yine de epeyce büyüktür. Çekirdekler kendi yapılarını yuvarlaklaştırmak için yeterli kütleçekime sahip değildir; bu nedenle boyutça birkaç yüz metreden onlarca kilometreye kadar değişen düzgün olmayan biçimlere sahiptirler. Büyük olanların mimlenmesi daha kolay olduğundan, bu gözlemsel bir eğilim olabilir; fakat daha küçük cisimleri bulmak için yeterince duyarlı düzenekler kullanan araştırmalar bugüne kadar eli boş dönmüşlerdir.

Görünürlük cinsinden, kuyruklu yıldızların taçlara ve kuyruklara sahip olmaları iyi bir şeydir. Kuyruklu yıldız çekirdekleri hiç yansıtıcı değildir; bu onları görmeyi aşırı derecede zorlaştırır, çünkü yanmayan cisimleri (siz ve ben gibi) incelemenin en genel yolu yansıyan ışık aracılığıylaadır. İyi bilinen bir örneğe değinmek gerekirse, Halley kuyruklu yıldızının çekirdeği ona çarpan ışığın sadece 1/25'ini yansıtır. Bu, çok karanlık olduğunu bildiğimiz asfaltın ya da mangal kömürünün yansıtıcılığıyla karşılaştırılabilir. Diğer kuyruklu yıldız çekirdekleri daha bile az yansıtırlar. Aslında kuyruklu yıldız yüzeyleri, Güneş Sisteminde en karanlık yüzeyler olarak görünmektedir.* Daha uçucu, daha hafif bileşikler Güneşin ısısıyla ortadan kaldırılırken, daha karanlık, daha büyük organik bileşikler kalır. Karanlık malzemeler ışığı soğurur, buzları ısıtarak gazları kuyruk haline gelmeleri için gönderir. Kömür ve kuyruklu yıldızlar arasındaki yansıtıcılığın benzerliği rastlantısal değildir; hatırlarsanız, katran da büyük organik moleküllerden, yani şu petroldekilerden oluşmuştur. Şimdi gökyüzünde milyarlarca kilometre uzaktaki asfaltı düşününüz. Onu aramaya harcanmış birçok çaba olmaksızın, böyle bir karanlık cisim gerçekten de bilinmezlik içinde kaybolabilirdi.

Kuyruklu yıldızlar dış Güneş Sistemi içinde bulunduklarında, en sönük optik ışınım yayımları nedeniyle, karanlık ve donmuş durumdadırlar. Kuyruklu yıldızları Güneşe yaklaşımadan önce gözlemenin tek yolu, yaydıkları kızılaltı ışık aracılığıylaadır. İç Güneş Sistemine gelinceye kadar, kuyruklu yıldızları daha kolay gö-

* Dikkat ederseniz, *karanlık* burada ışığı soğurma olağan anlamına sahiptir. Bu, "karanlık madde" değildir.

r n r yapan ta ve kuyruk oluşmaz. Daha sonra toz Güneş ışığını yansıtır ve iyonlar gazları ısıtır, o zaman onları ışığın etkisiyle daha kolay gözleyebiliriz. Böyle olsa bile, çoğu kuyruklu yıldıız ancak bir teleskopla g r lebiliridir.

Kuyruklu yıldıızların tam kimyasal oluşumu, cisimlerin kendilerini gözlemekten bile daha zordur. Yeryüzünde bulunmuş olan meteoritler, esas malzemesinin bir kısmını ev imlerimize nakleterek bize bazı ipuçları verirler. Bilim insanları ayrıca kuyruklu yıldıızların değişik renklerine dikkat etmişler ve onların spektrum çizgilerinin bazılarını g zlemişlerdi. Bu ve diğer kıt ipuçlarını kullanarak, bilim insanları çekirdeklerin su buzu, toz, çakıltası-gibi kayalardan ve karbondioksit, karbonmonoksit, metan ve amonyum dahil donmuş gazlardan ibaret olduğu sonucuna varmışlardı. Çekirdeklerin yüzeyleri kayalık olarak görünür, buz ise yüzeyin biraz altında gömülüdür.

Isaac Newton, kendi zamanındaki sınırlı astronomik gözlemlere karşın, onyedinci yüzyılda kuyruklu yıldıızların dikkate değer doğru bir yorumunu vermişti. Onların tıkız, dayanıklı katı cisimler olduklarını hatalı şekilde düşünmüştü, fakat kuyrukların Güneş tarafından ısıtılmış ince buhar akımları olduklarını anlamıştı. Kuyruklu yıldıızların bileşiminin anlaşılması açısından, 1755'te filozof Immanuel Kant daha bile iyi bir iş yapmış, kuyruklu yıldıızların uçucu malzemeden oluştuğundan ve bunların buharlaşarak kuyruğu yarattığından kuşkulanmıştı. 1950'lerde Harvard Astro-nomi Bölümünden Fred Whipple (ayrıca kendisi altı kuyruklu yıldıızın k şifidir) kuyruklu yıldıızlarda, toz ve kayanın sadece ikincil olmak üzere, buzun üstünlüğünü mükemmelen tanımış ve bu da duymuş olabileceğiniz "kirli kartopu" modeline neden olmuştu. Aslında bileşim tamamıyla yerine oturmuş değildir ve bazıları diğerlerinden daha kirlidir, fakat gözlemler hâlâ bilgimizi ilerletmektedir.

Bir kuyruklu yıldıızın daha da büyüleyici bir bileşimsel özelliği, metanol, hidrojen siyanür, formaldehit, etanol ve etan ile ayrıca yaşamın habercileri olan uzun-zincirli hidrokarbonlar ve aminoasitler gibi organik bileşikleri içermesidir. Yeryüzü  zerindeki meteoritlerin DNA ve RNA'nın bileşenlerini içerdikleri bile bulunmuştu; bunlar muhtemelen küçük-gezegenlerden ya da kuyruklu yıldıızlardan gelmişlerdi. Su ve aminoasit taşıyan ve düzenli bir

şekilde Yeryüzüne çarpan cisimler bizim için kesinlikle dikkate değerdir.

Kuyrukluysıldızların büyüleyici yapısı ve yaşamla olası ilişkisi, onları çok sayıda uzay uçuşu için açık bir hedef yapmıştı. Kuyrukluysıldızları inceleyen ilk uzay aracı toz parçacıklarını toplayıp çözümlmek için onların kuyruklarına ve çekirdeklerinin yüzeylerine uçmuş ve herhalde fotoğraflar çekmişti, fakat çok yakınlara sokulmaksızın ya da önemli ayrıntılar temin edecek çözünürlükte olmadan. 1985'te, Avrupa destekli NASA'nın yeniden yönlendirdiği bir uçuş olan Uluslararası Kuyrukluysıldız Araştırmacısı, bir kuyrukluysıldızın kuyruğuna yaklaşan, fakat ancak 3000 kilometre kadar sokulabilen ilk uzay aracıydı. Rusya'nın fırlattığı iki Vega uçuşundan oluşan Halley Armada, Japonya'nın Suisei uçuşu ve Avrupalı Giotto uzay aracı, kuyrukluysıldızın çekirdek ve kuyruğunu daha iyi incelemeye çalışmak için kısa süre sonra bunları izlemişti. Fakat Giotto robotik görev uçuşu –buna, daha önce değinilen *Magi'nin Tapınması*'nda kuyrukluysıldızı resmeden ressamın adı verilmişti– bunların tümünün çok ötesine geçmişti. Bu uzay aracı Halley Kuyrukluysıldızının çekirdeğine 600 kilometre kadar yaklaşmıştı.

Doğrudan doğruya kuyrukluysıldızları ve onların bileşimlerini araştırmaya çalışan çok daha yakındaki uçuşlar daha bile iyisini yapmıştı. Stardust [Yıldıztozu] uzay aracı 2004 yılının başlarında Wild 2 kuyrukluysıldızının tacından toz parçacıkları toplayıp çözümlemiş ve bu malzemeyi 2006'da incelemek üzere Yeryüzüne getirmişti. Kuyrukluysıldızın malzemesi, uzaktaki Oort bulutunda yapılaşmış bir cisimden beklendiği gibi, esas olarak yıldızlararası ortamın malzemesinden ibaret değildi; bunun yerine daha çok Güneş Sistemi içinde ısıtılmış maddeydi. Bilim insanları kuyrukluysıldızın demir mineralleri ve bakır sülfür içerdiğini göstermişti; bu da, kuyrukluysıldızın başlangıçta sıcak olması ve dolayısıyla Güneşe daha yakinken oluşması gerektiğini akla getiriyordu. Üstelik sonuçlar kuyrukluysıldızların ve küçük-gezegenlerin bileşimlerinin daima bilim insanlarının beklediği kadar farklı olmadığını göstermişti.

Deep Impact [Derin Darbe] sadece ihtiraslı (biraz da allak bulak) bir film değildir; o, 2005'te Tempel 1 kuyrukluysıldızına bir çarpma aygıtı gönderen bir uzay sondasının da adıdır. Bu uzay

aracı kuyrukluyıldızın iç kısmını incelemek ve çarpma kraterlerinin fotoğrafını çekmek için tasarlanmıştı; çarpmanın yarattığı toz bulutu bir bakıma görüntüleri örtmüştü de. Kristal malzemenin keşfi, –ki bunun oluşması için, kuyrukluyıldızların halen maruz kaldığından çok daha aşırı sıcaklıklar gerekir– şunu göstermişti; bu malzeme kuyrukluyıldıza ya iç Güneş Sisteminden girmişti ya da kuyrukluyıldız onu başlangıçta şimdiki konumundan uzak bir bölgede oluşturmuştu.

Kuyrukluyıldızların yakın zamanlardaki sondaları hâlâ çok heyecan vericidir. 2004'te Avrupa Uzay Ajansı, hatırı sayılı bir gelişme olarak, Rosetta adlı bir uzay aracını 67P/Churyumov-Gerasimenko kuyrukluyıldızının çevresinde dolanmak üzere fırlatmıştı; ardından onun yüzeyine Philae adlı bir sonda indirmişti. Amacı, çekirdeğin bileşimini ve iç bölgeleri yakından incelemektir. Kasım 2014'te öne çıkan büyük haberlerden biri, Philae'nin kuyrukluyıldıza indiği –fakat bunun planlandığı kadar yumuşak olmadığı– hoplayıp zıplamaların onu daha az kararlı bir konuma yolladığı şeklindeydi. Tam anlamıyla heyecanlı bir yarış olan bu olay, bilimsel hedeflerinin bir kısmını başarmıştı. Delme görevi başarısız kalmışsa da, Philae –yanlış yere indiği ve planlanan bağlantı mekanizmaları mevcut olmadığı halde bile– kuyrukluyıldızın biçimini ve atmosferini daha önceye göre çok daha ayrıntılı olarak incelemişti.

Rosetta şimdi kuyrukluyıldızın çevresinde dönüyor ve iç Güneş Sistemine girinceye kadar böyle dönmeye devam edecek. Tüm bu görev zaten şimdiden oldukça muhteşem bir başarıdır; belki de Wright kardeşlerin ilk uçaklarını uçurmasının ardından yüz yıl geçmeden yapılan bu fırlatmanın ışığında daha da etkileyicidir.

KISA VE UZUN PERİYOTLU KUYRUKLUYILDIZLAR

Ama tüm bu ilerlemeyle bile, kuyrukluyıldızlar hakkında girift sorular henüz ortadadır. Nelerden yapıldıklarının daha iyi saptanmış olmasına ilaveten, gökbilimciler kuyrukluyıldızların hem yörüngelerini hem de onların ne tarzda oluştuklarını anlamak hususunda derinleşmek isterler. Aslında Güneş çevresindeki seyahatlerini tamamlamak için geçen zamana göre *kısa periyotlu* ve

uzun periyotlu olarak ayırt edilen kuyruklu yıldız sınıfları için kanıtlar söz konusu olduğundan, mutlaka bir tek birleşik açıklama beklemiyoruz. Kısa ve uzun periyotlar arasındaki sınırlama 200 yıl olarak alınır, fakat periyotlar bir uçtan bir uca birkaç yıldan birkaç milyon yıla kadar değişir.

Kuyruklu yıldızlar Neptün'ün ötesinden çıkarlar ve bu Neptün-ötesi cisimler Güneşten farklı mesafelerde konuşlanmış ayrı yörüngesel kuşaklarda bulunurlar. Kısa periyotlu kuyruklu yıldızlara yol açan iç bölgelere *Kuiper kuşağı* ve *saçılmış disk* adı verilir; oysaki uzun-periyotlu kuyruklu yıldızları üreten, çok dış bölgelerde bulunduğu varsayılan *Oort bulutudur*; buna yakında (mecazi olarak) döneceğim. Astrofizikçilerin önerdiği fakat bizim burada odaklanmayacağımız ek bir bölge, saçılmış disk ile Oort bulutu arasında yer almaktadır ve oradakilere *bağılantısız cisimler* adı verilmiştir.

Büyük ölçüde, kuyruklu yıldızların doğduğu iç ve dış bölgelerin sınıflaması yörünge periyotlarıyla örtüşür. Çok sık gördüğümüz kuyruklu yıldızlar, Halley kuyruklu yıldızı gibi kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlar olup, bunlar kontrol edilebilir aralıklarda yinelenirler; insanlar nesiller boyu onları gözlemlemişti. Kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlar yakın bölgelerden gelir, uzun-periyotlu kuyruklu yıldızlarsa çoğunlukla bize daha ötelerden ulaşır. Arada sırada uzun-periyotlu kuyruklu yıldızları da görürüz, fakat ancak iç Güneş Sistemine girerlerse ve girdiklerinde; buna da uzak Oort bulutuna tedirgemeler yol açabilir. Güneşin kütleçekimi kuyruklu yıldızları oralara sadece zayıf olarak bağlar, öyle ki küçük tedirgemeler cisimleri yörüngelerinden çıkarıp içeri Güneşe doğru kaydırabilir. Halley kuyruklu yıldızı gibi kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlar bile, bir zamanlar çok uzaktaki uzun-periyotlu bir yörüngeden iç Güneş Sistemi içindeki bir kısa-periyotlu yörüngeye atılmış olabilirler.

Kısa-periyotlular iki alt-sınıfa ayrılır: 20 yıldan daha uzun periyotlu Halley ailesi kuyruklu yıldızlar ve daha kısa periyotlu Jüpiter ailesi kuyruklu yıldızlar. Muhtemelen kısa-periyotlu yörüngelerde bazı küçük-gezegenler ya da uyuyan/tükenmiş kuyruklu yıldızlar da vardır, fakat büyük olasılıkla aşırı az sayıda küçük-gezegen 20 yıldan daha büyük yörüngesel periyoda sahiptir. Daha uzun-periyotlu kuyruklu yıldızlar daha *dış-merkezlidir*;

yani kısa-periyotlulardan daha basık yörüngelere sahiptir. Kuyruklu yıldızların Güneşe yakinken bize görünür olması akla yatkındır. Kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlar, Güneşin komşuluğunda daha yakın çemberler çizerlerken, hem gözlenebilir hem de uzun periyoda sahip bir kuyruklu yıldız, Güneşe doğru sokulan fakat sonra uzun yol yaratmak için çok uzaklara uzanan bir yörüngeye sahiptir; böylece bu yol boyunca gitmek uzun bir zaman gerektirir. Uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların yörüngelerinin ayrıca gezegenlerin seyahat ettikleri ve üstelik aynı genel yönde döndükleri *tutulma düzlemine* daha yakın oldukları görülür.

İç Güneş Sistemine girdikten sonra bu cisimlerden herhangi birinin yazgısı, ilerideki olası tedirgemelere bağlıdır. Jüpiter'in kütlesi diğer tüm gezegenlerin toplam kütesinin iki katından daha fazla olduğundan, Jüpiter en büyük bilinen göreceli olarak yerel tedirgeyicidir. İç Güneş Sistemindeki yeni kuyruklu yıldızlar yeni bir yörüngeye girebilirler ya da sadece bir gezegenle çarpışarak Güneş Sisteminden atılmadan önce görünebilirler; Jüpiter'e çok önce değil 1994'te çarpan Shoemaker-Levy'nin pek iyi ve mükemmel bir şekilde yaptığı gibi.

KUIPER KUŞAĞI VE SAÇILMIŞ DİSK

Şimdi de, eğer tedirgenirse, iç Güneş Sistemine girmek için kuyruklu yıldızlara dönüşen buzsuz küçük Güneş Sistemi cisimlerini içeren bölgeleri ele alalım. İlk konumuz Kuiper kuşağı olacaktır (bkz. Şekil 14). Kendisi kısa-periyotlu kuyruklu yıldızların deposu olmasa da, öyle olan saçılmış diske önemli bir işaret direğidir.

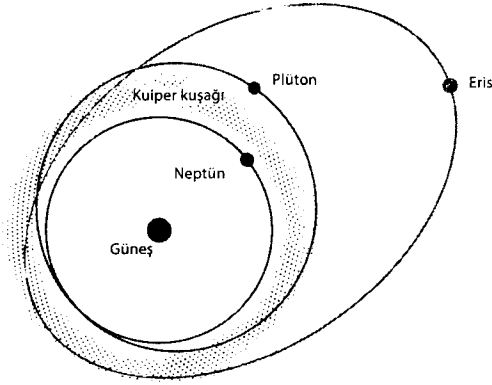
Benim açımdan, 1940'lar ve 1950'lerde öngörülmüş olan Kuiper kuşağının en ilginç yanlarından biri, onun keşfinin yeni olmasıdır. 1992'den daha geri olmamak üzere, gökbilimciler, çoğumuzun ilkokulda öğrendiği ve çok sağlam temele dayandığı düşünülen Güneş Sistemi anlayışımızın, Kuiper kuşağının keşfini ve yakında sunacağım diğer ilerlemeleri hesaba katarak düzeltilmesi gerektiğini saptamışlardı. Kuiper kuşağını şimdiye dek hiç duymamış olsanız bile, orada bulunan ya da oradan çıkan birkaç cismi tanıyor olabilirsiniz. Bunlar üç cüce gezegeni kapsar; önce-leri gezegen olarak bilinen Plüton onlar arasındadır. Şimdi Kuiper kuşağından uzakta konuşlanmış olsalar da, Neptün'ün ayı Triton

ve Satürn'ün ayı Phoebe'nin de, gezegensel transit geçişler onları uzaklaştırmadan önce, bu yörede varlıklarına başladıklarını gösteren boyutlara ve bileşimlere sahiptirler.

Bir AU, yani bir astronomik birim, Yeryüzü ile Güneş arasındaki yaklaşık mesafe olan 150 milyon kilometredir. Kuiper kuşağı Güneşten 30 kattan daha büyük uzaklıktaki -30 ile 55 AU arası bir bölgede bulunur. Büyük sayıda küçük-gezegen içerir, onların çoğu *klasik Kuiper kuşağı*nda konumlanmış olup, Güneşten yaklaşık 42 ile 48 AU arasında yer alır. Bu bölge düşey olarak tutulma düzleminden yaklaşık 10 derece dışarı uzanmaktadır; ortalama konum sadece iki derece eğime sahiptir. Onun kalınlığı, onu kuşak-biçiminden daha çok bir halka-biçimine sokar. Öyle olsa bile, onun hafif yanıltıcı adı yaşamaktadır.

Bu ad bir başka nedenle de pek adil değildir. Kuiper kuşağının doğası hakkında önceki spekülasyonların sayısı ve çeşitliliği, bu öneriyi kesinlikle hak etmesini belirsiz kılar. 1920'lerde onun keşfinden hemen sonra birçok gökbilimci Plüto'nun yalnız olmadığı konusunda kuşkuya kapılmıştı. Henüz 1930 yılında, bilim insanları ek Neptün-ötesi cisimler hakkında çeşitli varsayımlar ortaya atmışlardı, fakat herhalde en fazla krediyi gökbilimci Kenneth Edgeworth hak etmişti. 1943'te, erken Güneş Sisteminde Neptün'ün ötesindeki bölgede bulunan malzemenin gezegenler yaratmak için aşırı dağılmış olduğunu, bunun yerine o malzemenin bir küçük cisimler grubu haline gelebileceğini ileri sürmüştü. Spekülasyonu sürdüren Edgeworth, şans eseri bu cisimlerden birinin iç Güneş Sistemine girip bir kuyruklu yıldız haline gelebileceğini söylemişti.

Bilim insanları şimdi Edgeworth'unkine benzeyen bir senaryoyu yeğlemektedir, orada erken Güneş diski gezegenlerden daha küçük, *gezegenimsiler* olarak bilinen cisimlere yoğunmuştu. Kuiper kuşağına adı verilen Gerard Kuiper daha sonra -1951'de- varsayımını yapmış ve üstelik onu tam da doğru kavramamış, onu bugün yok olmuş olacak bir geçiş yapısı olarak düşünmüştü; çünkü Plüton'un gerçek büyüklüğünden daha da büyük olduğunu ve dolayısıyla diğer gezegenlerin yaptığı gibi yerel bölgeyi temizleyebileceğini düşünmüştü. Plüton Kuiper'in öngördüğünden epeyce daha küçük olduğundan, bu olay meydana gelmemiş, böylece Kuiper kuşağı, Plüton'un yörüngesi gibi aynı genel bölgede onun birçok cismiyle birlikte, gerçekte yaşamasını sürdürmüştü.



[ŞEKİL 14] Neptün'ün ötesinde yerleşik olan Kuiper kuşağı, en büyük cismi olarak Plüton'u içerir. Kuiper kuşağının hafifçe dışında yer alan saçılmış disk, daha bile kütleli olan Eris'i içine alır.

Edgeworth'a spekülasyonu için bazen Kuiper ile birlikte kredi verilmiş ve kuşağa Edgeworth-Kuiper kuşağı denilmiştir. Fakat neredeyse daima uzun isimlerde olduğu gibi –en azından Amerika'da– kısa biçimi daha yaygın olarak kullanılır. Gerçek Nobel Ödüllerinden sonra akla gelip konan “Alfred Nobel Anısına Ekonomi Bilimlerinde İsveç Riksbank Ödülü”ne bu tam ve hantal adı yerine genelde “Ekonomide Nobel Ödülü” dendiği gibi, Edgeworth'un katkısını uygun şekilde tanıyan astronomi teriminin uzun biçimini de çok seyrek duyarsınız.

Edgeworth'un ve Kuiper'in önerilerini izleyerek, bilim insanları kuyrukluysıldızların kendilerinin bize Kuiper kuşağının varlığı hakkında bilgi vereceklerinin farkına vardılar. Oort bulutu tarafından açıklanması gereken 1970'lerde keşfedilmiş aşırı sayıda kısa-periyotlu kuyrukluysıldız vardı (Oort bulutu, kuyrukluysıldızların çok daha uzak olan deposudur, buna yakında döneceğiz). Güneş çevresinde çok daha küresel olarak dağılmış olan Oort bulutu kuyrukluysıldızlarının tersine, kısa-periyotlu kuyrukluysıldızlar Güneş Sistemi düzleminin yakınında ortaya çıkmışlardı. Bu değerlendirmeye dayalı olarak, Uruguaylı gökbilimci Julio Fernandez, kuyrukluysıldızların şimdi orada Kuiper kuşağının olduğunu bildiğimiz bölgede yerleşmiş bir kuşakla açıklanabileceğini düşünmüştü.

Her zamanki gibi, tüm bu spekülasyonlara karşın, keşif, gerekli gözlemsel duyarlılığı gerektirir. Küçük, uzak ve ışık-saçmayan cisimleri bulmanın kolay olmaması nedeniyle, Kuiper kuşağında Plüton dışında ilk cisimler ancak 1992'de ve 1993 başlarında keşfedilmişti. Jane Luu ve David Jewitt araştırmalarına, Jewitt MIT'de bir profesör ve Luu bir öğrenciyken başlamışlardı; gözlemlerini Arizona'da Kitt Peak Ulusal Gözlemevinde ve Şili'de Cerro Tololo İnter-Amerikan Gözlemevinde yürütmüşlerdi. Jewitt Hawaii Üniversitesine geçtikten sonra çalışmalarını sürdürmüşler, orada üniversitenin şimdi uyuyan Mauna Kea yanardağının güzel manzaraya ve mükemmelen açık gökyüzüne sahip (Big Island'daysanız, ziyaret etmeye değer) doruğundaki 2,24 metrelik teleskobunu kullanabilmişlerdi. Beş yıllık araştırmadan sonra, birincisi 1992 yazında ve diğeri sonraki yılın başlarında olmak üzere, iki Kuiper kuşağı cismi keşfetmişlerdi. O zamandan beri, birçok böyle başka cisim keşfedildi; gerçi bunlar neredeyse kesinlikle var olanların ancak küçük bir kesrini temsil etmektedir. Hesaplamalar orada çapları 100 kilometreden daha büyük yüz bin kadar cismin olabileceğini ileri sürse de, şimdi kuşağın binden fazla sakini barındırdığını biliyoruz; bunlara Kuiper kuşağı cisimleri ya da kısaca KKC'ler diyoruz.

Şuna dikkat çekmeye değer; Plüton gezegen statüsünü kaybetmiş olduğu halde, hâlâ özeldir; Kuiper kuşağında diğeri her cisimden önce keşfedilmiş olması bunun nedenidir. Çevresindeki cisimlerin kütleleri hakkında bildiklerimize dayanarak diyebiliriz ki Plüton beklenebilecekten daha büyüktür. Bu tek cisim, Kuiper kuşağının toplam kütesinin yüzde birkaçını taşıyor gibi görünmektedir ve büyük olasılıkla oradaki bu tür en büyük cisimdir. Aslında, Kuiper kuşağının en düşük net kütesi onun kökenine ilginç bir ipucu olur. Tahminler Yeryüzü kütesinin kabaca yüzde 4'ünden yüzde 10'una kadar uzansa da, Güneş Sisteminin oluşum modelleri, Kuiper kuşağına Yeryüzü kütesinin 30 katından daha büyük bir kütle belirlemektedir. Onun kütesi daima bu kadar düşük olsaydı, çapları 100 kilometreden daha büyük hiçbir cisim kuşağa katılamazdı; bu Plüton'un varlığıyla çelişirdi. Bu bize büyük bir kesrin –öngörülen kütlenin yüzde 99'dan fazlası– orada olmadığını söyler. Ya KKC'ler başka yerde –Güneşin yakınlarında– oluşmuştu ya da bir şey kütlenin çoğunu dağıtmıştı.

Plüton'un yörüngesine benzer yörüngelere sahip başka birçok cisim, plütoncuklar adını alır ve onların bir hayli dış-merkezli yörüngeleri uzaklıklarının değiştiği anlamına gelse de, Güneşten 40 AU'dan birazcık daha küçük bir bölgede konuşlanmışlardır. Plütoncuklar *rezonans Kuiper-kuşağı cisimleri* olup, Neptün'e göre sabit bir orana sahip yörüngelerde dolanırlar. Öneğin, Neptün'ün Güneş çevresinde üç tur attığı sürede plütoncuklar iki tur atar. Sabit oran, cisimlerin Neptün'e aşırı yakın olmalarını engeller ve böylece onun şiddetli kütleçekim alanından kaçmış olurlar; yoksa Neptün onları bölgeden atabilir. Eğlence kabilinden söylüyorum ki, Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) plütoncukları da, Plüton gibi, yeraltı ilahlarının isimleriyle adlandırmak ister. Bugüne dek sınırlı incelemeler göz önünde tutulursa, en azından bin adet böylesi cisim biliyoruz, oysa bilim insanları daha fazlasının varlığı konusunda –tartışmış olduğum diğer sınıflarda olduğu gibi– kuşku duymaktadırlar.

Bununla birlikte, baskın Kuiper kuşağı öbeği plütoncuklardan ibaret olmayıp, klasik Kuiper kuşağında bulunan cisimlerden oluşmaktadır. İncelemeler birçok böyle cisim bulmuştu ve şimdi tam-zamanlı olarak Güneş Sisteminde görünür biçimde hareket eden her şeyi araştıran Pan-STARRS inceleme projesi büyük olasılıkla daha çoğunu bulacaktır. Klasik Kuiper kuşağındaki cisimler, –onları sabit bir mesafede tutan birtakım rezonans yörüngeleri olmadan bile– Neptün tarafından tedirgenmeyen kararlı yörüngelere sahiptirler. İkinci öbek daha dış-merkezli ve daha eğimli –yaklaşık 30 derecelik bir maksimuma kadar– yörüngelere sahip olup, tipik olarak çok daha azdırlar. Bu, Kuiper kuşağı içinde nispeten öbeklenmemiş bazı kararsız bölgeler bırakır; bu bölgelerde sadece oldukça yakın zamanlarda buralara ulaşmış cisimler bulunur.

Eskiden Kuiper kuşağında olan cisimler büyük olasılıkla gözlediğimiz birçok kuyrukluysıldızın öncülleridir ya da en azından onlarla ilişkilidir; böylece onların bileşiminin esasen kuyrukluysıldızların bileşimi olması sürpriz sayılmamalıdır. Onlar çoğunlukla metan, amonyak ve su gibi malzemelerin buzlarından yapılmıştır. Gaz yerine buzun olması, kuşağın konumundan ve bunun sonucu olarak yaklaşık 50 kelvin derecesindeki düşük –suyun donma noktasından 200 dereceden daha fazla düşük– sıcaklığından ötürü-

dür. Bilim insanları Plüton ve Kuiper kuşağı hakkında birçok bilgi toplayacak olan New Horizons [Yeni Ufuklar] uzay aracından gelen verileri çözümledikten sonra, daha epey fazla şey öğreneceğiz.

Şu var ki kuşaktaki yörüngeler karardır, dolayısıyla kuyruklu yıldızlar tam olarak oradan çıkmazlar. Kuiper kuşağının kalıcı sakinleri Güneşe doğru ilerlemeyeceklerdir. Bunun yerine, kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlar *saçılmış disk*ten ortaya çıkarlar; bu disk buzsu küçük-gezegenleri içeren nispeten boş bir bölge olup Kuiper kuşağıyla örtüşür, fakat Güneşten çok ötelere –100 AU ya da daha ötelere– uzanır. Saçılmış disk Neptün tarafından kararlılığı bozulabilen yörüngelere sahip cisimleri kapsar. Daha büyük dış-merkezlilik, yerleşimlerin aralığı ve eğimlerin derecesi –yaklaşık 30 dereceye kadar– saçılmış disk öbeğini Kuiper kuşağı cisimlerinin öbeğinden ayırt eder; kararsızlıklarında olduğu gibi. Saçılmış disk cisimleri orta dereceden yükseğe kadar dış merkeziğe sahiptir, yani dairesel olmayıp boylu boyunca uzanırlar. Onların dış-merkezliliği o kadar yüksektir ki maksimum aralığı Neptün’den uzak olan cisimler bile yörüngeleri Neptün’ün kütleçekim alanına konu olduğu esnada yeterince yakına gelirler. Neptün’ün etkisinin bazen saçılmış disk cisimlerini iç Güneş sistemine yollayabilmesinin nedeni budur; orada gaz ve toz salmak üzere ısınırlar ve dolayısıyla kuyruklu yıldızlar olarak tanınabilir hale gelirler.

Boyutça Plüton’la kıyaslanabilen bilinen bir ikincil gezegen olan Eris, saçılmış disk içinde Kuiper kuşağının dışında yer alır ve orada ilk tanımlanmış küçük-gezegendir. Onu bulmak için, Mauna Kea’daki gökbilimciler, daha iyi bilgisayar işlemeyle birlikte, sayısal kameralarda kullanılmış teknolojinin bir ileri biçimi olan yük-kuplajlı araçlar kullanmışlardı. Bu, daha uzak cisimleri gözlemeyi mümkün kılmış ve Eris’in oldukça yakın 1996 keşfine katkıda bulunmuştu. Gökbilimciler birkaç yıl sonra üç adet daha saçılmış disk cismi bulmuşlardı. Şiirsel olmayan biçimde (48639) 1995 TL₈ olarak adlandırılmış diğer biri daha önce 1995’te keşfedilmişti, fakat saçılmış disk içinde bir cisim olarak ancak daha sonra sınıflandırılmıştı. Ondan sonra daha yüzlercesi keşfedildi. Onların toplam sayısı herhalde Kuiper kuşağı cisimlerinin sayısı ile kıyaslanabilir; fakat daha ötelerde oldukları için bunların gözlenmeleri daha uğraştırıcı olacaktır.

Kuiper kuşağı cisimleri ve saçılmış disk cisimleri benzer bileşikler içerir. Diğer Neptün-ötesi cisimler gibi, saçılmış disk içindeki cisimler düşük yoğunluğa sahiptirler ve esasen su ve metan gibi donmuş uçuculardan oluşmuşlardır. Pek çok kişi Kuiper kuşağı cisimlerinin ve saçılmış disk cisimlerinin aynı bölgeden başladıklarını düşünür, fakat kütleçekimsel etkileşmeler –öncelikle Neptün’le– bazılarını Kuiper kuşağında kararlı yörüngelere ve diğerlerini içeriye doğru Jüpiter ve Neptün’ün yörüngeleri arasında bulunan Sentorlar (Centaurs) denen cisimleri içeren bir bölge içerisine göndermişti. Kalan cisimleri de kütleçekimsel etkileşmeler saçılmış diskin kararsız yörüngelerine yollamıştı.

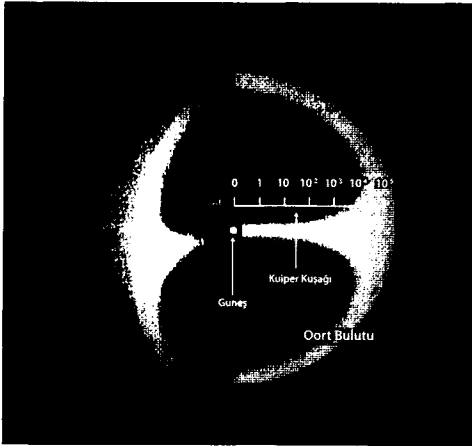
Dış gezegenlerin kütleçekimsel etkisi neredeyse kesin olarak Kuiper kuşağının ve saçılmış diskin yapısının çoğundan sorumludur. Öyle görünüyor ki belli bir yerde Jüpiter içeriye, Güneş Sisteminin merkezine doğru sürüklenmişti, oysaki Satürn, Uranüs ve Neptün dışa doğru hareket etmişti. Jüpiter ve Satürn yörüngelerini dengede tutmak için birbirlerini kullanmışlardı; Jüpiter, Güneşi Satürn’ün tam olarak iki kat hızıyla dolandır. Fakat bu gezegenler Uranüs ve Neptün’ü onları farklı yörüngelere koyarak dengelemişlerdi; Neptün daha dış-merkezli hale gelmiş ve daha dışta dolandır olmuştu. Son varış yerine gidiş yolunda, Neptün büyük olasılıkla birçok gezegenimsileri daha dış-merkezli yörüngeler içine ve birçoklarınıysa daha iç yörüngelere saçmış, orada bunlar tekrar saçılmış ya da Jüpiter’in etkisiyle dışarı atılmıştı. Bu, Kuiper kuşağının yüzde birden daha azını dokunulmamış bırakmış, çoğunluksa uzaklara saçılmıştı.

Bir rakip öneri şudur: Kuiper kuşağı önce oluşmuş ve saçılmış cisimler Kuiper kuşağından gelmişti. Bu öneride –birçok bakımdan yukarıdaki öneriye benzer– Neptün ve diğer dış gezegenler bazı cisimleri dış-merkezli ve eğimli yörüngelere saçmıştı; ya iç Güneş bölgesine doğru ya da Güneş Sisteminin daha dıştaki erimlerine doğru. Kuiper kuşağının dışa doğru saçılan cisimlerin bazıları daha sonra saçılmış disk cisimleri haline gelmişlerdi. Diğerleri Sentorlar haline gelmiş olabilirler. Bu, kararsız yörüngelere sahip olan ve kendi bölgelerinde sadece birkaç milyon yıl kalabilen Sentorların nasıl olup da bugüne kadar var olabildikleri gizemini çözebilir; Kuiper kuşağı onları yeniden tazelemiş olabilir. Kuyrukluysıldızlar da sadece sonlu (fakat görkemli) ömür süreleri-

ne sahiptir. Güneşin ısısı uçucu yüzeylerini gaz durumuna geçirerek onları yavaş yavaş yıpratır. Yeni cisimlerin bir sürekli kaynağı olmaksızın, kuyruklu yıldızlar daha fazla ortalıkta kalamazlar.

OORT BULUTU

Saçılmış disk kısa-periyotlu kuyruklu yıldızların deposudur. Küresel simetrik olarak dağılmış, belki de bir trilyon ikincil gezegen içeren buzlu gezegenimsilerin devasa bir “bulutu” olan Oort bulutu, uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların varsayılan kaynağıdır. (Şekil 15.) Oort bulutu adını Hollandalı gökbilimci Jan Hendrik Oort’tan almıştır. O birçok övgüye değer önemli başarıya sahiptir; en azından iki fizik terimi onun adını taşımaktadır. Oort’un en dikkate değer başarılarından biri, 1932’de gökadamdaki madde miktarının, karanlık madde dahil, gözlemsel olarak nasıl ölçüleceğinin oluşturulmasını içerir.



[ŞEKİL 15] Güneş Sisteminin belki de 1000 AU’dan 50.000 AU’ya uzanan uzak bölgesindeki Oort bulutu, gezegenlerin ve Kuiper kuşağı bölgesinin dışında yer alır.

Oort, artık Oort bulutu denen oluşum hakkındaki dayanaksız görüşten de sorumludur. 1930’larda, Estonyalı gökbilimci Ernst Julius Opik böyle bir bulutun varlığını ilk kez uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların kaynaklandığı yer olarak ileri sürmüştü. 1950’de,

Oort çok uzak cisimlerin böyle bir küresel bulutu hakkında tahminler yürütmek için hem kuramsal hem de deneysel nedenlere sahipti. Önce, her yönden gelen uzun-periyotlu kuyrukluysıldızların aşırı derecede büyük yörüngelere sahip olduklarını gözlemişti; bu, Kuiper kuşağından çok çok ötelede bir kaynağı işaret ediyordu. Oort şunu da fark etmişti; kuyrukluysıldızlar daima şimdiki yörüngelerinde olsalardı, o yörüngelerde bugün gözlenecek kadar uzun yaşayamazlardı. Kuyrukluysıldız yörüngeleri kararsızdır, dolayısıyla gezegensel tedirgemeler onların eninde sonunda Güneşle veya bir gezegenle çarpışmalarına neden olur ya da onları Güneş Sisteminden tamamen dışarı atar. Üstelik, kuyrukluysıldızlar çok fazla kez Güneşin yakınından geçe geçe "sıfırı tüketir"; gazını boşaltma, cisimler yok olmadan sonsuza dek süremez. Oort'un varsayımı şuydu; şu anda Oort bulutu dediğimiz şey, taze kuyrukluysıldızlar temin eder, böylece daha yenileri bugün hâlâ gözlenebilirler.

Oort bulutunun tahmin edilen uzaklığı muazzamdır. Yeryüzünün Güneşten uzaklığı 1 AU'dur ve en uzak gezegen olan Neptün'ünki 30 AU. Gökbilimciler, Oort bulutunun belki de Güneşin 1000 AU kadar yakınından 50.000 AU kadar ötelere uzandığını düşünmekteler; şu ana kadar ele aldığımız her şeyden önemli ölçüde daha uzakta. Oort bulutu Güneşten en yakın yıldız olan uzaklığın iyi bir kesrine ulaşır. Proxima Centuri –yaklaşık 270.000 AU (ya da 4,2 ışık-yılı)– ötededir. Işık Oort bulutundan bize neredeyse bir yılda gelir.

Güneş Sisteminin uzak ucundaki cisimlerin zayıf kütleçekimsel bağlanma enerjisi, onların neden gözlediğimiz kuyrukluysıldızları doğurabilen küçük kütleçekimsel tedirgemelere hassas olabildiğini açıklar. Dürtmeler, onları yörüngelerinden iç Güneş Sistemi içine atabilir ve böylece uzun-periyotlu kuyrukluysıldızlar üretilmiş olur. Bir gezegen onların içe doğru olan yörüngelerini daha da saptırdığında, bu zayıf bağlı cisimlerin tedirgemeleri kısa-periyotlu kuyrukluysıldızlara da yol açabilir. Böylece Oort bulutu muhtemelen –yakınlarda gözlenmiş olan Hale-Bopp kuyrukluysıldızı gibi– tüm uzun-periyotlu kuyrukluysıldızlardan sorumlu olduğu gibi, belki Halley'in de aralarında olduğu bazı kısa-periyotlulardan da sorumludur. Dahası, pek çok Jüpiter-ailesi kısa-periyotlu kuyrukluysıldızı belki de saçılmış diskten geliyordur, on-

lardan bazıları karbon ve azotun izotop oranlarını içerir; bunlar, oradaki bir kaynağı da gösterecek şekilde, Oort bulutundan gelen uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların izotop oranlarına benzemektedir. Son -ve daha bile rahatsız edici- bir olasılık şudur; Oort bulutundan tedirgenmiş cisimler iç Güneş Sistemine girebilir ve bir kuyruklu yıldız darbesi yaratmak üzere bir gezegenle -muhtemelen Yeryüzüyle- çarpışabilir. Bu ilgi çekici olasılığa daha sonra geri döneceğim.

Uzun-periyotlu kuyruklu yıldızlar, Oort bulutunun sakinlerinin doğası için ipuçları verir. Diğer kuyruklu yıldızlarda olduğu gibi, onlar da su, metan, etan ve karbonmonoksit içerirler. Fakat Oort bulutunun bazı elemanları kayalıktır; bileşimce çok daha küçük gezegenlere benzerler. Kuyruklu yıldızların deposu, "bulut" olarak adlandırılrsa da, simit biçiminde bir iç bölge ile çok daha ötelere uzanan kuyruklu yıldız aıt çekirdeklerin küresel bir dış bulutu bölgesi şeklinde bir yapıya sahipmiş gibi görünmektedir. Simit-biçimli bölgeye bazen J. G. Hills'i dikkate alarak Hills bulutu denir, çünkü bu ayrı iç bölgeyi 1981'de Hills önermişti.

Muazzam büyüklüğüne karşın, dış Oort bulutunun toplam kütlesi Yeryüzünün kütlesinin sadece beş katı olabilir. Bununla birlikte, o büyük olasılıkla 200 kilometreden daha büyük genişlikte milyarlarca ve bir kilometreden büyük trilyonlarca düşük-yoğunluklu cisim içerir. Modeller, 20.000 AU'ya kadar uzanan iç bölgenin bu sayının birçok katını içerebildiğini gösterir. Bu iç bulut, çok daha zayıf bağlı dış Oort bulutundan kaybolmuş cisimlerin yerine gelenlerin kaynağı olabilir; bunlar olmaksızın bulut yaşayamazdı.

Oort bulutu bu denli uzak olduğundan, onun oluştuğu yerdeki buzlu cisimlerini görme yeteneğine sahip değiliz. Güneş Sistemi-nin uzak bölgelerinden gelen böylesine az ışığı yansıtan küçük uzak cisimleri gözlemek çok zordur. Oort bulutunun muazzam mesafelerindeki -Güneşten Kuiper kuşağının bin katı ötelерindeki- cisimler için gözlemler şu an için olanaksızdır. Dolayısıyla hiç kimse onun yapısını ya da içerdiği cisimleri gözlemediğinden, Oort bulutu hâlâ varsayıma dayanmaktadır. Yine de, Oort bulutu, Güneş Sisteminin oldukça iyi-belirlenmiş bir ögesi-maktadır. Gökyüzünde tüm yönlerden gelen uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların yörüngeleri, onun varlığını ve kuyruk-

rın kaynağının bu çok uzak bölgede olduğunu inandırıcı biçimde ileri sürer.

Oort bulutu muhtemelen ilk gezegensel diskten ortaya çıkmış, sonuçta Güneş Sistemindeki yapının çoğuna yol açmıştı. Kuyruklu yıldız çarpışmaları, gökadasal gelgitler ve diğer yıldızlarla etkileşmeler –özellikle bu etkileşmelerin büyük olasılıkla daha sık olduğu bir geçmişte– bunların tümü Oort bulutunun oluşumuna katkı yapmış olabilir. Dinamik erken Güneş Sistemi içinde Güneşe daha yakın oluşmuş olan cisimler, Oort bulutunu yaratmak üzere dev gaz gezegenlerin etkisi altında dışa doğru hareket etmiş olabilirlerdi ya da saçılmış disk içinde kararsız cisimlerden öbek ortaya çıkmış olabilirdi.

Kesinlikle tüm soruları henüz bilmiyoruz. Fakat yeni gözlemlerin ve kuramsal çalışmaların ışığında, Güneş Sisteminin dış ucu hakkında pek çok şey öğreniyoruz. Büyük olasılıkla onun büyüleyici ve dinamik bir yer olduğu konusunda sürprizle karşılaşmayacağız.

GÜNEŞ SİSTEMİNİN KIYISI

NASA, 1977’de, Voyager I uzay sondasını Satürn ve Jüpiter’i incelemek üzere dört-yıllık bir görev için fırlatmıştı. Onlarca yıl içinde –sebat ve sağlamlığın inanılmaz gösterisi içinde– Voyager Yeryüzünden 125 AU’dan daha uzağa gitmişti (yayınlanan bir ışık sinyalinin bir günün yarısından fazlasında bize ulaşabileceği bir mesafe) ve hâlâ iyi durumdaydı. Voyager uzay aracı ve onun ölçümleri düpedüz daha önce hiçbir uçuş görevinin giremediği uzay bölgelerine girmişti. Şurası gerçek ki işleyen bir kameraya sahip olmayan sekiz-banlı teyp üzerine dayanan veri toplama sistemi yol boyunca düzeltilmeye çalışılmalıydı ve onun donanımı bugün bir akıllı telefondan milyon kere daha az bir belleğe sahipti. Fakat uzay aracı hâlâ işlevseldir ve şu anda Yeryüzü ve Güneş’ten en uzakta bulunan insan-yapımı cisimdir. Voyager I –eskimesine karşın– NASA 25 Ağustos 2012’de uzay aracının yıldızlararası uzaya girdiğini duyurduğunda 2013 haberlerinde sıcak gündem maddesi haline gelmişti. Voyager I’in Güneş Sisteminin kıyısına ulaştığı şeklinde yeni hikâyeler söylendiğinde, tartışma iyice hareketlenmişti; kuşkusuz bilim âleminde, fakat ayrıca halk arasında da.

Twitter’da, sohbet özellikle ısrarcı ve çok matraktı. Güneş Sisteminden çıkmakta olan Voyager üzerine yazılan ve insanların Voyager’ın ayrılmak üzere olduğunu söylemeyi durdurmasını isteyen coşkulu tweetlerden gına gelmişti. Bir an durdum, fakat çok geçmeden anladım ki millet yinelenmeye itiraz etmiyordu, aslında beyanın geçerliliğini sorguluyordu: Güneş Sisteminin kıyısıyla tam olarak ne demek istiyoruz?

Şimdi mecazi olarak Oort bulutuna –Güneş Sisteminin kıyısı için akla yakın bir aday– seyahat ettik demektir, fakat ne Voyager ne de herhangi başka bir uzay aracı bu çok uzak bölgeye yaklaşabilmişti. Mademki karanlık madde-göktaşı ilişkisi Oort bulutuna ve onun komşuluğuna dayanmaktadır, öyleyse kısa bir an için Voyager’ın sahneden çekildiğinin söylenmesi tam olarak ne

anlama gelmektedir sorusuna dönelim. Güneş Sisteminin sınırı nerededir ve onun sınırını tanımlamak neden bu kadar zordur?

VOYAGER İÇERDE Mİ, DIŞARDA MI?

Güneş Sistemi görünür Evrenin boyutunun küçük bir kesrini örter, fakat yine de aşırı derecede büyüktür. Güneş Sistemi, en akla yatkın ölçülerle, Oort bulutunu kapsar ki bu en azından Yeryüzü-Güneş mesafesinin (1 AU) 50.000 katına uzanır ve büyük olasılıkla bir ışık-yılı uzaklıktan iki kez daha fazladır. Bunun ne kadarlık bir mesafe olduğu hakkında bir fikir edinmek için, bir uzay gemisinin bugünün teknolojisiyle bu dış bölgelere ne kadar sürede ulaşabileceğini ele alalım. Bir uzay gemisi yaklaşık olarak Yeryüzünün Güneş çevresindeki hızıyla hareket eder, bu demektir ki uzay aracı bir yılda Yeryüzü yörüngesinin çevresine eşit bir mesafe kateder. Bu tahmine göre, Güneş Sistemimizin ötesinde en yakın yıldızın uzaklığının beşte biri olan 50.000 AU'ya yaklaşık sekiz ya da dokuz bin yılda ulaşır. Fakat Güneş Sisteminin büyüklüğü tam olarak kaç AU'dur?

Egemen olan iki tanım farklı sonuçlara yol açar ve sadece ikincisi betimlenme şekline göre belirsiz sonuçlar verir. Birinci tanımda, Güneş Sistemi, Güneşin kütleçekimsel potansiyelinin Güneş-dışı kütleçekim etkilerine egemen olduğu bölgenin uzantısıdır. Bu şekilde Güneşin kütleçekimine gönderme yapan tanımlama halinde, Voyager hâlâ Güneş Sistemi içindedir. Gerçekten de, mademki Oort bulutu Güneş Sisteminin bir parçası olarak ele alınmaktadır; öyleyse henüz Oort bulutuna bile girmemiş –ve şimdiki tahminlere göre en azından bir 300 yıl daha girmeyecek ve belki bir 30.000 yıl boyunca ondan çıkmayacak –olan Voyager'ın artık bizim yıldızımızın komşuluğunda olmadığını kabul etmek zordur.

Bununla birlikte, Güneşin kütleçekiminin nerede sonlandığı açık olmadığından, bu ilk tanımın hatları belirsizdir. Böylece yıldızlararası uzaya girmeye karşılık gelen ikinci bir tanım vardır; yıldızlararası uzaya giriş, Güneş yeliyle ilişkili manyetik alanın sonlandığı yerle nitelendirilir; bu, yaklaşık 15 milyar kilometre ya da 100 AU uzaktadır. Söz konusu mesafe o kadar uzaktır ki oradan yayınlanan radyo sinyalleri bize yaklaşık bir günde ulaşır. Fakat burası, Oort bulutundan epeyce daha yakındır.

Bir önceki bölümde sunulmuş olan Güneş yeli, Güneş tarafından yayınlanan yüklü parçacıklardan –elektronlar ve protonlardan– oluşmaktadır. Bu parçacıklar, saniyede 400 kilometrelik bir hızla yıldızlararası uzaya doğru akan bir manyetik alan iletirler. Yıldızlararası uzay, tanım olarak, yıldızlar arasındaki bölgedir, fakat boş değildir. Soğuk hidrojen gazı, toz, iyonlanmış toz ve patlamış yıldızlardan ve Güneşten başka yıldızların yıldız yelinden bazı başka malzemeler içerir. En sonunda Güneş yeli ve yıldızlararası ortam uç uca gelir. Bu bölge *heliosfer* denen bir kovuk yaratır ve iki bölge arasındaki sınır *durağan heliosfer* (heliopause) adını alır. Güneş Sistemi hareket halinde olduğundan, sınır, küresel olmayıp daha çok gözyaşı damlası şeklindedir.

Bazı bilim insanları heliosferi Güneş Sistemi ile yıldızlararası uzay arasındaki sınır olarak düşünür. Buna göre Voyager'ın heliosferin ucuna ulaştığının ve dış uzaya girdiğinin sinyali, onun heliosferin içinden geçerken yüklü parçacıkların azalması ve dışarı çıktığında bunların artmasıyla karşılaşmasıdır. Yüksek-enerjili yüklü parçacıkların Güneş Sisteminin dışındaki uzak süpernovalardan gelen kozmik ışınlar olarak ortaya çıkmaları nedeniyle, farklı enerjilere sahip olduklarından, bu parçacıklar ayırt edilebilir. Ağustos 2012'de, Voyager verileri böyle parçacıklarda keskin bir artma göstermişti. Düşük enerjili parçacık saptamasında da belirgin bir düşüş vardı. Güneşten kaynaklanan parçacıklar ve yıldızlararası ortamdan (YAO) gelen yüksek enerjili parçacıklardan dolayı, bu iki sınıf ölçüm birlikte araştırma aracının heliosferi terk ettiği hususunda güçlü bir göstergeydi.

Bununla birlikte, durağan heliosferi tanımlayan özgün ölçüt, heliosferin dışındaki manyetik alanla uyumlu olmak için manyetik alanın şiddeti ve yönünde bir değişimin gerekliliğini de içermektedir. Bu tanım zaman üzerinden sabit bile olmayıp, Güneşin "hava durumu"na –verilen bir anda Güneş yelinin ne yaptığına– bağlıdır. Ölçülmüş olan yüklü parçacık plazmasının özellikleri Güneş Sisteminin terk edildiğiyle tutarlı olmakla birlikte, onların manyetik alan üzerine dayanan daha sınırlayıcı ölçütü sağlamadıkları anlaşılmıştı. Manyetik alanda hiçbir değişme görülmemiştir.

Böylece plazma ortamındaki değişme 25 Ağustos 2012'de meydana gelmiş olsa da, Mart 2013'e kadar Voyager I'in yıldızlararası uzaya girip girmediği sorusu bir tartışma konusu olarak kalmıştı. Bununla birlikte, 12 Eylül 2013'te NASA onun yıldızlararası uzaya

girdiğini duyurmuştu. Bilim insanları en sonunda manyetik alandaki değişimin aslında gerekmediğine karar vermişti. Daha az sınırlayıcı bir ölçütle flört etmeye karar vermişlerdi; bu ölçüt, bir zamanlar durağan heliosferin dışında beklenen, elektron yoğunluğunda neredeyse 100 çarpanıyla bir artmaydı.

Böylece ilk tanım uyarınca –Güneşin kütleli çekimiyle tanımlanmış– Voyager hâlâ Güneş Sistemi içindedir ve uzunca bir süre de böyle kalacaktır. Böyle olsa bile, ikinci (yeni düzeltilmiş) tanıma göre, Voyager yıldızlararası uzaya girmişti. Görünen o ki Voyager’ın Güneş Sistemini terk edip etmediği tanımların hangisini kullandığınıza bağlıdır.

Eğlenceli bir ek olarak, Voyager I insan toplumu hakkında görsel-işitsel bilgiler içeren altın bir plak taşımaktadır; olur da bir yabancı yaratık onu bulursa diye. Sanırım kim ne koyarsa koysun, onları oldukça gelişigüzel bulurum; fakat bu olayda, bu plak, fırlatılma zamanında Birleşik Devletler’in başkanı olan Jimmy Carter’inki de dahil olmak üzere elli farklı dilden selamlaşma, balina sesleri ve Chuck Berry’nin “Johnny B. Goode” şarkısını içermektedir. (Chuck Berry fırlatılmada bile bizzat hazır bulunmuştu.) Bir yabancı uygarlık, bizimkini boş verin, birkaç yüzyıl içinde bu kaydı kolayca okuyabileceği fikri bana biraz olanaksızmış gibi geliyor; onlar bizimle karşılaştırılabilir boyutta olsalar ya da –Yeryüzünde çoğumuzun bulmakta zorlandığı– gerekli kayıt cihazını kullansalar bile. Çeviri konusu bile beni rahatsız etmiyor ya da muhtemelen beğenecekleri seslerin çeşitliliği beklenmedik karşılaşma meydana getirmelidir. Fakat sanırım bu ileriye düşünmek açısından iyidir. Bu altın plağın en azından bir olumlu sonucu olmuştu. Nedeni şuydu; diskin yaratıcı yönetmeni Annie Druyan Carl Sagan’la işbirliği yapmıştı. Büyük olasılıkla potansiyel yabancı yaşam çözülemez olsa bile, plak mükemmel bir aşk hikâyesine katkıda bulunmuştu.

Yabancı ziyaretçileri şimdilik bir kenara bırakacağım ve bütün dikkati haklarında çok daha emin olabileceğimiz dış uzaydan gelen çarpışmalara –Yeryüzüne çarpan ya da en azından atmosferimize giren göktaşlarına– çevireceğim. Eğer peygamber dağa gidemiyorsa, o zaman dağ peygambere gelmelidir. Bu demektir ki hiç kimse Oort bulutuna yakın zamanda gidemeyecekse, küçük Güneş Sistemi cisimleri –büyük olasılıkla Oort bulutundan– arada sırada Yeryüzüne gelir.

TEHLİKE İÇİNDE YAŞAMAK

Geçenlerde Harvard'ın bahar tatilinden yararlanarak, orada bazı çalışmalar ve kayak yapmak üzere, Colorado'daki arkadaşları ziyarete gitmiştim. Kayalık dağlar, gündüzleri kadar göz alıcı şekilde ilham verici geceleriyle, oturup düşünmek için olağanüstü bir yerdir. Temiz, kuru gecelerde, gökyüzü "kayan yıldızlar" –şu tepemizde parçalanan küçük antik göktaşları– tarafından gelişi güzel kesintiye uğratılmış parlak ışık noktaları tarafından aydınlanır. Kaldığım evin dışında bir arkadaş ve ben bir gece gökyüzü boyunca yoğun biçimde sıralanmış ışıklı cisimlerin nefes kesici enginliğiyle büyülenmiştik. İkimiz de birkaç saniye süren büyük birini görmeden önce, zaten birkaç göktaşını fark etmiştik.

Bir fizikçi olsam da, böyle muhteşem bir sahnede müzakere etmeyi kesip basitçe manzaranın tadını çıkarmaktan hoşlanırım. Fakat bu kez cismin ne olduğunu ve onun yörüngesinin neyi işaret ettiğini derinlemesine düşündüm. Kayan yıldız –dört buçuk milyar yıllık uzun bir hikâyenin sonucu– birkaç saniyede kor haline gelmişti; demek ki yukarıda gözle görülebilen göktaşı buharlaşıp yok olmadan önce ancak elli ila yüz kilometre seyahat edebilmişti. Göktaşı muhtemelen aynı sayıda kilometre kadar üzerimizdeydi, bu nedenle onu gökyüzünde büyük bir yay olarak görmüştük. O oradaydı; bir güzellik nesnesi ve en azından kısmen anladığımız bir şey olarak. Gökyüzünde ışın şeklinde izlenmesi böylesine olağanüstü olan bu toz ya da çakıltaşı-büyüklüğündeki cisimler üzerine yorum yaptığımda, bilim insanı olmayan arkadaşım, cismin en azından bir buçuk kilometrelik bir genişliğe sahip olduğunu düşündüğünü söyleyerek şaşkınlığını ifade etmişti.

Sohbet hızla görkemli gökyüzünün sakın hayranlığından Yeryüzünün yalpalanmasına yol açabilecek bir buçuk kilometre uzunluğundaki bir cismin yaratacağı hasarı derin derin düşünmeye dönmüştü. Böylesine tehlikeli büyük bir cismin Yeryüzüne

çarpma olasılığı küçüktür ve oldukça büyük herhangi bir cismin bir yerleşim bölgesine çarpıp orada hatırı sayılır bir hasar yapma olasılığı daha da düşüktür. Böyle olsa bile, Ay yüzeyinden tahmin yürütmeye (Yeryüzünde halen var olan çok az sayıdaki krater yararlı bir yönlendirmeye meydan vermez), bir kilometreden daha büyük ve bin kilometre genişliğe kadar uzanan milyonlarca cismin Yeryüzünün ömrü boyunca Yeryüzüne çarpmış olduğunu anlıyoruz. Fakat bu çarpmaların çoğu milyarlarca yıl önce Geç Ağır Bombardıman esnasında meydana gelmişti, adına karşın, Güneş Sisteminin oluşumundan hemen sonra ve az çok kararlı durumuna yerleşmesinden önce olmuştu.

Yaşamın devamı için esas olduğu üzere, büyük göktaşı çarpma hızı şu anda çok düşüktür ve bombardıman periyodunun sonlanmasından bu yana çok düşük olmuştu. Dash-kameralara ve videolara yakalanmış olan Sibirya'daki son çarpma –gökyüzünde ve YouTube'ta parıl parıl yanan Chelyabinsk göktaşı– bile sadece yirmi metre genişlikteydi. Arkadaşımın öngördüğü kadar büyük bir cismin en son çarpması 1994 olayıydı; orada Shomaker-Levy 9 Kuyrukluysıldızının birkaç km boyutlu parçaları Jüpiter'e çarpmıştı. İlk cisim daha da büyüktü; parçalar ayrılmadan önce muhtemelen birkaç km genişliğindeydi. Kilometre genişliğindeki parçaların yaratabileceği hasarın bir belirtisi, Jüpiter'in yüzeyinde gözleyebildiğimiz Yeryüzü kadar büyük bir koyu buluttu. Yirmi metre büyüktür, fakat birkaç km genişlik büsbütün başka bir şeydir.

Unutmayın ki göktaşlarının öyküsü sadece yıkım hakkında değildir. Yeryüzüne yağan birçok göktaşı ve mikro-göktaşından bazı iyi şeyler de gelmişti. Göktaşlarının Yeryüzü üzerinde kalan parçaları olan meteoritler, yaşama esas teşkil eden aminoasitlerin bir kaynağı olmuştu ve ayrıca bildiğimiz kadarıyla varlığın bir diğer kilit bileşeni olan suyun da. Burada işlediğimiz metallerin çoğu kesinlikle dünya-dışı çarpışmalardan gelir. Şu da iddia edilebilir ki yeryüzündeki dinazorları öldüren bir göktaşı çarpmasının ardından –12. Bölümde bu konuda daha fazla bilgi var– memelilerin hâkimiyetinin hızla ortaya çıkmaması durumunda insanlar ortaya çıkamazlardı. Bunun iyi bir şey olmadığı düşünülür daima, ama ben buna olumlu bakıyorum.

66 milyon yıl önce bu büyük kitlesel tür yok oluşu, benim Yeryüzü üzerindeki yaşamın Güneş Sisteminin geri kalanına bağ-

lılığını öne süren öykülerimden biridir. Bu kitap görünürde çalıştığım karanlık madde gibi soyut bir nesne hakkındadır; fakat ayrıca Yeryüzünün kozmik çevresiyle bağıntıları üzerinedir. Şimdi Yeryüzüne çarpmış ve ardında izler bırakmış olan göktaşları ve kuyruklu yıldızlar hakkında bildiklerimizin bazılarını açıklamaya başlayacağım. Ayrıca gezegenimize gelecekte nelerin çarpabileceğini ve bu istenmeyen yıkıcı misafirlerden nasıl korunabileceğimizi ele alacağım.

UMULMADIK ANDA

Uzaydan gelip Yeryüzüne çarpan cisimler kadar tuhaf bir olay inanılmaz gibi tınlamaktadır ve gerçekten de, bilimsel kuruluşlar böyle pek çok iddianın doğruluğunu başlangıçta kabul etmemişti. Antik dünyada insanlar uzaydan Yeryüzüne ulaşabilecek cisimlere inanmışlardı –ve son zamanlara kadar taşrada oturanlar da buna inanmaktaydı– daha eğitilmiş sınıflarsa on dokuzuncu yüzyıl içlerine kadar bu fikirden kuşku duymuşlardı. Gökten düşen böyle cisimleri gören okula gitmemiş çobanlar ne gördüklerini biliyorlardı, fakat bu tanıklıklar güvenirlikten yoksundu, çünkü bunların çoğu benzer arka planlarıyla hayali bulgular olarak da bilinmekteydi. Bu cisimlerin gezegenimize düştüğünü zamanla kabul eden bilim insanları bile, böyle kayaların uzaydan kaynaklandığına başlarda inanmamışlardı. Onlar için Yeryüzü-tabanlı açıklamalara sahip olmayı yeğlemişler, onları yanardağlardan atılmış malzemeler olarak yorumlamışlardı.

Meteoritlerin dış uzaydan gelmesi, ancak taşların Siena'daki Akademinin üzerine rasgele düşmesinden sonra, Haziran 1794'te kısmen yerleşik düşünce haline gelmişti: Siena'da birçok eğitilmiş İtalyan ve İngiliz turist olaya ilk elden tanık olabilmisti. Dramatik olay yüksek, koyu bir bulutla başlamış; bu bulut duman, kıvılcımlar ve yavaş hareket eden kırmızı şimşekler saçarak sürmüş, bunu da yere yağan taşlar izlemişti. Siena'daki manastır başkanı Abrogio Soldani düşen malzemeyi görgü tanığı olarak toplamayı yeterince ilginç bulmuş ve bir örneği Napoli'de yaşayan, ama bir genç uşakla ilişkisi nedeniyle gözden düşünce Oxford'a kaçıp William Thomson takma adını alan bir kimyacıya –Guglielmo Thomson– yollamıştı. Thomson'un özenli incelemesi,

zorlama önerilerden çok daha tutarlı bir açıklama sunarak cismin dış-dünya kaynaklı olduğunu göstermişti. O zamanlar dolaşımda olan bu zorlama öneriler, ya ay kaynaklıydı ya da tozlara çarpan şimşek kaynaklı; ya da daha iyi bir öneriye göre, bu taşlar o sıralarda etkin olan Vezüv yanardağından kaynaklanmıştı. Kaynağı volkanik etkinlik olarak almak Vezüv'ün tesadüfen sadece 18 saat önce patlaması nedeniyle anlaşılabilirdi. Fakat Vezüv 320 kilometre uzaklıkta ve yanlış yönde olduğu için, bu açıklama da ortadan kalkmıştı.

Bir göktaşı kaynaklı olma hali, sonunda 1800'deki Fransız İhtilali esnasında Londra'ya sürülmüş olan Fransız asili ve bilim insanı Bourbon Dükü Jacques-Louis'nin yardımıyla kimyacı Edward Howard tarafından anlaşılmıştı. Howard ve Kont Hindistan'da Benares yakınlarına düşen bir meteoriti incelemişlerdi. Yeryüzünde beklenenden çok daha fazla nikel miktarı ve ayrıca yüksek basınçta eriyip kaynaşmış taşı malzemeler açığa çıkarmışlardı. Thomson, Howard ve Kont'un yaptığı kimyasal çözümler, Alman bilim insanı Ernst Florens Friedrich Chladni'nin kendi varsayımını doğrulamak için önerdiği "böyle cisimler Yeryüzüne diğer açıklamalarla tutarlı olacak şekilde aşırı büyük bir hızla çarpar" söylemiyle kesin olarak aynıydı. Aslında, Siena yağışı Chladni'nin *Demir-kütlelerin Kaynağı Üzerine* adlı kitabının basımından sadece iki ay kadar sonra meydana gelmişti. Kitap -ne yazık ki- Berlin gazeteleri Sierra yağışı olduktan ancak iki yıl sonra zaman bulup bu yağışı rapor edinceye kadar, olumsuz eleştiriler ve aleyhte bir tepki almıştı.

İngiltere Kraliyet Cemiyeti üyesi Edward King'in o yıl basılan kısa kitabı, İngiltere'de çok yaygın olarak okunan bir eserdir. King'in kitabı Siena olayını tekrar gözden geçirmekte ve Chladni'nin kitabından da pek çok şey aktarmaktaydı. İngiltere'de meteoritler olayı, 13 Aralık 1795'e Yorkshire'daki Wold Cottage'a 25 kg'lık bir taşın düşmesinden bile önce iyice pekişmişti. Simyadan daha yeni ayrılmış olan kimyanın yöntemlerinin artarak değer kazanmasıyla ve pek çok ilk elden kanıtla, meteoritlerin ne oldukları sonunda on dokuzuncu yüzyılda anlaşılmıştı. O zamandan beri gerçek dış-dünya kimlikli birçok cisim düşmüştü Yeryüzüne.

DAHA YAKIN OLAYLAR

Göktaşları ve meteoroitler hakkındaki haber başlıkları büyük ölçüde ilgimizin parlamasını garantiliyor. Fakat bu dikkat çekici olayları arzulu şekilde izlerken bile, şunu unutmamalıyız ki bugün genelde Güneş Sistemiyle denge içinde yaşamakta ve dramatik aksamalarla çok seyrek olarak karşılaşmaktayız. Neredeyse tüm göktaşları üst atmosferde çözüşecek kadar küçüktür, orada onların katı malzemelerinin çoğu buharlaşır. Daha büyük cisimler ancak seyrek olarak ulaşır. Fakat küçük cisimler bizi ziyaret eder ve onlar her zaman bunu yapar. Çoğunlukla mikro göktaşları atmosfere girer ve bu parçacıklar öyle küçüktürler ki yanmazlar bile. Daha seyrek olsa da, milimetre-boyutlu cisimler Yeryüzünün dolayına oldukça sık –muhtemelen her 30 saniyede bir– girer ve önemsiz sonuçlarla yanarlar. Yaklaşık iki ya da üç santimetreden büyük cisimler atmosferde kısmen yanarlar, böylece bunların parçaları yere kadar gelebilir, fakat bunlar önemli olmak için aşırı küçüktür.

Fakat her birkaç bin yılda, atmosferin aşağılarında büyük bir cisim tarafından bir patlama meydana gelebilir. Şimdiye kadar kaydedilmiş böyle en büyük olay 1908'de Rusya'da Tunguska'da meydana gelmişti. Hiçbir yüzey çarpışması olmadığı halde, atmosferdeki bir patlama Yeryüzünde fark edilebilir sonuçlar yaratabilir. Bu özel küçük-gezegen ya da kuyruklu yıldız –hangisi olduğunu çoğu kez bilmeyiz– Sibirya ormanlarında Tunguska Nehrine yakın gökyüzünde patlamıştı. Kabaca 50 metre-boyutlu olan bu büyük *bolide* (patlayan göktaşı) –uzaydan gelip atmosferde parçalanan cisim– yaklaşık 10 ya da 15 megaton TNT'ye eşdeğerti; Hiroşima patlamasından 1000 kez daha büyük, fakat şimdiye dek patlatılmış en büyük nükleer bombadan çok büyük değil. Patlama 2000 kilometre karelik ormanı mahvetmiş ve Richter ölçeğiyle 5,0 kadar ölçülmüş bir şok dalgası yaratmıştı. Dikkat çekecek şekilde, patlama merkezindeki ağaçlar ayakta kalmış, fakat çevredekiler hurdahaş olmuştu. Dik kalan ağaçların bölgesinin büyüklüğü –ve bir kraterin olmayışı– göktaşının büyük olasılıkla yerden altı ila on kilometre kadar yukarıda parçalandığı anlamına geliyordu.

Risk tahminleri, kısmen Tunguska cisminin boyutunun değişen tahminleri nedeniyle –bu tahminler, otuz metreden yetmiş

metreye kadar uzanır– değişmektedir. Bu aralıktaki boyutlara sahip bir nesne, her birkaç yüz yılda birden her birkaç bin yılda bire uzanan bir sıklıkla çarpabilir. Böyle olsa bile, Yeryüzüne çarpan ya da Yeryüzünün yakınından geçen göktaşlarının çoğu oturulmayan bölgelere ulaşır, çünkü yoğun oturma merkezlerinin dağılımı aralıklıdır.

Tunguska göktaşı bu bağlamda istisna oluşturmaz. O Sibirya’da oturulmayan bir bölge üzerinde patlamıştı, oraya en yakın ticaret merkezi yetmiş kilometre ötedeydi ve en yakın köy –Nizhne-Karelinsk– daha da uzaktı. Yine de, patlama bu kadar yakın olmayan köyde camları kırmış ve yayaları yere sermişti. Köylüler gökyüzündeki kör edici ani ışıktan yüzlerini çevirmek zorunda kalmışlardı. Patlamadan yirmi yıl sonra, bilim insanları bazı yerel sığırtmaçların –onlardan ikisi patlamadan dolayı ölmüştü– duydukları gürültüyü ve yaşadıkları travmayı öğrenmek için bölgeye dönmüşlerdi. Hayvan dünyası için sonuçlar yıkıcıydı, çarpmanın arkasında bıraktığı yangın tarafından belki de bin kadar ren geyiği telef olmuştu.

Olay çok daha geniş bir bölgeyi bile etkilemişti. Patlama Fransa kadar uzak bir mesafede yaşayan halk tarafından duyulmuştu ve tüm dünyada barometrik basınç değişmişti. Patlamadan çıkan dalga dünyanın çevresini üç kez dolaşmıştı. Aslında, yakında anlatacağım daha büyük ve daha iyi incelenmiş Chicxulub çarpmasının –dinozorları öldüren çarpma– yıkıcı sonuçlarından birçoğu, rüzgârlar, yangınlar, iklim değişikliği ve atmosferdeki ozonun yarısının kaybolması, Tunguska olayından sonra da meydana gelmişti.

Yine de, göktaşı uzak ve oturulmayan bir bölgede ve toplu iletişimin az olduğu bir zaman ve yerde patladığı için, pek çok insan onlarca yıl sonraya –bir araştırma en sonunda yıkımı tüm genişliğiyle ortaya çıkarıncaya– kadar bu muazzam patlamaya neredeyse hiç dikkat etmemişti. Tunguska uzaktı ve Birinci Dünya Savaşı ve Rus Devrimi nedeniyle iyice bir başına kalmıştı. Patlama sadece bir saat önce ya da sonra olsaydı, büyük bir nüfus merkezini vurabilirdi; bu durumda atmosfer etkileri ya da okyanusta bir tsunami büyük olasılıkla binlerce kişiyi öldürürdü. Bu gerçekleşseydi, çarpma sadece dünyanın yüzeyini şekillendirmekle kalmaz, ayrıca yirminci yüzyılın tarihini değiştirirdi; bunun bir sonucu olarak, büyük olasılıkla, politika ve bilim çok farklı gelişirdi.

Tunguska patlamasından bu yana, çeşitli daha küçükçe, fakat haber nitelikli göksel ziyaretçiler Yeryüzüne gelmişlerdi. Pek belgelenmemiş de olsa, atmosferde Brezilya'daki Amazon üzerinde 1930'da parçalanmış olan bir patlayan göktaşı büyükler arasındaydı. Salınan net enerji Tunguska olayınınkinden daha azdı; tahminen 1/100'ü ile 1/2'si kadar. Böyle olsa bile, göktaşının kütlesi 1000 tondan çok daha büyüktü ve belki 25.000 ton kadar kütleli olabilirdi; yaklaşık 100 kilotonluk TNT'nin enerjisini verecek kadar. Risk tahminleri değişmektedir, fakat boyutça 10 ile 30 metre arasındaki cisimler kabaca on yılda birden her yüzlerce yılda bire uzanan sıklıkta çarpabilir. Sıklık tahmini cismin tam boyutuna sıkı şekilde bağlıdır. Boyutta iki çarpanı kadarlık bir belirsizlik, on çarpanına kadar varan tahmin değişmelerine yol açabilir.

Amazon üzerindekiyle benzer büyüklükte bir patlayan göktaşı, iki yıl sonra İspanya'nın 15 kilometre kadar üzerinde aşağı yukarı 200 kilotonluk TNT'ye eşdeğer enerji salarak patlamıştı. Ondan sonraki 50 yıl içinde çok sayıda patlama meydana gelmişti; hiçbirisi Brezilya olayı kadar bile büyük değildi ve onların hepsini listelemeyeceğim. Önemli bir olay 1979'daki Vela Hadisesiydi; Güney Atlantik ile Hint Okyanusu arasında meydana gelmiş ve ismini onu gözleyen Birleşik Devletler'in Vela savunma uydusundan almıştı. Başlangıçta makul bir göktaşı adayı olarak düşünülmüş olsa da, insanlar şimdi onu Yeryüzü üzerinde orada infilak ettirilmiş bir nükleer patlamaya yormaktadır.

Kuşkusuz algılayıcılar gerçek patlayan göktaşlarını da algılamaktadır. Savunma bakanlığının kızılaltı algılayıcıları ve enerji bakanlığının görünür dalga boyu algılayıcıları, 1 Şubat 1994'te Marshall Adaları yakınında Pasifik Okyanusu üzerinde patlayan 5 ila 15 metre genişliğindeki göktaşından sinyal toplamıştı. Patlamadan birkaç yüz kilometre uzaktaki Mikronezya'nın Kosrae açıklarında iki balıkçı da bunu saptamıştı. Daha bile yakınlarda 10 metre genişliğindeki bir cisim, 2002'de Akdeniz üzerinde Yunanistan ile Libya arasında yaklaşık 25 kilotonluk TNT'ye eşdeğer enerji salarak patlamıştı. Daha da yakını Endonezya'nın Bone yakınındaki 8 Ekim 2009 olayıydı; yaklaşık 10 metre çapındaki bir cisimden kaynaklanmış ve 50 kilotonluk enerji salmıştı.

Başıboş gezen kuyrukluyıldızlar ve de küçük-gezegenler göktaşlarının kaynağı olabilir. Uzak kuyrukluyıldızların yörüngeleri-

ni öngörmek zordur, fakat yeterince büyük küçük-gezegenler bize ulaşmadan önce kolayca saptanabilirler. 2008'de Sudan'a çarpan bir küçük-gezegen bu bakımdan kayda değerdi. O yılın 6 Ekiminde bilim insanları hemen o sıralarda buldukları küçük-gezegenin bir sonraki sabah Yeryüzüne çarpacağını hesaplamışlardı. Ve gerçekten öyle olmuştu. Büyük bir çarpma değildi ve civarda kimse yaşamıyordu. Fakat ne kadar önceden bildirim alacağımız hususu cismin büyüklüğüne ve hızına göre saptama duyarlılığımıza bağlı olmakla birlikte, bu, bazı çarpmaların öngörülebileceğini göstermişti.

En yakın haber nitelikli olay, sadece resimlere değil hafızalara da işlenmiş olan 15 Şubat 2013 Chelyabinsk göktaşıydı. Rusya'nın güney Ural bölgesinin üzerinde 20 ila 50 kilometre yukarıda patlayan bu göktaşı, 500 kilotonluk TNT'nin enerji değerini üretmişti; bunun çoğu atmosfer tarafından soğurulmuşsa da, bir miktar enerji taşıyan bir şok dalgası birkaç dakika sonra Yeryüzüne çarpmıştı. Olay, yaklaşık 13.000 ton ağırlığında ve 18 km/sn'lik tahmini bir hızla –ses hızının yaklaşık altmış katı– 15 ila 20 metre genişliğinde bir küçük-gezegen tarafından tetiklenmişti. İnsanlar sadece patlamayı görmekle kalmamış, ayrıca onun atmosfere girmesinden dolayı oluşan ısıyı da hissetmişlerdi.

Olayda 1500 kadar insan, fakat çoğu pencere camlarının patlaması gibi ikincil sonuçlardan ötürü, yara almıştı. Etkilenen insanların sayısı, olağandışı bir şeyin ilk işareti olan –ışık hızıyla ilerleyen– kör edici parlamayı görmek için pencerelerine koşan birçok tanık tarafından şişirilmişti. İyi bir korku filmine yaraşır olumsuz bir hava doğuran bir değişme içinde, gökyüzündeki bu ışık, şok dalgalarının çarpmasından hemen önce insanları riskli yerlere çekmiş ve hasarın çoğu böyle olmuştu.

Göktaşı çarpması zamanındaki medya çılgınlığına ilaveten, haber raporları Yeryüzüne yaklaşmakta olan farklı bir küçük-gezegen hakkında da uyarıda bulunmaktaydı. Chelyabinsk göktaşı algılanmadan gizlice yaklaşmıştı, oysa 16 saat kadar sonra en yakınımıza ulaşmış olan bu diğer 30-metrelik cisim, Yeryüzü atmosferine asla girememişti. Birçok kişi bu iki küçük-gezegenin ortak bir kaynağa sahip olduğunu düşünmüştü, ama daha sonraki çalışmalar uyarınca bu muhtemelen doğru değildi.

YERYÜZÜNE YAKIN CİSİMLER

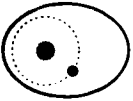
Öngörülen 13 Şubat 2013 küçük-gezegeni gibi, yakınımıza gelen, fakat aslında Yeryüzüne asla çarpmayan ya da atmosfere girmeyen çok sayıda cisim çok fazla dikkat çekmişti. Diğer cisimler Yeryüzüne ulaşmışlardı; fakat bunların arasında bile, onların ezici çoğunluğu zararsızdır. Yine de, geçmiş çarpışmalar gezegenimizde jeoloji ve biyolojiyi etkilemişti ve gelecekte de yine pekâlâ bunu yapabilirler. Küçük-gezegenlerin değerini gitgide daha iyi anlama ve (muhtemelen abartılmış) potansiyel tehlikelerinden haberdar olmayla birlikte, küçük-gezegenlerin Yeryüzü yörüngesiyle potansiyel kesişmesinin araştırılması yoğunluk kazanmıştır.

En sık çarpışmalar –ille en büyük olmasa da– *Yeryüzüne-yakın cisimler* (YYC) olarak bilinen Yeryüzüne oldukça yakın nesnelerden gelir; Güneşe en çok yaklaşıma, Yeryüzü-Güneş uzaklığının yüzde 30’undan daha fazla değildir. Yaklaşık on bin Yeryüzüne-yakın küçük-gezegen (YYKG) ve daha az sayıda kuyruklu yıldız bu ölçüte uyar; izleme menzilindeki bazı büyük göktaşları –ve teknik olarak Güneş enerjisiyle dolanan bazı uzay araçları da– böyledir.

YYKG’ler çeşitli sınıflara ayrılırlar. (Şekil 16.) Yeryüzünün alanına giren ve yörüngemizi aslında kesmeksizin yakınımıza gelen cisimlere *Amor’lar* denir; ismini 16 milyon kilometre ya da 0,11 AU kadar yakına gelmiş olan 1932 küçük-gezegeninden almıştır. Şu anda bizim yolumuzu kesmemekle birlikte, muhtemel korku, Jüpiter ya da Mars’ın oluşturacağı tedirgemelerin bu cisimlerin dış-merkezliklerini artırabilmeleri ve sonunda yörüngemizi kesmeleridir. İsmi yine özel bir küçük-gezegen den almış olan *Apollo’lar*, şu anda Yeryüzünün yörüngesini ışınsal doğrultuda kesen küçük-gezegenlerdir; gerçi bunlar bizim ekliptik düzlemimizin –gökyüzünde Güneşin görünür yolu olup Yerin yörünge düzlemini belirtir– üstünde ya da altında olabilirler; öyle ki çoğunlukla gerçekte yörüngemizi kesmezler. Bununla birlikte, yörünge zamanla değişebilir; yine tehlikeli bölgeye sapma olasılığı söz konusudur. Yeryüzünden geçen küçük-gezegenlerin ikinci bir sınıfı –Yeryüzününkinden daha küçük yörünge bölgeleriyle Apollo’lardan ayrılırlar– *Aten’ler* olarak bilinirler. Aten ailesi de yine onun türünde bir küçük-gezegen den almıştır bu adı. Son YYKG sınıfı *Atira’lar* olup, yörünge bölgeleri tamamen Yeryüzününün içindedir.

YYKG'ler jeolojik ve kozmolojik ölçeklerde bu kadar uzun sürmezler. Güneş Sisteminden atılmadan ya da Güneşle veya bir gezegenle çarpışmadan önce ancak birkaç milyon yıl başıboş gezerrek dolanırlar. Bu demektir ki Yeryüzü yörüngesine yakın bölgeyi doldurmak için, sürekli olarak yeni küçük-gezegenler sağlanmalıdır. Onlar muhtemelen Jüpiter'in tedirgemeleriyle küçük-gezegenler kuşağından yaratılırlar.

YYKG'lerin çoğu taşı küçük-gezegenlerdir, fakat karbon-içeren makul sayıda karbonlu küçük-gezegenler de vardır. Ancak 10 kilometreden daha büyük olanlar Amor'lardır; onlar şu anda yolumuza çıkmazlar. Bununla birlikte, beş kilometreden büyük makul sayıda Apollo vardır ki kesinlikle biraz hasar yapacak kadar büyük olup yörüngenin rastgele olmadığı ortaya çıkar. 32 kilometre enindeki en büyük YYKG Ganymed'dir –İngilizlerin Ganymede dedikleri Truvalı prensin Almanca telaffuzu. Jüpiter'in aylarından biri olan Ganymede tamamıyla farklı bir cisim olup, büyük-lük yarışmasını Güneş Sisteminin en büyük ayı olarak da kazanır.



Amor'lar
Yeryüzüne yaklaşan



Aten'ler
Yeryüzünü kesen



Apollo'lar
Yeryüzünü kesen



Atira'lar
Yörünge, Yeryüzünün içinde

[ŞEKİL 16] Yeryüzüne Yakın Küçük-gezegenlerin dört sınıfı. Amor'ların yörüngeleri Yeryüzününüki ile Mars'ınki arasında bulunur. Apollo'ların ve Aten'lerin yolları Yeryüzü yörüngesini keser, fakat yörünge periyodunun bir kesri kadar öteye uzanabilir. Apollo'lar Yeryüzününkinden daha büyük yarı-büyük eksene sahiptir, oysaki Aten'lerin yarı-büyük eksenleri daha küçüktür. Atira'ların yörüngeleri tamamıyla Yeryüzününün içinde.

YYKG'ler son 50 yıldır olgunlaşmış bir diğer araştırma alanıdır. Daha öncesinde, çarpımlar fikrini hiç kimse ciddiye bile almamıştı. Şimdi dünya çevresindeki insanlar, nerede olanaklıysa YYKG'leri kataloglamaya ve izlemeye başladılar. Kanarya Adala-

rına yaptığım son gezimde bile, Tenerife teleskobunu ziyaret ettiğimde, müdürün bir düzine öğrenciyle onları saptamaya çalışan verileri incelerken bulmuştum. Küçük eski teleskop teknoloji harikası değildi, fakat istekli öğrencileri görmekten ve onların araştırmada kullandıkları yöntemleri beğenmelerinden çok etkilendim.

Bugünün daha gelişkin teleskopları, yük-kuplajlı aygıtların kullanılmasıyla küçük-gezegenleri aramaktadır; bu aygıtlar, fotonları yüklü elektronlara dönüştüren yarı-iletkenler kullanmakta ve böylece fotonların nereye çarptığını tam olarak belirten sinyaller bırakmaktadır. Otomatik okuma sistemleri ayrıca keşif hızını artırmaya yardım etmektedir. Uluslararası Astronomi Birliğinin Harvard Smithson Astrofizik Merkezindeki Küçük Gezegen Bölümünün web sitesi, <http://www.minorplanetcenter.net/> küçük gezegenlerin, kuyrukluyıldızların ve buldukları yakın yaklaşmaların en son sayısını rapor eder.

Apaçık nedenlerle, en çok dikkati Yeryüzünününe yakın yörüngeler çeker. Birleşik Devletler ve Avrupa, "Uzay Bekçisi" denen bir girişim içinde -Arthur C. Clarke'ın bilimkurgu romanı *Rama'yla Randevu'yu* (*Rendezvous with Rama*) saygıyla anmak için türetilmiş- bunların taranması için işbirliği yapmaktadır. İlk Uzay Bekçisi programının görevi bir 1992 ABD Kongre inceleme raporunda saptanmış ve bu rapor Yeryüzüne en yakın bir kilometreden büyük cisimleri on yıl içinde sınıflamak için bir talimata yol açmıştı. Bir kilometre, hasar yapabilecek potansiyele sahip en küçük cisimden daha büyüktür; fakat kilometre-boyutlu cisimler çok daha kolay bulunabildikleri ve dünya çapında hasar yapmak için yeterince büyük oldukları için 1 kilometre seçilmişti. Neyse ki, haklarında bilgimiz olan kilometre-boyutlu cisimlerden çoğunun yörüngesi küçük-gezegenler kuşağında Mars ve Jüpiter arasındadır. Yörüngelerini değiştirip YYC'ler haline gelinceye dek, bizim için kesinlikle tehdit oluşturmazlar.

Gözlemleri, tahmin edilen yörüngeleri ve bilgisayar benzetimlerini özenli bir şekilde kullanan astronomlar, Uzaybekçisi'nin kilometre-boyutlu YYC'lerden pek çoğunu belirtme görevini, neredeyse tam vaktinde, 2009'da başarmışlardı. Şu anki bulgular 940 kadar boyutça bir kilometre ya da daha büyük Yeryüzüne-yakın küçük-gezegenin var olduğunu belirtmektedir. Ulusal Bilim-

ler Akademisi tarafından oluşturulmuş bir komite, belitsizlikler hesaba katıldığında bile, toplam sayının 1100 'den az olacağı beklentisiyle, bu sayının oldukça doğru olduğunu saptamıştı. Bu araştırmalar, ayrıca bir kilometreden daha küçük 100.000 kadar küçük-gezegenin ve yaklaşık 10.000 YYKG'in kimliğinin saptanmasına yardımcı olmuştu.

Uzaybekçisi talimatının hedefinde olan daha büyük YYKG'lerin çoğu, küçük-gezegenler kuşağının iç ve merkezi bölgelerinden gelmişti. Ulusal Akademi komitesi, yörüngelerin % 20 kadarının Yeryüzünden 0,05 AU içinde geçen istatistiğe sahip olduklarını saptamıştı. Bunları daha tehlikeli şekilde konuşlanmış "potansiyel olarak riskli YYC'ler" diye adlandırmışlardı. Ayrıca Akademi bu cisimlerin hiçbirinin gelecek yüzyılda bir tehlike oluşturmaya-çağını belirlemişti ki, bu kuşkusuz iyi haberdir. Bununla birlikte sonuç hiç de şaşırtıcı değildir, çünkü bir-kilometrelik cisimlerin her yüz bin yılda birden daha sık olarak Yeryüzüne çarpması zaten beklenmemektedir.

Aslında, yakın gelecekte herhangi bir ölçülebilir olasılıkla Yeryüzüne çarpıp hasar verebilecek bilinen sadece bir YYC vardır. Fakat onun yakına gelme olasılığı sadece yüzde 0,3'tür ve bunun da 2880'e kadar olması tahmin edilmemektedir. Neredeyse kesin olarak güvendeyiz –en azından şimdilik– tüm belirsizlikler hesaba katıldığında bile. Bazı gökbilimciler daha önce farklı bir küçük-gezegen hakkında kaygılar öne sürmüşlerdi; şeytani ruhlu Apophis olarak adlandırılmış olan 30 metre-genişliğindeki bu cismin 2029'daki yaklaşmasında Yeryüzünü iskalayacağını, fakat 2036 ya da 2037'de potansiyel bir çarpışma için geri döneceğini tahmin etmişlerdi. Bu durumun cismin bir "kütleçekimsel anahtar deliği" içinden geçmesinin ardından gerçekleşeceği beklenmekteydi; düşündükleri şey böylece cismin hızlanarak bize doğru gönderilmesi idi. Bununla birlikte, daha fazla hesaplamalar bunun yanlış bir alarm olduğunu açığa çıkarmıştı. Ne Apophis ne de herhangi bilinen bir cisim öngörülebilir gelecekte bize çarpacaktır.

Fakat rahat bir nefes almadan önce, hâlâ daha küçük cisimlerden endişe duymamız gerektiğini aklımızda tutmalıyız. Başlangıçta Uzay Bekçisinin hedefindeki kilometre-boyutlu olanlardan daha küçük cisimler daha az hasar yaratacaklarsa da, çok daha yakına gelecekler ya da bize daha sık olarak çarpacaklardır. Böy-

lece Birleşik Devletler 140 metre eninden daha büyük Yeryüzüne-yakın en azından yüzde 90 potansiyel tehlikeli cisimleri izlemek, kataloglamak ve nitelemek için desteklemek üzere Uzay Bekçisi programı 2005 yılında bir kongre talimatıyla* uzatılmıştı. Gerçekten felaket yaratıcı bir şeyin bulunamayacağı neredeyse kesin gibidir, fakat katalog yine de yararlı bir hedeftir.

DEĞERLENDİRME RİSKİ

Küçük-gezegenlerin arada sırada yakına geldikleri apaçıktır. Karşılaşmaların olacağından kuşku duymuyoruz, fakat onların beklenen sıklıkları ve büyüklükleri tartışma konusu olarak kalacaktır. Önemseyeceğimiz zaman ölçeğinde bir nesnenin çarpıp çarpmayacağı ve hasar yapıp yapmayacağı henüz tam olarak oturmuş bir soru değildir.

Endişe etmeli miyiz? Bu tamamen bir ölçek, maliyet, endişe eşiğimiz, toplumların neyin önemli olduğu konusundaki kararları ve neyi kontrol edebileceğimiz düşüncesi sorunudur. Bu kitap-taki fizik esas olarak milyonlarca hatta milyarlarca yıllık zaman ölçeği üzerinde olmuş olaylarla ilgilidir. Üzerinde çalıştığım ve kitabın gelen kısmında betimlenecek olan model, 30 ila 35 milyon yıl dönersellikli büyük ölçekteki (birkaç kilometre kadar) küçük-gezegen çarpmalarını açıklamaktadır. Bunların hiçbirisi özel olarak insanlığı endişelendirecek ya da insanlıkla ilgili zaman ölçekleri değildir. İnsanlara çok daha fazla sıkıntı veren kaygılar vardır.

Bununla birlikte, biraz konu dışı olsa bile, dünyamıza çarpabilecek potansiyel göktaşları hakkında bilim insanlarının sonuçları üzerine en azından bazı ipuçları vermeksizin göktaşı çarpmalarına dokunan bir kitabı hakkıyla yazamazdım. Haber ve söyleşilerde bu konu yeterince ele alındığı için bazı güncel tahminleri paylaşmanın zararı olmayacaktır. Küçük-gezegenlerin saptanması ve saptırılmasının ne kadar önemli olabileceği düşünüldüğünde, tahminlerin hükümetlerle de ilgili olduğu anlaşılır.

[ABD] Kongresinin 2008 Birleştirilmiş Ödenekler Yasası uyarınca, NASA, seçkin Ulusal Bilimler Akademisinin Ulusal Araştırma Kurumuna Yeryüzüne-yakın cisimleri çalışmayı sormuştu. Hedef soyut

* George E. Brown, Jr. 2005 NASA Yetki Yasasının Yeryüzüne-yakın Cisimleri Araştırma kısmı (Kamu Hukuku 109-155).

çarpma sorularından hiçbirini ele almak değildi, başıboş dolaşan küçük-gezegenler tarafından ortaya konan riski ve bu riski azaltmak için bir şeyler yapıp yapılamayacağını değerlendirmektir.

Katılımcılar çalışmalarını daha küçük YYC'lere odaklamışlardı, bunlar bize çok daha sıklıkla çarparlar ve potansiyel olarak yollarından saptırılabilirler. Kısa-periyotlu yörüngelerdeki kuyrukluysıldızlar, kendi yörüngelerindeki küçük-gezegenlere benzerler; dolayısıyla benzer tarzda saptırılabilirler. Diğer taraftan, uzun-periyotlu kuyrukluysıldızların önceden görülmeleri fiilen olanaksızdır. Onlar ayrıca Yeryüzü yörüngesinin ekvator düzleminde daha az olasılıkla bulunurlar –her yönden gelirler– dolayısıyla bulunmaları daha zordur. Her durumda, sıklıkla gözlenmiş olayların bazıları kuyrukluysıldızlardan kaynaklanmış olabilir –se de, kuyrukluysıldızlar Yeryüzünün yakınına iyice seyrek olarak ulaşırlar. Ve uzun-periyotlu kuyrukluysıldızları, zaman içinde hiçbir şey yapmadan, saptamak neredeyse olanaksızdır; teknolojik ilerlemeler en sonunda küçük-gezegenleri saptırmak için bize olanak sağlasalar bile. Riskli olan uzun-periyotlu kuyrukluysıldızların tam bir kataloğunu yapmanın bu noktada fiilen bir yolu olmadığına göre, güncel araştırmalar sadece küçük-gezegenlere ve kısa-periyotlu kuyrukluysıldızlara odaklanır.

Fakat uzun-periyotlu kuyrukluysıldızlar –ya da en azından dış Güneş Sisteminden ortaya çıkan kuyrukluysıldızlar– daha sonra bizim ilgi alanımıza gireceklerdir. Dış Güneş Sisteminden ortaya çıkan cisimler çok zayıf bağlıdır; dolayısıyla tedirgemeler –kütleçekimsel ya da başka– çok daha hızlı olarak birini yörüngesinden dışarı iç Güneş Sistemine yollar ya da Güneş Sisteminden tamamen dışarı çıkarır. Ulusal Akademinin risk azaltma çalışmalarının konusu olmasa da, bunlar hâlâ bilimsel araştırmaların konusu olabilecektir.

BİLİM İNSANLARININ VARDIĞI SONUÇLAR

2010'da Ulusal Bilimler Akademisi, küçük-gezegenler üzerindeki sonuçlarını ve onların yaratabileceği tehditleri *Yeryüzü Gezegennin Korunması: Yeryüzüne Yakın Cisim Araştırmaları ve Risk Azaltma Stratejileri* adlı bir belgede sunmuştu. Belgenin daha ilginç birkaç sonucunu arz edeceğim; onları en iyi şekilde özetle-

mek için tablolarından ve çizelgelerden birkaçını kopyalayacağım ve onların ne anlama geldiklerini açıklamak için de birkaç söz ve yorum ekleyeceğim.

Sayıları yorumladığınızda, yoğun nüfuslu kentsel alanların oldukça düşük yoğunluktaki çarpanını hatırlayın; Global Kentsel Haritalama Projesi bunu yaklaşık yüzde üç olarak tahmin etmektedir. Kuşkusuz hiçbir yıkım istenmezse de, en korkunç tehdit bir kentsel alana olur. Yeryüzündeki düşük nüfuslu kentlerde, oldukça küçük cisimlerin kendilerine çarpıp önemli hasarlara neden olma sıklığı, çarpma sıklıklarından yaklaşık 30 kez daha düşüktür. Örneğin, 5 ila 10 metre-boyutlu bir cismin çarpması kabaca yüzyılda bir olarak tahmin edilirse, bu boyuttaki bir nesnenin kentleri vurmasının sadece üç binde bir olacağı tahmin edilebilir.

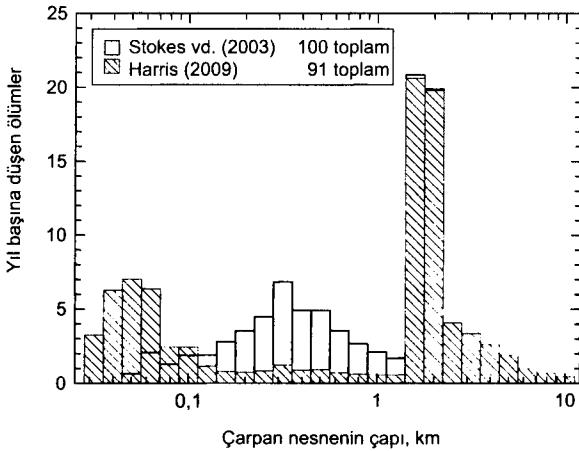
Neredeyse tüm tahminlerde büyük belirsizlikleri de dikkate almalıyız; bilim insanları bunu en iyisiyle on çarpanı içinde tahmin edebilirler. Uzak tehditler hakkındaki birçok haber hikâyesinin asla gerçekleşmemiş olmasının bir nedeni, boyutu belli cisimlerin bile yörüngelerini ölçmede küçük hataların bir çarpışmanın tahmini olasılığında büyük bir fark yapabilmesidir. Ayrıca bilinen büyük bir cismin bile neden olabileceği etkileri ve hasarı tam olarak anlamıyoruz. Böyle belirsizliklerle bile, Ulusal Akademinin çalışmasından çıkan sonuçlar oldukça güvenilir ve yararlıdır. Dolayısıyla, şimdi belli derecede belirsizliğin toleransıya, bu büyüleyici modern (yaklaşık 2010) istatistiği soruşturalım.

Dünya Çapında, Çeşitli Nedenlerle, Yıl Başına Düşen Beklenen Ölümler

NEDEN	YIL BAŞINA BEKLENEN ÖLÜMLER
Köpekbalığı hücumları	3-7
Küçük-gezegenler	91
Depremler	36.000
Sıtma	1.000.000
Trafik kazaları	1.200.000
Hava kirliliği	2.000.000
HIV/AIDS	2.100.000
Sigara	5.000.000

[ŞEKİL 17] Çeşitli nedenlerle, yıl başına düşen, dünya çapındaki ortalama ölümler için Ulusal Bilimler Akademisinin istatistiği. Söz konusu istatistik; verilere, modellere ve tahminlere dayanmaktadır.

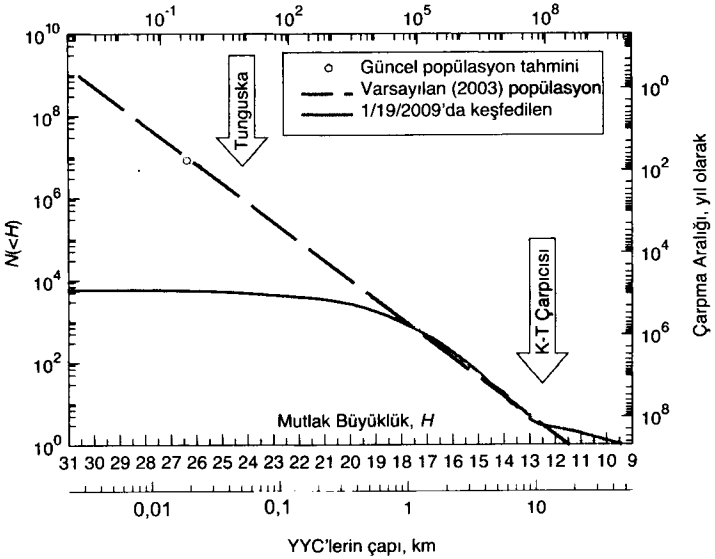
Benim gözde tablom Şekil 17'dedir. Bu sonuçlara göre, her yıl küçük-gezegenler tarafından 91 ölümlük bir ortalama meydana gelir. Küçük-gezegenler çok felaketli ölüm nedenlerinin iyice gerisinde kalsa da –oranlar, ölümcül tekerlekli-sandalyeyle ilişkili kazalardan olanlarla karşılaştırılabilir (listelenmemiş)–, tabloda küçük-gezegenlerin karşısındaki 91 sayısı biraz şaşırtıcı ve rahatsız edici şekilde yüksektir. Ayrıca tüm belirsizlikler gülünç olacak kadar kesin verilmiştir. Kuşkusuz, her yıl küçük-gezegenler tarafından 91 ölüm meydana gelmez. Aslında kayıtlı geçmişte sadece böyle birkaç ölüm biliyoruz. Bu sayı aldatıcı bir şekilde yüksektir, çünkü sadece çok seyrek olması öngörülen devasa çarpmalar içermektedir. İşte size açıklamaya yardım eden öğretici bir grafik (Şekil 18).



[ŞEKİL18] Yüzde 85'i tamamlanmış Uzay Bekçisi Araştırma verilerine dayanan, çeşitli boyutlardaki küçük-gezegenlerin çarpmaları nedeniyle ortalama yıllık ölümlerin Ulusal Bilimler Akademisi tahminleri. Bu grafik şimdi-gözden geçirilmiş Yeryüzüne-yakın cisim boyutu dağılımını ve tsunami ile hava-patlamalarından gelen tehditler için güncellenmiş tahminleri kullanır. Eski tahminler de karşılaştırma için gösterilmiştir.

Bu grafik size yukarıda alıntılanan sayıların çoğunun aşırı seyrek olarak ortaya çıktıkları tahmin edilen büyük cisimlerden geldiğini söyler. Bu birkaç kilometredeki doruktur. Böyle olaylar küçük-gezegen çarpmalarının "siyah kuğuları"dır. Dikkatinizi bo-

yutça 10 metreden daha küçük cisimlere sınırlarsanız, sayı yılda birkaçın da altına iner ki, bu herhalde hâlâ yüksek taraftadır. Öyleyse farklı boyutlu cisimlerin gerçekte ne denli sık çarpacaklarına dair beklentiler nedir? İşte size buna yardım edecek bir grafik daha (Şekil 19). Bu grafik biraz daha meşgul edicidir, fakat bana fazla yüklenmeyin. Aslında o bizim güncel anlayışımızın büyük bir özetidir.

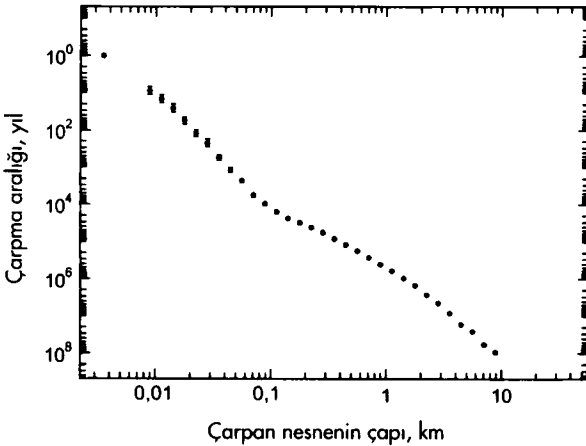


[ŞEKİL 19] Yeryüzüne-yakın cisimlerin çarpmaları arasındaki tahmini sayı (sol düşey eksen) ve yaklaşık zaman (sağdaki eksen), kilometre olarak ölçülmüş çapın bir fonksiyonu olarak verilmektedir. Üst eksen, bilinen boyuttaki bir cisim için beklenen çarpma enerjisini -saniyede 20 kilometre hızla çarpma halinde- megatonluk TNT cinsinden göstermektedir. Alt yatay eksene yakın olarak görünen de, cismin iç parlaklığıyla ilişkili bir niceliktir. Farklı eğriler eski (kesintisiz çizgi) ve daha yeni (yuvarlaklar) tahminlerdir. Daha alttaki eğri 2009 öncesi keşfedilmiş olan sayıyı temsil eder.

Okuması daha zor olsa da, bu grafik çok bilgi içerir. Bir kere burada logaritmik ölçek olarak bilinen bir ölçek kullanılır. Boyutça değişimler aklınızda tutabileceğinizden çok daha büyük zaman çerçevesine karşılık gelir. Örneğin, 10 metre boyutlu bir ci-

sim Yeryüzüne on yılda bir ulaşabilir; oysaki 25 metrelik bir cisim Yeryüzüne ancak 200 yılda bir çarpabilir. Ayrıca bu demektir ki ölçülen değerlerdeki küçük değişimler, öngörülerini önemli ölçüde etkileyebilir.

Bu grafiğin üst eksen, verilen boyuttaki bir cismin -20 km/sn hızla hareket ettiği varsayılarak– megaton cinsinden ne kadar enerji salacağını ifade eder. Böylece, örneğin, 25 metrelik bir cisim bir megaton kadar enerji salar. Bu grafik ayrıca çeşitli boyutlarda kaç cismin beklenebildiğini ve bunların muhtemelen ne kadar parlak olabileceklerini söyler; ayrıca onların ne kadar kolay izlenip bulunacaklarıyla ilgilidir. Daha ufak küçük-gezegenlerin daha büyük sayılarına karşın, onların küçük oluşları ve bu yüzden düşük parlaklıkları onları keşfetmeyi daha büyüleyici kılar.



[ŞEKİL 20] Boyutları üç metreden kabaca dokuz kilometreye kadar uzanan Yeryüzüne yakın cisimlerin Yeryüzüne çarpmaları arasındaki yılların ortalama sayıları.

Bu olayların sıklık tahminleri, örnek vermek gerekirse, 500 metre-boyutlu bir cisim için her yüz bin yılda bir, kilometre-boyutlu cisimler için herhalde 500.000 yılda bir ve beş kilometre-boyutlu cisimler için 20 milyon yıla yakın bir ölçektir. Grafik ayrıca bir dinozoru öldürecek-büyükölçekteki on kilometre boyutlu çarpıcının ancak her on ila yüz milyon yılda bir beklendiğini söyler.

Sadece çarpmaların ne kadar sık meydana geldiğiyle ilgileniyorsanız, Şekil 20'deki basit grafik daha açık bilgi verecektir. Dikkat ederseniz, düşey eksen tepede birkaç yılı ve altta çok fazla yılı göstermektedir; böylece büyük çarpmalar küçük çarpmalardan çok daha az sıklıkla olur. Düşey sütundaki üstel sayılara da dikkat edin; bunlar üsteki sayı kadar 10'un kendisiyle çarpılacağını söyler. Örneğin, 10^1 ondur, 10^2 yüz ve 10^0 ise 1'dir.

Yeryüzüne Yakın Cisim İçin Yaklaşık Ortalama Çarpma Aralığı ve Çarpma Enerjisi

OLAY TİPİ	ÇARPAN CİSMİN KARAKTERİSTİK ÇAPI	YAKLAŞIK ÇARPMA ENERJİSİ (MT)	YAKLAŞIK ORTALAMA ÇARPMA ARALIĞI (YIL)
Hava patlama	25 m	1	200
Yerel ölçek	50 m	10	2000
Bölgesel ölçek	140 m	300	30.000
Kitasal ölçek	300 m	2000	100.000
Dünyasal afet eşiği altında	600 m	20.000	200.000
Olası dünyasal afet	1 km	100.000	700.000
Dünyasal afet eşiği üstünde	5 km	10 milyon	30 milyon
Kitlesel soy tükenmesi	10 km	100 milyon	100 milyon

[ŞEKİL 21] Çeşitli boylarda Yeryüzüne yakın cisimler için yaklaşık ortalama çarpma aralığı ve çarpma enerjisi. Bu niceliklerin çarpan nesnenin hızına ve fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine bağlı olduğunu aklınızdan çıkarmayın.

Son olarak, çeşitli boyutlara sahip cisimlerden gelecek tehlikenin derecesi hakkında bir fikir edinmek için, Akademinin çalışmasından son bir diyagramı Şekil 21'de sunacağım. Bu tablo bize çapı birkaç kilometre olan bir nesneden tüm dünyanın etkilenebileceğini söyler. Büyük göktaşı çarpmaları diğer doğal afetler kadar sık meydana gelmez; dolayısıyla onlar neredeyse kesin olarak hiçbir acil tehdit ortaya koymaz. Fakat meydana gelseydi, onların enerji ve şiddet cinsinden çarpması yıkıcı olurdu. Örneğin tablo şunu da gösterir ki 300 metre genişlikli bir nesne her yüz bin yılda bir Yeryüzüne çarpar. Bu atmosferdeki sülfürü, gezegenin büyük bir kısmı üzerinde yaşamı ya da en azından tarımı hasara uğratan Krakatau'nun neden olduğuyla kıyaslanabilir bir

düzeye yükseltirdi. Ve, önceki grafikler gibi, bu tablo her bin yılda bir Tunguska-boyutunda bir havada-patlamanın meydana gelebileceğini gösterir bize. Bu felaket senaryolarından herhangi birinin tüm konturları kuşkusuz çarpmanın büyüklüğüne ve yerine bağlıdır.

NE YAPMALI?

Öyleyse tüm bunlardan ne çıkarmalıyız? Her şeyden önce, uzaydaki tüm bu cisimlerin aynı genel çevrede dolanmaları büyüleyicidir. Yeryüzünün özel olduğunu düşünürüz ve kuşkusuz onu korumak isteriz. Fakat daha geniş bir resim olarak, o sadece özel bir yıldızın çevresinde dönen bir Güneş Sistemindeki iç gezegenlerden biridir. Bununla birlikte, komşularımızın yakınlığını kabullensek bile, aklımızdan çıkaracağımız ikinci nokta, bir küçük-gezegenin insanlığa en büyük tehdit olmadığıdır. Çarpmalar olabilir ve bunlar bazı hasarlar bile yapabilir, fakat insanlar aslında çok yakın bir tehlike içinde değildir; en azından bu bağlamda.

Böyle olsa bile, tehlikeli bir şey ortaya çıkarsa ne yapmalıyız sorusu, gelecek olaya bağlıdır. Tehlikeli bir Yeryüzüne-bağlı yörünge üzerinde birkaç yıl boyunca bir cisim gözleseydik fakat kaderimizi düzelterek herhangi bir şey yapma konusunda güçsüz olsaydık, kendimizi oldukça budala hissederdik. Ciddi bir tehlikenin olmayışı, bir göktaşının yapabileceği herhangi bir tehlikeye karşı korunmak ya da onu azaltmayı düşünmek için tamamen çaresiz olduğumuz anlamına gelmez.

Beklendiği üzere, çok sayıda insan bu problemi düşünmüştü ve uzaydan gelecek bu tehlikeyle uğraşmak için birçok öngörü – gerçek yollar olmasa da– tetkik edilmektedir. İki temel strateji yok etme ya da saptırmadır. Yok etme *kendi başına* mutlaka müthiş bir fikir değildir. Yeryüzüne çarpma tehlikesi olan bir nesneyi pek çok kaya parçasını aynı yönde hızla fırlatacak şekilde havaya uçursanız, büyük olasılıkla bir çarpma şansını artırmış olursunuz. Herhangi özel bir parçadan gelecek hasar daha az olsa da, daha büyük sayıda çarpmayı teşvik etmemek daha iyi bir strateji olur.

Böylece saptırma herhalde daha anlamlı bir yaklaşımdır. En etkili saptırma stratejileri gelen cismin hızını yükseltmek ya da alçaltmaktır; yana doğru bir itme değil. Yeryüzü oldukça küçük-

tür ve Güneş çevresinde oldukça hızlı dolanır; yaklaşık 30 km/sn hızla. Gelen cismin bize yaklaşmakta olduğu yöne göre, varmadan sadece yedi dakika önce ya da sonra –Yeryüzü bu sürede yarıçapı kadar bir mesafe kateder– yolunu değiştirmesi, bir çarpışma ile zararsız uçuşlu bir uyarılma arasındaki fark olabilir. Bu yörüngede muazzam bir değişme değildir. Bir nesne yeterince erken – belki birkaç yıl önce– saptanırsa, hızda küçük bir değişme bile yetecektir.

Saptırma ya da yok etme için önerilerin hiçbiri, bizi geniş çaplı hasar yapmaya muktedir boyutça birkaç kilometreden daha büyük bir cisimden koruyamaz. İyi ki, böyle bir çarpma büyük olasılıkla en azından bir milyon yıl içinde olmayacaktır. Kendimizi koruyabileceğimiz küçük cisimler için, en etkin yansıtıcılar nükleer patlamalar olabilir; bunlar herhalde bir kilometre kadar büyük olan nesnelerin çarpmalarını önleyebilirdi. Bununla birlikte, yasalar uzayda nükleer patlamaları yasaklamaktadır, en azından şimdilik; yani gerekli teknoloji geliştirilmedikçe. Güçlü görünmese de, gelen küçük-gezegen ile bir cismin çarpıştırılması da mümkün olabilir, öyle ki cisim hareket enerjisi olan kinetik enerjisini gelmekte olan küçük-gezegene aktarır. Yeterince erken uyarı olursa, bu taktik, özellikle çoklu çarpışmalar olanağıyla, birkaç kilometre genişliğindeki gelen cisimler için çalışabilir. Diğer saptırma önerileri, Güneş panellerini, kütleçekimsel römorkörler olarak etkiyen uyduları, roket motorlarını –potansiyel olarak yeterli kuvvet yaratabilecek her şeyi– içerir. Bu doğrultudaki teknoloji sonuçta yüz metre kadar büyük cisimler için etkin olabilir, fakat sadece birkaç on yıl önceden gelecek uyarıyla. Bu yöntemlerin (ve küçük-gezegenlerin kendilerinin) tümü daha ileri çalışma gerektirir, böylece neyin çalışacağını kesin olarak söylemek muhtemelen çok yakındır.

Böyle öneriler, göz önüne alınması ilginç ve değerli olmakla birlikte, şu anda sadece gelecek için olası görüşlerdir. Şimdilik böyle teknolojiler yoktur. Bununla birlikte, bir proje, Küçük-gezegen Çarpması ve Saptırma Değerlendirmesi görevi adlı bir proje –bir küçük-gezegen üzerine kinematik çarpmanın yapılabilirliğini test etmek için tasarlanmış– planlama aşamasının epeyce ilerisindedir. Ayrıca bir başka ilgili proje de –Küçük-gezegen Yönlendirme Görevi– hazırlık aşamasında olup, Ay çevresinde yörüngeye

girecek bir küçük-gezegen ya da parçanın saptırılabilmesi ve belki de daha sonra bir astronot ziyareti içindir. Bununla birlikte, bu projelerin hiçbirisi üzerine henüz gerçek yapılandırma başlamamıştır.

Bazı kişiler küçük-gezegen-önleyici yapıların aleyhinde olup, iddialarını daha geniş anlamda zararlı olabileceklerine dayandırmaktadırlar. Bazılarıysa, örneğin, böyle teknolojilerin Yeryüzünü korumaktan ziyade askeri amaçlar için kullanılabileceğinden korkmaktadır; bense bunu epeyce olasılık dışı buluyorum, çünkü herhangi bir risk azaltma düzeneğinin etkin olması için uzun teslim süresi gerekir. Bir başka grup, çok geç kalındığı ya da ona herhangi bir şey yapma hususunda henüz teknolojik beceriden uzak olunduğu zaman, Yeryüzünün yolunu kesen bir küçük-gezegen bulmanın gizil psikolojik ve sosyolojik tehlikesini ortaya atar. Olanak içerisindeki pek çok yapıcı öneriye karşı kullanılabilen bir oyalama taktiği olarak bu beni deli ediyor.

Böyle yapay kaygılar bir yana, yine de “acaba bazı hazırlıklar yapmalı mıyız? ve yaparsak ne zaman?” diye sorabiliriz. Bu gerçekten de bir maliyet ve kaynak tahsisi sorunudur. Uluslararası Uzayda-yolculuk Akademisi kesin olarak bu tür sorulara değinmek ve en iyi stratejiyi belirlemek için toplantılar yapmaktadır. Arizona, Flagstaff’taki 2013 Gezegenel Savunma Konferansına katılmış olan bir meslektaş, bana bir alıştırma söz etmişti; oradaki katılımcıların yaklaşan bir sahte küçük-gezegen düşünceleri istenmiş ve kendilerine benzeşik tehdidi en iyi şekilde nasıl anlatacakları sorulmuştu. “Onun zamanla güncellenen boyutu ve yörüngesindeki belirsizlikleri nasıl ele alacakları,” “harekete geçmenin ne zaman uygun olduğu,” “hangi noktada Başkana telefon etmelisiniz? (ne de olsa, toplantı Amerika’dadır),” “bir bölgeyi boşaltma zamanı ne zamandır” ve “bir potansiyel trajediyi önlemek için, ne zaman bir nükleer füze fırlatmalısınız?” türünden soruları yanıtlamaları istenmişti. Bu sorular –bir dereceye kadar kanımca epey eğlendirici olsa da– şunu açıklığa kavuşturur ki iyi niyetli, bilgili astronomlar bile uzaydan yaklaşan bir cisme karşı çok farklı düşünce ve yanıtlara sahip olabilirler.

Sanırım böyle tehditlerin aşırı derecede baskıcı olmadığına –bazı olası hasarlar yaratsa bile– sizi inandırdım. Talihsizce yönelmiş bir cismin çarpabileceği ve büyük nüfuslu bir merke-

zi yok edebileceği mümkün görünse de, bu olayın yakın gelecekte herhangi bir anda olma olasılığı aşırı derecede uzaktır. Bir bilim insanı olarak yapabileceğimiz kadar çok yörüngeyi kataloglamayı ve anlamayı candan desteklerim. Ve benim içimdeki ahmak, potansiyel tehlike olan bir YYC'yi Yeryüzüne hiç çarpmayacak güvenli bir yörüngeye götürebilecek bir uzay aracının çok uygun olabileceğini düşünür. Ancak, işe en iyi nasıl başlanacağını kesin olarak kimse bilmiyor.

Toplum için en temel konular, tüm bilimsel ve mühendislik çabalarındakilere benzer şekilde, ne paha biçiyoruz, ne öğreniyoruz ve yan yararları ne olabilir gibi konulardır. Ne zaman bir görüş ileri sürmeyi seçerseniz, artık kendinizi bazı temel olgularla donatılmış olarak düşünebilirsiniz. Güncel sayılar yardımcı olur, fakat onlar tam değildir. Birçok politika seçiminde olduğu gibi, akıllı tahminleri pratik durumlar ve ahlaki zorunluluklarla birleştirmemiz gerekir. Kendi bakış açıma göre, hiç tehdit olmasa bile, bilim, daha çok küçük-gezegen bulmak ve onları daha fazla incelemek için gerekli olan oldukça az yatırıma değecek kadar ilginçtir. Fakat toplumun –ve özel sanayinin– en sonunda neye karar vereceğini sadece zaman gösterecektir.

ŞOK VE KORKU

Yunanistan'a yaptığım son gezide, orada tanıştığım yöre halkından bazılarının etkileyici İngilizce dağarı gururumu kırmıştı; onlar bazen benim –ana dilini konuşan bir kişi olarak– kullanmakta tereddüt ettiğim bir sözcüğü söylerler. Birisi *eponymous* sözcüğünü söylediğinde, dikkat etmiştim buna. Konuşma arkadaşım bunun Yunancadan kaynaklandığını hatırlatmıştı bana. Kuşkusuz, bizim sözcüklerimizin çoğunun kökeni böyleydi.

Crater sözcüğü de bunlar arasındadır. Anlaşılan Antik Yunanlar, iyi şarap içmelerine karşın, ölçülü olmakla da takdir edilirlerdi. Cümbüş olmadıkça, şarap kendi hacminin üç katı suyla karıştırılırdı ve bir *krater* belirlenmiş karıştırma fıçısıydı. Bir krater geniş yuvarlak bir açıklığa sahiptir; şekilce Yeryüzü ve Ay üzerindeki devasa ağız açık bölgelere benzerler biraz. Fakat benzer isimli jeolojik özellik, 200 kilometre genişliğe kadar erişebilir ve çevredeki tedirgenmiş bölge daha bile geniş olabilir.

Bazı kraterler hiçbir dış yardım olmaksızın Yeryüzü üzerinde yanardağlar tarafından oluşturulurlar. Kanarya Adalarındaki Tenerife üzerinde, örneğin, El Teide yanardağının büyük lav alanında birkaç harika krater görebilirsiniz; Yeryüzü yüzeyinin altında kaynayıp dışarı taşan kargaşanın kanıtı. *Caldera*'nın İspanyolca "cauldron"(= kazan) sözcüğü olduğunu öğrendiğim yer de burasıdır; bu bana bir volkanik çöküntü için kullandığımız terimin "krater" sözcüğününkine benzer bir kökene sahip olduğunu öğretmişti. Diğer taraftan, çarpma kraterleri bir başına oluşur ve –daha önemlisi– sadece dünya-dışı bir katkıyla.

Çoğu göktaşı çarpması –tüm büyük göktaşları dahil– insanların onları gözlemek için ortaya çıkışından epeyce önce meydana gelmişti. Bir çarpma krateri dikkate değer bir kartvizittir; Yeryüzüne düşen hızlı bir göktaşının geride bıraktığı izi. Kraterler ya da çöküntüler ve onların etrafındaki malzeme genelde varışlarında

ortalığı kasıp kavuran başıbozuk ziyaretçilerin tek geride kalan kayıtlarıdır. Enkazda gömülü kalan sıyrıklar, kaya türleri ve kimyasal bolluklar bu çok eskinin olayları hakkında bize en güvenilir bilgiyi verir.

Çarpma kraterleri, Yeryüzünün çevresiyle –yani Güneş Sistemiyle– süren bağlantısının olağanüstü kanıtı olarak hizmet görür. Çarpma kraterlerinin oluşumunu, biçimini ve niteliklerini anlamak, çeşitli boyuttaki kayaların Yeryüzüne hangi sıklıkta çarptıklarını saptamamıza ve ayrıca türlerin tükenişinde göktaşlarının olası rolünü daha bilinçli bir tarzda tartışmamıza da yardım eder. Bu bölümde, ilk önce insanda huşu uyandıran bu kraterlerin niçin ve nasıl oluştuklarını ve sonra çarpma kraterlerini dünya-kaynaklı çöküntülerden –yanardağlardan– neyin ayırdığını açıklayacağım. Ayrıca yeterli bir güçle Yeryüzüne çarpıp kalıcı bir etki bırakan cisimlerin listesi üzerinde yorumlarda bulunacağım; bunlar internetten indirebileceğiniz Yeryüzüne Çarpma Veri Tabanında güzel bir şekilde kataloglanmıştır. Bu gözlemler, daha sonra göktaşı çarpmalarının tetiklenmesinde karanlık maddenin rolünü ele aldığım da kritik hale gelecektir.

GÖKTAŞI KRATERİ

Çarpma kraterinin oluşumuna ve Yeryüzü üzerindeki kraterlerin tam listesine dalmadan önce, ilk bulunan birini –gökyüzünden gelen cisimleri Yeryüzü yüzeyiyle birbirine bağlamak için yapılan erken keşiflerden biri– derinlemesine düşünmeye birkaç dakika ayıracam (bkz. Şekil 22). Verilen isim tam olarak uygun olmasa da, “göktaşı” havadaki izdir; Göktaşı Krateri en azından bir göktaşıyla oluşmuştu; tanım olarak, tüm çarpma kraterleri gibi. Bu özel krater Arizona’da, Flagstaff yakınında bulunmaktadır. Onun adı, bir göktaşı adlandırma kuralıyla uyum içinde, yakınlardaki bir postaneyle ilişkilidir. Theodore Roosevelt bu postaneyi, onun bir maden mühendisi ve işadamı olan arkadaşı Daniel Barringer gizemli kraterin içeriğini ve kökenini araştırmaya başladığında, 1906’da kurmuştu. Jeologlar başlangıçta onun önerisinden kuşkuluydular, fakat Barringer en sonunda kraterin bir göktaşından kaynaklandığını göstermişti. Çöküntü onun katkısının tanınmasıyla Barringer Krateri olarak da bilinmektedir.



[ŞEKİL 22] Arizona'da kabaca bir kilometre genişliğindeki Göktaş (Barringer) Krateri. (Havadan görünüşü, D. Roddy'nin izniyle.)

Daha büyük çarpma yapıları varsa da, bu krater Birleşik Devletler'deki en büyükler arasındadır; 1200 metre genişlik ve 170 metre derinlikte olup, 45 metre kadar yükselen bir kenar çıkıntısına sahiptir. 50.000 yıl kadar eskidir ve onu tam Yeryüzü yüzeyi üzerinde görebilirsiniz. Bir harita üzerinde apaçık değilse de, kraterin Amerika'da olduğunu söyleyebilirsiniz; çünkü birçok Amerikan nesnesi gibi, o da özel şahsa aittir. Barringer ailesi

Barringer Krater Şirketi vasıtasıyla mülkiyet hakkını elinde tutmakta ve şu sıralarda onu görmek isteyenlerden 16 dolar almaktadır. Daniel Barringer, matematikçi ve fizikçi Benjamin Chew Tilghman'la beraber hak talebinde bulunduğunda ve hemen ardından başkanın imzalamasıyla, 1903'te mülkiyet hakkı sağlama alınmıştı. Hak talebinde bulunan şirkete –Stanford Demir Şirketi– 260 hektarlık toprakta maden çıkarma izni verilmişti.

Özel şahıs arazisi olduğundan, krater ulusal park sisteminin bir parçası olamaz. Ancak federal hükümetin sahip olduğu toprak bir ulusal anıtı barındırabilir, dolayısıyla burası sadece ulusal doğa yeridir. Bunun iyi tarafı, hükümet değiştiğinde kapanmamasıdır; 2013'te ben bu bölümü yazmaya başladığımda olduğu gibi. Özel mülkiyet sahipliği hakkında diğer iyi şey, Barringer'lerin

krateri koruma hususunda kazanılmış haklara sahip olmalarıdır ve o gerçekten dünyanın en iyi korunmuş göktaşı çarpma yeridir; onun nispeten yakın kökenli olması da buna çok yardımcıdır.

Kraterle ilişkili meteorite Diablo meteoriti denir, bu meteorit bu ismi aynı adlı kanyon boyunca yerleşmiş olan Diablo Kanyonunun hayalet kentinden almıştır. Neredeyse sadece demir ve nikelden oluşmuş 50 metre genişlikli ilgili göktaşı herhalde yere saniyede 13 kilometre hızla çarpmış ve en azından iki megaton TNT enerjisi üretmişti; Chelyabinsk'den birkaç kat daha fazla ya da kabaca hidrojen bombası enerjisi kadar. İlk cismin çoğu buharlaşarak parçaların bulunmasını zorlaştırmıştı. Saptanmış olan parçalar oradaki müzede sergilenmektedir ve bazıları satılmaktadır bile.

Parçaların azlığı önceleri kraterin aslında bir yanardağ tarafından değil de bir dünya-dışı cisim tarafından oluşturulduğunu belirlemeyi zorlaştırmıştı; onunla ilk kez on dokuzuncu yüzyılda karşılaşan Avrupalı yerleşimciler onu bir yanardağ oluşumu zannetmişlerdi. Bir dünya-dışı açıklamanın ne denli egzotik görüneceği ve San Francisco yanardağı alanının yakınlığının –sadece 40 kilometre batıda– ne denli yanıltıcı olduğu düşünüldüğünde, o zaman için bu varsayım pek de mantıksız sayılmazdı.

Bir aydınlatıcı bilim öyküsünde yanılmış –ve ancak sonra durumu düzeltmiş– olan ABD Jeolojik Araştırmalarının baş jeoloğu Grove Karl Gilbert onun bir yanardağ olduğu yolundaki resmi saptamasını 1891'de yapmıştı. Gilbert, Philadelphialı mineral tüccarı Arthur Foote'den duymuştu krateri; Foote 1887'de orada çobanların bulduğu demirle ilgilenmiş, bu metalin dünya-dışı kökenli olduğunu anlamış ve acaba başka neler kazıp çıkarabileceğini görmek için o yeri ziyaret etmişti. Demire ek olarak, mikroskobik elmas kırıntıları bulmuştu. Bunlar çarpışmada oluşmuştu, fakat Foote –bunu bilmediğinden– yanlış olarak çarpan cismin Ay kadar büyük olduğunu düşünmüştü. Foote bir yanlış daha yapmış ve krateri incelemekte olduğu meteorit malzemesiyle ilişkilendirmemişti. Yerdeki malzemenin dünya-dışı kökenli olduğunu kabul etmesine karşın, yakınlardaki krateri yanardağ etkinliğiyle yaratılmış ayrı bir olay olarak görmüştü.

Diğer taraftan, krateri Foote'den öğrenmiş olan Gilbert, onun bir göktaşından kaynaklandığını öneren ilk kişiydi. Fakat bu iddiasını bilimsel olarak doğrulama girişiminde Gilbert de yanlış

sonuca varmıştı. Henüz hiç kimse çarpma kraterlerinin morfolojisini anlamadığından, kendi çarpma varsayımını yanlışlıkla reddetmişti; çünkü kenardaki kütle kraterden kaybolan kütleyle uyuşmamaktaydı ve ayrıca belirli bir yönden gelen bir çarpma için beklediği gibi şekil eliptik değil daireseldi. Üstelik, hiç kimse dünya-dışı bir şey olduğuna işaret edecek bir fark için demir içeriğinde herhangi bir manyetik kanıt bulamamıştı. Bir göktaşı kanıtının eksikliği nedeniyle, Gilbert kendi yöntem bilimi tarafından zorlanmış ve çarpma krateri oluşumunun daha ince öğelerini göz ardı ederek –ki bunları birazdan betimleyeceğim– kraterden bir çarpmanın sorumlu olması yerine hatalı bir şekilde yanardağ etkinliği sonucuna varmıştı.

Kraterin kökeni, en sonunda, Barringer ve Tilghman 1905'te *Proceedings of the Academy of the Natural Sciences of Philadelphia*'da bir çift olağanüstü makale yayımladıklarında doğru şekilde yerine oturtulmuştu; bu makalelerde Göktaşı Kraterinin gerçekten de dünya-dışı bir çarpmadan ortaya çıktığını göstermişlerdi. Onların kanıtı ters-dönmüş kenar katmanlarını içermekteydi; gerçekten görülmeye değer olduğu ve çökelti içinde nikel oksit bulunduğu söylenmişti bana. Bununla birlikte, kraterin etrafında bulunan otuz tonluk oksitlenmiş demir meteorit parçaları Barringer'i farklı ve pahalıya mal olan bir hataya sürüklemişti. Barringer demirin kalanının çoğunun yeraltına gömülmüş olabileceğini düşünmekteydi ve onu bulmak için 27 yılını sondaja harcamıştı. Onun bulunması, 1894'te yine Arizona'daki İngiliz Uluslar Topluluğu gümüş madeninden on beş milyon dolar (bugünün dolarıyla bir milyardan çok) kazanmış olan kişi için bir diğer kazanç kaynağı olabilirdi.

Fakat meteorit Barringer'in düşündüğünden daha küçüktü ve zaten meteoritin çoğu çarpmayla buharlaşır. Dolayısıyla Barringer hiç para kazanamamıştı ya da kazısı tamamlandıktan sonra bile, birçok insanı kraterin kökeni konusunda başarılı şekilde inandıramamıştı. Göktaşı Krateri Araştırma ve Madencilik Şirketinin –Barringer'in oluşmasına yardım ettiği bir girişim– başkanı operasyonları kapattıktan birkaç ay sonra Barringer kalp krizinden ölmüştü. Barringer ve şirketi kraterde maden ararken 600.000 dolar kaybetmişti, fakat en azından Barringer varsayımını kanıtlamak için yeterince uzun yaşamıştı.

Gezegen bilimi ilerledikçe ve insanlar krater oluşumunu sonunda daha tam olarak anlamaya başlayınca, daha çok bilim insanı Barringer'in çıkarımına ikna edilmişti. Son doğrulama 1960'ta gelmişti; Eugene Merle Shoemaker –çarpmaların bilimsel olarak anlaşılmasında kilit oyuncu– kraterde nadir silika yapıları bulmuştu; bunlar sadece çarpma basıncıyla şiddetli bir biçimde şoklanmış kuartz içeren kayalardan ortaya çıkarlar. Geçmiş 50.000 yılda mümkün görünmeyen bir nükleer patlamadan başka, tek olası bilinen neden bir göktaşı çarpmasıdır.

Gerçekten de, Shoemaker krateri dikkatlice haritalamış ve onun jeolojisi ile Nevada'daki nükleer patlama kraterleri civarında üretilmiş jeoloji arasındaki benzerliği göstermişti. Onun çözümlemesi, Yeryüzüne bir dünya-dışı çarpma fikrini haklı çıkarmış ve Yeryüzü biliminde, Yeryüzünün kendi kozmik çevresiyle etkileşmesinin önemini içine katan bir kilometre taşı olmuştu.

ÇARPMA KRATERİ OLUŞUMU

Kaya tırmanışından aldığım keyif, malzemeyi, oluşumu ve kayaların yoğunluğunu incelemekten –yukarıya doğru olan en güvenli ve en elverişli yolu belirlemek için yüzeyleri yakından kontrol etmekten– duyduğum hazzın azımsanmayacak bir kısmıdır. Fakat kayaların içine gömülmüş gerçek hazine onların uzun tarihçeleridir. Gösterdikleri tektonik tabaka hareketinin kanıtıyla birlikte, kayaların morfolojisi ve bileşimi, jeologlara değerlendirmeleri için bir bilgi hazinesi temin eder. Paleontologlar da Yeryüzünün içinde gömülü fosillerden ve onun arazisinden çok şey öğrenirler.

Kaya oluşumu daima bir öykü anlatır ve bazı yerler bu bakımdan özellikle muhteşemdir. İspanya, Bilbao'da Basque eyaletine yaptığım bir üniversite ziyaretinde, bana Zumaia kasabasına yakın bir yerde Flysch Jeoparkından söz eden bir fizikçi meslektaşım olduğu için çok şanslıydım. Jeopark etkin bir ekoturizm yeridir; burası jeoloji tarihinin milyonlarca yılını temsil eden inanılmaz bir kireçtaşı miktarını barındırır; hem o bölgeye sürdürülebilir ekonomik gelişme sağlayan jeolojik hazine-nin kullanılması bakımından hem de çeşitli bilimsel etkinlik ve keşifler açısından büyüleyicidir. Jeoparkı ziyaret ettiğimde, oradaki bilimsel direktör bana düşey falezin bir ucundan öbür

ucuna derhal görülen, büyüleyici bir dere boyunca mükemmelen yerleşmiş 60 milyon yıllık kaya tabakalarını işaret etmişti (bkz. Şekil 23). Falezi, her sayfası aynı anda görülebilen bir açık kitap olarak betimlemişti. K-T sınırı (şimdi resmen K-Pg sınırı olarak biliniyor; buna daha sonra döneceğim) fosilli beyaz kaya tabakasını üstteki fosilsiz gri tabakadan ayırmaktadır. Son büyük soy tükenişini gösteren bu çizgi, Basque eyaletinin bu sakin yerinde iyi korunmuştur.

Fakat geçmişti öğreneceğimiz tek yol, böylesine muhteşem kaya tabakaları değildir. Yeryüzü yüzeyi üzerinde en dikkate değer oluşumlardan bazıları olan çarpma kraterleri çok farklı bir bilgi kaynağı oluşturur. Göktaşlarının nasıl ve ne zaman çarpacakları hakkındaki bilgimizin sınırlı olmasına karşın, bilim insanları çarpma kraterlerinin jeolojisini oldukça iyi anlamış durumdadırlar. Bir kraterin biçimi, kaya morfolojisi ve bileşimi, çarpma kraterlerini caldera'lardan ya da diğer yuvarlak çöküntülerden ayırt etmeye yardımcı olan ipuçları sağlarlar. Mademki çarpma kraterlerinin ayırıcı görünüşü ve bileşimi geniş ölçüde onların kökeninden anlaşılabilir, öyleyse göktaşlarının Yeryüzüne düştükleri yerlerdeki çöküntüler ve özel kaya tipleri, en önce kraterleri yaratan olaylar hakkında bize pek çok şey söyler.

Eğer sözcükler göz alıcı biçimde başarısız askeri politikayla halen yozlaşmamışsa, çarpma kraterlerinin oluşumunun en güçlü betimlenişi büyük olasılıkla "şok ve korku" olurdu. Çarpma kraterleri, Yeryüzüne yeterli enerjiyle çarpan dünya-dışı cisimlerin bir sonucu olup, bu enerji dairesel bir krater açacak kadar güçlü bir şok dalgası yaratır; bu da gerçekten korku vericidir. Şok dalgası –doğrudan çarpma değil– sorumludur çarpma kraterlerinin dairesel biçiminden. Daha doğrudan bir çukur açma, bunun yerine, çarpan nesnenin geliş yönünü yansıtan yeğlenmiş bir yönelmeyle bir çöküntü oluştururdu; bu da tüm etrafı aynı görünen bir çukur olmazdı. Gilbert'in Barringer Krateri çözümlemesini yanlış yönlendiren hileydi bu. Fakat krater basitçe çarpan nesnenin kayaları bastırması olarak anlaşılamaz. Krater şöyle yaratılır: Çarpan nesne Yeryüzüne öyle çok bastırır ki sıkıştırılan bölge bir piston gibi davranır; sonra baskıyı salıvermek için hızla sıkıştırma kalkar, ilk çarpmadan gerisin geri sıçrar ve malzeme fışkırtır. Şok dalgasının yarı küresel örüntüsü aracılığıyla basıncın salıverilmesi gerçek

patlama olup, krateri bu yaratır. Çarpma kraterinin ayırıcı daire-sel yapısına neden olan bu yeraltı patlamasıdır.

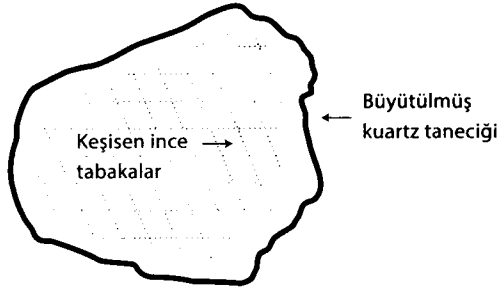
Çarpma kraterlerini oluşturan cisimler genellikle yere, Yeryü-zünün 11 km/sn olan kaçma hızının sekiz katına kadar varan hız-larla çarparlar; en tipik olanı kabaca 20-25 km/sn'dir. Daha büyük cisimler için bu hız –ses hızının pek çok katı olup– muazzam bir kinetik enerji salınmasını garanti eder; çünkü kinetik enerji sade-ce kütleyle değil, aynı zamanda hızın karesiyle büyür. Bir nükleer patlamayla karşılaştırılabilen katı kaya üzerine bir çarpma, hem uzaydan gelen cismi hem de Yeryüzü üzerindeki yüzeyi sıkıştıran şok dalgaları yaratır. Çarpma üzerine açığa çıkan şok karşılaştığı malzemeyi ısıtır, giren göktaşını ve –yeterince büyük göktaşlarıyla– hedef bölgelerini de neredeyse eritir ve buharlaştırır.



[ŞEKİL 23] İspanya, Zumaia'daki Itzurun Plajı üzerinde Flysch Jeopar-kının kayalarında 60 milyon yıllık görünür tarih (Jon Urrestilla).

Genişleyen süpersonik dalga, yerel malzemede stres düzeyleri yaratır. Bu da, sadece çarpma kraterlerinde ve nükleer patlamala-rın patlama bölgelerinde şoklanmış kuartz gibi nadir kristal ya-pılar meydana getirir (bkz. Şekil 24). Diğer ayırıcı özellikler kaya-larda parçalanma konileri içerir; bunlar, Şekil 25'te resimlendiği

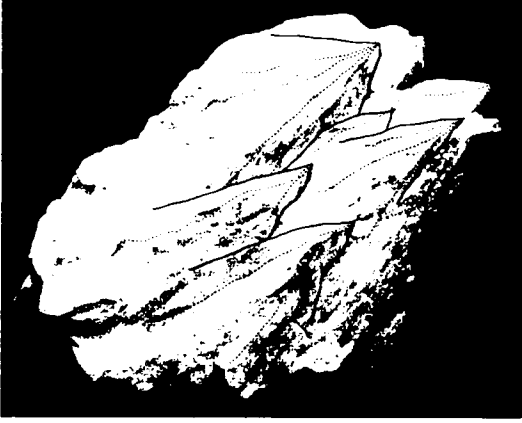
gibi, tepeleri çarpışma noktasına yönelik koni biçimli yapılardır. Parçalanma konileri de, yine sadece çarpmalarla ya da nükleer olaylarla açıklanabilen bir yüksek-basınç olayının açık kanıtıdır. Parçalanma konileri, boyca milimetrelerden metrelere kadar uzanmaları açısından ilginçtir, bu nedenle malzemede makroskobik bir ölçek etkisi sağlar. Kristal bozulması ve erimiş kayaların kanıtıyla birlikte, parçalanma konileri gerçekten çarpma olaylarını temsil eden kraterleri ayırt etmeye yardım eder.



[ŞEKİL 24] Şoklanmış kuartzda ayırıcı çapraz-çizgili bozulma örüntüsü, Yeryüzüne şiddetle çarpmış bir göktaşına işaret eder.

Çarpmaların ayırıcı özelliği olan diğer kaya oluşumları, yüksek sıcaklıklarda meydana gelenlerdir. *Tektitler* ve *çarpma eriyiği kürecikleri* olarak bilinen bunlar camsı malzemeler olup, kökenleri ergimiş kayaya dayanmaktadır. Bunlar ille de yüksek basınçta değil ama yüksek sıcaklıkta üretilmiş olarak, muhtemelen yanardağlarda da meydana gelmiş olabilirler; genelde krater oluşumu için çarpmalara karşı en önemli yarışçılardır. Fakat çarpma kraterleri çoğunlukla metalleri ve diğer malzemeleri içeren –Yeryüzünde nadir bulunan nikel, platin, iridyum ve kobalt gibi– farklı bir kimyasal bileşime sahiptir. Bu ek ipuçları, çarpma kökenini kanıtlarla desteklemeye yardım eder.

Çarpan nesnenin kimyasal bileşimi başka ayırt edici özelliklere de sahip olabilir. Örneğin, özel izotoplar –aynı yüklü fakat farklı nötron sayılı atom çekirdekleri– dünya-dışı oluşumlar için daha tipik olabilirler. Özgün maddenin çoğu buharlaştığından, bu ancak kalan malzemenin küçük bir yüzdesi için yararlı olacaktır.



[ŞEKİL 25] Aynı kayada birçok kez oluşan farklı büyüklükteki belirgin konisel biçimler, kaya yapısının yüksek-basınçta oluşumunun makroskobik göstergesidir.

Ayrıca çarpma *breşleri* de (köşeli yığılımlar) kraterleri ayırt etmede yararlıdır; bunlar ince-taneli bir malzeme kalıbıyla bir arada tutulan kaya parçalarıdır; yine başlangıçta orada bulunan maddeyi paramparça etmiş bir çarpmayı gösterir. Şokla kaynaşmış camlar da ilginçtir, burada onların oluşması hem yüksek basıncı hem de yüksek sıcaklığı gerektirir. Onların fevkalade yüksek yoğunluğu onları tanımaya yardım eder. Bir diğer önemli nitelik, cam parçacıklarından oluşan karmaşık yapıların tabanının krater tabanı ya da merkezi tabakalar içinde çizdiği kanallar olabilir.

Bu ayırt edici şok ve erime özellikleri, çarpma olaylarını doğrulamak için kritiktir, çünkü onların oluşması için başka yol yoktur. Bununla birlikte, kaya parçalarının altına iyice derine gömülmüş ve erimiş oldukları için, onları bulmak her zaman için kolay olmaz. Yine de, meteoritler bol bol bulunur ve birçok doğa tarihi müzesinde örnekleri sergilenir. New York'taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesinde sergilenen en büyük meteorit olan 210 cm yüksekliğindeki, 34 tonluk Ahnighito meteoriti hoşuma gider. Bu devasa kaya daha sonra alınmış ve meteorit koleksiyonuna eklenmiş olup müzenin kurulduğu 1869 yılından beri oradadır.

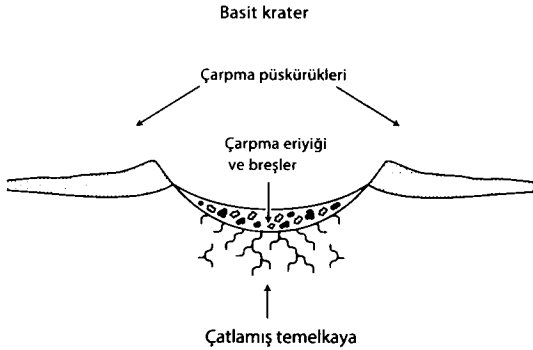
Ayırt edici biçimleri gibi, malzemeler de çarpma kraterlerini saptamaya yardım eder. Çarpma kraterleri onları çevreleyen böl-

gelerden düşük çöküntüler oldukları halde, çoğu volkanik kraterler püskürmelerden ortaya çıkarlar ve çevredeki arazinin düzeyi üzerinde bulunurlar. Çarpma kraterleri ayrıca kabarık kenarlara sahiptir; yine volkanik kraterler için tipik olmayan bir husus.

Bir diğer kimlik saptama özelliği, püskürük örtüdeki çevrik katmanlar –devrik kenar tabakaları– bilgisidir; kazılmış ve sonra kraterin dışına “ters çevrilmiş” malzemenin bir sonucu, büyük keklerin kenarına benzer bir şey. Yeryüzünün ya da herhangi bir gezegen veya ayın yüzeyindeki yüksek kenarlı, derin, kabaca dairesel çöküntü ve çevrik katmanlar da, cüsseli bir cismin yüzeye muazzam bir hızla çarptığının açık bir kanıtıdır.

Çarpma kraterlerini ayırt eden malzemeler daha çok ani şoku bırakıverme esnasında biçimlenseler de, kraterin biçimi bunu izleyen oluşum tarihçesine de bağlıdır. Başlangıçta, hedefe çarptığında, hedef malzemesi hızlanırken çarpan nesne yavaşlar. Çarpma, sıkışma, sıkışmanın azalması ve şok dalgasının dışa akışı –bunların tümü– bir saniyenin birkaç onda biri içinde olur. Şok dalgası geçince, değişimler çok daha yavaş meydana gelir. Çarpmaya maruz kalarak ilk dalgayla hızlanan malzeme, şok dalgası söndükten sonra bile hareketini sürdürür, fakat bu aşamada hareket sesten yavaştır. Böyle olsa bile, krater, kenarını yükselterek ve daha fazla malzeme atarak oluşumunu sürdürür. Bununla birlikte, krater henüz kararlı değildir ve kütleçekim onu çöktürecektir. Küçük kraterler için, kenar biraz aşağı düşer ve erimiş malzeme daha aşağı kısımlara akarak enkaz başını kraterin duvarlarına yaslar. Sonuçta olan hâlâ kâse-biçimidir ve başlangıçta oluşan kratere çok benzer görünür, fakat epeyce daha küçük olabilir. Göktaş Krateri, örneğin, özgün büyüklüğünün yarısıdır. Sonradan breşler ve erimiş ve fırlatılmış kayalar çukuru doldurur. Basit bir kraterin biçimi Şekil 26’da resimlenmiştir.

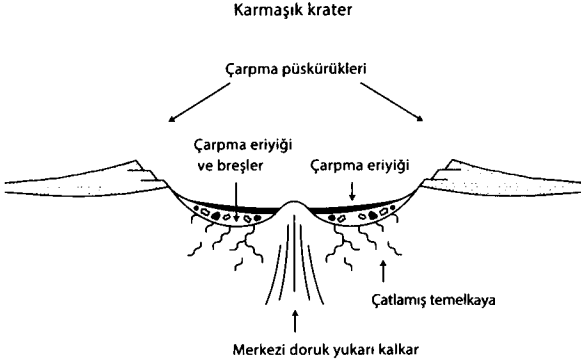
Daha büyük çarpmalar sadece malzemeyi yerinden söküp fırlatmazlar, ayrıca çarptığı özgün yerin bir kısmını da buharlaştırırlar. Bu ergimiş malzeme çukurun içini kaplayabilir, buharlaşmış malzemeyse tipik olarak etrafa genişleyerek aslında bir mantar bulutu yaratır. Daha kaba malzemenin çoğu birkaç krater yarıçapı içerisine yağacaktır. Fakat daha ince taneli madde dünya çevresine yayılabilir.



[ŞEKİL 26] Çarpmayla oluşmuş basit bir krater, oldukça düz breşlere ve ayırt edici bir kenar yükseltisiyle kaplı, kazılmış kâse-biçimli bir merkezi bölgeye sahiptir.

Çarpan nesne çaprazlama bir kilometreden büyük olduğunda, oluşan kraterler yirmi kilometre veya daha büyük olacaktır. Bu durumda çarpan nesne esas olarak atmosferde bir delik yaratır ve püskürükler –geniş bir alan üzerine düşmeden önce yukarıya doğru giderek– bu boşluğu doldurur. En sıcak malzeme üst-havayuvary (stratosfer) üzerine yükselebilir ve sonra buharlaşmış malzemenin ateş-topu, yakında karşılaşacağımız K-T çarpmasıyla dünyanın her tarafına depolanmış olan iridyumca zengin kilin başına geldiği gibi, geniş bir bölgeye yayılabilir.

Daha da büyük çarpmalar bir *karmaşık krater* yaratır (Şekil 27), bunda çukur ilk krater oluştuktan sonra daha kapsamlı değişimlere uğrar. Merkezi bölge yukarı yükselirken kenar kısmen çöker, çünkü şok dalgası yer boyunca ilerlerken şok dalgasının zıt yönünde ilerleyen yeni bir dalga yaratmak için düzgün olmayan kayayla etkileşir ve şoku “boşaltır.” Bu yoğunluğu azaltma dalgası derin malzemeyi sığ derinliğe çeker ve kabuğu büyük-çarpma kraterlerinin altında inceltmiş bırakır. Tüm bunların meydana geldiği hız dikkat çekicidir. Birkaç kilometre derinlikteki çöküntüler saniyeler içinde yaratılabilir ve doruklar dakikalar içinde binlerce metre yükselebilir.



[ŞEKİL 27] Basit bir krater gibi, karmaşık bir krater; yükselmiş bir kenar –fakat teraslı yapıyla– içte yukarı kalkmış bir bölge ve daha çok miktarda çökmüş malzeme.

Karmaşık kraterler, daha küçük çarpmalarla oluşmuş basit kraterlerden farklı bir görünüme sahiptir. Kesin krater biçimi büyüklüğe bağlıdır. Bir krater, tabakalı çökelti kayalarında iki kilometreden ya da güçlü magmatik veya başkalaşmış kristalli kayalarda dört kilometreden daha geniş olduğunda, genelde bir merkezi yukarı kalkmış bölgeye, geniş düz krater tabanına ve teraslı duvarlara sahiptir. Bu; ilk sıkıştırma, kazma, düzeltme ve çökmeden sonra geriye kalandır.

Boyut çaprazlama 12 kilometreden daha büyük olduğu zaman, tüm plato ya da halka merkezde yukarı kalkabilir. (Mecazi olarak ve bazen kelimenin tam anlamıyla) geçmiş eşelendiğinde, tüm bu ipuçları kritik bilgilerdir. Bölüm 12’de göreceğimiz gibi, bu ayırt edici özellikler 1980’lerde Yucatan’daki K-T soy tükenmesiyle ilişkili kraterin kimliğinin saptanmasında yararlı olmuştur.

YER ÜZERİNDEKİ KRATERLER

Son yarım yüzyılda pek çok çarpma krateri bulunmuştur. Onların kimyasal bileşimini ve ayrıca *astroblemler* –geriye hâlâ tanınabilir etkiler bırakmış olan çoğunluk itibarıyla harap olmuş kraterler– olarak bilinen çizik izlerinin tertibini inceleyerek, gezegenimizin ziyaretçi kaydını tamamlamaya başlayabiliriz. Ziyaretçi defteri Yeryüzüne Çarpma Veritabanıdır.

Kraterin Adı	Yaşı (milyon yıl)	Çapı (km)
Saint Martin	220 ± 32	40
Manicouagan	214 ± 1	85
Rochechouart	201 ± 2	23
Obolon'	169 ± 7	20
Puchezh-Katunki	167 ± 3	40
Morokweng	145,0 ± 0,8	70
Gosses Bluff	142,5 ± 0,8	22
Mjølner	142,0 ± 2,6	40
Tunnunik (Prince Albert)	> 130, < 450	25
Tookoonoka	128 ± 5	55
Carswell	115 ± 10	39
Steen River	91 ± 7	25
Lappajärvi	76,20 ± 0,29	23
Manson	74,1 ± 0,1	35
Kara	70,3 ± 2,2	65
Chicxulub	65,17 ± 0,64	24
Boltysh	66 ± 0,03	150
Montagnais	50,50 ± 0,76	45
Kamensk	49,0 ± 0,2	25
Logancha	40 ± 20	20
Haughton	39	23
Mistastin	36,4 ± 4	28
Popigai	35,7 ± 0,2	90
Chesapeake Bay	35,3 ± 0,1	40
Ries	15,1 ± 0,1	24
Kara-Kul	< 5	52

[ŞEKİL 28] Yeryüzü üzerinde son 250 milyon yılda yaratılmış, çapı 20 kilometreden daha büyük olarak bilinen kraterlerin Yeryüzüne çarpma veri tabanından elde edilmiş listesi. Etkilenmiş çarpma bölgesinden daha küçük olan boyutlar kraterin kendisinin kenardan kenara çap için tahminleri temsil etmektedir.

Yeryüzüne Çarpma Veritabanı, internette bulabileceğiniz bazı daha büyüleyici listeleri kesinlikle içerir. Bunu kontrol ederseniz, Yeryüzüne çarpmış ve yeterince büyük bir çizik izi bırakmış ve bir

çarpma krateri olarak tanınmış pek çok cismin kataloglarını bulursunuz. Bu, çarpmaların tam listesi değildir. Yeryüzü üzerindeki pek çok eski krater jeolojik etkinliklerle silinip yok olduğundan, burada gözlediklerimizin çoğu çok daha yeni ve seyrek çarpmalardan ortaya çıkmıştır.

Çoğu çarpma büyük olasılıkla 3,9 milyar yıldan daha önce Güneş Sisteminin erken evresinde, gezegenlerin oluşumundan geriye kalan malzemenin dağılıp dolandığı zamandan itibaren meydana gelmişti. Fakat Yeryüzü, Mars, Venüs ve diğer jeolojik olarak çok daha aktif cisimler zamanla kraterlerin kanıtını kaybetme eğilimine girmişlerdi; jeolojik olarak atıl duran Ayın böylesine çok belirgin kraterleri göstermesinin nedeni budur.

Çok daha yeni çarpmalar bile artık büyük ölçüde kaybolmuştur. Onlar makul sıklıkta meydana geldikleri halde, küçük çarpmalar dikkati çekecek bir iz bırakmazlar; en azından uzun bir süre için. Aslında küçük kraterler, Yeryüzünün yoğun atmosferi nedeniyle, bekleyebileceğinizden daha az yaygındır. Venüs ve Titan'daki gibi, atmosfer bizi birçok küçük çarpmadan korur; oysa orada onları koruyacak atmosfer olmadığı için Merkür ve Ay üzerine pek çok çarpma meydana gelir.

Daha büyük çarpmalar ancak seyrek şekilde olur; gezegenimiz üzerindeki yaşamın kararlılığı bakımından oldukça büyük bir şanstır bu. 20 kilometre genişliğinde bir krater oluşturmaya yetecek kadar şiddetli bir çarpma, birkaç yüz bin yıl ila bir milyon yılda bir olabilir ve dünya ölçeğinde hasar yaratır. Yeryüzüne Çarpma Veri Tabanında henüz bu oran bile görülmemektedir. Veri Tabanını kontrol ederseniz, sadece böyle 43 kraterin kanıtını bulursunuz; son 500 milyon yıl içinde sadece 34 ve son 250 milyon yıl içinde 26 adet vardır (Şekil 28) ve toplamda sadece yaklaşık 200 yapıdır.

Krater kaydının azlığı çeşitli etmenlerle açıklanabilir. İlk ilgili sorun Yeryüzü yüzeyinin yüzde 70'inin okyanuslarla kaplı oluşudur. Su altındaki kraterleri bulmanın zorluğu bir yana, su daha en başta bir kraterin oluşumunu engelleyebilir. Üstelik, okyanus tabanındaki jeolojik aktivite, fiilen oluşmuş daha yeni çizik izleri dışında, muhtemelen her şeyi silip süpürür. Deniz tabanı kanıtları her 200 milyon yılda bir büyük ölçüde yok olur, çünkü levha tektoniği okyanus tabanını bir taşıyıcı -kuşak- içinde değiştirir;

tabakaların dağılıp birbirinin altına girmesi süreciyle bu zaman ölçeğinde önceden var olan her kanıt örtülmüş olur.

Yeryüzünde bile, su ve rüzgârın yol açtığı erozyon gibi jeolojik etkinlikler kanıtları yok edebilir. Pek çok kraterin kıtaların iç bölgelerinde çok daha kararlı şekilde bulunmuş (ve büyük olasılıkla Venüs gibi az jeolojik aktiviteli gezegenler üzerinde kalmış) olmalarının bir nedeni budur. Kuşkusuz, dört kilometrelik su-altı erişilemez olmasa bile, göktaşları karada da daha az girilebilir yerlere düşebilirler. Nihayet, insanların işlemleri Yeryüzü yüzeyini değiştirerek kanıtları örtebilir. Buna göre, krater listelerinin bu kadar uzun olması bir bakıma olağanüstü sayılır.

Üstünlüğü nedeniyle göze çarpan birkaç krater, jeolojik zaman ölçeğinde oldukça yakın olaylar olarak ünlüdür. Onar kilometre genişliğindeki iki krater son milyon yıl içinde biri Kazakistan'da ve diğeri Gana'da oluşmuştu. Diğer tanınmış ikisi, Güney Afrika ve Kanada'daki Vredeford ve Sudbury kraterleridir. Bunlar K&T soy tükenişine yol açan çarpma olayının neden olduğu Chicxulub kraterinden daha bile büyüktür, fakat çok daha uzak geçmişte iki milyar yıl önce şekillenmişlerdi. Kanada'daki Sudbury madeni, krateri yaratan devasa cismin çarpıp kabuğu ergittiği vakit yoğun hale gelen nikel ve bakırı çıkarmak için açılmıştı. Sudbury'de çarpan nesne metallerin çoğunu doğrudan vermemiş, onun yerine Yeryüzü kabuğunun deniz-büyükliğündeki muazzam bir hacmini eritmiş, bunun kristalleşmesi uzun zaman almıştı. Bu, kabukta zaten var olan az miktardaki nikel ve bakırın çarpma eriyiği havuzunun tabanına yerleşmesi için yeterince zaman bırakmıştı. Sonra metaller sıcak çarpma eriyiği levhasının doğurduğu hidrotermik aktiviteyle daha da yoğunlaşarak ekonomik olarak tekrar geri kazanılabilir cevherler üretmişti.

Sudbury madeni, oradaki bir yeraltı laboratuvarından ötürü, parçacık fizikçileri arasında ünlüdür. Hâlâ aktif bir maden olduğu gibi, aktif bir deneysel fizik yeridir de. Sudbury laboratuvarının derin yeraltı konumu, yüzeyden iki kilometre aşağıda olarak, içerdeki dedektörleri kozmik ışınlardan perdeler ve böylece orasını, 1999 ve 2006 arasında yapıldığı gibi, Güneşten gelen nötrinoları çalışmak için ideal bir laboratuvar haline sokar. Orası karanlık maddeyi araştırmak için de mükemmel bir yerdir; bugünlerde çeşitli deneylerin amacı içerde kendilerine yer edinmektir.

Fakat çoğu çarpma öyküsü pek de böyle tozpembe değildir. Epeyce yeni olan ve büyük çarpmaların sahip olabileceği muazzam yıkıcı kapasiteyi gösteren Chicxulub çarpma olayını yakında betimleyeceğim. Bununla birlikte, 66 milyon yıl önce K-T soy tükenişini tetikleyen göktaşının bu inanılmaz öyküsünü sunmadan önce, geçmiş yarım milyar yılın başlıca soy tükenişlerinin daha büyük masallarını ve onların gezegenimizdeki yaşamın kırılganlığı ve kararlılığı hakkında bize ne söylediklerini yansıtayım size.

SOY TÜKENİŞLERİ

Darwinci doğal seçilim, yaşamın nasıl evrildiğini herkesin çok iyi bildiği şekilde açıklar. Çevrelerindeki değişimlerle başarılı bir şekilde yarışamayan ve onlara uyum sağlayamayan –ya da başka uygun bir yaşama ortamına geçen– türler ölürken, yeni türler ortaya çıkar. Yine de birçok başarısına karşın –gerçekten de bunlar çoktur– Darwinci evrim bildiğimiz yaşama tam bir açıklama getirmez. Eksik olan en kritik öge yaşamın başlangıcıdır.

Darwin, yaşam ortaya çıktıktan sonra, bazı yaşam biçimlerinin yerlerini diğerlerine nasıl bıraktıklarını anlamamıza yardım eder. Fakat evrim ilkeleri bir rol oynasa da, Darwin'in fikirleri yaşamın en önce nasıl oluştuğunu açıklamaz. Konu üzerine yazılmış birçok popüler makale ve kitaba karşın, başlangıçlar değinilecek en zor bilimsel sorular arasındadır; sorun, Yeryüzü üzerinde yaşamın başlaması mıdır, yoksa yaşamı içeren Evrenin başlaması mı? Gelişmenin daha sonraki aşamaları hakkındaki fikirler, onların sınanabildiği bilimsel yöntemeye uygundur; her zaman laboratuvar-da kontrol edilmiş deneyler vasıtasıyla sınanamıyorsa, o zaman en azından fosil kalıntılarının ya da zengin ve çok eski gökyüzünün incelenmesiyle sınanır. Diğer taraftan, başlangıç neredeyse asla ulaşılamazdır. Önce neyin geldiği hakkında yorumlar yapan ya da tahminler yürüten kuramsal eğilimli bilim insanları başlangıç sorularını çözmeye çalışmışlardır. Bazı deneysel yönelimli biyologlarsa erken Güneş Sisteminde yaşamın oluşmasına esas teşkil eden süreçlerin benzerlerini yapmayı denemişlerdi. Fakat bu emekleme aşamasındaki ilerlemelere karşın, yaşamın başlangıçları, aslını öğrenmek üzere çetin bir ceviz olarak öylece durmaktadır; en azından şimdilik.

Bununla birlikte, bu kitapta, yaşam öyküsünün farklı bir yanına, Darwin'in ilk kuramı olan doğal seçilimle tamamıyla çevrilmiş olmayan –yaşamın kökenleri gibi– bir yanına odaklanıyoruz.

Bu yan, yine de, –daha sonraki evrim aşaması gibi– gözlemlerden etkilenme yararına sahiptir. Yaşam öykünün bu önemli ögesi, köklü değişime nasıl tepki verildiğiyle ilgilenir; köklü değişim *kitlesel soy tükenişlerini* de içerir, burada birçok tür, arkalarında kendi soyundan hiç kimseyi bırakmaksızın, aşağı yukarı aynı zamanda ölür.

Özgün Darwinci kavramın merkezinde *aşamalı-gerçekleşme* düşüncesi yatmaktadır; bu fikir değişimin yavaş olarak birçok nesil üzerinden meydana gelmesi anlamındadır. Darwin'in kuramı köklü değişimler hakkında değildi ve burada kesinlikle dünya-dışı saldırılarla tetiklenen değişimler düşünülmemekteydi. Darwin'in resmi yavaş evrime dayanıyordu, oysaki çevresel felaketler çok ani olabilir. Evrimin şimdi geçerli olan kuramı, Darwin'in özgün olarak tasavvur ettiğinden çok daha hızlı değişmeye izin verir. Princeton biyologları Peter ve Rosemary Grant, Darwin'in ayak izlerini izleyerek, artık çok iyi bilinen şunu bulmuşlardı: Galapagos Adalarındaki ispinozların gagaları yağışın değişmesine gayet hızlı şekilde uyum sağlamışlardı; Grant'ların ardışık ziyaretlerinde değişimleri görece kadar kısa bir zamanda. Fakat felaketler genelde o kadar hızlı ve öyle dramatik sonuçlarla meydana gelirler ki pek çok türün yaşamasını olanaksız kılarlar.

Dinozorlar gerçekten de uyum sağlamışlar ve bir grup olarak milyonlarca yıl hayatta kalmışlardı. Diğer koşullar altında, neredeyse kesin olarak daha da yaşayabilirlerdi. Fakat daha önce asla görüp geçirmediikleri çevre koşullarına uyum sağlayamamışlardı; bunun dış uzaydan gelen bir cisimden kaynaklandığını yakında göreceğiz.

Evrin çalışmaları artık şunu kabul ediyor; uyum sağlama, en yavaş çevre değişimlerinden başka her çevre değişimiyle baş etmek için neredeyse daima aşırı yavaş bir süreçtir. Uyum sağlamalar, sadece yalıtılmış çevrelerde tamamen belli özelliklere sahip türler vermek gibi görünmektedir. Değişen koşullara yeğlenen tepki, çoğu kez daha uygun çevreli yeni bir yere göç etmedir; fakat kuşkusuz ancak böyle bir çevre erişilebilirse. Bir tür uyum sağlayamaz ya da yeniden uygun bir yaşama ortamına yerleşemezse, onun hiçbir şansı kalmaz. Hızla değişen çevremizde, biz insanlar bunu dikkate almayı becerbilmeliyiz. Teknolojik ilerlemelere bağlı olmaksızın, bugünün değişen çevresinin muhtemel

jeopolitik çıkarımları değerlendirildiğinde, ders herhalde amaca uygundur.

Kozmik masalımıza yakın olarak, soy tükenişinin öyküsü, gezegenimizdeki yaşam ve gökyüzü, Güneş ve muhtemelen gökadamızın çevresi arasındaki ilişki nedeniyle ilgimizi çeker. Varlığımızın, yaşamı oluşturmaya –ve ölmeye– izin veren birçok beklenmeyen olaya nasıl bağlı olduğunu unutmak kolaydır. Bu bölüm, soy tükenişi kavramını, onun nedenlerini ve en büyük beş kitlesel soy tükenişi olayını ve ayrıca olabileceği gibi incelenen bir altıncı kitlesel soy tükenişini tartışmaktadır; bunlarda, birkaç milyon yıllık zaman dilimi içerisinde türlerin yarısıyla dörtte üçü ölmüştü (paleontologlar bir tek tanımda birleşemediler).

Soy tükenişleri, gezegenimizi iki anlamda meteorolojik olaylara bağlar: hava ve dış uzay bakımından. Bağlantıların daha iyi anlaşılması uğraştırıcı görünmektedir, fakat erişebileceğimiz mesafede de olabilir bu. Bu beceri bir tür olarak bizim için önemlidir; öyküler pek çok kişinin düşündüğünden daha uzun zaman dilimlerinde ortaya çıksalar bile.

YAŞAM VE ÖLÜM

Basit yaşam Yeryüzü tarihinde oldukça erken dönemde ortaya çıkmıştı. Gezegenin yüzeyindeki en yaşlı kayalar 3,5 milyar yıl kadar eski olan fosillerde yaşamın kanıtını içerirler; bu zaman, Yeryüzünün oluşumundan bir milyar yıl kadar sonradır ve çok geçmeden uzaydan göktaşları ve kuyruklu yıldızlar tarafından bombardıman edilmesi durmuştu. Oksijenli fotosentez bir milyar yıl kadar sonra ortaya çıkmıştı ve bununla birlikte büyük olasılıkla birçok soy tükenişini tetikleyen bir atmosfer oluşmuştu, fakat bu ayrıca çok hücreli algler zemin hazırlamıştı. Yaklaşık yarım milyar yıl sonra “sıkıcı milyar” başlamıştı; bu bir milyarlık dilimde başka hiçbir köklü gelişme –en azından bizim bildiğimiz– yer almamıştı. Bu uzun, sakin aralık Kambriyen dönemin başlamasıyla –540 milyon yıl önce– karmaşık yaşam patladığında birdenbire sona ermişti.

Evrimi çok daha ayrıntılı olarak anlamamız, Kambriyen çeşitlenmesinden itibaren bugüne kadardır; Fanerozoik dönem denen zaman diliminde. Fosil kalıntıları bu dönemin tam başlangıcın-

dan, birçok sert-kabuklu hayvanların ilk göründükleri ve sağlam, kalıcı kalıntılar ürettikleri ve çoğu hayvan ve bitki yaşamının ortaya çıktığı zamandan itibaren izler içerir. Fosiller, Kanada Kaya-lık Dağlarındaki Burgess Shale, Çin'deki Yangtze Gorges, kuzey-doğu Sibirya ve Namibiya gibi çeşitli bölgelerde bulunmaktadır. Tümü, Avustralya'da daha önceki Ediacara fosillerinin, Newfoundland'deki Avalon-tipi fosillerin, Namibiya'daki Nama-tipi fosillerin ve kuzeybatı Rusya'nın Beyaz Deniz bölgesinden bazı fosillerin yaptığı gibi, çeşitli yaşam tiplerinin yaygın artışı hususunda kanıt içerir. Bu sonraki bölgeler –Kambriyen artışın hemen öncesindeki bir zamandan– bilinen en erken karmaşık yaşamların bazılarını kapsar.

Fosil kalıntıları –bize yaşamın yaygınlaşması hakkında söylediklerine ek olarak– farklı yaşam biçimlerinin geride aynı soydan hiçbir akraba bırakmaksızın ne zaman yok oldukları hususunda bilgi verir. Fosil kayıtlı soy tükenişlerinin çoğu iyice eski olduğu halde, soy tükenişi kavramı oldukça yenidir. Ancak 1800'lerin başlarında Fransız doğa bilimcisi ve asilzadesi Georges Cuvier bazı türlerin gezegenden tamamıyla yok oldukları kanıtının farkına varmıştı. Cuvier'den önce, başkaları eski hayvan kemiklerini bulduklarında, onları sürekli olarak var olan türlerle ilişkilendirmeye çalışmışlardı; bu kuşkusuz mantıklı bir ilk tahmin olabilirdi. Ne de olsa, mamutlar, mastodonlar ve filler birbirlerinden farklıdır, fakat o kadar da çok değil; böylece onları başlangıçta karıştırmazsınız ya da en azından kalıntılarını ilişkilendirmeye çalışırsınız. Cuvier mastodonların ve mamutların şu anda yaşayan hiçbir hayvanın ataları olmadığını gösterdiğinde, bunu çözümlemişti. O şimdi-soyu tükenmiş birçok türün de kimliğini saptamaya girişmişti.

Fakat soy tükenişleri fikri artık kesinkes kabul edilmiş olsa da, bütün türlerin geri dönülmez şekilde yok olduğu fikri ilk başlarda büyük bir dirençle karşılaşmıştı. Soy tükenişi kavramı, bugün insan-yapımı çevre değişimiyle ne kadar zor uzlaşmaktaysa, en azından o zamanların baskın inanışlarıyla uzlaşması da o kadar zor olmalıydı. İngiliz jeolog Charles Lyell, Charles Darwin ve Georges Cuvier tümü onun kabulüne yardım etmişlerdi; fakat ille de isteyerek değil, kesinlikle çok farklı açılardan.

Cuvier, diğerlerinin tersine, fosil kalıntılarındaki köklü geçişlerin Yeryüzü çapındaki felaketlerin sonuçları olduğu bakış açısı-

nı kabul etmişti. Bu görüş için güçlü destek, fosil tiplerinin ken- dilerindeki hızlı değişme üzerine kayaların dehşet verici olayların işaretlerini göstermesi gözleminden gelmişti. Henüz Cuvier tam resme de sahip değildi. Tüm soyları tükenen türlerin felaketsel olaylara uğradığına –yavaş değişmelerin de katkı yapıcı etkenler olabileceğini asla kabul etmediğine– dair kendi fikrine ateşli bir şekilde inanmaktaydı. Cuvier, ne Darwin’in evrim kuramını ne de türlerin sık sık yavaş, kalıcı süreçlerle soy tükenişine gittiği fikri- ni kabule yanaşmıştı.

Doğrusu, şimdi bile, insanlar dramatik kır manzaraları gör- düklerinde –onların biçimlenmesine yardım eden yavaş süreçleri her zaman değerlendirmezler– kafaları karışır. Güneybatı Colo- rado’daki bir etkinlikte konuşmacı olan bir arkadaş toplumdaki dramatik karışıklıklar üzerine olan toplantıya gidişimiz esnasın- da yolun iki tarafında baş döndürücü kumtaşı falezlerinin oluş- masını hayal ettiğini belirtmişti. Ona ilgili süreçlerin –düzensiz bir şekilde olsa da– ancak milyonlarca yılda meydana geldiğini, söylediği gibi neredeyse bu denli şiddetle oluşmadığını hatırlat- mıştım.

Cuvier’nin önerisinin zamanında, bilimsel kurumların çoğu –felakete yol açan değişmenin rolüne karşı çıkararak– aksi hatayı yapmıştı. Soy tükenişi kavramı, iki yüzyıl önce kabul etmesi zor bir düşünce olmuş olsa da, felaketsel değişim fikri muhtemelen hâlâ daha inanılmaz görünmekteydi. Darwin yavaş değişimi anla- mış olan bilim insanları arasındaydı, fakat Cuvier için esas olan akıl almaz fikirleri atlamıştı. Darwin yavaş-oluşla çelişen her ka- nıtın basitçe jeolojik ya da fosil kalıntılarının yetersizliğinin bir işareti varsaymıştı. O kuşkusuz evrimi kabul etse de, herhangi bir kimsenin evrimi etkin olarak gözlemesi için onun daima aşır- ı yavaş meydana geldiğini varsayıyordu. Darwin, düşüncesinde itibarlı Charles Lyell’in görüş noktasını izlemekteydi; Lyell on do- kuzuncu yüzyılın ikinci yarısında hâlâ tüm değişimlerin yumuşak ve yavaş olduklarını iddia ediyordu. Gerekçesi de, her ters kanıtın basitçe ya jeolojik kalıntılardaki boşlukların ya da erozyonun yol açtığı yetersiz verilerdi. Lyell kısmen İskoçyalı hekim, kimyasal imalatçı, tarımcı ve jeolog James Hutton’dan ilham almıştı; Hut- ton Yeryüzünün sadece uzun zaman dilimlerinde büyük etkiler veren küçük değişimlerden değişikliğe uğradığını düşünmekteydi.

Bu bilim insanlarının fikirleri birçok süreç için –biyolojik ve jeolojik– gerçekten de doğrudur. Yağmur ve rüzgâr, ağır ilerleyen plaka hareketi tarafından milyonlarca süren yavaş bir yükselmenin sonucunda oluşan dağları yavaş yavaş erozyona uğratmıştı. Fakat en köklü değişimler insana hâlâ oldukça yavaş gelse de, artık gezegeni hem yavaş hem de hızlı değişimlerin biçimlendirdiğini biliyoruz. Bu değişimlerin bu denli zor kavranmasının nedeni işte budur.

Yine de geçmiş deneyimlerle, geriye bakabilir ve dramatik değişimler için kanıt açık olmalıydı diyebiliriz. 1840'lara kadar gerilerde bile, bilim insanları fosil kalıntılarında büyük boşluklar saptamışlardı ve bunlar yıkımsal olayların habercisiydi. Paleontologlar tortul kalıntıları inceleyerek, birçok fosil tiplerinin kaya tabakasında bir sınırdan birdenbire yok olduğu, onun üzerinde yeni türlerin belirtisinin başladığı yerlerin farkına vardıklarında, böyle olayların kimliğini saptamışlardı. Belirtinin anında belirsizliğe yer vermediğini söylemek değildir bu, çünkü birçok olay tortulaşmanın durmasına ve sonra kaldığı yerden başlamasına neden olabiliyordu. Fakat karşılık gelen felaketsel olayların saptanması ve daha önceki ve sonraki tabakaların birikiminin göreceli zamanlamasını belirtebilen dikkatli tarihlemeyle, paleontologlar pek çok karışıklığı çözebilmişlerdi. Hızlı değişimler için kanıtlar, zamanla, çürütülemeyecek kadar aşırı güçlü hale gelmişti.

ENGELLERİN AŞILMASI

Geçmiş olayları tekrar kurmaya çalışan bilim insanları, varsayımları doğrulanabilir ya da yanlışlanabilir öngörülere dönüştürmek için, aşırı derecede çok çalışmak zorundaydılar. Bol fosil kalıntılarıyla bile, zamansal ya da konumsal çözümleme çok çeşitli varsayımlara ve sonuçlara işaret edebilir. Süren bilimsel tartışmaların bazıları için nedenleri anlamak, fakat ayrıca bu engellerin üstesinden gelmiş olan jeologların ve paleontologların ne kadar zeki ve yöntemli olduklarını değerlendirmek için kısaca hem soy tükenişlerinin ne denli hızlı ve geniş ölçüde meydana geldiğini hatasız olarak anlamada hem de altındaki nedeni saptamadaki bazı meydan okumaları ele alalım.

İlk engel basitçe soy tükenişlerinin sıklığını değerlendirmedeki zorluktur. Verilen herhangi bir anda gezegen üzerinde var olan

kesin tür sayısının sayımı zordur, çünkü bilim insanlarının varlığını sürdüren memeli, sürüngen, balık, böcek ve bitkinin her tipini bulması, kimliğini saptaması ve ayırt etmesi gerekir. Bugün var olan türler sayıldığında bile bu geçerlidir, ilke olarak bunlar iyice erişilir olmalıdır. Biyolog E. O. Wilson *The Future of Life* [*Yaşamın Geleceği*] kitabında doğa bilimcilerinin onların üzerine makaleler yazmaları için her yıl çok sayıda tür keşfinin ortaya çıkmasından hayıflanır.

En iyi tahmin sekiz ile on milyon arasında olmak üzere, bir ile iki milyon arasında mevcut tür kataloglanmıştı; bunun beş katına kadar çıkan tahminler de bulunabilir. Beklendiği üzere, sadece geçmiş yıllardaki yaşamı değil ayrıca jeolojik olayları ve onların etkisini saptamayla ilgili zaman ve problemlerdeki boşluk dikkat alındığında, geçmişte soy tükenişi sıklığını saptamak bugün var olan türlerin sayısından daha bile meydan okuyucuydu. Sonuç olarak, geçmiş türlerin sayısını ve onların yok olma sıklığını saymak, bu durumda her ikisi de zordur.

Kitlesel soy tükenişlerinin saptanmasında özellikle bir teknik ayrıntı, ilgili sayının kesin tanım uyarınca değişebilmesidir. Bilim insanları çoğunlukla daha yararlı gruplama olarak buldukları cinsleri hesaba katmayı yeğleseler de, ben daha çok türlerin sayısına gönderme yapacağım. İlgili biyolojik sınıflamaları anlama becerim –hem evrim hem de soy tükenişi için önemli– büyük ölçüde uzun süre önce bir lise sınavı için hazırlanmamla, yani basitçe yeterli kez söyleyerek ezberlediğim “âlem-şube-sınıf-takım-aile-cins-tür” tekerlemesiyle (siz de deneyin) desteklidir. Bu bilgiye nadiren başvurmadan karşın, bu terimleri hiçbir zaman unutmadım. Bu sıralamalar, ki size yabancı gelebilir, yaşamın özel yapılarının ne kadar yakından ilintili olduklarına işaret eder.

Bir kitlesel soy tükenişi olup olmadığı değerlendirildiğinde, sınıflama fark eder. Örneğin, her bir cinsteki türlerin yarısından çoğunun yok edilmiş olduğu bir durumu düşünün. Verilen bir cinsten, bu cinsin ayakta kalması için, sadece bir türün kalması gerekir. Eğer gerçekten meydana gelmiş olan buysa, tür sayımı bir soy tükeniş olayı meydana geldiğini zorla kabul ettirebilirdi, çünkü türlerin yarısından çoğu yok olmuştu; oysaki cins sayımı tersini gösterebilirdi, zira sayı hiç değişmemişti. Bu örnek, bir kitlesel tükeniş olayının kesin olarak sınırlarını işaretlemek için

kullanılan keyfi yüzdeyle birlikte –biri yüzde 50 ve biri yüzde 75 desin– tanımın bir parça belirsiz doğasını açıklığa kavuşturur. Bu kitlesel tükenişin göz ardı edilebileceği demek değildir; sadece onları tanımlamak için ideal bir yol yok demektir.

Paleontologların işi, terim bilgisinden ziyade maddenin aslına ait etkenlerle de ağırlaşmıştır. Altüst olmuş fosil kalıntılarını açıkça tanımak ve anlamak esastır. Bazı türler ya da cinsler bitişik tabakalarda fosiller bırakırlarsa ve bunlar üstteki tabakalarda yoksa, bu bir soy tükenişi olayına işaret ediyor gibi görünebilirdi. Fakat fosiller sadece tortul kayalarda bulunur. Volkanik ya da diğer tortul-olmayan ortamlarda yaşayan nadir türler genelde hiçbir iz bırakmayacaktır. Kambriyen dönem (yaklaşık 540 milyon yıl önce) öncesinden daha yaşlı yaşam-yapılarının incelenmesinde bir engel, sert cisim parçalarının olmayışıdır; bu da daha önceki zamanlardan kalma fosil birikimlerinin kimliklerini saptamayı zorlu hale getirir.

Fakat çok daha yakın kalıntı da karmaşıktır. Fosiller yapı oluşturmuş olsa bile, fosillerden çıkarılan sonuçların anlaşılmasında esas olan tortullaşma ve erozyon hızlarındaki değişmelere bakarak yorum yapmaya kalkışmak kafamızı karıştırabilir. Yeryüzündeki birikimler dönemsel biçimde meydana gelirken bir deniz ortamında tortusal birikimler sürekli ve erozyon dönemselidir. Bu da deniz kalıntılarını, genelde hiç de tam olmayan yer kalıntılarından çok daha kapsamlı kılar. Bu etkenler, fosil kalıntılarının sadece geriye kalan parçalarının ve mevcutsalar bile o kalıntılarının bulunmasının ve kimliğinin saptanmasının zor olabileceği anlamına gelir. Paleontologlar, herhangi bir bireyi bulmanın olasılığı zor olsa bile, yeterince uzun süreden yeterli sayıda türün kâfi sayıda bireyi verildiğinde, tortul kalıntıları hâlâ fosillerle dolu olduğu için başarılı olurlar.

Böyle fosiller bir tam bireyin izlerini net bir şekilde koruyabilirdi, fakat çoğunlukla onlar sadece kısmi kalıntılardır; kayalara gömülü kanıtı kolayca gizlerler. Genelde bir türün sadece en sert parçaları fosilleştiğinden, cismin ayırt edici parçaları çoğu kez mevcut değildir; bu da farklı türlerin bir araya konmasına yol açar. Fosillerin kimliklerini sağlamada mükemmel olsak bile, Yeryüzü üzerindeki erozyon ve diğer süreçler pek çok izi daha bulunmadan çok önce gizlerler ya da ortadan kaldırırlardı.

Bu kadarla kalınsa iyi, Signor-Lipps etkisi de yorumu karışıklığa uğratabilir. Adını Phil Signor ve Jere Lipps'ten alan bu olay, oldukça sezgisel bir fikre bağlıdır: Bir türün son fosilleri farklı jeolojik zamanlarda farklı yerlerde konuşlanmış olacaktır, bu da soy tükenişinin aslında olduğundan daha yavaş cereyan ettiğini ve pek öyle ani olmadığını gösterir. Signor ve Lipps'e göre, son kalıntı fosillerinin yersel olarak uzanan bölge üzerinden derinlik değişimi kesin olarak soy tükenişinin yavaş yavaş mı, yoksa ani-den mi meydana gelmiş olduğunu saptamaz. Bu belirsizlik verilen bir soy tükenişinin başlatıcı nedenini öğrenmeyi zorlaştırır.

Araştırmacılar çoğu kez deniz fosillerini yeğlerler, çünkü onlar genelde daha iyi korunmuşlardır. On dokuzuncu yüzyılda, istirid-yeler, amonitler, mercanlar ve diğer oldukça geniş türler en çok ulaşılabilenlerdi. Ama yirminci yüzyılda jeologlar tek-hücreli foraminifera gibi mikrofosilleri kullanarak –bunlar hem su altında hem de yukarı kaldırılmış kireçtaşı içinde bol olup, alabildiğine yayılmış ve korunmuştur– çok gelişkin araçlarla daha ayrıntılı bilgiler elde etmeye başladılar.

Soy tükenişleri belirlendikten sonra, hem fosil kalıntılarının hem de mutlak yaşların önemli olduğu dikkate alınır. Fosil kalıntıları, bulunan jeolojik oluşumlarla birlikte, bağlı yaşların saptanmasına yardım edebilir. Farklı zaman dilimleri farklı türleri barındırdığından, mevcut fosillerin tipleri onların oluştukları bağlı zamanları belirlemeye yardım eder. Fakat bir sınır kaya tabakasının bağlı yaşı yanında, ayrıca mutlak yaşını da bulma işi çoğu kez zordur ve fosil kalıntısından bağımsız olan oluşum tarihleme yöntemlerini gerektirir. Bu amaçla jeologların genelde kullandıkları bir yöntem *izotop çözümlemesidir*. İzotop çözümlemesiyle, bilim insanları bir atomun farklı izotoplarının oranını saptarlar (bir atomun izotoplarında protonların sayısı aynı, fakat nötronların sayısı farklıdır). Şöyle ki bir izotopun bir diğerine bozunumunun ne kadar zaman aldığını ve ayrıca neyle başladığını bilirseniz, o zaman bir atom tipinden geri kalan miktar vasıtasıyla bir nesnenin ne kadar yaşlı olduğunu saptayabilirsiniz.

Karbon yaş-tayini bu yöntemin belki de en iyi bilinen örneğidir. Eski organik malzemelerin yaşını saptamada kullanılır ve gerçekten de çok kesindir. Bununla birlikte, karbon izotoplarının yarı-ömrü göz önünde tutulursa, bu yöntem sadece 50.000 yıldan

daha az yaşlı maddeler için etkin olup Fanerozoik dönemin çoğundaki eski kayalar için yetersizdir. Bunun yerine daha uzun yaşayan izotoplar kullanılır.

Fakat izotop çözümlemesinin daha yaşlı kayalara uygulanması çok daha zordur. Genel olarak ilgili izotopların sadece eser miktarları mevcuttur ve yaş-tayini her zaman yeterince kesin olmaz. Örneğin, potasyumun argona bozunumu yaş-tayini için önemli bir süreçtir. Ama kayalardaki argon gazı atmosfere kaçabilir, bu da o kayaları gerçekte olduğundan daha genç gösterir. Ya da ilk oluştuğunda argon kayada tutulabilir, bu durumda daha fazla argon ve daha eski oluşum görünüşüne yol açar. Son birkaç on yılda, çeşitli elementlerin çapraz ilişkileriyle çalışmalar iyileştirilerek ve çok az element miktarlarıyla ayrıntılı algılayıcılar tasarlayarak, yöntemler önemli ölçüde geliştirilmişti. Argon kristallerinden gazı uzaklaştırmak için lazerler kullanmak suretiyle göktaşının yakınlardaki yaş-tayini ve K-T soy tükenişi olayı olağanüstü derecede doğru bir örnek temin eder; buna önümüzdeki bölümde değineceğim.

Mutlak yaşları saptamaya yardım etmek üzere manyetik bilgi de kullanılmıştı. Başlangıçta dinazor soyunun tükenişiyle ilgili kayalar için kullanılan bu yöntem, jeomanyetik tersine çevrilmeye dayanır. Fakat Yeryüzü kabuğu hareketli tektonik levhalardan oluştuğundan, manyetik alanın yönelişi zamanla değişir, öyle ki sonuçların güvenilirliğini tehlikeye atarak ilk yönelişi tekrar kurmak zor olabilir. Belki de bunun yetersizliği, jeolog Walter Alvarez ve babası fizikçi Luis Alvarez'i bir başka yöntem aramaya yöneltmişti; iyiye yorumlanacak bu durum, yakında açıklayacağım göktaşı varsayımına yol açmıştı.

SOY TÜKENİŞLERİ İÇİN ÖNERİLEN AÇIKLAMALAR

Jeologların ve paleontologların sıkı çalışması, geçmişte gezegendeki yaşamın çoğunu silip süpüren müthiş değişimler olduğunu tartışmasız şekilde göstermişti. Bu belirlenir belirlenmez, sorular bunların nasıl ve niçin oluştuğuna dönüşmüştü. Son yıllarda çok sayıda yıkıcı fırtınaya ve felakete uğramıştık, fakat hiçbirisi tek başına gezegenimizdeki türlerin yarısını yok etmeye yetecek kadar güçlü olmamıştı. Kuşkusuz birikimli insan etkisi üzerine son hü-

küm henüz belirlenmemiştir. Fakat geçmişte meydana gelmiş olan dünyayı-değiştirici felaketlere ne neden olmuştur?

Soy tükenişlerini tetikleyen dehşet verici olayların bir listesini elde etmeden önce, devreye girebilen çevresel etkenlerin oldukça kısa bir listesini ele alalım ilkin. Sıcaklık ya da yağış değişimleri (her iki yönde) iki önemli katılımcı olmuştur. Kabaca, kendi yerel çevrelerine uyum sağlamış olan türler, yağış düzeni değiştiği zaman, buna zorunlu olarak uyum sağlayamayabilirler.

Kuzey kutbundaki buzun erimesinde olduğu gibi, özel türlerin yaşam ortamı, sıcaklığın değişmesine tepki hususunda, öylesine dramatik olarak değişebilir ki buna yeterince hızlı uyum sağlayamayan mevcut türler ya uygun bir yaşamsal coğrafyaya taşınmalıdır ya da yok olmalıdır. İklim değişikliğinin direkt etkileri çok azdır kuşkusuz; en önemli dolaylı etkilerinden biri deniz seviyesinde değişme yapması, böylece kararlı deniz ortamlarını tahrip edebilmesi ve önceki yaşanabilir kıtalarda su baskınlarına yol açmasıdır. Sonuçta karasal ortamlar okyanus ortamlarına döner ve bu suretle karada yaşayan türler yok olur.

Isınan okyanuslar yağış düzenini de etkileyebilir; bu da yine türlerin hayatta kalma şanslarını azaltır. Daha kısa zaman ölçeklerinde, parazitler ya da hastalıklar –bunların tehlikeleri iklim değişimiyle azalabilir– soy tükenişlerine katkıda da bulunabilir. Ve bir türün bel bağladığı besinin kökü kazınır ve bu da besin zincirinde bir domino etkisini tetikler.

Okyanuslarda, asitlik derecesinin değişmesi, oksijen azalması olarak, bir başka potansiyel ölüm mekanizmasıdır. Nihayet yalıtıma, dayanıksız nüfusa yol açabilen engellerin oluşması ya da istilacı türlere veya nüfusun aşırı türdeş olmasına olanak sağlayacak engellerin kaldırılması, bir türü sonlandırabilecek iki etkindir. Her soy tükeniş tetikleyicisi en azından demin betimlediğim felaketlerden birine yol açar ve onlardan çoğu birkaç felakete birden neden olur.

Fakat bu değişimler niçin meydana gelir? Onları hangi çevresel değişme tetikler? Bu konu üzerindeki düşünceye iki rakip bakış açısı hâkimdir. Biri şudur: Bu değişmeler yavaş yavaş meydana gelir; çoğu kez Yeryüzüne bağlı yanardağlar ya da levha tektoniği gibi olaylarla ilişkili bir bakış açısidir bu. Yanardağın saldırdığı toz ve is Güneş ışığını engelleyebilir ve atmosferde sıcak-

lığı etkileyecek önemli değişimler doğurur. Fakat bu, bir sonuç olarak yaşam-yapılarını öldürmek için biraz vakit alır. Yaşamsal coğrafyaları ve ortamları etkileyebilen levha tektoniği, türleri yavaş yavaş yok etmeyi akla getiren bir diğer etkindir. Okyanuslardaki değişmelerle birlikte, levha tektoniği iklimi ve karasal örtüyü etkileyebilir ve bunların ikisi gezegendeki yaşam üzerinde dramatik değişikliklere yol açabilir. Kuşkusuz gerek yanardağ etkinlikleri gerekse levha tektoniği soy tükenişleriyle ilgiliyse, onların aynı zamanda meydana gelme eğilimlerinden dolayı, büyük olasılıkla ikisi birdendir.

Bu durumda "büyük olaylar" vardır. Bu karşıt bakış açısı, büyük göktaşı çarpmaları gibi dıştan dayatılan dünya-dışı felaketleri kapsar, fakat eğer yeterince ani surette meydana gelirlerse, yıkıcı dünyasal olayları da içerebilir. Yeryüzü kaynaklı felaketler için öneriler, birdenbire hızlanan bir tempoda ortaya çıkabilen iyi-bilinen olaylara dayanır. Örneğin, yanardağların çeşitli aralıklarla püskürdüğünü biliriz, fakat Sibirya'da ve Güney Hindistan'ın Deccan Platosu üzerinde, bazaltlı lav tabakaları *trap*** denen muazzam bir bölgeye uzanır. Bir trap geniş bir plato içine uzanan lav tabakaları içerir; bunlar her püskürmede büyük miktarlarda lavın atıldığı ve geniş bir bölgeye yayıldığı aşırı derecede yüksek yanardağ püskürme sıklıklarından meydana gelmişti. Deccan ve Sibirya trapları, normalden çok daha şiddetli volkanik etkinliklerin ve püskürme sıklıklarının işaretleridir. Bugün bile, erozyona karşın, Sibirya traplarındaki lavlar en azından bir milyon kilometre karelik alanı ve birkaç yüz bin kilometre küplük hacmi işgal etmektedir.

Trapları oluşturan bir tür kapsamlı volkanik etkinlikten çıkan kül, ciddi hasara neden olabilmisti. İzlanda'daki Eyjafjallajökull yanardağı 2010 Nisanında patladığında, külün uçakları engellemeye yetecek kadar yoğun halde nasıl etrafa yayılabildiğini haber bültenlerinden hatırlayabilirsiniz. Daha güçlü volkanik etkinlik, gezegenin havasında anlamlı değişiklikler gibi daha

* Basamak görünümünde üst üste yığılmış bazalt tabakalarıyla kaplı bölge. 2 milyon kilometrekarelik yüzölçümüyle Batı Avrupa kadar ya da Türkiye'nin üç katı büyüklüğünde bir alanı kaplayan bölge, adını İsveç dilinde merdiven anlamına gelen "trappa" sözcüğünden almıştır -yn.

önemli, dünya çapında etkilere yol açabilir. Püskürmeler büyük miktarlarda sülfür-dioksit salar. Bu, üst atmosferde su buharı miktarını yükselterek sera etkisine katkı yapabilir ve böylece kısa zaman ölçeklerinde küresel ısınmayı artırır. Uzun zaman ölçeklerinde, bu aynı yanardağlar küresel soğumaya sebep olabilir. Bunun nedeni, salınan sülfür-dioksitin hızla suyla birleşerek sülfürik asit üretmesidir. Bu ise yoğunlaşarak, Güneş ışığını tekrar uzaya geri saçan ince sülfat ayrosolli oluşturur; dolayısıyla alt atmosferin soğumasına yol açar. (Bu o kadar iyi çalışır ki, bilim insanlarının, tehlikeli bir iklim mühendisliği olarak iklim değişimine tepkiyi araştırırken, atmosfere isteyerek sülfür katmaları bir stratejidir.) Sülfat ayrosolli atmosferdeki ozonu da tahrip eder ve asit yağmuruna yol açar. Geri-besleme etkileri –bilinen ve bilinmeyen– daha bile uzun-ömürlü hava olayları da yaratabilir.

Bununla birlikte, volkanik etkinlik kendi başına tüm soy tükenişlerini açıklayamaz. Yeryüzü üzerindeki yaşamın büyük bölümünü yok edecek kadar büyük etkinlik nadirdir. Hızlı ve felaket getiren kitlesel soy tükenişlerinin tetiklenmeleri için çok daha egzotik öneriler kozmik olayların merkezine oturur. Yeryüzü ekseninde ve yörüngede değişimler de olur; bunlar on binlerce ya da yüz binlerce yıllık zaman ölçeklerinde meydana gelen buz çağıları gibi bazı iklim değişikliklerinden sorumludur; fakat bu Yeryüzü hareketlerinin, aşırı seyrek olarak meydana gelen çok büyük ölçüdeki yıkıcı olayları açıklaması olanak dışıdır.

Kozmik çarpmaların yanı sıra, kozmik ışınlar ve süper novalar da daha uzun zaman ölçekleriyle ilgili olma potansiyeline sahip olası suçlular olarak önerilmişlerdi. Kozmik ışınlar bulut örtüsünü çeşitli yollardan etkileyebilirler. Bir yol, alt-hava yuvarında (troposfer) atomları iyonlaştırmaktır; öyle ki su damlacıkları civarı çekirdeklendirebilir. Bu etkileme bulut oluşumunu çoğaltır, bu da Yeryüzünün hava durumunu etkiler. Bununla birlikte, bu kuramın tutar tarafı yoktur. Her şeyden önce, kozmik ışınların diğer potansiyel iyonlayıcı kaynaklarına göre ne kadar önemli olduğunu bilmiyoruz. İkinci olarak, çekirdekler –oluştuklarında bile– bulutları tam olarak oluşturmadan önce, yoğunlaşmayla muazzam şekilde büyümelidirler. Üçüncüsü de, bulutların etkisi açık

değildir; Güneş ışığını yansıtarak Yeryüzünü soğutabilirler ya da bunun yerine, enerjinin bir kısmını tekrar ışın şeklinde yayarak onu ısıtabilirler. Her durumda, kozmik ışınlar ile iklim arasında ölçülmüş olan karşılıklı ilişkiler, soy tükenişlerine zemin hazırlamak için gerekli olan kısa zaman dilimindeki muazzam değişimleri açıklamaya yetmez.

Süpernovalar da olası dünya-dışı soy tükenişi tetikleyicileri olarak önerilmişlerdi. Öne sürülen mekanizma süpernovanın saldırdığı enerjili X-ışınları ve kozmik ışınlarla ilgilidir. Bu ışınım ilke olarak hücresel ya da genetik malzemeyi tahrip ederek yaşamı doğrudan yok edebilir. Işınım ozon tabakasını da tüketebilir ya da azot-dioksit oluşumuna yol açar; bu da Güneş ışığını soğurarak küresel soğumaya neden olabilir.

Bununla birlikte, bu potansiyel tehlikelere karşın, süpernovalar soy tükenişlerini açıklamakta olasılık dışıdır, tam olarak tahmin edebileceğiniz şu nedenle: Ana sorunlara yol açmak için yeterince yakın olan süpernovalar yeterince sıklıkla ortaya çıkmazlar. Yeryüzümüz süpernovaların yoğun olduğu gökadanın spiral kollarından geçerken süpernova sıklığı artarsa da, Yeryüzünün onlara yeterince yakın geçme olasılığı soy tükenişi olaylarını açıklamak için hâlâ aşırı küçüktür. Benzer şekilde, gama ışını patlamaları çoğu soy tükenişini açıklamak için yeterince sık meydana gelmez. Bazı tahminler uyarınca, bunlar Samanyolunda sadece aşağı yukarı her milyar yılda bir olur.

Kozmik soy tükenişini tetiklediği düşünülen çok daha inandırıcı bir aday, Yeryüzüne çarpan bir kuyrukluyıldız ya da bir göktaşdır. Gezegene çarpan muazzam büyüklükte bir cisim yerde, havada ve okyanuslarda dramatik değişimlere zemin hazırlayabilir. Yeterince iri bir nesne çarparsa, Yerkürenin yüzeyinde büyük ve bazı türler için ölümcül değişimler yaratır ve bunu derhal bir iklim değişikliği izler.

Aslında, filmlerdeki büyük felaket senaryolarının esasen çoğu (bir zombi kıyameti hariç) yeterince büyük bir çarpmayı izler. Çarpmanın kendisi şok patlamaları, yangınlar, depremler ve tsunamiler yaratır. Atmosferi toz kaplar, geçici olarak fotosentez sona erer ve pek çok hayvan için besin kaynaklarının çoğu yok olur. Çarpmanın yol açtığı iklim değişiklikleri çok zarara da yol

açar; başlangıçta ısınma ve daha sonra soğuma ve belki de bundan sonra gene ısınma. Soğuma atmosferde kalan sülfatlardan ve tozdan gelir, oysa sonraki ısınma zehirli ve küresel ısınmaya yol açan ısı-tutucu gazların olası bir sonucudur.

Bir göktaş ı gerçekten de en azından bir kitlesel soy tükenişı olayına neden olmuştı; bunu gelecek bölümde ayrıntılı olarak anlatacağım. Bu facia, Fanerozoik dönem esnasında gerçekleşmiş olan beş büyük soy tükenişinden biriydi.

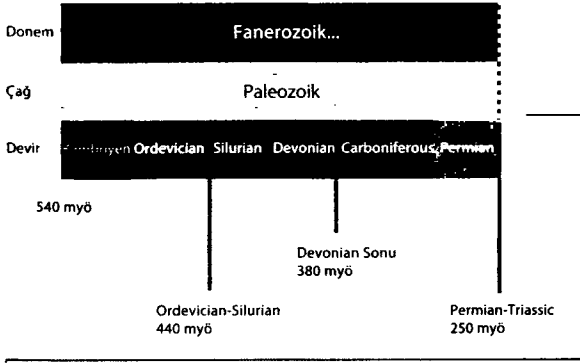
BÜYÜK BEŞLİ

1982'de, Chicago Üniversitesi paleontologlarından Jack Sepkoski ve David M. Raup paleo-biyoloji alanını, öncü çalışmalarıyla o alanda var olan tüm verilerin sayısal çözümlemesini yaparak kökten değıştirdiler. Gözlemlerdeki birçok eksiğı –ve ayrıca nelerin ve nasıl eklenmesi gerektiğine karar verilecek birçok hususu– sayısal, veriye dayalı ustalık isteyen çalışmalarıyla giderdiler. Yine şunun da farkına vardılar ki, kusurlu ya da tam olmayan verilere uygulandığında, eğer onlardan yeterli kadarı mevcutsa, istatistik yararlı olabilir ve gerçekten de durum buydu. Gerçi Raup ve Sepkoski'nin 1982 makalesi fosil kalıntılarının ilk sayısal çalışması değıldi, ama daha önce çok daha anlatıya ve küçük ölçekli araştırmalara dayalı olan soy tükenişleriyle ilgili çalışmaları yeniden yönlendirmişti.

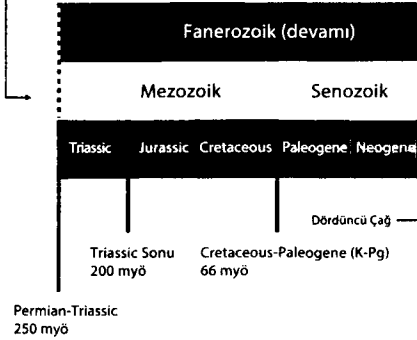
Chicago paleontologları araştırmalarında beş büyük kitlesel soy tükenişı ve yirmi kadar daha küçüğünü saptamışlardı (Şekil 29); bunlarda yaşam-yapılarının yaklaşık olarak yüzde 20'si ölmüştü. Evrimsel dinamikteki çok güçlü farklılıklardan ve daha öncesinden daha az mevcut ve güvenilir kanıt olduğundan ötürü, Raup ve Sepkoski geçmiş 540 milyon yıl içindeki yaşam –ve onun yok olması– üzerine odaklanmıştı. Yaşam-yapılarının ortaya çıkması ve yok olması kesinlikle Kambriyen patlamadan önce de meydana gelmişti. Fakat az miktardaki fosil kalıntısı çok eski zamanlardan olan türleri saymayı başarısız kılar.

KARANLIK MADDE VE DİNOZORLAR

Soy tükenişleri (kısım 1)



Soy Tükenişleri (kısım 2)



[ŞEKİL 29] Beş büyük soy tükenişi sınırları: Ordovician-Silurian yaklaşık 440 milyon yıl önce, geç Devonian yaklaşık 380 milyon yıl önce, Permian-Triassic yaklaşık 250 milyon yıl önce, son Triassic yaklaşık 200 milyon yıl önce ve K-Pg soy tükenişi yaklaşık 66 milyon yıl önce. Ayrıca Fanerozoik Dönemin çağları ve devirleri de gösterilmiştir.

Onların saptadıkları en eski büyük olay, 450 ila 400 milyon yıl öncesinde bir yerde meydana gelmiş olan Ordovician-Silurian soy tükeniştir. O zamanlar asıl yaşam okyanuslardaydı; böylece kaybolan türlerin çoğu deniz-tabanlıydı. Bu kitlesel tükeniş – ikincisi çok daha ölümcüldü, onda tüm türlerin yüzde 85'i tükenmişti– yaklaşık 3,5 milyon yıllık bir dilim üzerinde iki aşamada

meydana gelmişti. Bunun nedeni, başlangıçta düşük sıcaklıklara sahip olmak ve deniz düzeyinde dramatik düşüşlere sebep olan muazzam buzullaşmalar gibi görünmektedir. Su buz olarak tutsak edildiğinde, böyle düşüşler meydana gelir; buzullar eridiği ve buz suya dönüştüğü zaman, korkulan deniz düzeyi yükselmesinin zıddı yakın gelecekte olacaktır. İkinci soy tükeniş darbesi, büyük olasılıkla daha sonraki ısınma döneminde ileri gelmiş; soğuğa uyum sağlamış olan fauna silinip süpürülmüştü. Tropik planktonlar, sıg-su deniz lâleleri (deniz yıldızı ve denizkestanelerinin ataları), trilobitler, zırhlı balık ve mercan gibi sıcağa uyum sağlamış olan fauna, ilk gidenlerdendi; mercan, trilobitler ve kolsu bacaklıların soğuğa uyum sağlamış biçimleri daha sonra gitmişti.

Bir sonraki kitlesel soy tükenişi bir süre -20 milyon yıl kadar sürmüştü ve 380 milyon yıl kadar önce Devonian-Carboniferous geçişine yakın geç Devonian devirde başlamıştı. Sanırım her biri birkaç milyon yıl kadar süren soy tükenişi darbelerinin bir sayısı vardı; bu sayı kesin olmamakla birlikte, öneriler üçten yediye kadar değiştiği yönündeydi. Bu olay deniz yaşamını da çok fena vurmuş, okyanuslarda yaşayan türlerin önemli bir kesrini öldürmüştü. Böcekler, bitkiler ve ilkel proto-amfibiler (iki yaşamlılar) karada yaşamayı sürdürmüşlerdi; soy tükenişleri orada da alıp yürüdüğü halde. Paleontologlar bu kitlesel soy tükenişlerinin ayırıcı yanının, esas olarak tür kaybının beklenen değişmez sıklığını telafi edemeyecek önemde küçük bir türleşme sıklığının bir sonucu olduğunu düşünürler; bu türleşme sıklığı normalden muhtemelen çok daha yüksek değildi.

250 milyon yıl kadar önceki Permian-Triassic (P-Tr) olayı, gezegenden yok olmuş olan tür yüzdesi cinsinden bilinen en yıkıcı tükeniştir. Yaşam, amfibiler ve sürüngenler dahil, Devonian tükenişinden sonra epeyce bir zamanda denizde ve karada gelişmişti. Fakat bu P-Tr tükenişi esnasında, hem karadaki hem de denizdeki türlerin en azından yüzde 90'ı ve büyük olasılıkla daha çoğu öldüğünde sona ermişti. Kayıplar yüzey planktonunu ve de yeraltında yaşayan sabit yosun hayvancıkları ve mercanlar, bazı kabuklu deniz hayvanları ve trilobitler gibi türleri içermekteydi; daha önce iki büyük tükenişte hayatta kalmış türlerdi bunlar. Karada, böcekler bile mahvolmuştu; onların kitlesel tükenişte zarar gördükleri tek zamandı bu. Ayrıca, amfibilerin büyük bir bölümü yok olmuş

ve sürüngeñler de –öñceki tükenişten sonra sadece onlar yeniden ortaya çıkabilmişti– üye türlerinin çoğunu kaybetmişti.

P-Tr tükenişinin nedeni, uyuşmazlık konusu olarak durmaktadır, fakat büyük iklim değişikliği ile atmosfer ve okyanusların kimyasındaki değişmeler neredeyse kesin olarak bir rol oynamıştı. Neden ve mekanizma açık olmasa da, yaklaşık sekiz santigrat derece sıcaklık yükselmesi, herhalde en azından kısmen Sibirya’daki büyük volkanik faaliyetten ve Sibirya Traplarındaki uyumlu devasa miktarda karbondioksit ve metan yayımından ileri gelmişti. P-Tr soy tükenişi –bilinen en büyük tükeniş olayı– neredeyse kesinlikle kısmen gezegeni ısıtmış, okyanuslara baskı yapmış, oksijeni azaltmış ve atmosferi zehirlemiş olan bu yanardağ-nedenli gazların sonucudur. Bugün bile, geçmişte olan pek çok erozyondan sonra, Sibirya Traplarında lavlar en azından bir milyon kilometre-karelik alanı ve birkaç yüz bin kilometre-küplük hacmi işgal etmektedir. O zamanlarda traplar daha çok bugünkü Rusya büyüklüğündeydi.

Mevcut yaşam neredeyse silinip süpürölmüş olsa da, kaz gelecek yerden tavuk sakınılmaz derler. Eğreli otları ve mantarlar daha önceki floranın yerini almış ve sonunda yeni bitkiler ortaya çıkmıştı. Bu devirden sonra memelimsi sürüngeñler artık baskın değildi, fakat onlardan modern memeli grubu gelişmişti. Arkazor’ların ortaya çıkışı, en sonunda dinozorların hâkimiyetine yol açan bir diğer önemli sonuçtu.

Bir arkadaş yakınlarda bana aşırı iyi-korunmuş –ve bir tür tapılmaya değer– 15 santimetre boyunda bir fosil göstermişti gururla ve onun 300 milyon yıllık bir dinozor olduğunu söylemişti. O bunu bana bir yıl kadar önce göstermişti, ayrıntılara en basitinden hayran olmalıydım. Fakat son araştırmalarımın ışığında biliyordum ki betimleme büyük olasılıkla doğru olamazdı, çünkü dinozorlar 250 milyon yıldan çok daha yakında, ancak Triassic devrinde ortaya çıkmışlardı. Onun gerçekten de bir dinozor olduğu fikrine meftun olmuş olarak, fosilin belki de biraz daha genç olabileceğini ileri sürmüştüm. Fakat hatanın farklı olduğu anlaşılmıştı: Fosil gerçekten 300 milyon yıl yaşıındaydı, fakat o bir dinozor değildi; bir mesosaurus’tu, tükenmiş bir memeli türü. Dinozor fosilleri yaşıldır; fakat arkadaşımın iyi-korunmuş kaya izi kadar yaşı değil.

P-Tr tahribatının büyüklüğü ortada olduğuna göre, Yeryüzümüz üzerindeki yaşam çok hızlı olarak ayağa kalkmamıştı. Bunu biliyoruz, çünkü soy tükenişinin sınırını işaretleyen sınır tortul tabakasının üstünde birkaç metreye kadar uzanan siyah killi şist, yaşam yapılarını üreten beyaz kireçtaşının sürekli yokluğunu gösterir. Yine de, en azından beş milyon yıl sonra yumuşakçalar, balıklar, böcekler, bitkiler, amfibiler, sürüngenler, erken memeliler ve dinazorların yeni yapıları ortaya çıkmıştı. Fakat yaşamın bu gelişimi, 40 ya da 50 milyon yıl içinde 200 milyon yıl kadar önce gelip çatan dördüncü kitlesel soy tükenişiyle kesintiye uğramıştı.

Kabaca tüm türlerin yüzde 75 kadarı Jurassic devrin öncesindeki bu son-Triassic soy tükenişinde yok olmuştu. Bu tükenişin nedeni belirsizdir, fakat alçak deniz düzeyleri ve sonunda Atlantik Okyanusunu doğuran volkanik yarığın başlaması burada bir rol oynamış olabilirdi. Okyanustaki en büyük omurgalı yırtıcıların kökü kazınmış ve süngerler, mercanlar, kolsu ayaklılar, nautilotlar ve amonoitlerin türleri de kötü şekilde yara almıştı. Bu soykırımı ayrıca çoğu memelimsi yarattığı, birçok büyük amfibiye ve dinazor-olmayan arkozoru yok etmişti.

Karadaki her gerçek yarışçının ortadan kalkması, esas olarak dinzorları göreve çağırmıştı. Soykırımları yaşamı yok eder, fakat onlar da yaşamın evrimi için koşulları yeniden yerine oturturlar. İzleyen Jurassic devir bu adı alan kitap ve filmlerle ünlüdür; *Jurassic Park*'ta öne çıkan yaratıkların tümü bu zaman aralığında yaşamış olmasalar bile. Fakat Jurassic devri gerçekten de dinzorların ön plana çıktığı, geç Jurassic'e kadar karadaki ekosistem üzerinde hâkimiyet gerçekleştirdiği zamandır. Uçan sürüngenler, timsahlar, kaplumbağalar ve kertenkeleler bu periyot içinde çoğalmışlardı ve memeliler de evrimleşmişti; ilgi odağındaki günleri, bunu izleyecek olan kitlesel soy tükenişini beklemek zorunda olsa da.

En yakın kitlesel tükeniş, muhtemelen en ünlüsüdür de. Bu, Cretaceous ve Paleogene devirleri arasındaki sınırdaki meydana gelmiş bir tükeniştir. Bu olay, daha önce K-T (Cretaceous-Tertiary) tükenişi olarak bilinirdi, ama artık resmen K-Pg tükenişi olarak biliniyor (çünkü Tertiary devri yeniden Paleogene olarak adlandırıldı), 66 milyon yıl önce meydana gelmişti. En yaygın olarak tüm dinzorların kökünün kazındığı soy tükenişi diye bilinmektedir.

Fakat dinazorlar tükenişe uğrayan tek tür değildi. Birçok sürüngen, memeli, bitki ve deniz yaşamı dahil, o zamanlar yaşayan türlerin dörtte-üç kadarı ve cinslerin yarısı yok olmuştu. Mikroskobik deniz fosilleri, en yaygını tortul kalıntılarda olmak üzere, özellikle önemlidirler, çünkü onların bollukları olanların ayrıntılı bir kaydını verebilir. Deniz birikintilerinin her santimetresi, okyanuslarda ne olduğunun ince-ayrıntılı resmini vererek, yaklaşık 10.000 yıllık aktiviteyi çözümleyebilir. Uluslararası örgütlü Okyanus Sondaj Programı nüveleri bunun on katı daha doğru çözünürlükle incelemektedir. Doğru mikrofosil ölçeği, o zamanlar yok olmuş olan plankton, mercan, kemikli balık, amonitler, daha çok deniz kaplumbağaları ve birçok timsahı da saptamaya yardım etmişti.

K-Pg soy tükenişini izleyerek, memeliler Yeryüzü üzerinde çok daha büyük bir oyuncu haline gelmişti. Birçok etken katkıda bulunmuşsa da, karadaki dinazorların elenmesi, neredeyse kesinlikle ilişkilidir. Büyük memeliler (bizim gibi) asla karadaki dinazorlar kadar ön plana çıkamamıştı; eleninceye kadar esas kaynaklar için yarışa onlar hâkim olmuştu. Chicxulub çarpmasından önce dinazorların neden memelilerden çok daha iyi geçindikleriyle ilgili bir kurgusal yorum şudur; dinazorlar çok fazla yumurtluyorlardı, oysa memelilerin birkaç yavrusu olur ve ne kadar büyükseler o kadar daha seyrek doğururlar. Dinazorlar iri kıyım memelilerle yarışta basitçe bir sayı oyununu kazanmışlardı.

Çok yakında yer aldığı –ve iri kıyım memelilerin nöbeti devraldığı biri olduğu için– *K-Pg* soy tükenişi, bilinen beş kitlesel tükeniş olayının en dikkatli şekilde incelenmiş olanıdır. Hem kara hem de deniz yaşamının küresel yok oluşunu açıklamak için doğru kuramın araştırılması, gelen bölümde başvuracağımız büyük bir öyküdür. Neredeyse kesin yanıt, muazzam iri bir göktaşının 66 milyon yıl önce gezegenimize çarpmış olduğudur. Açıkça uzak geçmişin bir parçası olsa da, Yeryüzünün dört milyar yıllık yaşam süresiyle kıyaslandığında, zaman aralığı, 50 yıllık bir yaş için yaklaşık bir yıl kadar uzundur. Bu dünya-dışı müdahalenin böylesine devasa sonuçlarla Yeryüzünü bu denli yakından (görelî olarak) etkilemiş olmasını dikkate değer buluyorum.

ALTINCI SOY TÜKENİŞİ Mİ?

Fakat felaket daha bile yakında olabilir. Eğer bu bölümü son ve çok rahatsız edici bir kurgusal yorum sunmadan kapatsaydım, ahlaki yükümlülüklerinde ihmalkâr davranmış olurdum. Bugün birçok bilim insanı şu anda insan-kaynaklı bir altıncı soy tükenişine maruz kaldığımızı düşünmektedir. Bu iddianın doğruluğunu kesin olarak ortaya koymak için şu anda var olan türlerin sayısının ve onların yok olma sıklıklarının belirlenmesi gerekir; bunların ikisi de olanaksız değilse bile zor işlerdir. Henüz sonuçsuz olsa bile, bulacağımız sayılar kesinlikle rahatsız edici eğilimler gösterir. Belirtiler, geçmiş tükenişler esnasında ölçülmüş olanların doğrultusunda, tür kayıpların sıklığının normalden önemli ölçüde daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Esas alınan tahmini sıklığa bakılırsa, yaklaşık yılda bir soy tükenişi bekleriz. Tahminler belirsizdir, fakat bugünkü sıklık ortalamadan yüzlerce kat daha büyük olabilir.

Kuşlara, amfibilere ve memelilere ait tükenişlerin ölçülen sıklıkları, başımıza geleceklerin temsilcisidir; bu sıklıklar çok rahatsız edicidir. Memeliler toplam tür sayısının küçük bir kesrini kapsar, fakat en iyi ölçülmüş olanlar onlardır. 6000'den az olan toplamdan, son 500 yıl içinde, 80 memeli türü tükenişe uğramıştır.

Son 500 yılın bu memeli tükeniş sıklığı normalden 18 kat kadar daha yüksektir ve son yüzyılda sıklık 32 çarpanıyla artmıştı. Yine bu yüzyılda ambifi (yüzergezer) hayvanlar geçmiştekinden neredeyse 100 kat daha yüksek bir sıklıkla silinip süpürülmüşlerdi; şu anda soy tükenişi tehdidiyle yüzde 41 oranında yüz yüzeler. Kuş tükenişlerinin ortalama sıklığı, bu aynı zaman çerçevesinde, ortalamayı 20 gibi bir çarpanla aşmış durumdadır.

Bu sayılar bir soy tükenişi olayıyla tutarlıdır. California Üniversitesi Berkeley biyoloğu Anthony Barnosky ve diğerlerinin gözlediği gibi, şimdi meydana gelen çevre değişimleri de böyledir ve bu durum, P-Tg tükenişi zamanındakine rahatsız edici derecede benzemektedir. O zaman yükselmiş olan karbondioksit düzeyleri –sıcaklığın yükselmiş olduğu gibi– okyanusları daha asidik yapmıştı ve deniz ortamlarında oksijenin olmadığı ölü bölgeler ortaya çıkmıştı. İnanılmaz bir şekilde, o zamanlarda sıcaklıktaki ve pH'deki (ki bu asitlik derecesini ölçer) değişim hızları bugünkülerle kıyaslanır gibi görünmektedir.

Yakın zamanlardaki çeşitlilik kaybından neredeyse kesinlikle büyük ölçüde insan etkisi sorumlu tutulur. Biz insanlar gezege- ni ve onun yaşam-yapılarını birçok şekilde etkileriz. Avrupalılar Kuzey Amerika'ya vardıklarında, örneğin, oraların büyük hayvan- larının yüzde 80'i tükenişe uğramıştı; büyük kısmı düpedüz kat- ledilerek. Fakat insanlar bitki ve hayvanların doğal yaşam alan- larını başka yollarla da tahrip ederler. Bir suçlu çevre kirliliğidir, bir diğeri arazi açmadır; ağaçları yok etme ve aşırı avcılık dahil. Bir başka etmen, sıcaklıktaki ve deniz düzeylerindeki değişmeler aracılığıyla iklim değişikliğidir. Kuraklık ve yangınlar, sel baskın- ları ve fırtınalar, ayrıca daha sıcak ve daha asidik okyanuslar, tüm bunlar hangi türlerin yaşamaya devam edeceğiyle ilgilidir. Bitki ve hayvan ortamlarının insanlarca yok edilmesi, yerel düzeyde tür işgallerini kolaylaştırır ve herhangi bir hastalığı ya da paraziti çok daha tehlikeli yaparak küresel düzeyde toplumları homojenleştirir. Türler, yapabildikleri zaman, yeni ortamlara giderler; fakat o ortamlar tahrip edilmişse, potansiyel sakinler olarak kalırlar. Tüm bu hasar verici darbeler göz önünde tutulduğunda, canlı topluluk- larındaki bu kaçınılmaz kriz kesinlikle imkânsız sayılmaz.

Barnosky ilginç bir tartışmaya girer; bugünkü nüfus krizi- ne zemin hazırlayan insan nüfusunun gelişmesinin tökezlemesi, bizim enerji tüketimimizle ilginç bir şekilde karşılıklı ilişkiye sahiptir der. Kaynakların adil bir şekilde dağıldığını varsayarak ve büyük memelilerin boylarının ve bölgelerinin akla uygun bir tahminini kabul ederek, her gün Güneşten gelen enerji verilen sa- yıda hayvan ve türleri besler. İnsanoğlu gezegende görüldüğü ve gezegenin kaynaklarının orantısız bir kesrini gasp ettiğinde, *me- gafauna* türlerinin sayısı, 50.000 ile 10.000 yıl öncesi arasında yaklaşık 350'den bu sayının yarısına düşmüştü. Sonradan, meme- lilerin sayısı yavaş yavaş ilk değerine geri yükselmiş, fakat daha sonra 300 yıl önce hızla tırmanmaya başlamıştı; bu, esas olarak, endüstri devrimi enerji tasarruflarımızı- milyonlarca yıl boyun- ca fosil yakıtları halinde depolanmış olan kullanılmamış enerji- yi- harcamamıza olanak tanıdığından olmuştur. Ve bunun üzerine, rezervlerimizden harcayarak -tür sayısı azalsa da- insan ve canlı hayvan nüfusları kentleşmeyle birlikte patlamıştı.

Bazı iyimser kimseler -rahatsız edici eğilimleri kabul etseler de- DNA tasarlayarak ya da tekrar üreterek türleri yaratabileceği-

mizi ya da tekrar diriltebileceğimizi iddia ederler ve kaybolan türlerin yeni türlerle telafi edilebileceği düşüncesiyle, kitlesel bir soy tükenişinden (tür ya da cins sayısında kesirsel değişimle tanım- lı) uzak dururlar. Fakat DNA'nın ne kadar kötü korunduğu ve bir önceki türün yaşamış olduğu çevreyi tekrar-yaratmanın ne kadar olasılık dışı olduğu ortadayken, gerçekte önceden orada olanın yeniden dirilmesi çok meydan okuyucu olacaktır. Üstelik, hayatta kalabilecek yeni türlerin yaratılabilme sıklığının, dünyanın onları kaybetme temposuyla yarışması olanaksızdır. Her durumda, soy tükenişi sadece bir sözcüktür. Bir sayıya dayanan değerlendirmeyse, (gerçekte pek mümkün görünmeyen) bu senaryonun gerektirebileceği muazzam değişmeyi yansıtmakta başarısız kalır.

Soy tükenişinden kaçınmanın bir başka yolu, teknik olarak söylemek gerekirse, sayıları çok fazla azaltmadan önce, korumaya alma eğilimine taraftar olmaktır. Örneğin, sayılar bir kez yeterince azaldı mı, türler, yarışamayacakları daha fazla biyo-çeşide sahip bir çevrede belki hayatta kalacaklardır. Bu "iyimser" senaryo her durumda sadece kurgusal bir yorumdur, üstelik, tek kurtarıcı etmen, sonuçta daha kararlı bir çevreden önce gelen önemli yaşam kaybı olabilir.

Böylesi değişimler sonuçta geleceğin bazı türleri için iyi olabilir. Ne de olsa, P-Tr tükenişi bile yaşamın birazını sağlam bırakmıştı. Dinozorlar açısından, örneğin, çok iyi bir şeydi bu. Bununla birlikte, bu, ona zemin hazırlamış olan can kaybını ya da acı ve kargaşanın nadasa bırakılıp o esnada yaşamın geri kazanıldığı ara zamanı gereksiz kılmaz. Şu anda tetiklediğimiz değişimlerin sonuçları küresel anlamda en sonunda yararlı olsa da, bu değişimler Yeryüzü üzerinde şimdiki duruma uyum sağlamak üzere gelişmiş olan türler için mutlaka öyle olmayacaktır.

Yeni türler ortaya çıksa ya da koşullar en sonunda gelişmiş olsa bile, dramatik olarak değişmiş bir dünyanın, bir tür olarak bizim için iyi olması düşünülemez. Bu kadar çok biyoçeşitlilik kaybindan insanların sorumlu tutulması yanlış yola sapmak gibi görünüyor; bu kayıplar –sonuçta besin, ilaç, temiz hava ve su kaybı yoluyla– bizim kendimizi incitir muhtemelen. Yaşam hassas dengeleme mekanizmalarıyla evrilmişti. Gezegendeki ekosistemi ve yaşamı dramatik olarak değiştirmeksizin bunların ne kadarının değiştirilebileceği açık değildir. Kendi kaderimiz hakkında

oldukça fazla bencil kaygılara sahip olduğumuzu düşünebilirsiniz; özellikle bu kadar çok kayıp büyük olasılıkla önlenileceğine göre. Her şeye karşın, kaderi 66 milyon yıl önce serseri bir göktaşıyla belirlenmiş olan yaratıklardan farklı olarak, bugün insanlar başlarına neyin geleceğini görme yetisine sahip olmalıdırlar.

DİNOZORLARIN SONU

Herkes dinozorları sever. İskelet, fosil ya da plastik şeklinde bile görünseler, genci yaşlısı büyülenir. Çocuklar bu yaratıkları eski-yapılmış modellerinden ve yetişkinlerin zar zor telaffuz edebildikleri isimlerinden severler. Dinozor sergileyen herhangi bir müze, hem çocuklardan hem de onların daha yaşlı benzerlerinden oluşan, yoğun bir yaya trafiğine sahiptir. Doğa tarihi müzelerinde sergi düzenleyenler, bu garip antika sürüngenlerin çekiciliğinden haberdardırlar. New York'taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi, en önemli çekicilikleri arasında, bir *Tyrannosaurus rex* 'in ("kertenkelelerin kralı" olarak çevrilir) ve bir apatozor'un devasa iskeletlerini ve ayrıca girişte sizi selamlayan ilgili modelleri sayar.

Onların sevilmesinin bir başka kanıtı, dinozorların halk kültüründe oynadıkları başroldür; *Çakmaktaşlar*'daki Dino'dan (hayır, karasal dinozorlar insanlarla aynı anda var olmadılar) *Jurassic Park*'ın canlandırılmış dinozorlarına (hayır, onlar herhalde gelecekte de olmayacaklar) kadar. *King Kong*'un film yapımcıları bile, Empire State Binasıyla boy ölçüşebilen bir dev maymunla yetinmemişlerdi. Filme, tamamıyla gereksiz (ifade edilen görüşler sadece yazarınkileri temsil eder) dinozorlu bir sahne de katmak zorunda kalmışlardı.

Neden peki? Çünkü dinozorlar akıllara ziyanı. Yeterince şimdiki hayvanlar gibi tanıdık görünüyordı, fakat egzotik ve acayip olma bakımından hayal gücümüzü etkinleştirecek kadar da farklıydılar. Boynuzlara ve sorguçlara, kemikli zırh ve dikenlere sahiptiler. Bazıları iri ve yavaş, bazılarıysa küçük ve hızlıydılar. Bazıları yerde yürüyordı –bazıları iki ve bazıları dört ayak üzerinde– bazıları da havada uçuyorlardı.

Yine de pek çok insan için, dinozorları düşündüklerinde akıllarına gelen ilk şey, bu muhteşem hayvanların artık Yeryüzünde yaşamadıklarıdır. Dinozorlar bugün yaşayan kuşlara evrilmiş

olsalar da, milyonlarca yıl karalara hâkim olmuş olan bu dinozorlar 66 milyon yıl önce soykırımına uğramışlardı. Bazı insanlar dinozorların ölümünü, sahip olduğumuz hafif bir üstünlük olarak bile görür; böyle güçlü ve atik yaratıklar nasıl olur da yok olma-ya uğrayacak kadar akılsız olabilirlerdi? Yine de işin doğrusu, dinozorlar insanların ya da maymunların büyük olasılıkla hayatta kalacakları süreden çok daha uzun süre gezegenin ana oyuncularını olmuştu. Yok olduklarında, bu hiçbir şekilde onların kendi hataları değildi.

Karada yaşayan dinozorların gezegenden yok olmalarına neyin sebep olduğu sorusu uzun bir süre için hem bilim insanlarını hem de aynı şekilde halkı şaşırtmış büyük bir gizemdi. Çevresine hükmetmiş olan bu çeşitli, zinde grup, Cretaceous (tebeşir) devrinde niçin birdenbire ortadan yok olmuştu? Bu konu fizikten uzak gibi görünüyordu olabilir; özellikle karanlık maddeyle ilişkisi açısından. Fakat bu bölüm, bu hususta bir göktaşı çarpmasının neredeyse kesinlikle suçlu olduğunu gösteren birçok kanıt parçası sunmaktadır: Bu soy tükenişi, Güneş Sisteminde yer alan dünya-dışı bir cisimle bağlantılıdır. Eğer iş arkadaşlarımla yaptığım kurgusal çalışmalar doğru çıkarsa, Samanyolu düzlemindeki bir karanlık madde diski göktaşının ölümcül yörüngesinin tetiklenmesinden sorumlu olur. Karanlık maddenin rolü ne olmuş olursa olsun, kesinlikle dış uzaydan gelen bir cismin çarpmasıyla gezegenimizdeki türlerin en azından yarısı silinip süpürülmüştü; bu soy tükenişi Güneş çevremizle bağlantılıydı. Jeolog, fizikçi, kimyacı ve paleontologların bu sonuca nasıl geldiklerinin hikâyesi çağdaş bilimdeki en iyi öykülerden biridir.

DİNOZOR ZAMANI

Dinozorlar –irilikleri ve sakinlikleri bir yana– gezegene 100 milyon yıldan daha uzun bir süre hâkim olmalarıyla, uzun ömürlü bir sınıf olarak dikkat çekmişlerdi. Yine de onların görünür sağlamlığına ve onlara eşlik eden flora ve faunaya karşın, pek çok yaşam 66 milyon yıl önce birdenbire sona ermişti. Yirminci yüzyılın son zamanlarına kadar inatla süren sorular, bunun neden ve nasıl olduğuydu.

Bu soruları yanıtlamadan önce, ilkin dinozorların çağını ve sonra Yeryüzünün o zamanlarda ne kadar farklı olduğunu derin-

lemesine düşünelim. Dinozorlar 252'den 66 milyon yıl öncesine uzanan Mezozoik çağda yaşamışlardı. (Şekil 29.) Mezozoik adı Yunanca "orta yaşam" teriminden gelir ve bu çağ gerçekten de Fannerozoik dönemin üç jeolojik çağının ortasında yer alır. Mezozoik çağ, "antik yaşam" anlamındaki *Paleozoik* ile "yeni yaşam" anlamındaki *Cenozoik* arasında sıkışmıştır. Bu ara dilim, bildiğimiz en yıkıcı kitlesel tükenişi yansıtır; ilk sınırı tanımlayan Permian-Triassic tükeniş olayıdır ve ikinci sınırı, daha önce *K-T* tükenişi olarak bilinen Cretaceous-Paleogene tükenişi tanımlar; (kuşolmayan) dinozorlar ve birçok başka tür bu aralıkta yok olmuştu.

K-T'deki *K* Almanca tebeşir demek olan *Kreide* sözcüğünden gelir. Benzer şekilde, ona gönderme yapan "Cretaceous" sözcüğü Latince *creta* sözcüğünden gelmekte olup kelimenin tam anlamıyla -yine tebeşir demek- *Cretan eart*'tür (Tebeşir yer). Diğer taraftaki *T* ise *Tertiary*'den gelmekte olup, Yeryüzünün tarihini dört kısma bölen ve *Tertiary* onların üçüncüsü olan ve artık kullanılmayan bir adlandırma şemasından bir kalıntıdır.* Böyle olsa bile, diğerleri gibi, arada sırada tükeniş için günlük dile ait *K-T* terimine başvursam da, bundan böyle genelde daha doğru olan *K-Pg* terimini kullanacağım.

Çağlar devirlere ayrılmıştı, devirler de devrelere ve aşamalara. Mezozoik çağ üç devire bölünmüştü: 252'den 201 milyon yıl öncesine kadar süren Triassic devir, 201'den 145 milyon yıl öncesine kadar geçen Jurassic devir ve 145'ten 66 milyon yıl öncesine kadar uzanan Cretaceous devir. "Mezozoik Park," Michael Crichton-Steven Spielberg'ün iki Jurassic dinozora ağırlık veren, fakat ayrıca Cretaceous devrine kadar ortaya çıkmayan birçok dinozorun rol aldığı filmi için çok daha doğru bir isim bile olabilirdi. Yine de *Jurassic Park*'ın ona daha iyi bir ahenk verdiğini kabul edip, seçim bilgeliliğini sorun etmeyeceğim.

Mezozoik çağ esnasında Yeryüzü üzerinde çok şey değişmişti. Isınma ve soğuma ve de önemli tektonik etkinlikler atmosferi ve

* Bu zaman çerçevelerini adlandırmadan sorumlu Uluslararası Stratigrafi Komisyonu (ICS) ayrıca dördüncü alt bölme -Quaternary = Dördüncü Çağ- elemeye çalışmıştı, fakat Uluslararası Quaternary Araştırma Birliği bunu protesto etmişti. Böylece 2009'da ICS bu terimi geri koymuştu. Tertiary devri -onun pek ateşli olmayan savunucularıyla- artık resmi bir terim değildir; *K-T*'nin *K-Pg* ile yer değiştirme nedeni budur.

kıtaların biçimini değişime uğratmıştı. Pagaea süper kıtası Mezozoik çağda bugün gördüğümüz kıtalara bölünmüş ve zamanla geniş kara hareketleriyle sonuçlanmıştı.

Geç Cretaceous devrindeki tektonik hareketler gezegeni şimdi ki durumuna yaklaştırmış olsa bile, kıtalar ve okyanuslar henüz şimdiki konumlarında değillerdi. Hindistan henüz Asya'yla çarpışmamıştı ve Atlantik Okyanusu çok daha dardı. Tektonik levhalar o andan itibaren hareket ettikçe, okyanuslar boyca her yıl birkaç santimetre oranında değişmişlerdi.

Bu etki tek başına bize 66 milyon yıl önce çoğu kıyının şimdiki yerleşiminden binlerce kilometre uzakta olduklarını söyler; böylece, örneğin, Amerika ve Avrupa çok daha yakındılar. Ayrıca, deniz düzeyleri herhalde bugünkülerden yüz metre kadar daha yüksekti. Sıcaklıklar da –özellikle okyanuslardan uzak bölgelerde– o zamandan daha yüksekti. Bu etkenler *K-Pg* sınırında ortaya çıkan ipuçlarının bazılarını çözme hususunda önemli olmuştu. Oluşumu zamanında kil içeren İtalya çökeltisinin –Berkeley jeoloğu Walter Alvarez bunu çalışmaya karar vermişti; suyun yüzlerce metre altında bir kıtasal kabuğun parçası olduğunu artık biliyorsak da, araştırmacılar başlangıçta bunun öyle olduğunu bilmiyorlardı.

Yeryüzü üzerinde yaşam onun değişen çevresine/ortamına yanıt olarak evrilmişti. Suyla ayrılmış olan birçok kara parçası yeni türlerin ortaya çıkmasını sağlamıştı. Triassic devir esnasında, eklembacaklılar, kaplumbağalar, krokodiller, kertenkeleler, kemikli balıklar, denizkestaneleri, deniz sürüngenleri ve ilk memelimsi sürüngenler belirmişti. Karasal dinazorlar dahil, birçok farklı dinozor türünün ilk görüldüğü zamanlar da geç Triassic devirdi. Bunlar Jurassic devirde baskın karasal omurgalılar olmaya devam etmişlerdi.

Kuşlar da bu zaman süresinde, kısa ön uzun arka-bacaklı dinozorların bir dalından evrimleşerek, ortaya çıkmıştı. *Jurassic Park* tüm bilimi ille de doğru yansıtmaz, fakat film birçoklarına kuşların dinozorlardan evrildiğini öğretmişti. Uçan sürüngenler, deniz sürüngenleri, amfibiler, kertenkeleler, krokodiller ve dinozorlar Cretaceous devrinde devam etmişlerdi. O zaman süresinde önce yılanlar ve ilk kuşlar ve uçan sürüngenler görünmüşlerdi; mabet ağaçları ve ayrıca bugün biçimlerini hâlâ gözlediğimiz

çıplak tohumlu ağaçlar, kozalaklı ağaçlar, kızılçamlar, selviler ve porsuk ağaçları gibi modern bitkiler ortaya çıkmıştı. Memeliler de sahneye çıkmıştı, fakat onlar henüz küçüktü; genelde bir kedi ve fare büyüklüğündeydiler. Bu durum ancak dinozorların tükenip de bu küçük memelilere daha büyük vücutlu hayvanlara evrilme yeri ve olanakları bırakmalarından sonra değişmişti.

YANITLAR ARANIYOR

Bu kitap üzerinde çalışırken okuduğum iki büyüleyici kitap, jeolog Walter Alvarez'in *T. rex and the Crater of Doom* ve bilim yazarı Charles Frankel'in *The End of the Dinosaurs*'tu. Alvarez geniş ölçüde göktaşı varsayımından sorumludur ve kitabı çok keyif vericidir. Frankel'in kitabının bana bu denli özel gelmesinin nedenlerinden biri, onu Amazon'dan satın aldığımda zaten tükenmiş olmasıydı, dolayısıyla elde ettiğim nüsha Rockport Halk Kütüphanesindendi ve üzerinde KULLANIMDAN DÜŞÜLMÜŞ etiketli büyük bir mühür taşımaktaydı. Kitap evime –çok fazla uygun bir yaşam ortamı– postalanmamış olsaydı, görünürde o da tükenişe uğramış olurdu.

Her iki kitap da jeolog, kimyacı ve fizikçilerin devasa bir göktaşının (büyük cisimler için de "göktaşı"nı kullandığımı hatırlayın) nasıl büyük olasılıkla dinozorları –o zamanlar yaşayan diğer türlerin epeyce bir kısmıyla birlikte– silip süpüren soy tükenişinin nedeni olduğunu belirlediğinin hakikaten dikkate değer hikâyesini anlatır. Bu göktaşının *K-Pg* geçişi esnasında fosil kalıntılarındaki dramatik değişmeye zemin hazırladığına dair bol kanıtlar bulunmaktadır. Çarpma kraterlerini karakterize eden tüm özellikler, küçük küreler, camsı göktaşları ve şoklanmış kuartz dahil, bir ara iridyum tabakasının yakınında bulunmuştu; bu ara tabaka, altındaki bol yaşam kalıntılarını üstündeki çok daha seyrek fosil kalıntısından ayırmaktadır.

Bu kitaplar, bilim insanlarının gerçekten bu göktaşı çarpmasına karşılık getirilen krateri nasıl bulduklarının inanılmaz ve esinlendirici dedektif hikâyesiyle de bağlantılıdır; bu arada bilirkişilere danışmam, bana bazı kaynakların biraz yanıltıcı olduğunu da öğretti. Onları elimden geldiğince burada düzeltmeye çalışacağım. Bu büyük bir hikâyedir.

Göktaşlarının soy tükenişlerine neden olması fikri ancak yirminci yüzyılın sonlarında yerleştiyse de, insanlar onların olası korkunç sonuçlarını yüzyıllardır kurgulamaktaydılar. İnsanlar ilk kez kuyruklu yıldızları fark ettiklerinde, onların yaşamı tehdit ettiklerini düşünmüşlerdi; fakat bu, batıl inançlara dayalı ve doğrulanmamış nedenlerleydi. 1694'te Edmond Halley cesurca bir kuyruklu yıldızın dinsel baskının kaynağı olduğunu ileri sürmüştü. 50 yıl sonra, 1742'de, Fransız bilim insanı ve filozof Pierre-Louis de Maupertuis bir kuyruklu yıldız çarpmasının okyanuslarda ve atmosferde yaratabileceği tedirgemelerin birçok yaşam biçimini silip yok edebileceğini anladığında, kuyruklu yıldızlardan gelebilecek potansiyel tehdidi güçlü bir bilimsel taban üzerine oturtmuştu. Bir diğer Fransız, büyük bilim insanı Pierre-Simon Laplace da göktaşlarının soy tükenişlerine zemin hazırlayabileceğini önermişti; onun Güneş Sisteminin oluşumu üzerine olan çalışması bugün bile ayakta durmaktadır.

Fakat onların fikirleri büyük ölçüde göz ardı edilmişti, çünkü onlar sıranamamış ve üstelik biraz delice görünmüştü. 1908'de Sibirya'ya çarpan ve engin bir orman alanını harap eden göktaşının potansiyel önemini 1956'da anlayan Amerikalı paleontolog M. W. Laubenfels'in –bir kuyruklu yıldızın bir parçasının bile yangınlar ve ısınma gibi hasarlara neden olabileceği gibi– fikirleri de ihmal edilmişti. O, şaşırtıcı şekilde öngörülü bir çözümlemede, ayrıca bu çevresel darbelerin çeşitli türleri farklı şekilde etkileyebileceğini de anlamıştı, öyle ki tünel kazın memeliler hayatta kalabilirlerdi; gerçekten de izleyen *K-Pg* olayında bu durumun gerçekleştiği anlaşılmıştı.

Ancak 1973'te bile, jeokimyacı Harold Urey ergimiş kayaların camsı göktaşlarına dayanarak bir göktaşı çarpmasının *K-Pg* tükenişinden sorumlu olduğunu öne sürdüğünde, çoğu bilim insanı bunu göz ardı etmişti. Urey, bununla birlikte, sadece *K-Pg* tükenişini değil, ayrıca tüm diğer kitlesel tükenişleri de kuyruklu yıldız çarpmalarına bağlama önerisinde biraz aşırı coşkuluymuştu. Öyle olsa bile, o gelecek çalışmaları tahmin etmiş ve biçimi ya da bileşimi sadece bir göktaşı çarpmasının ısısı ve/veya basıncıyla açıklanabilen kayaları ayrıntılı araştırmaların saptayabileceğine işaret ederek daha önceki önerileri gerçek bilime döndürmeye yardım etmişti. Yine de, böyle zekice ve öngörülü fikirler, Alvarez

önerisini yapmadan önce göz ardı edilirdi. Bir soy tükenişine neden olan bir kozmik çarpma düşüncesi, 1980'lerde bile köklüydü ve ilk duyulduğunda biraz saçma gibi gelirdi. Bu, konferanslarına katılan 12 yaşındaki birilerinden duyduğum bazı kuramlara benzemektedir; orada bu çocuklar duydukları tüm bilimsel terimleri bir araya getirerek beni etkilemeye çalışırlar. Bu, yapmacık ve genelde oldukça komik senaryolara yol açabilir. Örneğin bana bir kuram hakkında soru soran bir genç, bükülmüş ekstra boyutlardan hangi kara deliklerde Evrenin kalan tüm problemlerinin çözüldüğünü daima merak ettiğini belirtmişti. Neyse ki, aslında ona daima bunu düşünmemesini önerdiğimde, gülmüştü.

Fakat er ya da geç tutunan çok daha köklü kuramlarda olduğu gibi, göktaşı önerisi, daha geleneksel açıklamalara sınır koyan gözlemleri açıklayabilirdi. Hiçbir dünyasal süreç, en sonunda varsayımı destekleyen mahiyette bulunmuş olan tüm ayrıntılı olaylara açıklama getirememiştir. Göktaşı önerisi, tahminlerde bulunduğu ve bunların birçoğu o zamandan beri geçerli kaldığı için güven kazanmıştır.

ESİN NASIL GELDİ?

Walter Alvarez'in bilimsel hafiyelik öyküsü İtalya'da başlamıştı. Roma'nın iki yüz kilometre kuzeyinde, Gubbio yakınlarındaki Umbria tepelerinde Geç Cretaceous devrinden Erken Tertiary (şimdi Paleogene) devrine tarihlenen bir deniz çökeltisi ortaya çıkar. Pembe rengi nedeniyle böyle bilinen Scaglia Rossa, çok olağan-dışı bir derin-su kireçtaşından -kalsit ya da kalsiyum karbonat- ibaret bir çökelti kayasıdır. Çoğunlukla deniz kabuklarından oluşmuştur ve arada bir kemik ilaveleri içerir; deniz tabanında oluşmuştur ve daha sonra yukarıya doğru itilerek ortaya çıkmıştır. Bu demektir ki soy tükenişinin kanıtı -alttaki daha beyaz kaya tabakasını üstteki kırmızı tabakadan ayıran ince bir kil tabakası- gelip-geçen dikkatli birine görünür durumdaydı. Altteki beyaz kaya içindeki fosiller çoğunlukla foraminiferlerin, derin okyanuslarda yaşayan tek-hücrelilerin kalıntılarıdır ve çökelti kayalarının yaşlarını anlama hususunda bizim için aşırı derecede yararlıdır. Fakat üstteki koyuca tabakada foraminiferlerden çok az miktarda vardır. "Foraminiferitler" hemen hemen dinazorlarla birlikte

soy tükenişine uğramışlardı; bu da tükeniş sınırını çok açık olarak göstermekteydi.



[ŞEKİL 30] Jeopark müdürü Asier Hilario'yla İspanya, Zumaia'da Itzurun Plajındaki *K-Pg* sınırında (Jon Urrestilla).

Yakınlarda Bilbao'ya yaptığım üniversite ziyareti sırasında gittiğim Flysch Jeoparkı *K-Pg* sınırının bir parçasını kapsamakta olup, bu parça kireçtaşı falezinin tabanına yakın ince koyu bir hat gibi görünmektedir. Dünya üzerinde bu kil tabakasının var olduğu başka her yer gibi, bu sınır, soy tükenişi zamanına tarihlenir. Benim fizikçi meslektaşım ve onun jeolog kuzeni Itzurun Plajındaki bu inanılmaz güzel yere bir ziyaret ayarladığında, kendimi çok şanslı saymıştım; sınırı yakından görmek için düşük gelgitte oraya uğrayabilirdim. Tarihin bu 66 milyon-yıllık-yaşlı parçasıyla bağlantıya geçmiş olmak hemen hemen gerçeküstüydü. (Şekil 30.) Falez uzak geçmişte olduğu halde, onun bilgi definesi dünyamızın bir parçası olarak hâlâ bizimlidir.

K-PG SINIRINDA

1970'lerde Walter Alvarez Scaglia Rossa'da benzer bir tabakayı incelemişti, orada dikkatini alttaki daha açık-renkli fosillerle dolu kireçtaşını üstteki daha koyu fosilsiz kireçtaşından ayıran kil üzerine odaklamıştı. Alvarez'in çalışmalarında hedef bellediği bu kil, geçmişte 66 milyon yıl önce gerçekleşmiş olan mahvoluşun nedenini çözmede kritik öneme sahipti. Kilin kalınlığı açık ve koyu kayaların birikiminde geçen zamanın uzunluğuna bağlıydı ve dolayısıyla soy tükenişi olayının hızlı mı yoksa yavaş mı olduğunu saptama hususunda ona yardım edebilirdi. Alvarez ilk olarak *K-Pg* tabakasını düşünmeye 1970'lerde başladığında, jeolojide önceki yirmi yıl boyunca gelişmiş olan levha tektoniği kuramıyla yakınlarda doğruluğu kanıtlanmış bulunan tekbiçimci, aşamalı görüş açısı hâkimdi. Bütün kıtalar yavaş yavaş ayrılırlardı, dağ bölgeleri zamanla oluşur ve Büyük Kanyon kadar derin kanyonlar yavaş aşamalı etkilerle -Colorado Nehri gibi bir nehrin toprağı yarması, su ve buzun erozyona sebep olması, kara plakası hareketleri ya da magma patlamaları dahil- ortaya çıkarlardı; bunların herhangi biri yeryüzünü zamanla dramatik biçimde değiştirebilirdi. Görünürdeki bu dramatik değişimleri açıklamak için hiçbir felaket gerekmemekteydi.

Kireçtaşı oluşumu, kireç taşının üstteki ve alttaki düzeyleri arasında çok ani bir geçiş gösteren ve dolayısıyla yavaş aşamalı görüş açısıyla tutarsızmış gibi duran fark nedeniyle gizemli gibi görünmüştü. O yollardan geçmiş olarak, Charles Lyell *K-Pg* tabakasının kalınlığını basitçe yanıltıcı olarak yorumlamış ve görünüşe karşın yaratılmasının yıllar almış olduğu sonucuna varmış olabilirdi. Darwin, oluşumun basitçe yetersiz fosil kalıntısıyla yaratılmış bir yanılsama olduğunu düşünebilmişti.

Geçiş aniden olmuşsa -ve basitçe birkaç günde aşınmış bir kil birikimi değilse- bunu doğru olarak bilmenin tek yolu, farklı renkli iki kireçtaşı tabakasını ayıran kilin birikmesinin ne kadar zaman alabildiğini ölçmektir. Uzun süredir jeolojik olayları tarihlemeye ilgilenen Alvarez, *K-Pg* sınırının birikiminin zamanlaması hakkında daha fazla şeyler öğrenmek için kendine bu işi görev edinmişti. Alvarez jeomanyetik terslenmeleri incelemeyi arzu etmişti; bunun tetikleyen olaya önemli bir ipucu olabileceğini bi-

liyordu. (Harvard'da doğa tarihi ve Yeryüzü ve gezegen bilimleri profesörü olan Andy Knoll, Alvarez ve karısının ortaçağ sanatını ve mimariyi seymetmeye daha bile çok ilgi duymuş olabileceklelerinden söz etmişti. Sanırım her iki ilgi de bir rol oynamıştı.)

Fakat kilin ne kadar zamanda biriktiğinin ölçülmesi için daha iyi bir yöntemin, onun iridyum içeriğinin ölçülmesi olduğu anlaşılmıştı. İridyum nadir bir metaldir ve osmiyumdan hemen sonra, en yoğun elementtir. Onun korozyona-dayanıklı özellikleri onu, diğer şeyler arasında, buji elektrotları ve dolmakalem uçları için yararlı yapar. Onun bilime de yaradığı ortaya çıkmıştır. Walter Alvarez ve iş-arkadaşlarının keşfettikleri iridyum doruğunun, soy tükenişi olayının başlangıcını belirlemek için anahtar olduğu anlaşılmıştı.

İridyum doruğunu bir süredir bildiğim halde, Walter ve fizikçi babası Luis Alvarez'in özgün amacının kildeki iridyum düzeylerini, kısa süre sonra doğrusunu anladıklarının tamamıyla zıddı bir akıl yürütmeye dayanarak, ölçmek olduğunu çok yakınlarda öğrendiğimde şaşırp kalmıştım. Luis Alvarez göktaşlarının Yeryüzü yüzeyindekinden çok daha yüksek bir iridyum düzeyine sahip olduğunu bilmekteydi. Yeryüzü üzerindeki iridyum düzeyinin bir göktaşınıninkiyle aynı olması gerektiği halde, Yeryüzünün özgün iridyumunun çoğu uzun süre önce ergimiş demire çözünmüş ve onunla birlikte Yeryüzünün çekirdeğine batmıştı. Bu yüzden yüzeydeki herhangi bir miktar iridyum dünya-dışı kökenli olmalıdır.

Luis Alvarez meteorit tozlarının oldukça sabit bir hızla birikmesi gerektiğini varsaymıştı. (Aslında, başlangıçta berilyum-10 kullanmayı önermişti, fakat bu problem için pratik bir araç olma hususunda yarı-ömrün aşırı kısa olduğu anlaşılmıştı.) Yüzeydeki iridyum düzeylerinin iyice düşük olması gerektiğinden, o, bu kararlı dünya-dışı "yağmur"dan kaynaklanan bir birikme olamazdı. Baba-oğul Alvarezler şu zekice fikre sahiptiler: Yeryüzü üzerindeki iridyum düzeylerini inceleyerek, *K-Pg* sınır kilini biriktirmenin ne kadar zaman alacağını saptayabilecek bu kozmik kum saatine erişebilirlerdi. Onların bekledikleri, neredeyse sabit kararlı bir birikimin göstergesi olarak, zamanla düzgün bir dağılımdı; bu da kil tabakasının oluşması için geçecek zamanın uzunluğunu çıkarmada kullanılabilirdi.

Walter ve çalışma arkadaşları, incelediklerinde, gerçek kayanın tamamıyla farklı olduğunu bulmuşlardı. Alvarez'i tuhaf bir şeylerin döndüğüne (onun durumunda oldukça abartısız) ikna eden sürpriz, kildeki iridyum düzeylerinin beklenenden çok daha yüksek çıkmasıydı. 1980'de, California Üniversitesi, Berkeley'den bir bilim ekibi -Luis ve Walter Alvarez'in baba-oğul ekibi, nükleer kimyacı Frank Asaro ve Helen Michel ortaklığında, bu kişiler iridyum bolluklarını aşırı düşük düzeylerde ölçebilmekteydi- Scaglia Rossa'da etraftaki kireçtaşında olandan 30 kat daha fazla bir kesin iridyum yükselmesi bulmuşlardı. Ve bu sayı daha sonra 90 olarak düzeltilmişti.

Oluşumun bu tipi sadece İtalya'da değil (ne yazık ki Walter Alvarez'in zamanından beri o kadar çok kişi Scaglia Rossa'dan örnekler aldı ki *K-Pg* sınır kiline erişmek artık çok zor), fakat dünyanın her yerinde bulunmuştu ve bu yerlerdeki iridyum düzeyleri de gözle görülür derecede aniden artmış durumdadır. Stevns Klint'teki -Danimarka'da iyi korunmuş *K-Pg* kanıtına sahip bir kıyısal falez- benzer bir kil tabakasında yükselme 160 çarpanı kadardı. Diğer laboratuvarlar da başka yerlerdeki benzer sınır tabakalarında iridyum düzeylerinin artmış olduğunu doğrulamışlardı.

Eğer özgün varsayım (ve ölçüm için özendirme) doğru idiyse ve meteoritsel toz sabit bir hızda yağmışsa, *K-Pg* kilinin oluşması için üç milyon yıldan daha uzun bir süre gerekirdi. Fakat bu süre *K-Pg* sınırını temsil eden ince kil tabakası için aşırı uzun bir zamandı. Bunun yerine, iridyum düzeyi tüm dünyada benzer şekilde artmışsa, o zaman 500.000 ton iridyum -Yeryüzü üzerinde nadir bir metal olduğu halde- *K-Pg* soy tükenişi zamanında gezegenimiz üzerine birdenbire düşmüştü. Bu anormal birikimin tek açıklaması bir kozmik köken olabilirdi. Yeryüzümüzün doğası gereği üzerindeki iridyum o kadar düşüktür ki, bir dünya-dışı olay olmaksızın yüksek iridyumu açıklamak esasen olanaksız görünmektedir.

Berkeley ekibi diğer nadir elementlerin göreceli bolluklarını da saptamıştı, böylece olasılıkları daha da daraltabilirlerdi. Örneğin, belki dünya-dışı kaynak bir süpernova olabilirdi. Bu durumda, süpernova kilde plutonyum-244'e de yol açabilirdi. İlk çözümleme gerçekten de bu elementin mevcut olduğunu açığa vurmuştu.

Fakat bilimsel standartlarda bir sorumlu alıştırmada, Asaro ve Michel bir sonraki gün çözümlemelerini yinelemişler ve buluncak plutonyum olmadığını görmüşlerdi. İlk bulgu basitçe örnek içindeki bir kirlenmeydi.

Seçeneklere kafa patlatmalarından sonra, Berkeley bilim insanları iridyumun yüksek düzeyleri için temelde akla yakın bir açıklamayla baş başa kalmışlardı: Kabaca 65 milyon yıl önce dünya-dışı büyük bir cismin dünyamıza çarpması. 1980'de, Walter ve Luis'in liderliğindeki grup, büyük bir göktaşının Yeryüzüyle çarpıştığını ve yeryüzüne, iridyum dahil, nadir metaller yağdırdığını ileri sürmüştü. Böyle bir göktaşı çarpması –ya bir küçük-gezegen ya da bir kuyruklu yıldız parçası– hem iridyumun toplam miktarına hem de elementsel oranlara açıklama getirebilecek tek olaydı ve ikisi de Güneş Sisteminin karakteristikleriyle uyum sağlamaktaydı.

Ölçülmüş iridyuma ve ortalama meteoritsel iridyum içeriğine dayalı olarak, araştırmacılar ayrıca çarpan cismin büyüklüğünü de tahmin edebilirlerdi. Bu cismin 10-15 kilometre çapında olması gerektiği sonucuna varmışlardı.

ÇARPICI KANIT

K-Pg soy tükenişiyle ilgili jeolojik kanıt için uygun açıklamaların azlığının yanı sıra, devasa bir göktaşının vereceği birçok ölümcül mekanizma göz önünde tutulursa, bir dünya-dışı açıklama, jeolojik ya da iklim-etkili süreçler gibi daha geleneksel önerilere göre daha olası ve akla yakın görünmekteydi. Yine de varsayımın zorlayıcı doğasına karşın, yeni bir fikir öne sürüldüğü zaman, bir bilim insanı –ne kadar cesur olursa olsun– ihtiyatlı davranmalıdır. Bazen köktenci kuramlar doğrudur, fakat çok daha genelde değildirler; çok daha geleneksel bir açıklama gözden kaçmıştır ya da hakkıyla değerlendirilmemiştir. Ancak mevcut bilimsel fikirler başarısızlığa uğrayıp daha cesurca olanlar başarı kazandığında, yeni fikirler sıkıca yerleşirler.

Bu nedenle (kelime anlamıyla) yabancı bir kuram ele alındığında, fikir ayrılığı bilimde yararlı olabilir. Basit deyişle kanıtı incelemekten kaçınan kişiler bilimsel ilerlemeye olanak sağlamadıkları halde, egemen görüş açısına şiddetle taraftar olanlar,

akla yatkın itirazlar ileri sürerler ve bilimsel tapınağın içine yeni bir fikir katarak standartları yükseltirler. Bu kişileri rakipleriyle karşı karşıya getirmek için yeni varsayımlarla –özellikle kökten-ci varsayımlarla– zorlamak, onları çılgın ya da basitçe yanlış fikirlere tutunmaktan alıkoyar. Direnç, öneri sunanları, itirazların neden geçerli olmadıklarını göstermek ve fikirleri için mümkün olduğunca çok destekçi bulmak için onların oyununu bitirmeye teşvik eder. Walter Alvarez göktaş fikrine kesin destek bulmak için onu bir süre elinde tutmaktan memnun olduğunu bile yazmıştı, çünkü durumu güçlendirecek tüm ikinci dereceden kanıtlara zaman vermişti bu.

Haddini aşan bir kuram olduğunu düşünenler tarafından göktaş varsayımı gerçekten dirençle karşılaşmıştı; onların çoğu yavaş-aşamalı görüş açısını yeğlemekteydi. Şaşırtıcı bir şekilde, levha tektoniği bu görüş açısına destek vermekteydi, aynı zamanlarda yapılan Ay uçuşları, pek çok kraterin yakından görünüşleriyle, çarpmaların olası felaketsel etkileri için güçlü kanıt sunmaktaydı. Jeolog grubu yavaş-aşamalı görüş açısına doğru meylederken, fizikçilerin felaketli yola gitmelerinin nedeni, belki de bu iki farklı gelişmeydi. Kuşkusuz Aydaki kraterlerin tümü onun oluşumunun çok erken aşamalarında yaratılmış olabilirdi –ve aslında onların çoğu öyleydi– bu nedenle kraterlerin varlığı tek başına daha sonraki evrim içinde göktaşlarının çarpmalarına bir kanıt değildi. Yine de, onların yaygınlığı, sadece yavaş-aşamalı değil, fakat felaketli süreçlerin de Güneş Sistemimizde ve onun yaşamının gelişmesinde bir rol oynadığı kabulünü pek şaşırtıcı kılmamalıydı. Kraterler apaçıktı ve Aya olan çarpmaların belirgin kanıtıydı. Yeryüzü hem daha büyüktür hem de Aya çok yakındır, dolayısıyla göktaşlarının oraya da çarpabilecekleri apaçıktır.

Alvarez'in önerisini yaptığı zamanda, birçok paleontolog yavaş-aşamalı açıklamaları benimsemekteydi. Bazıları dinazorların basitçe Cretaceous devrinde iklim değişimi ya da kötü beslenme gibi olumsuz çevre koşulları nedeniyle öldükleri görüşünü kabul eder. Birçok başka bilimci volkanik etkinliklerin suçlu olduğunu düşünür. Bu görüş açısına destek Hindistan'daki Deccan Traplarından gelmişti; bunlar muazzam miktarda bir volkanik etkinlik tarafından dinozorların soy tükenişine uğradıkları zaman civarında oluşturulmuştu. Deccan Trapları yarım milyon kilometre-

kareden daha geniş bir bölgeyi kaplar –Fransa’nın büyüklüğüyle aynı– ve yaklaşık iki kilometre kalınlığındadır. Yani bol miktarda lav. Durumu daha fazla karıştırmak üzere, traplar Geç Cretaceo-us-Erken Tertiary sınırına çok yakın tarihlenebilir.

Gerçekten de, apatozorları –brontozorlar için özgün ve belki de geçici olarak yeğlenen ad– içeren bir grup olan saropot dinozorları gibi dinozor grupları çağın sonuna kadar zaten soy tükenişine uğramışlardı. Fakat yavaş azalma fikri için destek, kısmen araştırmanın başlarında söz konusu olan yetersiz fosil kalıntısından çıkmıştı; ek bölgeler çalışıldıkça ve daha fazla fosil bulundukça, bu daha az ilgi uyandırır hale gelmişti. Montana’da keşfedilen fosiller, en azından 10 ila 15 dinozor türünün Cretaceour devrinin sonuna kadar hayatta kaldıklarını ortaya çıkarmıştı. Fransa’daki son kazılar K-Pg sınırının bir metre içinde dinozorların kanıtını ortaya çıkarmıştı ve Hindistan’daki kazılar sınırın altında da dinozor kanıtı göstermişti. Amonitler gibi diğer türler önce çeşitlilikte bir azalma göstermişti. Fakat daha yakın ve daha geniş denetleme yine dinozor türlerinin en azından üçte birinin sınırda hayatta olduklarını ortaya koymuştu; bazıları gerçekten daha önce tükenmiş olsalar da.

Bu da yetmezmiş gibi, başlangıçta trapların çok çabuk yaratıldığı düşünüldüğü halde, daha sonraki çalışmalar onların oluşumunun birkaç milyon yıl aldığını ve *K-Pg* olayının ortadaki bir tabakaya karşılık geldiğini göstermişti; bu da yeterince tuhaf olarak volkanik etkinliğin ortadan kalktığı bir zaman gibi görünmekteydi. Dinozorların soy tükenişinden sadece yanardağların sorumlu olmadığının büyük olasılıkla en inandırıcı kanıtı, Hint jeologların tam *K-Pg* sınırını oluşturan bölgeye kadarki çökelti içinde dinozor kemiklerini ve onların yumurtalarının parçalarını bulmuş olmalarıdır. Dinozorlar yaşamakta oldukları gibi, ayrıca trapların bölgesinde yaşamaktaydılar.

Böyle olsa bile, daha yeni gelişmeler, trapların oluşumunu soy tükenişinin daha önce düşünülenenden daha yakınına yerleştirir; bu da, tüm yıkım için olmasa bile, bir volkanik etkinlik için bir yeri destekler. Bazıları volkanik etkinliğin aslında göktaş çarpmasının bir sonucu olduğunu düşünür; bu durumda hangi volkanik etkiler meydana gelirse gelsin, onlar da dolaylı olarak göktaşına dayandırılabilirdi. Rolü ne olursa olsun, yanardağlar göktaşının

önemini ikna edici şekilde iddia eden jeolojik özelliklerde başka birçok rastlantıyı açıklayamaz.

Gerçekten de, insanlar bir kez ciddiyetle bakmaya başlar başlamaz, göktaşları varsayımı için kanıtlar hızla toplanmıştı. Ayrıntılar önem taşır ve birçok uyuşmazlığı çözümlenmeye yardım edebilir. 1980 Berkeley önerisinden sonra, *K-Pg* kil tabakası İtalya, Danimarka, İspanya, Tunus, Yeni Zelanda ve Amerika kıtalarında titizlikle incelenmişti. 1982'ye kadar dünyada neredeye 40 yerde dikkatlice mercek altına alınmıştı. Hollandalı paleontolog Jan Smit İspanya'da yüksek iridyum düzeyleri gözlemişti ve diğer paleontologlar onları Stevns Klint'te ölçmüşlerdi. Smit ayrıca altın ve paladyum gibi diğer nadir elementleri de ölçmüştü. Osmiyum ve paladyum düzeylerini Yeryüzü üzerinde herhangi bir yerde görülen bin kere daha yüksek bulmuştu. Ve yine, göreceli metal bollukları göktaşlarından beklenen bolluklara uygun düşmekteydi.

Yanardağ açıklaması taraftarı bazı bilimciler, büyük iridyum miktarlarının yanardağlar vasıtasıyla Yeryüzünün çekirdek kabuğundan ve çekirdeğinden pompalandığını ileri sürmüşlerdi, oralarda iridyum düzeylerinin yüksek olduğu bilinmekteydi. Fakat bilinen yanardağlar, Alvarez ve diğerlerinin *K-Pg* sınırında mevcut olacağını hesapladığı dünya çapındaki 500.000 tonu açıklamaya yetecek miktarda iridyum püskürtmezler; okyanuslardaki çökeltme gibi diğer potansiyel yoğunlaştırıcı etkilere de izin verilse bile. Her durumda, meteoritlerdeki tek ağır element sadece iridyum değildir ve diğer elementlerin bollukları da volkanik püskürmelerdeki bolluklara uymamaktadır.

K-Pg tabakası içinde ve etrafında yapılan diğer gözlemlerden gelen ek destek, göktaşları önerisi için ilave kanıt temin etmişti. *Mikrokristitler* gibi kaya damlacıklarının değişik konumlarındaki keşif, göktaşları fikrine destek vermektedir (mikrokristitler, tektitlerin daha küçük biçimleridir; yuvarlak şekilli camsı kayalar olup Yeryüzüne düşmeden önce atmosferde iplik haline gelmiş ve katılaşmış çarpma eriyiklerinden ortaya çıkarlar).

Fakat önceden de bilindikleri gibi, bu camsı küçük küreler başlangıçta bir hile sergilemişti. Kimyasal bileşim okyanus yerkabuğundakine benzemekteydi, anlaşılan o ki büyük olasılıkla hedefi değil de çarpan nesneyi temsil etmekteydi. Başlangıçta varılan yanlış sonuç doğru olsaydı ve inme kara üzerine değil de okyanus

içine olmuş olsaydı; bu, bir çarpma için tüm güçlü kanıta karşın çarpma yeri büyük olasılıkla gizli kalmış olur anlamına gelirdi.

Jeologlar göktaşının (potansiyel olarak ulaşılabilir) bir kıta sahanlığına indiğini gösteren kanıtı bulduklarında, bu hatalı ilgi azaltılmıştı. Bu bir yüksek-basınç kökenine işaret eden şoklanmış kuartzın keşfiydi; sadece kuartz içeren kaya üzerine çarpmalardan ortaya çıkabilirdi. Ergimeyen kayalar paramparça olur, böylece onların içerdikleri mineraller çaprazvari bağlar oluşturmak üzere hareket edebilirler. (Şekil 24.) Bu bağlar için sadece bilinen kaynaklar göktaşı çarpmaları ve nükleer patlamalardır. Zannedsem, 66 milyon yıl önce nükleer deneme yapılmamıştı –gerçi bir araştırmacı, bir radyo muhabirinin ona bu olasılığı sorduğunu bana söylemişti– dolayısıyla tek açıklama olarak geriye bir göktaşı çarpması kalıyor.

1984'te, şoklanmış kuartz Montana'da ve daha sonra New Mexico'da ve Rusya'da bulunduğunda, bu yeni keşifler de güçlü şekilde bir göktaşı çarpmasını işaret etmişti. Bu kanıtın bir tip kuartz oluşu, var olduğu kabul edilen kraterin ayrıca kara üzerinde yer alması gerektiğini göstermişti, çünkü kuartz okyanustaki kayalarda nadirdir.

Göktaşı varsayımı lehinde daha fazla kanıtın birikmesi sürmüştü. Kanadalı bilimciler Alberta'da *K-Pg* tabakasında mikroskobik elmaslar bulmuşlardı. Bunlar basit deyimiyle dış uzaydan postalanmış ya da çarpmayla oluşmuş elmaslar olarak göktaşlarından kaynaklanabilirlerdi. Büyüklükleriyle ve karbon izotopu oranıyla ilgili ayrıntılı çalışmalar ikinci yorumu yeğlemekteydi. Danimarka'nın yanı sıra Kanada'da Yeryüzü üzerinde hiçbir yerde bilinmeyen aminoasitler tabakalarda keşfedilmişti. Bu kanıt, bir kuyruklu yıldız yorumunu yeğleyen ilginç bir özelliğe sahipti, çünkü bu aminoasitler sınır kireçtaşında da bulunmuştu; tabakanın oluşumu zamanında etrafta kuyruklu yıldız tozu vardıysa, bu durum olabilirdi.

Yüksek basınçlı çarpmaların göstergesi olan bir diğer önemli jeolojik özellik *spineller* denen kristallerdi. Bunlar demir, magnezyum, alüminyum, titanyum, nikel ve krom içeren metal oksitlerdir ve bunlar yüksek-sıcaklıkla erimeden sonra hızla katılaşma gösteren garip kar tanesi, sekiz yüzeyli ya da diğer biçimlere sahiptirler. Spineller volkanik magmada da oluşur, fakat bulunmuş

olan spineller nikel ve magnezyum elementleri içermektedirler; bunlar daha çok demir, titanyum ve krom içeren volkanik spinellerden farklıdır. Daha da iyisi, oksijen miktarı spinellerin nerede oluştuklarını saptamaya yardım eder. *K-Pg* tabakasının oksitlenmiş spinelleri düşük-rakımlı bir kaynağı -20 kilometre aşağıda- işaret etmekteydi. Kristaller ayrıca sadece ince bir tabakada bulunmuştu; bu da *K-Pg* sınırında meydana gelmiş felaketsel olayın çok kısa süreli olduğu varsayımını doğrulamaktaydı.

Yanardağlar şok-kaynaklı malzemeleri açıklayamayabilirler. Şekilce değişikliklere yol açsalar da, mevcut yanardağ bölgelerinde soy tükenişi zamanındaki gözlemlerle uyusmak zorunda olabilecek şoklanmış kuartz üretmezler. Volkanik şoklu kuartzdaki yer-değiştirmeler, yüksek şoklu basınçlarda meydana gelen bir olay olan iki ya da daha çok birbirini kesen düzlem boyunca değil de bir tek düzlem boyunca gider. Bu ayrıntılar önemlidir, çünkü bu olaylar *K-Pg* tükenişi sınırını tam ayıran konumda bulunmuştu.

Böyle olsa bile, göktaşının yıkıcı etkisi kesinkes belirlenmiş olduğunda, yavaş-aşamalı görüş açısını tamamen reddetmemeliyiz. Büyük olasılıkla, koşullar *K-Pg* tükenişi zamanı civarında ekosistemin kırılganlığı artacak şekilde değiştirdi, öyle ki göktaşı çarptığında, aksi durumdakinden çok daha hasar oluştururdu. Kanıtlar, çok daha dramatik tükeniş olayı gerçekleşmeden önce bile türlerin önemli bir kısmının soy tükenişine uğradığını gösterir. Deccan Traplarının zamanlamasının daha kesin son ölçümleri, volkanik etkinliğin bir miktar rol oynadığını daha da desteklemektedir. Eninde sonunda meydana gelmiş olan soy tükenişi olayından sorumlu olması uzak olduğu halde, yanardağlar ve diğer olaylar büyük olasılıkla suça katılmıştı; göktaşı çarpmasından önce de sonra da.

Fakat muazzam hasar yapmak için, çarpmanın hiçbir yardıma ihtiyacı yoktu.

YAŞAM NASIL SİLİNDİ?

Göktaşının ne denli iri ve yıkıcı olması gerektiğini derinlemesine anlamak zordur. Çarpan nesne Manhattan'ın üç katı kadar bir genişliğe sahipti. Ve sırf büyük değil, aynı zamanda çok da hızlı hareket etmekteydi; en azından *saniyede* 20 kilometre; eğer bu

nesne bir kuyruklu yıldızsa, belki de üç kat daha hızlıydı. Cisim, otobanda *saatte* 100 kilometreyle giden bir arabadan en az 700 kat daha hızlıydı. Bu çarpan nesne, otobandaki bir araçtan 500 kere daha hızlı giden büyük bir kentin boyutunda bir cisim olabilirdi. Bir cismin taşıdığı enerji onun kütlesiyle ve onun hızının karesiyle arttığına göre, Yeryüzüne çarpan böylesine hızlı büyük bir cisim muazzam yıkıcılıkta bir çarpma gerçekleştirmiş olurdu.

Onu bir perspektife yerleştirmek gerekirse, onun boyut ve hızında bir cisim 100 trilyon tonluk TNT'ye varan, Hiroshima ve Nagasaki'yi yıkan atom bombalarından bir milyon kere daha büyük bir enerji eşdeğeri salabilirdi. Kıyaslama öylesine yapılmış değildir; Luis Alvarez, Manhattan Projesi üzerinde çalışmıştı ve benzer gözlemler yapmıştı. Daha genel olarak, nükleer patlamaların etkisiyle Soğuk Savaş kaygısı, insanların ilgisini kraterlere çekmişti. Her ikisi üzerindeki araştırma, *K-Pg* olayında çarpan nesnenin uzun-sürelili çevresel etkileri hakkında artan bilgidен yararlanmıştı.

Arizona'daki Göktaş Çukurunu yaratan Tunguska cismi ve meteorit bu enerjinin bir kesrini taşımıştı; belki 10 megatonluk TNT eşdeğerini. Çarpan nesnenin çapı, *K-Pg* olayını yaratan nesnenin 10 ila 15 kilometre olan çapının tersine, her bir durumda 50 metre gibiydi. Krakatau'nun enerjisi bu küçük göktaşlarınınkinden sadece birkaç kat fazla olup, şimdiye dek yapılmış en güçlü nükleer silahlarla kıyaslanabilirdi (şimdi mevcut olanın 50 katı kadar). Bir-kilometre genişliğindeki göktaş küresel hasar yapmaya yetecek kadar zaten büyük olabilir. Alvarez'in ileri sürdüğü cisim bundan en az 10 kere daha büyüktü; deniz düzeyinden dokuz kilometre yukarıda olan Everest Dağının yüksekliğinden daha büyük.

Bu muazzam hızlı cismin çarpması (kelimenin her iki anlamında) yıkıcıydı. 11. Bölümde betimlendiği gibi, böyle kocaman, ağır bir kayanın Yeryüzüne fırlatılması birçok felakete yol açar. Patlamaya yakın yerlerde –bin kilometre içinde– aşırı rüzgârlar ve dalgalar hırsla veryansın eder ve patlama yerinden dağ gibi tsunamiler yayılırdı. Bu gelgit dalgaları aşırı derecede güçlü olmuşlardı, ama erimleri sınırlıydı, çünkü çarpma konumundan geriye su derinliği ancak yüz metre kadar olmuştu. Gelgit dalgaları dünyanın zıt tarafında da ortaya çıkmıştı; bu da belki de Yeryüzünün görüp göreceği en ağır depremleri tetikleyebilmişti. Çarpma

yerinden dışarıya doğru aşırı rüzgârlar patlamış ve sonra aceleyle geri dönmüşlerdi. Bu, aşırı ısınmış bir toz, kül ve buhar bulutu taşımıştı; bunları göktaşı başlangıçta toprağa daldığında dışarı çıkarmıştı. Bu rüzgâr ve su, çarpma enerjisinin yüzde bir kadarını kullanmıştı. Geri kalanı ergimeye, buharlaşmaya ve sismik dalgaların –Richter ölçeğince 10’a eşdeğer– Yeryüzü boyunca gönderilmesine harcanmıştı.

Trilyonlarca ton madde kraterde yerinden atılmış ve her yere dağılmıştı. Sonra, sıcak katı parçacıklar atmosfer boyunca aşağıya indiklerinde, akkor halinde ısınmışlar ve dünya çevresindeki sıcaklıkları yükseltmişlerdi. Sonuç olarak, yangınlar her yeri kavurmuş ve Yeryüzünün yüzeyi kelimenin tam anlamıyla pişmişti. Aslında, 1985’te kadın kimyacı Wendy Wolbach ve onun çalışma arkadaşları kömür ve is yapısındaki *K-Pg* tabakasında yangınların kanıtını bulmuşlardı. Onların buldukları karbon beneklerinin bolluğu ve biçimi, yangınların meydana geldiğini ve o zaman mevcut olan bitki ve hayvan yaşamını yok ettiğini doğrulamıştı. Araştırmacılar, dünyanın canlı-kütlesinin yarısından çoğunun çarpma ayları içinde yanıp kül olduğu sonucuna varmışlardı.

Ve hepsi bu değil. Su, hava ve toprak tamamen zehirlenmişti. Belki insanlar kuyrukluyıldız korkularında tam anlamıyla batıl inançlı değillerdi; onların siyanür ve –nikel ile kurşun dahil– ağır metaller gibi zehirli maddeler içerdikleri anlaşılmıştı. Gerçi bazı kimyasallar herhangi bir hasar yapamadan önce buharlaşırlardı, ama büyük olasılıkla ağır metaller gökyüzünden aşağı yağardı.

Büyük olasılıkla daha bile fazla zarar verici olan atmosferde oluşan ve yere asit yağmuru halinde inen azot-oksitti. Atmosfere sülfür de salınmış ve sülfürik asit oluşturarak orada kalıp Güneş ışınlarını engellemişti; bu da küresel soğuma yaratmış, bunu da felaketin hemen ardından küresel ısınma izlemiş ve yıllarca sürmüştü. Fotosentezin kaybı baştan başa gıda zincirine yansımıştı. Küresel ısınma ve toz parçacıkları Yeryüzünü örtme gibi bir rol de oynamış, olağandışı ısınma ve soğumayı daha uzun yıllara yaymıştı.

Gerçekten de, fosil kayıtları gösteriyor ki yıkımın mirası ilk çarpmadan epey sonralara kadar sürüp gitmişti. Hayatta kalmayı başaran türlerin bile sınıfları ciddi şekilde azalmıştı. Okyanuslar yüz binlerce yıl kendine gelememiş ve büyük olasılıkla en azından

yarım milyon ila bir milyon yıl boyunca yıkıcı etkiler görülmüştü. Fosil kalıntıları, çok az ya da hiç karbonat içermeyen kireçtaşının karanlığında planktonların ve diğer fosillerin yokluğunu göstermektedir. Bunun yerine esas olarak aşınma parçacıklarının kanıtları –kalan kayaların havanın etkisiyle ufalanıp aşınmış küçük parçaları– vardır ortalıkta. Bu tabakalardaki normal renk, dünya üzerinde baktığınız yere bağlı olarak, en azından santimetrelerce ve bazen metrelerce eski halini almaz.

Birçok felaket, bitki ve hayvanların soy tükenişine uğraması için bol fırsat sağlamıştı. 25 kilodan –orta boy bir köpeğin ağırlığı– daha ağır hiçbir canlı yaratığın hayatta kalmadığı görünüyor. Bunun üstesinden gelmek için, felaketten gizlenmenin bir yolu –kış uykusu ya da başka şekilde– yaşamsal öneme sahip olurdu. Üreme yöntemlerine (tohumlar, diğer çoğalma yollarından daha fazla yaşama şansına sahipti) ve onların gıda kaynaklarına (atık yiyeceklerle beslenen türler daha iyi) bağlı olarak, bazı türler hayatta kalmıştı. Göklere kaçabilen hayvanlar da biraz daha fazla şansa sahipti. Fakat çoğu bitki ve hayvan ölmüştü. 10 ya da 15 kilometre genişliğindeki bir göktaşı, çevre ve yaşam için, aşırı derecede yıkıcıydı.

TURNAYI GÖZÜNDEN VURMAK: KRATERİ YENİDEN KEŞFETMEK

Yine de, zamanın araştırmacıları biliyordu ki, 1980'lerde keşfedilmiş tüm kanıtlarla ve muazzam bir göktaşının gezegen üzerindeki yaşamı etkilemiş olmasının sonuçlarının giderek daha iyi anlaşılmasıyla bile, doğru boyutlu 66 milyon yıl yaşında somut bir kraterin bulunması çarpma iddiası halini açıkça güçlendirebilirdi. Bir krater sadece varsayımı kanıtlamakla kalmaz, ayrıca çarpmayı doğrulamaya yardım edebilecek diğer niteliklerle birlikte, göktaşı çarpmasının boyutunu ve zamanını tam saptayabilecek daha ayırtıcı araştırmalara olanak sağlardı.

Kraterin boyutu –yaşıyla birlikte– önemli bir öngörüydü. Ölçülen iridyum miktarına dayanarak, Walter Alvarez göktaşının en azından boydan boya 10 kilometre olduğunu çıkarmıştı; böylece krater yaklaşık 200 kilometre genişliğinde olmalıydı, çünkü kraterler genelde çarpan cismin boyutunun 20 katı kadar olur. Bu

boyutlu bir krater tahmini yapan tek kişi Alvarez değildi. Bir başka paleontolog bağımsız olarak 180 kilometrelik bir boyut öngörmüştü; bunu, kilin yüzde yedi meteorit malzemesi içerdiği, geri kalanının hedeften toz haline gelmiş kaya olduğu varsayımına dayandırmıştı.

Doğru tarihlenmiş doğru ölçekte bir krater, Alvarez'in önerisi için dumanı tüten silah (teknik olarak artık tütmüyor), yani kesin delil olabilirdi. Kraterin keşfedilmesi, yine de on yıldan daha uzun bir süre almıştı; modern bilimdeki en iyi dedektif öykülerinden inatçı olanıdır. Aslında, ilk bakmaya başladığında, çarpma yerini bulma şansı o kadar iyi görünmemişti. Yıllar boyunca bazı büyük kraterler keşfedilmişti, birçoğuysa kaybolmuştu. Bir göktaşının okyanusa değil de karaya çarpması konusunda yeterince "şanslı"ysak, erozyon, çökellemeyle gömülme ya da tektonik yıkım, bir kraterin oluşmuş olduğuna dair hiçbir belirtiyi yok edemez.

K-Pg olayından sorumlu göktaşı için, onun keşfedilme zorluğu, çarpma konumuyla ilgili ipuçlarının görünürdeki eksikliği nedeniyle daha da kötü duruma girmişti. İridyum ve diğer jeolojik kanıtların aynı anda her yerde mevcut olması, dünya çevresine az çok düzgün biçimde dağılmış bulunması göktaşının dünyanın her tarafına çarpabildiğini doğrulamıştı, fakat herhangi bir özel bölge belirlememişti. Araştırmaya ilk başladığında, 65 milyon yıldan daha önce özel bir göktaşının Yeryüzü üzerinde nereye çarptığını saptamak, olanaksız değilse bile, ürkütücü bir iş gibi görünmüştü.

Bununla birlikte, krater avı lehine, bulunmuş olan şoklanmış kuartz, onun kökeninin kıtasal –ya da kıta sahanlığı– olduğunu ileri sürmekteydi; öyle ki karadaki araştırmalar, suçlunun kalıntılarını başarılı bir şekilde belirleme şansına sahipti. Görünürde ümit verici birçok aday krater ortaya çıkmıştı, fakat biraz daha inceleme sonucunda –çarpma zamanlarının, boyutlarının belirlenmesinin ya da minerolojik çalışmaların daha kesin ölçümleriyle uyuşmadıkları için– bunlar kısa sürede elenmişti.

Fakat çok önemli bağımsız bir gözlem uzunca bir süre büyük ölçüde gözden kaçmıştı. Henüz 1950'li yıllarda, endüstri jeologları Yucatan kireçtaşı düzlüklerinin altında 180 kilometre çapında gömülü bir dairesel yapı belirlemişlerdi; yarısı sahile uzanmaktaydı ve diğer yarısı da denize doğru Meksika Körfezinde su ve

çökelti altında gömülüydü. Meksika Petrol Şirketi olarak bilinen Petroleos Mexicanos, kısaca Pemex jeologları bu yerde kuyular açmışlardı. 1500 metre kadar derinlikte kristal kayalara çarpmışlar; bu durum onları, kendileri için çok daha ilginç olan petrol kapanı bulmuş olmalarından ziyade, bir yanardağ belirtisi bulduklarını düşünmeye yöneltmişti.

Fakat 1960'ların sonlarına doğru, ilk araştırmacıların bir ihtimalle petrol deposunu ıskalamış olabilecekleri düşüncesiyle düzenlenen ikinci araştırma sondajı turuna katılmış olan jeolog Robert Baltosser, aslında bunun bir çarpma krateri olabileceğini ileri sürmüştü. Onun önerisi o yerin kütleçekim potansiyelinin biçiminin ölçümlerine –kütleçekim kuvvetinin dairesel yapı üzerinde nasıl değiştiğine– dayanmaktaydı. Fakat bu hâlâ petrol değildi ve Pemex gözlemlerini kamuoyuna duyurmaya izin vermemişti. Sonuçta yapıyı öğrenmiş olan bu insanlar petrol endüstrisinde çalışmaktaydı ve okyanus tabanında ayrıntılı taramaları apaçık nedenlerle yapmakta, fakat sonuçları saklamak istemekteydiler.

Fakat Pemex petrol aramada ısrarcıydı ve 1970'lerde, tüm Yucatan Yarımadası üzerinde havadan manyetik tarama dahil, daha ileri jeolojik çalışmalar yapmıştı. Amerikalı danışman Glen Penfield, 180 kilometre çapında olağandışı düşük manyetizmalı bir dış yüzükle sınırlanmış boydan boya 50 kilometre kadar kuvvetli bir manyetik anormalliğe dikkat çekmişti. Çarpma eriyiğiyle ilişkili merkezi bölge ve sertleşmiş hedef kalıntıları içeren dış bölge, büyük bir çarpma krateri için kesinlikle beklenen bir örüntüdür. Bu karşı gelme, Penfield üzerinde etki uyandırmamış değildi. Havadan kütleçekim verileri bu yoruma daha da destek vermişti. Yükseltilmiş ve alçaltılmış kütleçekim alanı manyetik sinyallerdeki değişimlerle ilintiliydi.

Böylece henüz 1978'de, Penfield bir çarpma kraterinin epeyce kuvvetli bir belirtisine sahipti. Daha önce bilinmeyen bir çarpma olayı kanıtının oldukça büyük bir iş olabileceğini fark etmişti, bu nedenle normalde patentli olduğu düşünülen verilerin duyurulması için Pemex'ten izin almıştı. Penfield, Pemex jeoloğu Antonio Camargo'yla birlikte, 1981'de sonuçlarını Los Angeles'ta Araştırma Jeofizikçileri Cemiyetinin toplantısında sunmuştu. Fakat keşif çok dikkat çekmemişti. Dinleyen çoğu kişi *K-Pg* soy tükenişi için

çarpma varsayımından hâlâ habersizdi, dolayısıyla böyle bir bağlantıyı o zaman hiç kimse kafasında canlandırmamıştı.

Aslında, *K-Pg* tükenişinden sorumlu çarpma kraterini bulmayla ilgilenen çoğu kişi 1990'a kadar bu özel krateri çalışmaya zaman ayırmamıştı. Fakat ona nasıl ulaşıldığı da inanılmaz bir öyküdür. Alvarez'in önerisini doğrulamak için yaklaşık 200 kilometre çapındaki 66 milyon yıl yaşında özel bir krateri arayan kişiler, Pemex jeologlarından tamamıyla farklı bir perspektiften başlamışlardı araştırmaya. *K-Pg* tabakasını, bir çarpmanın konumuna ilişkin ipuçlarını arayarak çalışmışlardı. Dünya genelinde iridyum birikimlerinin tekdüzeliğine karşın, bir ipucu biliyorlardı ki –eğer bulurlarsa– konum çok daha belirli olacağına benziyordu. Eğer göktaşı okyanusa çarpmış fakat kıyıya yakına çakılmışsa, kıta sahanlığında onun izini bırakacak kadar güçlü bir tsunami yaratmış olabilirdi. Bir karasal çarpma dikkate alındığında, bu hüsnükuruntu gibi görünebilirdi; fakat jeologlar dikkat kesilmişler ve emeklerinin karşılığını almışlardı.

1985'te, Jan Smit ve bir meslektaşısı Meksika Körfezi yakınında Teksas'ta Brazos Nehri yatağında *K-Pg* çökeltisinde örselenmiş çökeltilerin yeryüzüne çıkmış bir uzantısını incelemişler ve bunun önerilen tsunami tarafından şekillendirildiğine inanmışlardı. Washington Üniversitesinden kadın jeolog Joanne Bourgeois onların çalışmasını dikkatlice izlemiş ve olağandışı olarak deniz kabuğu parçaları, fosilleşmiş ağaç kırıntıları, balık dişi parçaları ve yerel deniz tabanıyla uyuşan kil içeren iri yarı kumtaşı bulmuştu ve konumun derinliğini, 66 milyon yıl önce o zamanki deniz düzeyinin 100 metre altında olduğunu saptamıştı. En az 100 metre yüksekliğinde bir dalgaya karşılık gelen akıntının saniyede bir metreden daha hızlı gittiğini ve üstelik kıyıya ve kıyıdan içeri doğru her iki yönde hareket eden bir akıntıyı gösteren örüntüleriyle bulunmuş kili tahmin etmek için kumtaşı bloklarının boyutunu kullanabilmişti. 5000 metrelik tüm deniz derinliğiyle aynı olarak maksimum olası boyutlu dalgayı varsayarak, Bourgeois çarpmanın onun bulunduğu yerden 5000 kilometreden daha az ötede olduğunu çıkarmıştı; bu da Karayip Denizindeki Meksika Körfezinde ya da Batı Atlantik'te anlamına geliyordu.

Konum için ipucu Bruce Bohor ve Glen Izett adlı jeologlardan gelmişti; onlar 1987'de şunu bulmuşlardı: Şoklanmış kuartzın en

geniş ve en bol birikimi Kuzey Amerika'nın batı içlerinde bulunmuştu; bu da çarpmanın kıtaya yakın olduğunu sezinletiyordu. Bu Smit ve Bourgeois'nın çözümlemeleriyle uyumlu olup, çarpmanın kıtanın güney ucuna yakın olduğunu ortaya koymuştu.

Haitili jeolog Florentin Maurrasse anavatanındaki *K-Pg* tabakasında bazı ilginç kalıntılar tespit ettiğinde, çarpma yeri daha da daraltılmıştı. Onun olağandışı çökeltileri betimlemesi, Arizona Üniversitesi lisansüstü öğrencisi Alan Hildebrand, tez danışmanı Bill Boynton ve araştırmacı David Kring'in dikkatini çekmişti. Maurrasse kalıntının kökeni volkanik olduğunu ifade etmiş olsa da, Arizona grubu volkanik ve çarpma kalıntılarının ne denli çabuk karıştırılabileceğinden haberdardı. Onlar Haiti örneklerini görür görmez tektitleri tanımışlar ve Haiti'yi ziyaret etmeye karar vermişlerdi. Orada, 1990'da, tektitleri içerdiği görünen yarım-metre kalınlığında bir çökelti çıkıntısı –ve ayrıca şoklanmış kuartz ve de iridyum kili– bulmuşlardı. Bu, çok büyük bir olasılıkla, göktaşı çarpmasıyla ilişkili olan bir bölgenin görünümüne sahipti. Tabakanın kalınlığından, çarpma zamanında kraterin bin kilometreden daha ötede olmaması gerektiği sonucuna varmışlardı.

Hildebrand başlangıçta olası bir Karayip adayı lehinde olmuş ve sonra bunu reddetmişse de, Arizona ekibi en sonunda bütün gayretini on yıl önce kimliğini saptadığı Yucatan olgusuna toplamıştı. Yine de bilim insanları değil de bir muhabir –*Houston Chronicle*'dan Carlos Byars– ilk bağlantıyı yapmıştı. Bir bilimsel toplantıda Hildebrand'ın Arizona grubunun araştırmasını sunuşunu dinledikten sonra, Byars ona Penfield'in daha önceki potansiyel çarpma krateri keşfini söylemişti ve böylece bilim insanlarının kayıp kraterin gizemini doyurucu şekilde sonuçlandırmalarına yardım etmişti.

Pemex'in keşfettiği krater doğru konumdaydı ve doğru boyuta sahipti. Bu uyuşma, kraterin *K-Pg* tükenişiyle ilişkisinin lehinde büyük bir kanıttı. Böyle olsa bile, 1990'da Hildebrand bir bilimsel dergiye ilişkiyi öneren iki özet gönderdiğinde, bunlar basılmamıştı; çünkü bir bakıma, başlangıç kanıtı yeterince inandırıcı değildi. Bununla birlikte, Arizona ekibi kraterde şoklanmış kuartz saptadığında, görüşler değişmişti.

Krater su altındaki bir kıta sahanlığı içinde olduğundan, çökelti onu örtmüş ve onun bulunmasını ve çalışılmasını zorlaştır-

mişti. Fakat onun gömülüşü bazı bakımlardan da hayırlı olmuştu, çünkü üzerindeki sertleşmiş çamur, yüzeyde olsaydı uğrayacağı erozyona karşı, krateri perdelemişti. Gömülmüş ve dolayısıyla başlangıçta ulaşılamaz olmuş krateri incelemek için, Arizona bilimcileri daha önce deldikleri damarları çalışmak için Penfield ve Camargo'yla temasa geçmişlerdi. Onlar New Orleans'ta depolanmış başparmak boyutunda iki örnek ele geçirmişlerdi. Beklendiği gibi, Arizona grubu bu eski Pemex delgi örneklerini (matkapla çıkarılan) incelemişler ve aradıklarını bulmuşlardı. Şoklanmış kuartz ve çarpma ile ergimiş kaya saptamışlar; böylece kraterin bir yanardağ olmayıp çarpmadan ileri geldiğini göstermişlerdi. Kring, Mart 1991'de, NASA Johnson Uzay Merkezinde keşfi duyurmuştu.

Arizona bilimcileri delgi örneği çalışmalarını Penfield ve Camargo'nun jeofiziksel verileriyle birleştirmişler ve gruplar – başka iki ortak çalışma ekibiyle birlikte– kraterin *K-Pg* soy tükenişine zemin hazırlamış olan çarpmanın sonucu olduğuna dair güçlü kanıtları bir araya getirmişlerdi. Bu sonucu, 180 kilometrelik boyut tahminleriyle birlikte, 1991'de *Jeoloji* dergisinde sunmuşlardı. Şoklanmış kuartz ve diğer destekleyici kanıtlarla karşılaşıncaya, birçok bilim insanı dikkat sarf etmeye başlamıştı.

Arizona ekibi kratere ne yazık ki telaffuzu zor olan yakındaki küçük balıkçı limanının adını vermişti: Chicxulub Puerto; burası yapının merkezinin yukarısında yer almaktadır. ÇİK-şuh-lub olarak telaffuz edilen terim, bazen “şeytanın kuyruğu” şeklinde çevrilir; Walter Alvarez'in verdiği “kıyamet krateri” adı da heybetli özelliğine yeterince uygundur.

Arizona ekibinin yayınından hemen sonra, uzaktan algılama uzmanları, kraterin çevresini uydu görüntüleriyle saptayabileceklerini fark etmişlerdi, orada kraterin etrafında 80 kilometre yarıçaplı bir halka içinde küçük gölcükler vardı. Bunlar da büyük olasılıkla kraterin oluşumu nedeniydi; taban suyunun yukarı doğru kabarması ve Yeryüzü yüzeyini yarmasıyla ortaya çıkmış olabilirdi ve dolayısıyla krater ilişkisinin bir başka kanıtıydı.

Davayı başka destekler de izledi. Arizona bilimcilerinin söyleyebilecekleri daha eski örneklerdeki malzeme çarpma eriyiğiydi ve o örnekler körfezin çevresindeki *K-Pg* çökeltisinin mikrotekitlerini andıran özellikler içermekteydi. Kring ve Boynton da Chicxulub

eriyiği kaya ve Haiti'de yaşamın söndüğü *K-T* sınırında depolanmış camsı küçük küreler arasındaki kimyasal benzerlikleri gözlemişti. Bu noktayla kanıtlar öylesine güçlü hale gelmişti ki keşif manşetlerinde birinci sırada yer almış ve kamuya mal olmuştu.

Jeologlar Yucatan krateri ve *K-Pg* soy tükenişi arasında hâlâ daha fazla bağlantı bulmaya devam etmişti. Kratere yakın doğru sınır bölgesinde, Jan Smit ve Walter Alvarez kesin olarak bir tür coğrafi çıkıntı saptamıştı; küçük küreler ve hatta cam içeren altüst olmuş breşler. Cam keşfi de önemliydi. Cam ancak çarpma gibi hızlı bir süreç esnasında oluşur –yanardağ gibi oldukça yavaş bir süreç esnasında değil– burada atomlar ve moleküller kristalize olacak zamana sahiptir. Camın çizgililiği onun homojenleşemeyecek kadar aşırı çabuk oluştuğunun bir başka göstergesiydi.

İncelemeler ve oranın yerlisi olan Meksikalı jeologlarla yapılan sohbetler oldukça yakındaki çarpma ile altüst olmuş daha birçok bölge ortaya çıkarmıştı. Çalışmalar şunu da göstermişti ki Kuzey Amerika'da sınır püskürüğünün kalınlığı, kaynak olarak Chicxulub kullanılarak öngörülmüş yerden mesafeyle azalmaktaydı. Jeolog Susan Kieffer görelî iridyum dağılımını, çarpma eriyiğini ve şoklanmış kuartzlı patlamadan ardışık gelen püskürmeler cinsinden açıklamaya yardım etmişti.

1992'de, toplanan tüm kanıtlar dikkate alındığında, çoğu jeolog Yucatan olgusunun gerçekten bir çarpma krateri olduğuna inanmıştı. Fakat onlar hâlâ bunun *K-Pg* tükenişiyle ilişkisinden emin değildiler. Bu ilişkiyi sağlam olarak kurmanın tek yolu, ayrıntılı tarihleme olabilirdi; bu da kraterden alınma iyi-nitelikli delgi örneklerinin kimyasal bileşim çalışmalarını gerektirirdi.

Bilim insanları, kayalardaki argon izotoplarını –özellikle iyi korunmuş üç cam boncukta– inceleyerek, mevcut delgi örneklerinin yaşını başarılı şekilde saptayabildiler. Sonra çarpma ve tükeniş zamanlarının uyuşup uyuşmadığını kontrol etmek için Haiti'deki *K-Pg* tabakasından alınan küçük küreciklerin tarihlemesini yaptılar. İlk ölçüm $64,98 \pm 0,05$ milyon yıl ve ikincisi $65,01 \pm 0,08$ milyon yıl gibi yaşlar verdiğinde, olayların eşzamanlı olarak (ölçüm hataları içinde) meydana geldiği gösterilmiş oluyordu. Bu mükemmel uyuma birçok bilim insanını, ilk kez Alvarez ve arkadaşlarının ortaya koyduğu "göktaşıyla dinazor tükenişi" kuramı-

nın doğru olduğuna inandırmıştı. Püskürtülen madde tam olarak paleontolojik sınır üzerine düşmüştü; bu da çarpmanın 65 milyon yıl önce meydana geldiğini doğruluyordu.

Bununla birlikte, hem kraterin hem de iridyum tabakasının ilk tarihlenmesi –nedensel ilişkiyi kurmakta çok önemli– bir milyon yıl kadar yanlış çıkmıştı, fakat yaşı belirlemede esas olan bozunma sabitleri başlangıçta birazcık hatalı alınmıştı. Şimdi *K-Pg* soy tükenişinin 65 değil, 66 milyon yıl önce meydana geldiğini düşünmemizin nedeni işte budur.

Göktaşı varsayımı için daha bile güçlü ek kanıt, tarihlemelerin uyuşmasının ölçülmesindeki son önemli gelişmedir. Şubat 2013'te, California Üniversitesi, Berkeley'den araştırmacı Paul Renne ve meslektaşları Chicxulub çarpması ve kitlesel tükenişin birbirlerine 32.000 yıldan daha yakın zamanlarda meydana geldiğini gösterdi; böylesine uzun zaman önce gerçekleşen olaylar için inanılmaz derecede doğru bir ölçümdür bu. Berkeley ekibi, çarpma ve kitlesel tükenişin bu çok küçük zaman aralığında meydana geldiklerini göstermek için, argon-argon yaş tayinini –bir önceki bölümde değinilmiş olan radyoaktif argon izotoplarına dayanan tekniği– kullanmıştı.

Onların buldukları tarihlerin yakınlığı hemen hemen kesinlikle sadece rastlantı olmayıp, çarpma varsayımını dikkate değer bir doğrulamaydı. Makalenin yazarları göktaşı olayının, yanardağ etkinliği ya da iklim değişikliğiyle zaten hızlandırılmış olan soy tükenişine vurulan bir darbe olabileceğine işaret etmekte dikkatli olmuşlarsa da, Chicxulub kraterini yaratan büyük göktaşı çarpmasının kritik tetikleyici olduğu artık kuşkudan uzaktı.

Mart 2010'da, paleontoloji, jeokimya, iklim modelleri, jeofizik ve tortulbilim konusunda çalışan 41 uzman, çarpma-kitlesel tükeniş varsayımı için 20 yıldan daha uzun süreden beri toplanmış olan kanıtları gözden geçirmek üzere toplanmışlar ve şu sonuca varmışlardı: Gerçekten de 66 milyon yıl önce, hem krateri yaratan hem de *K-Pg* soy tükenişine neden olan bir göktaşı çarpması gerçekleşmişti ve bunun en büyük kurbanı ulu dinazorlar olmuştu. O yıl *Science* dergisinde basılan bir makale soy tükenişinin nedeni olarak göktaşıyla ilgili fikir birliği görüşünü sunmuştu. Aynı dergide birkaç ay sonra kuşkucu paleontologlar farklı bir makaleyle, en azından bir göktaşının çok önemli bir etken olduğu

konusunda fikir birliği içinde olduklarını belirterek tartışmayı kapatmışlardı.

Chicxulub krateri Yeryüzü üzerinde bulunmuş en geniş kraterler arasındadır. Onun bulunuşunun öyküsü, zekice tümevarımları, cüretkâr varsayımları sınama ve onaylamaları ve İtalya, Colorado, Haiti, Texas ve Yucatan'a kadar yayılmış bölgelerde araştırmaları içeren iş başındaki bilimin inanılmaz bir örneğidir. Yucatan'da yere çarpan göktaşı gezegen üzerinde ve oradaki yaşamda derin etkiler bırakmıştı. Onun kökeni ve onun sonuçları, Yeryüzünün Evrene olan kalıcı bağlantılarını ustaca resmetmektedir.

YAŞANABİLİR BÖLGEDE HAYAT

Karanlık madde ile karada yaşayan dinazorların yok oluşunun birbirlerine nasıl bağlanacağını ileri süren öneriye doğru olan gezimizde uzun bir yol katettik. Evren, onun içindeki madde ve gökada gibi yapıların gelişmesi hakkında bilinen birçok şeyi ele almıştık. Daha hassas noktaya dokunmak üzere, iyi çalışılmış olan *K-Pg* tahribatının öyküsü dahil, beş büyük soy tükenişi olayını gözden geçirmiş ve gezegenler ile kuyrukluysıldızlar hakkında daha yeni keşiflere odaklanarak Güneş Sisteminin bileşimini araştırmıştık.

Bilimde ilerleme, sadece bilinende olmaz. Kritik olarak, bilinmeyen de içerir. Varsayımlar, bilimsel fikirleri birleştirmek üzere, az fakat önerisel kanıt anlamında –ya da esin anlarında– çoğunlukla kuramsal olarak başlar. Bilimsel yöntemin güzelliği, bize çılgınca kavramlar hakkında, onları sınamak için küçük, mantıklı sonuçları tanıyacak bir gözle düşünme izni vermesidir. Bu konuda şanslı olabiliriz ve önerilerimiz yolun ilerisini gösterebilir, fakat başlangıçta ümit vaat eden varsayımların yanlışlığı kanıtlanınca hayal kırıklığına da uğrayabiliriz.

İlerleme nadiren dolambaçsızdır. Bu kavram, bir başka bağlamda, çok seyrek fakat ateşli şekilde kayak yapan bir arkadaş tarafından belki de aşırı gayretle ifade edilmişti. Onunla kayak alanında karşılaştığımda, gelişmesini “iki adım ileri, iki adım geri” olarak betimlemişti. Fakat aslında tekniğini geliştirmedeğini düşündüğünde bile, kar üzerinde geçmiş olan zamanı ona bir dağla ve o bölgeyle yakınlık getirir; bu da gelecekteki kayak serüvenlerinde onun çok işine yarar. Gerçekten de, onunla bir yıl sonra aynı kayak pistinde karşılaştığımda, rahatlık düzeyinin belirgin ölçüde geliştiğini görmüştüm.

Fakat onun dillendirdiği tutum araştırma yapan herkesin zaman zaman itiraf edebileceği bir durumdur. Hata yapmayan, tüm

denklemlerini doğru olarak çözen ve verileri hakkıyla yorumlayan birisi bile, eninde sonunda ileri sürdüğü fikrin –kendi kabahati olmadığı halde– sadece Evrende doğru olmadığını keşfedebilir. O zaman bile, kayakta olduğu gibi, girişimler en azından bölge hakkında çok daha içten bir anlayış vermiş olur. Sanal araştırmamız kendi yanlış –en azından haklı yanlış– fikirlerinden bir şeyler öğrendiği bilgisiyle avunabilir, o dönemlerde hiç de öyle görünmediğinde bile. Fikirleri kanıtlamak ya da yalanlamak için varsayımlar yapmak ve yollar bulmak, onların geçerliliğini ortaya çıkarmak için ne de olsa tek yoldur. Varsayımların şanslı ya da esinlendirici olduğu bu olağanüstü anlarda, araştırma gerçek ilerlemeye yol açar. Bir bilim insanı için –neredeyse herkes için de– başarılı olduklarında başarısızlıklar unutulup gider.

Çok yakında, bu kitapta karanlık madde hakkında bazı kurgusal fikirler sunulacaktır. Fakat bu bölümde kısa süreliğine bileşimini bildiğimiz maddenin en ilginç özelliklerinden birine geri dönülür: Yaşamın gelişmesine ve evrimine. Yaşamın kökenleri, yaşamı barındırabilecek çevresel koşullar ve göktaşlarının yaşamın gelişmesindeki olası rolü için önemli olabilecek etkenlerin bazılarını açıklayacağım. Tartışacağım fikirlerin birçoğu bilimsel araştırmalar tarafından desteklense bile, aynı zamanda bazı kurgusal yanlar da içerecektir. Bunlar genelde herhangi bir özelliğin, Yeryüzü üzerindeki yaşam için ya da başka yerde var olabilecek yeni yaşam biçimleri için ne denli hayati olduğuyla ilgilidir.

Aşağıda sıradan madde üzerine odaklanmamız, karanlık madde hakkında birçok kurgusal fikre sahip olmadığımızı ileri sürmek için değildir; fakat kitabın son parçasında geri dönmek üzere, şimdilik onları bir kenara koyacağım. Öyle olsa bile, yaşamın karanlık maddeye borçlu oluşunu ve yıldızlarla dolu çevremizin yaratılmasında karanlık maddenin rolünü tamamıyla göz ardı etmemeliyiz; ne de olsa, başlangıçta karanlık maddenin yoğunlaşmasıyla tohumlanmış bir gökadanadan atılmış yoğun bir sıradan madde diskinin bir sonucudur bu. Yıldızların ve ağır çekirdeklerin yaratılmasını sağlayan bu çalışma iskelesi yapının tohumunu atmıştı; bunlar karanlık maddenin katkısı olmaksızın zaman içinde asla yaratılamazdı. Karanlık madde, süpernovaların yarattığı ve hem gezegenimiz hem de yaşam için esas olan ağır elementleri gökadalara ve gökada kümelerine çekmeye yardım etmesiyle de kredi toplamalıdır.

Fakat karanlık madde halelerinden yaşamın yaratılmasına gidiş uzun mu uzun bir yoldu. Samanyolu diski oluşmalıydı ve sonra ağır elementler ve ondan sonra da daha karmaşık yapılar. Tüm bu incelikli ve karmaşık süreçler için sıradan madde esastı; bu süreçler için Güneş Sistemimiz özel olarak tamı tamına uygun görünmektedir. Aşağıdaki kurgusal fikirlerden hangilerinin yaşamın oluşumu için doğru olduğunu size söyleyemem. Fakat gelen yıllarda bilimin ilerlemeler yapacağını kesinlikle söyleyebilirim.

YAŞAMIN BAŞLANGIÇLARI

Yaşamın başlangıcı aşırı derecede meydan okuyucu bir problem-dir; özellikle yaşamın gerçekte ne olduğunu hiç kimse bilmediğinden. Şu anda bizler halihazırdaki yaşamın önemli ölçüde karmaşık ve olasılık dışı örneğini sunmadıkça, yaşam türümüz için gerekli koşulları tahmin edebileceğimizden ya da düşünerek bulabileceğimizden bile emin değilim. Fakat insanlar değinilmek üzere duran birçok derin temel sorudan haberdar olsalar da, onları şu anda anladığımız miktardan katbekat fazla tahmin etmekte. Bunun insancıl (antropik) bela saydığım bir nedeni şu; yaşamın herhangi olası bir biçimine ya da onu destekleyebilecek gökadalara gibi yapılara bile neyin esas teşkil edebileceğini henüz kimse bilmiyor. Yaşamın herhangi bir biçiminin bizimkine benzeyebileceğinden başkaları kadar emin değilim.

Fakat soyut sanal yaşam-biçimlerine ilişkin soruları sormadan önce, ilkin gezegenimiz üzerinde yaşamın nasıl ve nerede başladığını bilmek isteriz. Yerel olarak mı başlamıştı, yoksa dış uzayda başka bir yerden mi gelmişti? Bazı insanlar Yeryüzüne hazır-yaşamı kuyrukluyıldızların ya da küçük-gezegenlerin *panspermizm* denen bir senaryo içinde sporlarla getirdiklerini kurgularlar. Bazılarıysa yaşamın oluşumuna karşı olan bir engelin aşılmasına bir göktaş çarpmasının yardım ettiğini iddia ederler ve daha tutucu olan bazıları da Yeryüzü üzerindeki yaşamın herhangi bir dünya dışı müdahale olmaksızın geliştiğini ileri sürerler. Bu son varsayım şöyle bir avantaja sahiptir; Yeryüzü, Güneş Sisteminde bildiğimiz tüm yerler arasında, yaşamın ortaya çıkışına en uygun koşullara sahip gibi görünmektedir. Benzer ortamlar başka yerlerde de olabilirdi; ama bildiğimiz kadarıyla, sadece

Yeryüzü lagünler ya da gelgit gölcükleri, donmuş su çözeltileri ya da kimyasalların toplanabildiği ve tepkimeye girdiği kil yüzeyleri gibi sıkı deniz ortamlarına sahiptir.

Yaşamı oluşturan ağır elementler kesinlikle dış uzaydan gelmişti. Çok erken evrende hidrojen vardı, fakat diğer esas elementler –karbon, azot, oksijen, fosfor ve sülfür– sadece Güneşimiz bile doğmadan önce meydana gelmiş olan sıcak yoğun yıldız birleşimleri ve süpernova patlamaları nedeniyle ortaya çıkmıştı. Bu olaylar dizisini, Kanarya Adalarındaki Tenerife teleskobunda Yeryüzü-ne-yakın küçük-gezegenleri arayan öğrenciler tarafından istenen bir söyleşi esnasında alıntılammaktan mutlu olmuştum. Beylik sorgulamalarının ardından, tüm söyleşilerde sordukları söylenen aynı garip soruyu sormuşlardı: “Öğrencilerin ve genç yıldızların sahip oldukları ortak özelliklerin neler olduklarını düşünmekteymişim?” sorularına yanıtlarla söyleşiciler tatmin olduklarında rahatlamışlardı. Yanıtım şuydu: Öğrenciler yeni fikirleri özümser, yeni fikirler yaratmak için onları işler ve sonra çevrimi yeniden başlatmak için onları topluma yollarlar; yıldızların ağır elementleri yaratmak için yıldızlararası malzemeyi soğurması, sonra yeniden işlemek için onları uzaya püskürtmesi gibi. Moleküler malzeme atıldığında, yıldızlararası ortama boylu boyunca dağılır ve yoğun bulutlar halinde kümelenir, bazı kısımlar tekrar yıldız oluşturan bölgelere girer; dağılım örüntüsü, fikirlerin yaratımı, yayılması ve ilerlemesinden tamamıyla farklı değildir.

Fakat ağır elementler, yaşam başlayabilmeden önce biraz daha işlemekten geçmeliydiler. Kimyasallar gitgide karmaşıklaşan kararlı organik bileşimler oluşturduğunda, Yeryüzü üzerinde bu olay meydana gelmiş; en sonunda kendini üreten RNA, sonra DNA ve daha sonra hücreler ve de çok sonraları çok-hücreli organizmalar yaratılmıştı. Bunlar kısmen proteinlerin yapı blokları olan aminoasitlerden kurulmuştu. DNA, RNA ve hücresel yapının gelişmesi için gerekli olan şeyleri daha fazla anlar hale geldiğimizde, yaşamın kökenine esas oluşturan aşırı koşulları daha iyi ortaya çıkarabilirdik.

Yaşamın ortaya çıkışı konusunda çok ilginç sorulardan biri, aminoasitlerin yıldızlararası ortamda ve başka yerlerde nasıl oluştuğudur. 1950’lerin başlarında, Chicago Üniversitesinden Stanley Miller ve Harold Urey ünlü bir deney yapmıştı; bu deney-

de metan, amonyak ve hidrojen içeren bir kabın içine konmuş bir şişe suyu ısıtmışlardı. Onların amacı ilk atmosferdeki ilkel okyanusu taklit etmektir. Su buharı üzerine uygulanan bir elektrik boşalımı yapay olarak yaratılan "atmosfer"deki yıldırımın rolünü oynamıştı. Miller ve Urey bu basit düzenekleriyle başarılı bir şekilde aminoasitleri üretmişler ve böylece Güneş ve ekstra-Güneş ortamlarında aminoasitlerin üretilmesinin aslında çok da sürpriz olmadığını göstermişlerdi.

Erken Yeryüzünün atmosferi büyük olasılıkla karbondioksit, azot ve sudan ibaretti ve deneyde daha az kararlı metan ve amonyak kullanılmamıştı. Fakat şurası ilginçtir ki aminoasitlerin karadaki dağılımı Miller-Urey deneyiyle üretilenle önemli biçimde benzerdir. Onların sonuçlarından çıkarılacak işe yarar bilgi, organik madde oluşumunun Yeryüzü üzerinde herhalde oldukça basit oluşudur; gökada ve Güneş Sisteminin her yerinde de öyle. Kimyada *organik* teriminin basitçe karbon varlığına gönderme yaptığı, bununla mutlaka yaşamın elementlerinin kastedilmediği aklınızda bulunsun. Bu terim, pek uygun olmasa da, kuşkusuz organik moleküller bildiğimiz gibi yaşam için esas olma anlamında (hep değil) rastlantısal değildir.

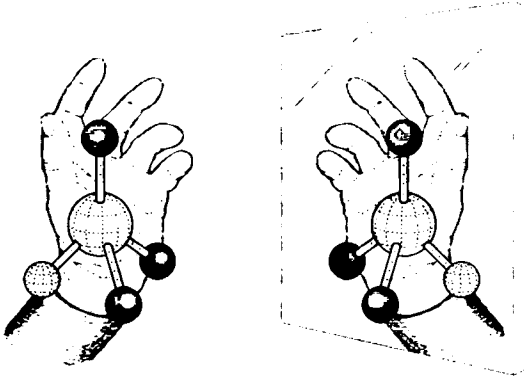
Gerçekten de, karbon içeren süreçler hemen hemen Evrenin her yerinde meydana gelir. Yıldızların dışa akışları, yıldızlararası ortam, yoğun molekül bulutları ve ilkel yıldız bulutsuları vs, bunların tümü, organik madde içerir. Güneş gibi bir yıldızın etrafındaki bölge büyük miktarda organik madde yaratır, içinde onun yaratıldığı soğuk yoğun moleküler bulutun yaptığı gibi. Bu, organik bileşimi oldukça beklenilir kılar, ama ayrıca yaşamımızın temel içeriklerinin kökenini saptama işini daha da zorlaştırır. Onun birazı başka yerlerden kaynaklanmış olabilir; fakat bazı bilim insanları pek çok organik maddenin büyük olasılıkla evde yetiştirilmiş, en azından en sonunda yaşama katkıda bulunan moleküllere girmeden önce ilkin Yeryüzü kabuğunda yenden işlenmiş malzemedir yaratılmış olduğunun kanıtlandığına inanmaktadır.

Biliyoruz ki Güneş Sistemi içindeki cisimlerin çarpmalarıyla Yeryüzüne bir miktar organik malzeme bırakılır. Küçük-gezegenler kuşağı içindeki organik madde miktarının dışındakinden önemli ölçüde daha az olduğu görünmektedir; bu da Yeryüzünün

organik malzemesinin makul bir kesrinin dış uzaydan verildiğinden kuşku duyulmasının bir nedenidir. Bir başka neden de şudur; Yeryüzünün ilk yıllarından kalma mineral artıkları çok kıt olsa da, çok sayıdaki Ay krateri ve gezegenin çok daha büyük boyutu bize ilk yıllarında Yeryüzünün de pek çok çarpmaya maruz kalmış olması gerektiğini söyler. Bunlar büyük olasılıkla yüklü miktarda organik malzeme temin etmişti.

Hem aminoasitler hem de pürinler ve pirimidinler –DNA ve RNA için de esastırlar– gerçekten uzayda bulunmuşlardır. Küçük-gezegenler de, kuyrukluyıldızlar da aminoasit içerirler; onların bazıları buradaki yaşamın parçasıdır ve bazılarıysa Yeryüzü üzerinde bulunmazlar. En azından yaşamsal-olmayan aminoasitlerin ayırt edilmesine yardımcı olan bir ayırıcı, *sol/sağ-elliliktir* [chirality]. (Şekil 31.) Sadece sol-elli aminoasitler Yeryüzü üzerindeki yaşamda mevcuttur, oysa dış Güneş Sisteminden gelen aminoasitler her iki elli molekülleri de içerirler. Sol/sağ-ellilik, bir karbon atomunun etrafındaki atomların belirgin bir yönlülüğe sahip olacak şekilde düzenlenmesiyle ilgilidir; tıpkı sağ ve sol ellerinizdeki parmakların farklı yönleri gibi. Bununla birlikte, en azından bir çalışmada küçük-gezegen birikimlerinde bir tip aminoasitte sol-elli moleküllerin fazla olduğu bulunmuş, bu da sol-elli fazlalığının yaşamla ilişkisini bulandırmıştı.

Küçük-gezegenlerdeki aminoasitler hakkında bildiğimiz birçok şey, Melbourne'e yakın bir Avusturalya kasabası olan Murchison'a 1969'da düşen Murchison meteoritinden gelmişti. Murchison meteoriti, Mars ve Jüpiter'in arasından kaynaklanan bir göktaşı parçasıydı. Bu bir *karbonlu kondrit* tipi idi ve adından da tahmin edebileceğiniz gibi, aminoasitler dahil oldukça fazla miktarda organik molekül içermektedir. Şans eseri, meteoritleri inceleyebilen laboratuvarlar, Apollo Uzay Uçuşlarından elde edilen ay örneklerini incelemek üzere tam yeni kurulmuşlardı. Böylece bilim insanları tesadüfen Murchison meteoritini Oklahoma'da bulunmuş olan Murray meteoriti gibi benzerleriyle kıyaslamak ve Fransa'da ortaya çıkarılmış olan Orgueil meteoriti gibi farklı olanlarla karşılaştırmak için araçlara sahip olmuşlardı.



[ŞEKİL 31] Sol ya da sağ elliliğe sahip kiral moleküller bir aynada yansıtıldıklarında aynı görünmezler. Canlı varlıklardaki aminoasitler sol-ellidir.

Deneyciler de uzaydan gelen aminoasitlerin kaderini incelemek için Yeryüzü üzerindeki kozmik koşulları tekrar yaratmaya çalışırlar: Onların araştırması şunu göstermişti ki aminoasitler kuyruklu yıldız çarpımalarında hayatta kalabilirler ya da dünyadışı malzeme yere çarptığında yaratılabilirler. Kuyruklu yıldızların gaz çıkarma gözlemleri, çoğu küçük-gezegenin yıldızlararası malzemeyi ziyadesiyle işlediği halde, bazı kuyruklu yıldız buzlarının çok eski, ilkel yıldızlararası malzeme içerdiğini göstermişti. Yeryüzüne malzeme veren kuyruklu yıldızların ve küçük-gezegenlerin içeriğini yansıtan meteoritlerin ve gezegenler arası tozların incelenmesi, uzaydan gelen bazı moleküllerin kökenlerini ve miktarını belirlemeye yardım edecektir.

Su, tıpkı karbon gibi, nerede varsa, Güneş Sistemindeki yaşamın büyük olasılıkla olmazsa olmazıdır. Yeryüzünün özellikle göze çarpan bir özelliği, yüzeyinin 2/3'ünün okyanuslarla kaplı oluşudur; her yerinin olmadığı gibi, hiçbir yerinin de değil. Kıyılara ve gelgit bölgelerine izin veren bu kısmen okyanuslarla kaplı oluş, ayrıca büyük olasılıkla burada gelişmiş olan yaşam için önemlidir.

Su bildiğimiz kadarıyla yaşam için kesinlikle önemlidir. Kayalardaki bulgular, sıvı suyun Yeryüzünün geçmişi boyunca Yeryüzü yüzeyinde kararlı bir durumda var olduğunu göstermektedir.

3,8 milyar yıl öncesine tarihlenen kayaların, Yeryüzü yüzeyinde su içinde olduğu görülür. Bundan da öncelere –en azından 4,3 milyar yıl öncesine– tarihlenen zirkonyum silikat, Yeryüzünün ilk kabuğunda suyu gerektiren bir yapıda var olmuştur.

Yeryüzü üzerindeki yaşamı, onu bize ne getirmiş olursa olsun, kesinlikle şu anda gezegenimizin içerdiği engin su miktarına borçluyuz. Yakınlardaki bir tekne gezisinde bir arkadaşın büyülenmiş halde ifade ettiği gibi, bizi saran bu dikkate değer varlığın kaynağı bir sır olarak kalmaktadır. Okyanuslardaki suyun bir kısmı yüzeyin altındaki kayalarda hapsedilmiş sudan ortaya çıkmış olabilir, fakat toplanabilmiş olan küçük su miktarı mevcut olması gereken büyük su miktarlarını açıklamaya mutlak şekilde yeterli değildi.

Yaşamın oluşumuna olanak sağlamaya yardım eden organik malzemeyi çarpmaların verdiğini zaten görmüştük. Kuyruklu yıldızlardan ya da küçük-gezegenlerden, yani dünya-dışından başlangıçta –büyük olasılıkla Son Ağır Bombardıman esnasında– su verilmesi de kesinlikle bir olasılıktır. Bu incelikli bir iştir, çünkü Yeryüzüne meteoritler aracılığıyla gelen suyun çoğu Yeryüzü minerallerinin örgüsü içine yerleşmiştir, böylece onu bilhassa silikat konukçudan ayırmak için bir tür işlem gerekmiş olabilir; ara yerlerdeki bir miktar buz da küçük-gezegenler tarafından verilmiş olsa bile.

Suyun kökeni için kuvvetle muhtemel adayın başlangıçta kuyruklu yıldızlar olduğu sanılmıştı, çünkü onlar büyük ölçüde buzdan oluşmaktadır. Bununla birlikte, Yeryüzü üzerindeki karbon, hidrojen ve oksijen izotopları, şu ana kadar kuyruklu yıldızlarda gözlenmiş olanla birbirlerine uymamaktadır; bu da Yeryüzündeki uçucuların ana kaynağının muhtemelen kuyruklu yıldızlar olmadığını göstermektedir. Bu sonuç 2014'te Rosetta geri döndüğünde doğrulanmıştı; onun sonuçları kuyruklu yıldızdaki hidrojenin izotopik bileşiminin Yeryüzü üzerindeki izotoplarıinkiyle denk düşmediğini göstermiş; böylece çoğu suyun kuyruklu yıldızlardan geldiği varsayımını daha bile az olası hale getirmişti. Eğer uzaydan gelen cisimler bir rol oynadıysa, büyük olasılıkla daha dıştaki küçük-gezegenlerin katkıları önemliydi; çünkü onlar Yeryüzü üzerindekiyle benzer izotop oranlarına sahip olabilirlerdi.

Yeryüzünün ilk zamanlarındaki suyu için başka bir sorun şudur; genç Güneşin enerji verimi, muhtemelen bugünkünün yüzde 70'i kadardı. Güneşin başlangıçtaki düşük parlaklığıyla, bir başka açıklama olmaksızın, oluşmuş olan su bile sıvı evrede olamazdı: "Soluk Güneş İkilemi" olarak bilinen bir çıkmazdır bu. Bununla birlikte, genç Yeryüzü de aşağıdaki şekillerde ısı üretmişti: Çökerken kütleçekim enerjisi salarak, volkanik etkinliklerle, atmosfer içine giren göktaşlarından şoklarla, o zaman daha yakın olan Ay tarafından gelgit ısıtmasıyla ve Yeryüzünün içindeki kararsız izotopların bozunmasından gelen radyoaktiviteyle. Bunlardan herhangi biri Yeryüzünü tek başına Güneş ışınlamından daha fazla ısıtmış olabilirdi. Büyük olasılıkla, bugün gezegeni ısıtmaya yardım eden sera gazları, o zaman da en önemli rolü oynamıştı. Atmosferde karbondioksit gibi sera gazları Güneş ışınlarının bir kısmına etkir: Işınlr esas olarak görünür dalga boylarında Yeryüzüne çarpar, atmosferde soğurulurlar ve kızılaltında geri ışırlar. Sera gazları Yeryüzünün beklenen erkcn sıcaklıktan daha fazla ısınmasını tam olarak açıklasa da açıklamasa da, sıvı haldeki okyânusların Yeryüzünün ilk zamanlarında var oldukları apaçıktı. Dolayısıyla yukarıdaki çözümlerin biri ya da birkaçı bir rol oynamış olmalıydı.

YAŞANABİLİR BÖLGE

Kozmik çevremiz, Güneş Sistemi içinde ve ötesinde, hem dostlar hem de düşmanlar içerir. Yaşam fiziksel koşulların bir gizli planına dayanır, orada yararlı özelliklerden çıkar sağlamaya ve kötü özellikleri saptırmaya ya da ortadan kaldırmaya olanak veren bazı istisnai koşulları gerektiren uygun bir ekosistem gelişebilir. Yaşam için ön koşulları anlama, muhtemelen yaşamın kökenlerini kavrama kadar ürkütücü çıkacaktır. Fakat bilim insanları yine de yaşanabilir bir ortam için yapılacak olanları saptamayı ümit eder; tahminen çok daha özel koşulları gerektiren hem temel mikrobik yaşam hem de gelişmiş karmaşık yaşam için. Tüm yanıtlara henüz hiç kimse sahip olmasa da, çevremizi özel yapan her şey dikkati hak etmektedir.

Güneşin kendisinin birkaç bakımdan özel görüldüğünü kaydetmeye değer herhalde. Güneş epeyce iri yıldızlar arasındadır

–ilk yüzde on içinde– tipik olandan daha yüksek metal içeriğe sahiptir ve yaşına göre gökadasal orta-düzleme fevkalâde yakındır. Ayrıca benzer yaştaki yıldızlardan daha çembersel bir yörüngeye sahip görünmekte olup öyle konumlanmıştır ki bir bakıma spiral kollara benzer bir hızla dolanmakta ve dolayısıyla onları oldukça seyrek kesmektedir. Güneşin bu tipik olmayan özelliklerinin gerçekte ne denli esas olduğunu bilmiyoruz, fakat her alışılmadık özellik ilginç olabilir.

Güneş ışınımına bel bağlayan fotosentez Yeryüzündeki yaşamın çoğu için önemlidir. Enerji her yaşam oluşumu için neredeyse kesinlikle esastır, çünkü onu yaratan ve sonuna kadar ayakta tutan süreçleri o çalıştırır. Yeryüzü üzerinde, Güneş hiç kuşku yok ki başlıca enerji kaynağıdır. Bugün Güneş ışığından elde edilen güç, bir sonraki en önemli kaynak olan jeotermal ısıninkinden binlerce kat daha büyüktür. Bugün şimşek bile daha az önemli bir katkı – bir milyonluk bir çarpanla daha az güç– içerir ve kozmik ışınların katkısı bundan da bin kez daha azdır.

Onun tüm yaşam yapıları için önemi bir kurgusal konu olsa da, sıvı su Yeryüzü üzerinde var olan yaşam için kesinlikle önemlidir. Ayrıca suyun nereden geldiğini bilmeye ek olarak, onun sıvı biçiminin nerede kararlı olabileceğini de bilmek isteriz. Bu sorunun yöneltilmesi, sadece Güneşle ve bizim ondan uzaklığımızla ilgili bilgiyi gerektirmekle kalmaz, fakat ayrıca ışınımın etkinliğinin anlaşılmasını da, diğer olası ısı kaynakları ve atmosferdeki basınç miktarını da gerekli kılar.

Yalnızca Yeryüzünün yansıtıcılığına, Güneşin parlaklığına ve bizden uzaklığına bağlı olarak, Yeryüzü yüzeyindeki su bugün bile atmosferin ısınma etkisi olmaksızın donabilir. Bugünün atmosferinde aşırı ısınmadan haklı olarak endişe duysak da, Yeryüzümüz, onu sıcak tutan karbondioksit, metan, su buharı ve azot-oksitin sera gazı etkisi olmaksızın aşırı soğuk olabilir. Sıvı su şu anda sadece kızılaltı ışığı soğuran ve gezegeni ısıtan, bu nedenle de dengiyi kuran sera gazlarından ötürü Yeryüzü üzerinde mevcuttur.

Yaşanabilir bölge, yaşamın sürebileceği koşulların olduğu yerdir. Orası “Altınsarı” bölgedir, yani sıvı suyun kararlı olmasına tam izin verilen yer. Su, ana ısı kaynağından –Güneş– aşırı uzakta buz olacaktır. Aşırı yakında, su daha en başta gezegenin yüzeyinde yoğunlaşmayacaktır. Su bir gezegenin yüzeyinin altında da var

olabilir; oysaki bunun da, büyük bir okyanusun organize edebileceği yaşamın çeşitliliğini barındırması olasılık dışıdır.

Suya ilişkin olarak dıştaki yaşanabilir sınır, bazen karbondioksitin atmosfer dışında yoğunlaşmaya başladığı Güneşten olan uzaklık olarak tanımlanır; bu da Güneşten, Yeryüzünden uzaklığının üçte-biri kadar daha öteye uzanan bir bölge verir. Aynı tanım bazen farklı olarak suyu donmaktan korumak için atmosferde yeterli karbondioksit ve suyun kaldığı bölge olarak da yapılır; bu ise Güneş etrafında daha genişçe bir bölgeye, kabaca Yeryüzünden üçte-iki kadar daha dışa uzanan bir bölgeye yol açar. Bunu gözünüzde canlandırmak isterseniz, Venüs her iki tanım içinde kalır, fakat Mars sadece ikinci tanım bölgesinde yer alır; dış gezegenlere gelince, aşırı uzak olduklarından, onlar her iki bölgenin de dışında kalırlar.

Nasıl ortaya çıktığını bilmesek bile, suyun neredeyse gezegenin başlangıcından bu yana ortalıkta olduğunu biliriz. Güneşin parlaklığı değiştikçe –oluşumundan beri büyük ölçüde artmış olarak– atmosfer de değişmişti. Dolayısıyla *sürekli yaşanabilir bölge* olarak bilinen çok daha sınırlı bir bölge vardır; bu, gezegenin ömrü boyunca sıvı suyun desteklenebildiği bölgedir. Şu andaki iklim modellerine göre, sürekli yaşanabilir bölge Güneş-Yeryüzü uzaklığının yüzde on beşi içinde yer alan daha sınırlandırılmış bir bölgedir. Bu kuşkusuz bugün tanımlanmıştır. Yaklaşık dört milyar yıl içinde, Güneş bir kırmızı cüceye dönüşecektir ve bundan birkaç milyar yıl sonra, o tamamen yanıp yok olacaktır. Şimdiki modellere göre, bu uzak gelecekte Yeryüzüne-bağlı hiçbir yaşam biçimi –basit ya da karmaşık– ayakta kalmayacaktır.

Bununla birlikte, bu uzak ve can sıkıcı yazgı için endişelenmeden önce, daha ivedi sorunlar sinsice el uzatır. Önemli birisi Yeryüzünün sıcaklığının durağanlığıdır ve bunun yaşam için ne anlama geldiğini biliyoruz. Şu anki toplumumuzda, oldukça küçük sıcaklık değişimleri sahil boylarına, tarıma ve insanların yaşayabilirliğine dönük büyük etkilere sahip olabilir. Fakat yaşamın evrimini anlamak için, çok daha fazla kaba sıcaklık değerlendirmeleri devreye girer. Yeryüzü üzerinde, karbon esastır ve atmosferik karbon değişmeksizin tazelenmelidir.

Diğer gezegenler üzerinde, metan ve karbondioksit de konuyla ilgili olabilir. Bu gezegende, atmosferdeki karbonu düzenleyen

süreçler önemlidir. Karbon, yağmur suyunda çözündüğünde ya da bitkilerde fotosentez yoluyla soğurulduğunda ortadan kaldırılır; levha tektoniği ve kayaların sabit aşınmasıyla atmosfere geri kazanıldığında tazelenir. Daha sonra okyanus ortasını yaratan okyanus tabanı dalma kuşakları içinde kaybolduğu zaman, karbon geri döner; bu dalma kuşakları içinde, yanardağlar, sıcak kaplıcalar ve diğer yarıklar yoluyla kaçan karbon dioksidi üretmek üzere, elementler tepkimeye girer. Karbon, tabanın kabarması ve dağların oluşması yoluyla da yavaş yavaş geri döner ve fosil yakıtlarının yanmasıyla hızlı biçimde geri kazanılır. Bu süreçlerin tümü atmosferik karbonun temin edilmesini etkiler, bu da Yeryüzünün sıcaklığının düzenlenmesinde önemlidir.

Uzun-vadeli iklim kararlılığı yaşamın gelişmesine bir başka öncü olmuş olabilir. Yeryüzü üzerinde, bu kararlılık bir sera tabakası yaratan levha tektoniğini sürmek için sadece okyanuslara ve iç ısı kaynaklarına dayanmakla kalmayıp, ayrıca yıldız evrimine de, küçük-gezegen ve kuyrukluyıldızların düşük çarpma oranına ve Yeryüzünün spin dönme eksenini kararlı kılan Ayın varlığına da dayanır. Bu koşullar muhtemelen son beş yüz milyon yılda geniş bitki ve hayvanlarıyla oluşmuş olan yaşam için çok önemlidir; ilk üç milyar yıl boyunca biraz iklim kararlılığı da muhtemelen ilk mikrobik yaşam için önemli olmuştur.

Kararlı bir astroküre herhalde yaşamın ortaya çıkışı için büyük olasılıkla önemliydi. Gezegen çarpan çok fazla kozmik ışın –ya da hatta aşırı sayıda küçük-gezegen ve kuyrukluyıldız– ve birçok yaşam tipi bir oluşum şansına sahip olmayabilirdi. Başarılı şekilde ortaya çıkmış olan herhangi bir şey muhtemelen çabucak yok olabilirdi. Yaşamı barındıran bir gezegen haddinden fazla Güneş ışınlamından kaçınmak için Güneşten yeterince uzak olmalıdır, fakat belki dış gezegenler tarafından küçük-gezegenlerden korunacak kadar da yakın olmalıdır. Olsa da olmasa da bu gereklidir. Jüpiter kesinlikle Yeryüzünün büyük ağabeyi –ya da fedaisi– rolünü oynar; küçük “kardeşini” dünya-dışı saldırılardan korur ve yaşamın gelişmesini bu denli basit hale getirir.

Ayrıca gezegeni koruyan yıldız yelidir; bu, 8. Bölümde Güneş Sisteminin kıyısını tanımlama bağlamında tartışılmıştı, bu yel *heliosferi* yaratmak üzere yıldızlararası malzemeyle etkileşir. Gökadasal kozmik ışın sıklığı bu bölge içinde görece düşüktür, bu da

muhtemelen Yeryüzünün iklimini sabitler ve ortaya çıkan herhangisi bir yaşamı çok daha direkt yıkıcı etkilere korur.

Şaşırtıcı bir şekilde, şu anda *Yerel Kabarcık* denen 300 ışık-yılı boyunda bir bölgede yaşamaktayız; bu, Samanyolunun Orion Kolu içindeki yıldızlararası ortamda çok düşük hidrojen yoğunluklu boşluk-gibi bir bölgedir. Ancak yakınlarda –belki son birkaç milyon yıl içinde– bu ılık, düşük-yoğunluklu, kısmen-iyonize, görece seyrek yıldızlararası çevreli bölgeye girdik. Bu zaman süresinde, heliosfer sınırıyla çevrilmiş olan bölge –orada Güneş yeli yıldızlararası ortama egemendir– fevkalâde geniş hale gelmişti. Yerel Kabarcık boşluğu Yeryüzünü sarmaladığındaki bir zaman aralığında Yeryüzü üzerinde insansı varlıkların ortaya çıkışı sadece bir rastlantı mıdır, yoksa böylesi anormal bir düşük gaz ve kozmik ışın yoğunluğu karmaşık yaşamın oluşumunda bir aracı mıydı, bunu bilmiyoruz.

GÖKTAŞLARI VE YAŞAMIN GELİŞMESİ

Chicxulub kraterini oluşturan göktaşı, yaşamın gelişmesinin daha sonraki seyrinde, pek çok mevcut türü yok ederek ve başkalarına yol açarak kesinlikle bir rol oynamıştı. Sayıları çok kesin olmasa da, anlaşıldığı kadarıyla, birçok iri göktaşı kitlesel bir soy tükenişine yakın ya da onunla örtüşen bir zamana tarihlenir. Tükeniş sınırlarına yakın olan iridyum tabakaları, mikrotekitler ve şoklanmış kuartz, çarpmaların olası bir rolüne destek vermekte ve zamanlaması bazı yaşam-değiştiren olaylarla çakışır gibi görünen gerçek kraterlerin yaptığı gibi, potansiyel olarak daha ileri araştırmaları teşvik etmektedir.

Böyle olsa bile, aşağıdaki birçok öneri kurgusaldır. Göktaşı tetikleyicileri için coşkulu Alvarez-sonrası öneriler dalgasına karşın, gezegenimizdeki yaşamın yok olması –ya da kökeni– için küçük-gezegenler ve kuyruklu yıldızlar kesinlikle tam açıklama değildir. *K-Pg* olayı, sadece güvenilir şekilde çarpma kaynaklı tükeniş için kurulmuştur. İklim değişikliği ve büyük magmatik patlamaların erken Kambriyen'in sonu, son-Permian, son-Triasik ve orta-Miyosen'deki tükenişlerde bir rol oynadığının kanıtı, belki de bazı çarpma önerilerinden daha inandırıcıdır. Dolayısıyla şimdi sunacağım dayanaksız görüşlerle fazlaca heyecanlanmayın sakın.

Fakat kanıt birbirine bağlı bir sistemi işaret eder. Büyük çarpmaların bazıları Yeryüzünün yaşına yaklaşan zamanlarda, yaşamın kökenlerinde ve medeniyetin başlangıcında olduğuna göre, kanıt çok güçlü olmasa bile, her olası bağlantıyı yapabildiğimiz ölçüde incelemeye değerdir.

Beş büyük kitlesel tükeniştten, 360 ile 400 milyon yıl önce meydana gelmiş olan son-Devonyan, *K-Pg* tükenişine sadece dünya-dışı rollü ikinci kanıttır. Bu zamanda, büyük olasılıkla parçalara ayrılmış bir küçük-gezegen tarafından tetiklenmeyle ya da biraz sonra ele alacağımız türden çoklu kuyruklu yıldız çarpmalarını tetikleyen bir tedirgemeye muhtemelen çeşitli çarpmalar meydana gelmişti. Belki kesin zamanlama ölçümleri, bu tükenme olayında göktaşları için mutlaka önemli bir rolü desteklemez ve bu zaman çerçevesindeki tür kaybı, gerçek tükenmeden ziyade daha çok sınırlı tür üremesinin sonucu gibi görünmektedir. Yine de şurası ilginçtir ki, Alvarez'in *K-Pg* tükenişi hakkındaki önerisinden çok önce, 1970'te paleontolog Digby McLoren bir göktaşı çarpmasının bu daha önceki olaydan sorumlu olabileceğini önermişti.

Çarpmalar ile soy tükenişleri arasındaki ilişkilere değgin pek çok başka öneri, 74 milyon yıl önce Kuzey Amerika'daki bölgesel tükeniş gibi çok daha küçük olaylarla ilgilidir. Birçok timsah türü, bazı suda yaşayan sürüngenler, bazı memeliler ve çeşitli dinazor türleri bu zamanda tükenmişti; görüldüğü kadarıyla Iowa'daki Manson çarpma yapısı meydana geldiğinde onunla çakışmıştı. 35 milyon yıl kadar önce, denizdeki çoklu tükenişlerle karada bazı sürüngen, amfibiye ve memeli tükenişi gibi çoklu tükenişlerden ibaret olan geç Eocene olaylarının zamanlaması, yaklaşık olarak bazı çarpmalarla da örtüşür. Kanıtlar, Rusya'daki Popigai kraterini, yakın zamanda Washington DC yakınındaki Chesapeake Körfezinde keşfedilmiş olan 90 kilometre genişliğindeki krateri ve New Jersey, Atlantic City'deki bir başka daha küçük birini içermektedir. Washington DC'deki krater, çarpma-kaynaklı tsunami birikintili bir kayalık alanın ve bunu izleyen sismik profilin saptanmasıyla ve delgi örneklerinin incelenmesiyle zekice keşfedilmişti. Normalden daha yüksek iridyum düzeyleri ve bu zamandan kalma haddinden fazla gezegenler arası toz, bir kuyruklu yıldız sağanağının çoklu çarpmalardan sorumlu suçlu olabileceğini ileri sürer.

Geç Eocene olayı da dünya-dışı müdahale için farklı bir yöntem –jeokimyasal kanıt– dayanan kanıt sergiler; bu, sonuçta yarar-sız kıt çarpma kayıtlarına eklemeler yapmaya yardım eder. California Teknoloji Enstitüsünden Ken Farley ve çalışma arkadaşları, kuyrukluyıldız sağanakları esnasında artabilen bir madde olan gezegenler arası tozun izini süren bir helyum izotopundan çarpma olaylarının nasıl öğrenileceğini göstermişlerdi. Onların çok ilginç olan sonucu, 36 milyon yıl önce Popigai ve Chesapeake Körfezi kraterlerini yaratmış olan çarpmalardan bir milyon yıl öncesiyile bir buçuk milyon yıl sonrası arasında helyum-3'te bir yükselme gösterir. Toz belki de Oort bulutundan bir itkisel tedir-gemeyle tetiklenmiş bir kuyrukluyıldız sağanığı için kuvvetli bir kanıt temin eder. Gelen iki bölümde bu konuya geri döneceğiz.

Kurgusal çarpma önerilerinin listesini tamamlamak için, on milyon yıl kadar önce geç Miocene devirde küçük bir kitlesel tü-keniş, iridyum anormalliği ve küçük cam kürelerle çakışır görün-mektedir. İlginç olarak, Farley de o zamanda helyum-3'ün artışını saptamıştı. Bu durumda zamanlama ve tozun zamansal evrimi, küçük-gezegenlerle, özellikle Veritas küçük-gezegen ailesini üre-ten bilinen çarpışmayla daha tutarlıdır.

Yaşamın oluşumunda çarpmaların rolü, yaşamın yok olma-sındaki rolünden daha bile az belirgindir. Fakat bazı insanlar çarpmaların bu süreçte de bir rol oynadıkları olasılığını ayrıca akıllarında bulundurlar. Ben şu önerilmiş olan hayal ürünü ola-sılığa bile değineceğim; İncilde ve mitolojide daha dramatik olay-ların bazıları ya da Stonehenge (güney İngiltere'de büyük taşlar-dan oluşan yapıt) gibi açıklanmamış tarih öncesi oluşumlar bile göktaşından-kaynaklanmış dünya-dışı kökenli esrarengiz veya mistik-görünümlü olaylarla güdülenmişlerdi. Bilime daha yakın durarak, araştırmacılar önceki çarpma olaylarının atmosferi ve hatta okyanusları parça ederek Yeryüzü üzerinde yaşamın gelişmesini geciktirdiğini ya da sınırladığını ileri sürmüşlerdi. Fakat bu olaylar, ayrıca örneğin yaşam-öncesi kimyasal tepkime-leri destekleyen hidrotermik sistemler yaratarak, yaşama yol açan çevresel koşulları da oluşturabilmişlerdi.

*Dinozorların Tükenişi'*nde Charles Frankel iki milyar yıl kadar önce Önkambriyen çağda karmaşıklığın başlangıcının ve o zaman-dan iki bilinen muazzam çarpma kraterinin çakıştığına dikkat çe-

ker. Çok inandırıcı olmasa bile –muhtemelen oksijenin rolü daha önemliydi– onun zamanlama hakkındaki vurgusu ilginçtir. Aynı derecede uzak bir başka olasılık, çarpımların çok daha sonra –550 milyon yıl kadar önce– zannederseniz hâlâ mevcut birçok türü yok ederek ve yenilere yer açarak, Kambriyen patlamada bir rol oynamış olmasıdır (buradaki patlama, sadece yaşamın çeşitlenmesindeki tırmanmaya göndermede bulunur). Yaşamla bir ilişki kurmak için bilinen bir mekanizma olmaksızın bile, Avustralya ve başka yerlerde çarpma kanıtları bulunabilir. Avustralya'nın 100 kilometreden daha büyük çaplı Acraman Gölü Krateri, iridyum ve şoklanmış kuartz içeren bir püskürük tabakayla çevrili olup, oluşumu Kambriyen patlamadan hemen önceye rastlayan Ediacaran fosilleri içine doğru 300 kilometre doğuya uzanmaktadır. Daha fazla kanıt güney Çin'de Yangtze Boğazından gelir. Dikkati çekecek derecede, bir çarpmanın kimyasal kanıtıyla sınır tabakasının hemen üstünde, daha egzotik öğeleri biriktiren herhangi bir olaydan hemen sonra karmaşık yaşamın okyanusta başladığını gösteren trilobit fosiller bulunur.

Bir diğer spekülasyon, şaşırtıcı fosilleşmiş meteoritleri, şoklanmış malzemeleri ve krater gözlemlerini içerir; ki bu, Ordovizyen dönemde bir grup çarpmayı kuvvetle destekler, doruk sıklığı kesin olarak özellikle deniz yaşamında olası bir türleşmeyle çakışan 472 milyon yıl kadar önceki orta-Ordovizyen'dedir. Fosilleşmiş meteoritler fikri çok etkileyicidir, bu nedenle bu keşfe burada değineceğim; yoksa yaşamın çeşitlenmesiyle çakışması, onu ciddiye almak için neredeyse kesinlikle aşırı kurgusaldır. Bu zamanda çarpımlar için özgün ipucu, 1952'de İsveç'in tortul kayalarında, açıkça oraya ait olmayan bir başına yalıtık bir kayanın bulunmasından gelmişti. Fakat onun fosilleşmiş bir meteorit olarak tanınması tam 25 yıl almıştı; fosilleşmiş meteorit öyle bir meteorittir ki onun için kromit dışında tüm gerçek malzeme yer değiştirmişti; o hava etkisiyle parçalanmaya ziyadesiyle dirençli bir kaya biçimidir. O zamandan beri, o civarda yarım milyar yıl önce 100-150 kilometre genişliğinde bir cismin parçalanmasına işaret eden net malzeme miktarıyla neredeyse yüz kadar böyle meteorit bulunmuş; Yeryüzüne milyonlarca yıl boyunca yüksek sıklıkta meteorit ve mikrometeorit tozları düşmüştü. Parçalar, bugün bile yavaş yavaş yağmaya devam eden bir küçük-gezegenler kuşağı oluşturabilmişti.

Göktaşlarının yaşamı ya yok etme ya da yaratma rolü için yukarıda ileri sürülenlerin bazıları, sorgulanabilir değere sahiptir. Fakat bu bölümü göktaşları için hatasız şekilde saptanmış bir rolle sona erdireceğim; bu rol, gezegen üzerinde önemli bir kaynaklar pınarı olmasıdır. İlginç biçimde, göktaşlarıyla getirilen malzemeler demir çağından bile önceki toplumlar için önemliydi; ilk insanlar araçlar, silahlar ve kültürel cisimler yapmak için göktaşı-kaynaklı demiri kullanmıştı.

Böyle birikintiler modern çağ için de kritik derecede önemli olmuştu. Yeryüzü kabuğundaki altın, tungsten, nikel ve diğer pek çok değerli element, dünya-dışı cisimlerin Yeryüzünü dövmesi nedeniyle elde edilebilir. Gezegenler ve göktaşları aynı maddeden yapılmış olsalar bile, Yeryüzünün kütleçekimi daha ağır elementleri kendi çekirdeğine doğru çekmişti ve onların çoğu yüzeye geri akamayacaktı. Bu malzemeler esas olarak aşağıya yağan dünya-dışı cisimlerden takviye edilmişlerdi. Belki de göktaşı çarpmalarının dörtte biri potansiyel olarak yararlı birikintilere yol açmıştı; zaten onların en azından yarısı kullanıldı bile. Böylece, Yeryüzüne çarpan göktaşları yaşamın oluşmasına aracı olmamışsa bile, gezegene çarpmış olan dünya-dışı cisimler kuşku yok ki yaşam tarzımızı kolaylaştırmaya yardım etmişlerdi.

NE EKERSEN ONU BİÇERSİN

Yirminci yüzyılın başlarında, çığır açıcı atom çekirdeğini keşfetmesiyle anılan fizikçi Lord Rutherford şu ünlü sözü söylemişti: “Tüm bilim ya fiziktir ya da pul koleksiyonculuğu.” Biraz çirkin ve küstahça olsa da, bu ifade bir gerçeklik payı içermektedir. Bilim sadece olayları listelemek değildir, onlar ne denli güzel ve dikkate değer olurlarsa olsunlar. O bunları anlamaya çalışmak hakkındadır. Bilim insanları, örneğin bugün biyologların hızlı veri birikimini rahatlatmak için DNA dizilimini kullandıklarında yaptıkları gibi, etkileyici ve sürekli ilerletici yöntemlerle gerçekleri devşirirler. Fakat bilgi ancak veriler daha tam olarak anlaşıldıklarında, tercihen varsayımları sınamada ve öngörüler yapmada kapsamlı bir kuram aracılığıyla, gerçek bilim haline gelir.

Orada Güneş Sisteminde nelerin olduğunu, Yeryüzüne nelerin çarptığını ve fosil kayıtlarından soy tükenişleri hakkında nelerin bilindiğini inceledik şu ana kadar. Birçok bilimsel sorgulama tüm bu verileri çıkarma, anlama ve yorumlamaya harcandı. Fakat “Bu olayların hangileri ilişkilidir?” ve “İlişkiliyse, nasıl?” gibi bazı büyük sorular ortada durmakta hâlâ.

En fazla merak uyandıran fakat oldukça da spekülatif olan önerilmiş astrofiziksel ilişkilerden biri, dış uzaydan gelen cisimlerin düzenli olarak Yeryüzüne çarpmalarıdır; bunlar 30 ile 35 milyon yıl arasında bir aralıkla ayrılmış olarak periyodik çarpmalar verir. Bu gerçekse, periyodiklik, güvenli şekilde dolanan cisimlerin Yeryüzüne doğru potansiyel olarak tehlikeli mermiler fırlatan sapmış yörüngelere dönüşmesine neyin zemin hazırladığı hususunda çok önemli bir ipucu olabilir. Tedirgemeler için birçok öneri vardır, fakat bunların belki çok azı mevcut krater kayıtlarıyla eşleşme şansı veren bir periyodikliğe yol açabilir.

Birazdan göktaşı-kaynaklı olayların bilimsel bir açıklamaya değecek kadar periyodik bir örüntüyü sergileyip sergileyemeye-

ceğini değerlendirerek, Rutherford'un bakış açısına hak vermeye çalışacağım. Fakat önce ilişkisiz ama çok daha iyi kurulmuş şöyle bir bağlantıyı belirteceğim: Güneş Sistemi içinde Yeryüzünün devirli hareketleriyle gezegenin iklimindeki periyodik değişimler arasındaki bağlantı. Milankovitch devirleri olarak bilinen bu sıcaklık değişimleri, biraz sonra ele alacağım değişimlerden daha kısa zaman ölçeklerinde meydana gelir. Bu devirler, fikirlerini I. Dünya Savaşı esnasında bir esirken geliştirmiş olan Sırp jeofizikçi ve gökbilimci Milutin Milankoviç'in adıyla anılırlar.

Milankoviç Yeryüzünün değişen dışmerkezliliği, eksensel eğikliği ve yalpalamasının iklim üzerine olan etkisini incelemişti. Bu düşüncelere dayalı olarak, o ve daha sonraki bilim insanları sıcaklık örüntüsünde 20.000 yıllık ve 100.000 yıllık yaklaşık iki periyodiklik saptamışlar, bunların küresel buz çağlarını yansıttıklarını bulmuşlardı. İspanya'nın Basque bölgesindeki Zumaia'yı ziyaret ettiğimde, oradaki rehberim kolayca görülen tabakalı kaya yapısını işaret etmişti. Bu tabakalar bu aynı sıcaklık değişimlerinin bir sonucudur; zamanla da çökme oranlarının periyodik şekilde değişmesine neden olur.

Milankoviç devirlerine karşın, krater periyodikliğinin araştırılması –ki daha büyük zaman ölçeğini yansıtır– mutlaka cesur bir girişimdir ve onu göklere çıkarmak istemem. Geçmişte Yeryüzü üzerinde milyonlarca yıl boyunca meydana gelmiş olan olayların bugünkü kanıtları kıttır ve örneğin meydana geldikleri kesin zaman gibi, birçok belirsizliğe sahiptir. Uzun zaman önceki bu olaylar sadece ender durumlarda biraz bilgi verirler ve ayrıntılı bir kavrayış elde etmek için, daha da seyrek olarak, yeterli izlenim bırakırlar. Yine de varsayımlar mevcut verilerle tutarlı ve evren hakkında bize bir şeyler öğretme potansiyeline sahip oldukça, bilim insanları onları anlamlı şekilde araştırırlar. Her meraklı kişi sadece ne olduğunu değil, ayrıca temelini neyin oluşturmuş olabileceğini de bilmek ister.

Şimdi milyonlarca yıllık zaman ölçeklerinde meydana gelmiş olan büyük ve düzgün aralıklı çarpımları, Güneş Sistemi boyunca Yeryüzünün hareketine değil de gökadamız boyunca Güneş Sisteminin hareketine bağlama ümidiyle ileri sürülen önerileri ele alacağız. Krater oluşması verilerini incelemede ve gözlenenleri açıklamaya çalışmada Güneş Sistemi ve Evrenin dinamiğini ve ayrıca

onların temelindeki bağlantıları daha iyi anlamak niyetindeyiz. En ilginç öneriler, onlarla varsayımları sınıyabileceğimiz öngörülere yol açan önerilerdir; bununla birlikte, en düşük ihtimalle bir kuşkucu onların olacağına inanabilir. Periyodiklik hakkındaki fikirlerin birçoğu kurgusal olsa da, bu bölümün amacı, kabul edebileceklerimizi ve daha fazla çalışma gerektireceğini ümit ettiklerimizi özenle açıklamaktır.

PERİYODİKLİĞİN KURULUŞU

Matt Reece ve ben, karanlık maddenin Güneş Sistemindeki periyodik olayları açıklayabileceği olasılığının araştırılmasına hemen girişmemiştik. Kendi fikirlerimizi ortaya koymadan önce, ilkin periyodiklik kanıtının daha ileri araştırmalara yeterince kuvvetle değeceğini emin olmak istedik. Bizim için önemli olan bir diğer düşünce, katkılarımızın gelecekteki gözlemlere ve çözümlemelere yol göstermede yardımcı olup olamayacağıydı.

İşe koyulduğumuzda, darmadağın ofisimde buluşmuş ve mevcut fikirlerin dağınık durumunu tartışmıştık; şimdiden anlaşılmış olanları berraklaştırmış ve en iyi nasıl ilerleyeceğimizi saptamaya çalışmıştık. İlk gündemimiz periyodiklik için kanıtı soruşturmak ve onun güvenilir olup olmadığını ya da acaba sadece bazı bilim insanlarının ağızdan ağıza dolaştırdığı büyüleyici bir sözcük mü olduğunu belirlemektir.

Önceden yapılmış pek çok araştırma okuduk. Fakat makaleler içinde güçlükle ilerleme ve iddialarla gerçeğin dolanıklığını giderme, sandığınızdan çok daha meydan okuyucuydu. Hemen sonra bir sonuç ortaya çıkmıştı: Bir makale takımında periyodiklik için kanıt bulan bazı bilim insanları ve onu izleyen bir başka takımda önceki yazarların hatalarını ve noksanlıklarını saptayan diğer bilim insanları. Çekişme şiddetle sürmüştü gerçek çözüm olmadan. Yeni makalemizi yazdıktan sonra, periyodiklik kanıtının kuşkucuları elbette kendi düşüncelerini ilan etmişlerdi. Bununla birlikte, biz kendimizden şikâyeti olmama gibi şanslı bir konumdaydık. Sadece meraklıydık ve sanırsız bu bizi biraz yararlı tarafsızlığa götürmüştü.

Gerekli temel istatistik çözümleme, gerçekten inceliklidir. Jeolojik kayıtlar kıttır ve kaçınılmaz olarak büyük boşluklar içerir.

Verilerin noksanlığı yüzünden, araştırmacının kayıtları geliştirdiği kesin yöntem onun sonucunu etkileyebilir. Verileri sağlam bir temelde kutsal bir şey gibi görmek ayartıcıdır, fakat istatistiksel olarak fakir olan ölçümlerin nasıl sunulacağını ve değerlendirileceğini belirlemede işin içine birçok yorum girer.

Örneğin verilerin gruplandırılması fark eder. Bilim insanları verileri bir zaman dizisi olarak gördüklerinde, sonuç çıkarmayı etkileyebilecek, kaç nokta kullanmalıdırlar ve zaman aralığının tam olarak neresine verilerin özel bir parçası yerleştirilmelidir gibi kritik seçimlerle yüz yüze gelirler. Onlar ayrıca olayların devam süresini değerlendirmeye gerek duyarlar ve artan etkinlik aralıkları esnasında sinyal şiddeti için seçimlerinin çıkarımlarını anlamak isterler.

Periyodikliği göstermiş olanlara yanıt olarak yazılmış makaleler, ayrıca sorgulamaları ödün vererek uzlaşmaya götüren birçok olası istatistiksel yanlışla da vurgu yapar. Almanya'nın Heidelberg kentindeki Max Planck Astronomi Enstitüsünden Coryn Bailer-Jones suçlamaya öncülük eder. Onun, yukarıda değinilenler dahil, pek çok şeye itirazı vardır. Ayrıca "doğrulama sapması"yla ilgilidir; bu, insanların büyük olasılıkla aynı fikirde oldukları sonuçlara önem verdikleri ya da bu sonuçları naklettikleri olgusudur. Bailer-Jones, periyodun, soy tükenişleri ya da Güneş Sisteminin hareketi için önerilen periyoda yakınlığı nedeniyle -bunu gelecek bölümde tartışacağım- yazarların bir uyuşma elde etmek için kendilerini çok zorladıklarını düşünmektedir. Fakat onun diğer itirazları geçerli olsa da, bu yakınlık ille de kötü bir şey değildir. Sayılar sadece öyle çakışabilir. Ya da bu çakışma gelecekte anlaşılacak temel bir bilimsel bağlantının belirtisi olabilir.

Bununla birlikte, Bailer-Jones ve başkalarının işaret ettiği bir diğer yaygın hata şudur; basitçe bir varsayımı tek bir rakip modelle karşılaştırıp, onu diğer tüm geri kalan seçeneklerin yerine koyamazsınız. Örneğin, insanlar sık sık hangisinin verilere daha iyi uyduğunu sorar: göktaşlarının düzenli biçimde çarpması varsayımı ya da çarpma olasılığının kabaca zamanla sabit olması önerisi. Periyodik model tam rastlantı varsayımından daha iyi işlese bile, veriler yine de farklı bir modele daha iyi uyabilir; örneğin, 'göktaşı çarpması ne kadar çok yaşlıysa, orada bir krater bulma olasılığı o kadar çok azalır' gibi bir modele. Başka türlü

söylersek, tek olan bir seçenekten daha iyi durumdaki yeğlenen model, ille de doğrudur anlamına gelmez. Neyse ki araştırmacılar karşılaştıracakları model dağarcığını genişleterek bu yanlışın üzerine gidebilirler. Olasılıklarda belirgin bir farkın yokluğu halinde, çeşitli değişik modelleri denemek ve periyodik modelin en iyi olup olmadığını sınamak mantıklı olur.

Bir periyodik sinyal tespit etme, yine de daha başka engeller sunar. 1988'de, jeolog Richard Grieve ve çalışma arkadaşları, sinyal gerçek olsun ya da olmasın, özensiz tarihlenmenin periyodikliğin her sinyalini temizleyip yok edebileceğine işaret etmişti. 1989'da, o zaman Princeton lisans öğrencisi olan Julia Heisler ve o zamanlar Toronto'da bir profesör olup Kanada Kuramsal Astrofizik Enstitüsünde çalışan ve şimdi Princeton İleri Çalışmalar Enstitüsünde astrofizik grubuna liderlik yapan Scott Tremaine, bir periyodik olayı yine de güvenle saptamak üzere ne kadar belirsizliğe tahammül edebilirsiniz diye sorarak bu etkiyi daha da nicel hale getirmişlerdi. 1989'da basılan bir makalede, Heisler ve Tremaine şunu ileri sürmüşlerdi; verilerde bir periyodikliğin olduğunu yüzde 90'dan daha iyi bir güvenilirlik içinde elde etmeyi, yüzde 13'lük bir belirsizlik olanaksız kılar. Belirsizlik yüzde 23'e çıkarsa, o zaman bir periyodik sinyali saptamanın olasılığı yüzde 55'lere düşer. Böyle belirsizlikler bir periyodik etkiyi güvenle kurmayı olanaksız kılmaz, fakat onu çok iddialı hale getirir.

SOY TÜKENİŞİ OLAYLARINDA PERİYODİKLİK

Bu özel uyarıcı makalelerin odağı astrofizikteki periyodik etkilerdi; bunlar benim yakında da betimleyeceğim araştırmamın odağı olacaktır. Fakat kraterlerin zaman-bağlılığını sorgulamak için ilk dürtü yapay olarak çok farklı bir konudan gelmişti; soy tükeniş olaylarının görünür periyodikliğinden. Princeton jeologları Alfred Fischer ve Michael Arthur yaşamın düzenli biçimde büyüüp küçülür görüldüğü gözlemi yapan ilk kişilerdi. Onlar 1977'de fosil kayıtlarının 32 milyon yıllık bir periyotla uygun görüldüğü sonucuna varmışlardı. Chicago Üniversitesinden David Raup ve Jack Sepkoski 1984'te çok etkileyici bir makale yayınlamış; orada soy tükenişlerinin kayıtlarındaki periyodiklikle ilgili kendi araştırmalarını sunmuşlardı. Raup ve Sepkoski ilkin çözümlemeleri-

ni yeniden yapmadan önce olası periyotlar için geniş bir yayılma alanı -27 ile 35 milyon yıl arasında bir yer- bulmuşlar ve sonra tahminlerini 26 milyon yıllık bir periyoda düzeltmişlerdi. Konuyu çalışan çoğu bilim insanı ondan sonra buna geri dönmüştü.

Bunun kadar kışkırtıcı hiçbir fikir mantıken denetimsiz kalmaz ve daha sonra bu araştırma da destekleyici kanıt bulmuştu; belki zaman ölçeklerinde hafif bir değişimle. 2005'te, yeniden ayarlanmış bir zaman ölçeği kullanarak -fakat aynı fosil kayıtlarıyla- iki California Üniversitesi, Berkeley fizikçisi Robert Rohde ve Richard Muller 62 milyon yıllık farklı bir periyodik sinyal saptamıştı. Daha sonraki sonuçlar ileri geri gitmişti, fakat ilginç biçimde 27 milyon yıllık ve 62 milyon yıllık periyodik sinyallerin ikisi de ayakta kalmıştı. Çok yeni ve titiz çözümlmelerden birinde, Kansas Üniversitesinde astronomi profesörü olan Adrian Melott, Washington D.C.'deki Smithson Ulusal Doğa Tarihi Müzesinden paleobiyolog Richard Bambach ile birlikte şunu bulmuştu: Çoğu soy tükenişi 27 milyon yıllık bir periyodik şablonun 3 milyon yılı içinde meydana gelir ve üstelik hemen hemen daima 62 milyon yıllık zaman çerçevesi üzerinde türlerdeki çeşitliliğin azaldığı zamanlar esnasında olur; bu da iki zaman çerçevesinin de konuyla ilişkili olduğunu gösterir. Periyodiklik hakkındaki tüm uyarılar hâlâ geçerlidir, fakat periyodikliğin lehindeki zayıf kanıt ısrar etmektedir.

Yine de, fosil kayıtlarındaki görünür düzenliliklerin gerçek olduğu anlaşılrsa bile, bu "yazarların hiçbirinin soy tükenişlerinin neden periyodik olması gerektiğini açıklamadığı" gerçeğini değiştiremez. Gördüğümüz gibi, türlerin çeşitli nedenlerden dolayı soy-ları tükenir. İklim değişikliği, yanardağ faaliyetleri, çarpımlar ve levha tektoniği, bunların tümünün rol oynadığı görülür. Göktaşları bazı kitlesel tükenişleri etkilemiş olabilir ve kesinlikle onların biri *K-Pg* tükeniş olayına zemin hazırlamıştı. Fakat tükenişlerdeki herhangi bir sözde periyodikliğin, bir tek temel nedenin sonucu olması mümkün görünmemektedir. Belirgin nedensellik mekanizmaları göz önünde tutulursa, en iyi ihtimalle farklı periyodik olayların üst üste binmesi beklenebilir; bu iyice tam bir kaydın bulunmaması durumunda oldukça rastgele görünecektir.

Potansiyel olarak periyodik soy tükenişlerini onları tetikleyen fiziksel süreçlere bağlamaya çalışan herhangi bir girişim, peri-

yodikliği, sadece dünya-dışı çarpımlar gibi, özel bir fiziksel olay içinde anlamak isteyen girişimlerden daha bile kurgusal olmaya mahkûmdur. Göktaş çarpımları araştırılmaya değecek kadar meydan okuyucudur. Onları tükeniş olayları hakkındaki belirsizliklerle birbirine bağlamak, bizi dolambaçlı sorunlar yumağına sokacağı kesindir.

Bu belirsizlikler nedeniyle –tek iyi-belirlenmiş olan göktaş/*K-Pg* bağlantısını bir yana bırakırsak– bu kitabın geri kalanı, olabildiğince hileli soy tükenişleri hakkında daha fazla spekülasyondan uzak duracaktır. Bunu yerine, krater kayıtlarında bir damga bırakacak kadar büyük olan, evrendeki periyodik olaylar ve periyodik çarpımlar arasındaki potansiyel bağlantı üzerine odaklanacağım. Çarpımların incelenmesi, krater kayıtlarının doğrudan astrofizikle ilgili oluş avantajına sahiptir ve –soy tükenişinin potansiyel nedenlerinden farklı olarak– iklim, çevre ve biyolojinin işe karışan dağınıklığına katlanmak zorunda kalmaz.

Çarpımlar, Yeryüzü üzerindeki olgularla Güneş Sistemi içindeki olaylar arasında bir bütün olarak büyüleyici bir bağ kurma olanağı sunar; evren hakkında daha fazla öğrenmek için tek ve biricik bir mercek. Rastgele göktaş çarpımları hiçbir özel açıklama gerektirmez. Periyodik göktaş çarpımları büyük olasılıkla bunu gerektirir. Eğer göktaş çarpımları gerçekten de düzenli bir biçimde meydana gelirse, zaman-bağılılığı temel bir kozmik nedene işaret edebilir.

Çalışma arkadaşım ile benim saptadığımız şeyin, gelecekte verileri incelemenin daha güvenli bir yolu olacağı ve mevcut verilerin bile açığa çıkarabileceği periyodiklik için biraz daha kuvvetli bir destek sağlayacağı Bölüm 21’de soruşturulacaktır. Şu an için, kesin istatistiksel yöntem ya da veri takımının seçimi hakkında ayrıntıya gitmeksizin, eski literatürdeki bazı temsili sonuçları sunacağım.

Şimdi eski literatürün periyodikliği destekleyen bazı kanıtlar sunduğunu göreceğiz; fakat bu kanıtlar bizim sonuca güven duy-mamız için aşırı zayıftır. Böyle belirsiz sonuçlar, daha iyi verilerle ve daha titiz çözümlemelerle ortadan kaldırılabilir ya da daha sağlam ispatla sonuçlanır. Şimdilik, bu sonuçları, geçmişteki bilim insanlarının krater oluşma verilerindeki bir periyodik bileşen için araştırmaya gösterdikleri ilginin bir işareti olarak düşünün;

kapsamlı bir araştırma ya da sonuçtan çok, belki de buldukları iyimser sonuçlara bir işaret olarak.

KRATER KAYITLARINDA PERİYODİKLİK

Her durumda, krater periyodikliğini arıyorken, veriler üzerinde sınırlamalar gerekir. Çözümlemeler daha geniş ve daha yakın zamandaki kraterler üzerine odaklanır. Aşırı uzun zaman önce çarpmış herhangi bir nesne, benzer fakat çok daha yakın zamandaki bir çarpmadan daha az güvenilir bir iz bırakacaktır. Bu da yetmezmiş gibi, küçük kraterlerin sayısı daha büyüklerin sayısından çok daha fazla olduğu halde, periyodiklik araştırmaları sadece daha büyük kraterleri içermelidir. Küçük cisimler Yeryüzüne her zaman çarpar, fakat –küçük-gezegenler kuşağından çarpışmasal sağanaklar bir yana– böyle olayların çoğu rastgeledir. Küçük kraterler yaratan yığınla cisim ayırım gözetmeksizin çarpar. Gelecek bölümde açıklanacağı gibi, gerçek periyodiklik ancak kuyruklu yıldızlar için ve bunlar arasında da sadece uzak Oort bulutundan gelenler için olası görünmektedir.

Böylece büyük sayıları kaydetme (büyüklük üzerine küçükçe bir kesme tercih edilir) ve bir periyodik olayı daha güvenilir olarak saptama (bu daha büyük bir kesmeyi yeğ tutar) arasında bir takas, daha doğrusu ödünleşme vardır. En yerinde seçimin ne olduğu bilinmez. Literatürdeki tüm çözümlemeler sınır için farklı büyüklükler kullanır, daha önceki araştırma sonuçlarını değerlendiren herkes bunu aklında tutmalıdır. Matt ve benim yaptığım araştırmada, biz sonuçta son 250 milyon yıl içinde doğan 20 kilometreden daha geniş kraterler üzerinde karar kılmıştık. 250 milyon yıllık zaman kesimimiz uygun istatistik için izin verilecek kadar büyük görünmüştü, fakat daha güvenilir olmak için bu yeterince yakındı. 20 kilometre, bir kilometre-boyutlu bir cisimden gelen bir çarpmanın gerektirdiği kadar büyük olarak, büyüklük üzerindeki kesme için iyi bir seçim gibi görünmüştü, fakat istatistiksel olarak ilgili verileri engellemek için o kadar da büyük değildir.

Bu sınırlamalarla bile, krater kayıtlarındaki periyodikliği güvenilir şekilde belirlemek zor bir iştir. Yeryüzünün geçmişinin seyriinden arta kalan kraterlerin izleri noksandır; onlar ancak küçük

parçalarıyla bugün hâlâ görünür haldedirler. Üstelik, kraterlerin tarihlenmesi yapıldıysa bile, olayların zaman bağıllığını güvenilir şekilde çıkarmak için bu genelde yeterince kesin değildir. Sorunları daha da karmaşık kılan, araştırmacıların farklı veri kümeleri kullanmalarıydı. Aynı verilerle bile, araştırmacılar bazen farklı zaman aralıkları kullanmışlar ya da verileri farklı şekilde gruplamışlardı. Yukarıda tartışıldığı gibi, bazı çarpmalar periyodik olarak meydana gelse bile, yine de bazı çarpmalar rastgele olduğundan, durum daha kafa karıştırıcı olur. Bu demektir ki olsa olsa bir periyodik bileşeni rastgele bir olay üzerine binmiş olarak bekleyebiliriz; bu da zaten zayıf bir istatistiksel kaydı tehlikeye sokar.

Yine de, kısmen Alvarez'in 1980'deki bir göktaşı-kaynaklı *K-Pg* soy tükenişi önerisiyle ve kısmen de soy tükenişlerindeki periyodiklik kanıtlarıyla güdülenmiş olarak, bilim insanları ilerlemişler ve periyodik çarpmaların kanıtları için araştırmalar yapmışlardı. 1984'te, Alvarez ve onun UC Berkeley meslektaşı fizikçi Richard Muller, son 250 milyon yıl içinde oluşmuş beş kilometreden daha büyük yarıçaplı kraterlerde 28,4 milyon yıllık bir periyodiklik önerdiklerinde, bir şeyleri başlatmışlardı. Onların sonucu sadece 11 kraterlik bir örneğe dayandırılmıştı ve verilerdeki belirsizliklere kesin olarak bir açıklama getirmemişti; fakat kısa sürede bunu birçok kapsamlı çözümleme izlemiştir.

Aynı yıl daha sonra, New York biyologu Michael Rampino, 250 milyon ile bir milyon yıl önceleri arasında 41 kraterlik bir örneklemeyi çalışmak üzere NASA'nın Uzay Çalışmaları için Goddard Enstitüsünden Richard Stothers ile işbirliği yapmış ve dünya-dışı çarpmalarda 31 milyon yıllık bir periyot saptamıştı. 1996'da, Japonya'dan bilim insanları son 300 milyon yıldaki kraterleri kullanarak benzer bir periyot -30 milyon yıl- ileri sürmüşlerdi. 2004'te, Kyoto Üniversitesinden uygulamalı matematikçi Shin Yabushita ve o araştırmamanın yazarlarından biri, son 400 milyon yılın kraterleriyle daha incelikli bir çözümleme yapmış; bu çözümlemede her kraterin önemini onun boyutuna göre farklı olarak ağırlıklandırmıştı. Yabushita bu suretle 91 kraterlik bir kümeden 37,5 milyon yıllık bir periyot türetmişti. Bu çözümlemelerin tümü krater kayıtlarındaki düzenlilik için bazı kanıtlar bulmuşlardı. Fakat saptanmış olan periyotlar, sonuçları güçlü bir biçimde desteklemek için yeterince iyi uyuşmamaktaydı.

2005'te, İngiltere'de Buckingham Astrobiyoloji Merkezinde profesör olan William Napier ilginç bir çalışma yapmış, bu çalışmada çarpmaların yaklaşık 25-30 milyon yılla ayrılmış gruplar halinde meydana geldiğini ve her olay bölümünün bir ile iki milyon yıl kadar sürdüğünü iddia etmişti. Onun 40 kraterlik örneği geçmiş 250 milyon yıl içindeki üç kilometreden daha büyük kraterleri içermektedir. En büyük çarpmaların oldukça kısa aralıklar esnasında meydana geldiğini bulmuş ve *K-Pg* soy tükenişinin onlar arasında bulunduğuna işaret etmişti. Periyodiklik kanıtı bununla birlikte zayıftı ve verilerin nasıl yorumlanacağı üzerine bir ölçeklere-bağılılık bölgesi çıkarmıştı; burada 25 milyon yıl ile 35 milyon yılın egemen olduğu görünmekteydi.

Napier'nin kendisi, kanıtının güçlü bir durum yaratmak için yetersiz olduğunu itiraf etmiş ve şuna bile dikkati çekmişti: Alvarez'in sahip olduğundan bu kadar daha çok veriyle ya daha kuvvetli bir sinyal beklenebilirdi ya da tamamıyla yok olmuş bir sinyal. Sonucunun belirsizliği için akla yakın bir açıklama olarak şunu ileri sürmüştü; rastgele ve periyodik olayların oldukça sabit bir oranı vardır, öyle ki bir sinyal temiz şekilde ortaya çıkamaz; veri kümesinin üç katına çıkarılmasından sonra bile.

Napier ayrıca herkesin kabul ettiği zayıf sinyali için potansiyel bir kaynak olarak küçük-gezegenlere karşı kuyrukluysıldızlara ilişkin bazı ilginç öneriler yapmıştı. Çözümlemesine almadığı daha küçük göktaşlarının büyük olasılıkla küçük-gezegenler kuşağından çıktığını düşünmüş olsa da, bulduğu daha büyük göktaşlarından esasen kuyrukluysıldızların -küçük-gezegenlerin değil- sorumlu olduğundan kuşku duymuştu. Gerekçesi de şuydu; büyükçe küçük-gezegenlerin miktarı bombardıman bölümlerinin gereken yoğunluğunu açıklamak için yetersizdi; çünkü gözlenenleri açıklamak için, aşırı çok miktardaki büyükçe küçük-gezegen aşırı kısa zaman ölçeği üzerinde parçalanmalıydı. Napier, krater kayıtlarının yetersizliğinin aslında onun durumunu desteklediğine işaret etmekteydi. Eğer çoğu krater ayakta değilse, çarpmaların sayısı, Yeryüzü üzerindeki kraterlerden saptadığı sayıdan daha bile büyük olmalıydı. Bir tek bombardıman bölümünden birkaç büyük krateri biliyorsak, büyük olasılıkla artık kanıtı olmayan böyle daha çok çarpma meydana gelmişti.

Napier, küçük-gezegenlerin 1/25'inden birkaçının yörüngele-
rinde tedirgemeye uğratılarak Yeryüzünün yörüngesini kesip as-
lında gezegenimize çarptığını düşünmekteydi. Çoğu Güneş Siste-
minden dışarı çıkarılmış ya da Güneşe düşmüşlerdi. Her iki etkiyi
de hesaba katarak, Napier verilerini açıklamak için, en azından
20-30 kilometre genişliğinde bir ana küçük-gezegenin parçalan-
masıyla yüzlerce küçük-gezegenin Yeryüzüne yakın yörünge içine
katılmış olabileceği sonucuna varmıştı. Bu parçalanma, çarpış-
malar nedeniyle olmuş olabilirdi. Fakat çarpışmalar, böyle sayı-
ları açıklamak için büyükçe küçük-gezegenleri aşırı seyrek olarak
parçalarlar. Ne bir ile iki milyon yıllık kısa çarpma süresi ne de
zaman çerçevesi küçük-gezegene-dayalı bir açıklama için uygun
görünmekte olduğundan, Napier saptadığı periyodik patlamala-
rın kaynaklarının çok daha büyük olasılıkla kuyrukluyıldızlar ol-
duğunu ileri sürmüştü. Onun çıkardığı sonuçlar hiçbir şekilde ka-
nıtlanmadığı ve şimdi bazı küçük-gezegenlerin bir ile iki milyon
yıllık "hızlı yol" aldıkları bilindiği halde, bazı önemli çarpmalar
için –ve belki de en sonunda onları ayırt etmek için bile– kuyruk-
luyıldızların küçük-gezegenlerden çok daha olası göreceli öneme
sahip olduklarını ileri sürülmüştü.

"BAŞKA YERE-BAK ETKİSİ"

Bunların tümü boşuna umut veren gözlemlerdir. Bununla birlik-
te, yukarıda sunulan sonuçların hiçbirisi kesin olarak bir periyodik
etki oluşturmak için gerekli istatistiksel öneme sahip değildir. Fa-
kat istatistiksel önemi çözümlendiğimizde, bir ek incelikli mesele
ortaya çıkar ve büyük olasılıkla literatürün neden çelişkili sonuç-
lar sunduğunu topluca açıklayan bu mesele aşılabılır.

Verilerin periyodik olduğu varsayımını yaparsanız, verileri ba-
sitçe bir periyodik fonksiyonla eşleştirmeyi deneyebilir ve en iyi-
uyan periyodik fonksiyonun gözlemleri açıklamada ne kadar iyi
olduğunu değerlendirebilirsiniz diye düşünebilirsiniz. Bununla
birlikte, bu fazlaca iyimser bir tahmin verir. Bir tek varsayımı sı-
namayıp yeterince olasılıklar veren birçok olası tahmine –bu du-
rumda farklı periyotlu fonksiyonlar– sahip olduğunuzda, verilere
rastgele çarpmalardan neredeyse kesinlikle daha iyi bir uyum çı-
kacaktır. Fakat bu onu doğru kılmaz.

Bu incelikli fakat bir bakıma apaçık (en azından geçmişe bakarak) problem parçacık fiziği topluluğunca *başka yere-bak etkisi* olarak bilinir. Bu olay Büyük Hadron Çarpıştırıcısında (LHC), Higgs bozonunun keşfi zamanında pek çok tartışmaya konu olmuştu; Cenevre yakınlarındaki CERN’de yeni parçacıklar üretmek için çok yüksek enerjili protonları çarpıştıran devasa parçacık hızlandırıcısı temelinde yatan fiziksel kuramlar hakkında bilgiler verebilir. Bu kitabın konusu olmasa da, Higgs aramanın sonuçları, periyodiklik arayan bilim insanlarının da karşılaştığı bir sorundur.

Deneycilerin bir Higgs parçacığı arama yöntemi, parçacıkların verileri içinde Higgs bozonunun bozunumu için kanıtlar aramak ve sonra onların ne sıklıkta bulunduğunu ölçmektir. Parçacıkların çarpıştığı çoğu zaman bir Higgs bozonu üretilmeyeceği için, bir Higgs’in var oluşunun belirtisi, veriler içinde bir Higgs parçacığının olmadığı durumlarda da meydana gelen olayları temsil eden düzgün bir ardalan eğrisi üzerinde yükselen bir sinyal olarak görünür. Bu yükselme, uygun biçimde çizilirse, doğru Higgs kütle değerinde ortaya çıkar. Dolayısıyla deneyciler verilerini sunduklarında, “tümsekler”e, yani verilerde ardalan üzerinde büyükçe katkılar veren bölgelere odaklanırlar.

Uyarı şudur; istatistiksel şans (teknik açıdan dalgalanmalar olarak bilinir) her zaman verilerde inişlere ve çıkışlara yol açar. Bazen büyük bir dalgalanma oluşabilir. Herhangi bir özel dalgalanma olası görünmese de, eğer yeterince geniş bir kütleler bölgesini çalışırsanız, olası görünmeyen bir dalgalanma bile bir yerlerde meydana gelebilir. Bu olası görünmeyen olay bir Higgs bozonunun görünmesi olabilir. Fakat bu, verilen bir görünür kütlede ardalan olaylarının tam beklenmedik bir birikimi de olabilir.

Deneyciler araştırmaya ilk başladıklarında, Higgs bozonunun kütlelerini bilmiyorlardı.* Uygun kanıt bulurlarsa/bulduklarında, bu kütleli ölçebilirlerdi; çünkü çıkan bozunum ürünlerinden bulunacak enerji ve kütle onun değerini saptayabilecek şekilde ilişkilidirler. Fakat araştırmacılar kütleli ancak bir tümsek gördükten sonra saptayabilirlerdi; başka türlü değil.

* Diğer süreçlerin hassas ölçümleri yüzünden teknik olarak sınırlamalar vardı, fakat genelde sırf Higgs bozonunun kendisini doğrudan aramaya dayanan sunumlarda bunlar göz ardı edilmişlerdi.

Deneyciler verilerini sunduklarında ve saptadıkları herhangi bir tümseğin bir Higgs bozonunun varlığını ya da yokluğunu ne kadar olasılıkla ya da olasısızlıkla göstereceğini tartıştıklarında, Higgs bozonun kütle değerindeki belirsizliği hesaplamalıydılar. İstatistiksel dalgalanmalar her yerde olabileceği ve bunların herhangi biri bir Higgs bozonunun bozunumu olarak yorumlanabileceği için, her özel tümseğin istatistiksel önemi, bir dalgalanmanın bir yerde daha büyük olasılıkla meydana gelmesiyle ifade edilmelidir. Deneyciler bunun farkındadır, dolayısıyla sonuçlarının önemini bu başka-yere-bak etkisini hesaba katarak sunarlar. Eğer Higgs bozonunun kütleliğini önceden bilerseniz, başka-yere-bak etkisi bize sonucun çok daha önemli olduğunu söyler. Bilmezseniz, bir tümsek çok daha büyük olasılıkla bir dalgalanmadır, çünkü verilerdeki anormal büyük bir yükselmenin olasılığını bu beklenmeyen olayın olabildiği yerlerdeki sayısı ile çarpıyorsunuzdur. Sadece deneyler istatistiksel olarak önemli bir sonuç sunmak için yetecek kadar saptanabilir Higgs bozonları ürettikten sonra – başka-yere-bak etkisinin hesaba katılmasıyla bile – fizikçiler keşif yaptıklarını artık iddia edebilirler.

Krater kayıtlarındaki periyodiklik arandığında, eğer hangi periyodu aradığınız hususunda öncelikli bilgiye sahip değilseniz, benzer değerlendirmeler uygulanır; astrofizikçiler bunun için *denemeler çarpanı* gibi farklı bir ad kullanırlar. Yeterince farklı periyotlara yer verirsiniz, onlardan biri muhtemelen hiçbirinden, yani tamamıyla rastgele verilerden daha iyi görünürdür. Anlaşılan o ki, birleşik periyodik göktaşı çarpmaları verilere iyi uymaktaydı; en azından çarpmaların tamamen rastgele olduğunu kabul eden bir modelden daha iyi. Fakat madem hangi periyodun beklediğini kimse bilmiyor, bir araştırmacının bir tek daha iyi uymaya dayalı olarak tahmin ettiği herhangi bir istatistiksel önem, onun saf şekilde karara vardığından daha düşüktü. Her biri kendi olası istatistiksel belirsizliğiyle, yeteri kadar olasılık göz önünde tutulursa, en sonunda bir periyodik fonksiyon verilere akla yatkın şekilde uyar gibi görünmeye bağlı kalır.

Bu, Coryn Bailer-Jones'un periyodiklik için istatistiksel kanıt bulamadığı sonuçları ile onun meslektaşlarının bu kanıt bulduğu sonuçları arasındaki çelişkiyi açıklamakta çok yararlı olur. Her ikisi de saygın çözümlemelerini doğru yapmışlardı, fakat Bailer-

Jones periyodu önceden bilmediğimizi hesaba katmıştı. Ek girdiler olmaksızın, bir sinyalin bu ödün verici etkiyi bastırmak için yeterince keskin olması gerekir. Ve başlangıçta sinyale sanki yeterince güçlü değilmiş gibi bakılmıştı.

İyi haber gerçekte ek girdiye sahip oluşumuzdur ve onu hesaba katabiliriz. Gökbilimcilerin gökadamızın içeriğini ve kütle çekimini ölçtüklerinden beri, bir dereceye kadar, gökadanın nelerden oluştuğunu biliyoruz. Eğer periyodik etkilere Güneş Sisteminin hareketi zemin hazırlamışsa, gökada ve onun içindeki Güneşin konumu hakkında bildiğimiz her şeyi onun hareketini öngörmek için bir araya toplayabiliriz ve öngörüyle verileri karşılaştırırız. Gelecek bölümde ortaya koyacağım bir tetikleme mekanizması uygulandığında, Matt ve benim yapmaya karar verdiğim kesinlikle işte budur.

KUYRUKLUYILDIZLARIN OORT BULUTUNDAN FIRLATILIP ATILMASI

New York kentinin Radyo Kent Müzik Salonunda, Rokettes dans kumpanyası ya da bazı eski TV gösterilerindeki topluluklar tarafından yapılan eşgüdümlü dansları görmüş olabilirsiniz. Bu gösterilerde şık giyimli çok sayıda bayan bir çember halinde birlikte zarif hareketler yaparlar. Yapımların bazıısı ortak bir merkezden çıkıp yayılan dansçıların jant telleri gibi bir düzenini içerir; diğerleriye iç içe halkalar oluşturan bireylerden oluşur. Dansçılar halkalarını kusursuzca bozulmamış tutarlar; bireyler arasındaki kesin bağıntıları sürdürmenin ne denli zor olduğunu unutup yaparlar bu işi. Bu özellikle dıştaki üyeler için geçerlidir, onlar çok daha hızlı hareket etmek zorundadırlar ve ayrıca eşgüdümün ve talimatların çıktığı içteki bölgeden çok daha uzaktırlar. Arada sırada en dış halkadaki bir dansçının bu büyük zorluklarla yüz yüze gelip uyumu kaybettiğini ve işi berbat ettiğini görürsünüz. Fakat düşmedikçe, bu pek de büyük sorun değildir. Hata, topluluğun eşzamanlılığına dayanan güzellik ve mükemmelliğe gölge düşürecek olsa da, dramatik ya da felaket getiren bir şey çıkarmaz ortaya.

Yeryüzünden Yeryüzü-Güneş uzaklığının on binlerce katı daha uzakta bulunan Oort bulutundaki buz kaplı cisimler, dış halkadaki dansçılara benzer zorluklarla karşılaşır. Onun üyeleri Güneşin kütle çekiminden o kadar uzaktırlar ki onlar oldukça riskli bir denge içindedirler. Yeterince güçlü bir tedirgeme, çok dikkatli olmayan dansçı gibi bir cismin beklenen konumundan yavaş yavaş dışarı çıkmasına neden olabilir. Bir Oort bulutu cismi iç Güneş bölgesine iyice yaklaşırsa, yeterli itmeler –ya da bir tek daha dramatik itme– onu hepten yörüngesinden çıkaracaktır. Bu olduğu, yani cisim hatalı dansçıdan da beter olarak yörüngesinden iyice uzağa saptığında, iç Güneş Sistemine doğru ve bir olasılıkla Yeryüzüne doğru bile gelebilecektir.

Bazı kısa periyotlu serseri kuyruklu yıldızların yanı sıra Yeryüzüne yakın küçük-gezegenler de normal gezegenler ya da diğer yerel cisimler tarafından itilip kakılabilirler ve arada sırada Yeryüzüne çarparlar. Fakat böyle çarpmalar neredeyse kesinlikle rastgeledir. Periyodik tedirgemeleri tetiklemeyen mekanizmalar sadece Oort bulutundan gelen kuyruklu yıldızlar için önerilmişlerdi. Güneş Sistemine giren uzun-periyotlu kuyruklu yıldızların tek kaynağı ve ayrıca büyük olasılıkla Güneş yakınına gelen çoğu kuyruklu yıldızın kaynağı olan Oort bulutu, sadece düzenli aralıklarla çarpan kuyruklu yıldızların kaynağı olarak önerilmişti. Geçen bölümde ele aldığımız soy tükenişlerinde önerilen periyodiklik ve krater kayıtları, tedirgemeleri neyin tetiklemiş olabileceğini saptamada, Oort bulutunun buz kaplı cisimleri düzgün olarak iç Güneş Sistemine göndermiş olabileceği hususunda epeyce ilgi çekmişti.

Bu bölümde, önce kısaca kuyruklu yıldızların ya da küçük-gezegenlerin yüksek ihtimalle büyük çarpmalar yaratıp yaratamayacakları hususuna değineceğim. Sonra Yeryüzüne çarpabilecek kuyruklu yıldızları yaratmak üzere Oort bulutundan cisimleri neyin yerinden çıkarabileceğiyle ilgili bazı özgün önerileri gözden geçireceğim. Bu eski fikirler önerilen düzenliliği açıklamakta başarısız olmuşlarsa da, yine de gökada etkileşimleri hakkında yeni düşünme yollarını özendirmek açısından ilginçtirler. Onlar ayrıca bizim daha sonraki, daha yeni karanlık madde fikrimize dayanan, daha ümit verici önerimiz için zemin hazırlamıştı.

KUYRUKLUYILDIZLARA KARŞI KÜÇÜK-GEZEĞENLER

Chicxulub kraterinden sorumlu çarpan nesne bir küçük-gezegen den kaynaklanmışsa, karanlık maddenin bununla hiçbir ilgisi olamaz. Fakat yıkımı meydana getiren bir kuyruklu yıldız olsaydı, bir egzotik karanlık madde tetikleyicisi tam suçlu olabilirdi. *T. rex and the Crater of Doom* adlı kitabında Walter Alvarez K-Pg tükenişinin sorumlusu için çarpan nesneyi tartışırken, bundan bir kuyruklu yıldızın mı yoksa küçük-gezegenin mi sorumlu olduğunu kimsenin kesin olarak bilemediği anlayışıyla, kendi varsayımı olarak "kuyruklu yıldız" kullanmıştı. Kuyruklu yıldızların ve küçük-gezegenlerin kraterleri yaratmadaki etkilerini ayırt etmek

zordur: Özellikle Yeryüzüne milyonlarca yıl önce düşenleri. Yörünge gözlenmemişse, genellikle çarpan cismin kuyruklu yıldız mı yoksa küçük-gezegen mi olduğunu bilme yoluna sahip olamayız. Dinozorları yok eden kuyruklu yıldız için, bu hâlâ belirsizliğini korumaktadır.

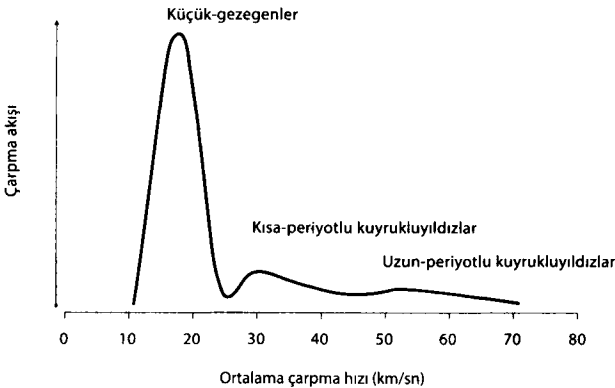
Şunu kesin biliyoruz ki kuyruklu yıldızlar ve onların parçaları çok seyrek olarak Yeryüzüne çarparlar. Kuyruklu yıldız çarpmalarının küçük-gezegenlerinkine göre bağıl sıklığının tahminleri yüzde 2 ile 25 arasındadır. Bu küçük oran Yeryüzüne yakın kuyruklu yıldızların düşük sayısına karşılık gelir. Şu anda bilinen 10.000'den daha fazla Yeryüzüne yakın cisimden sadece 100 kadarının kuyruklu yıldız olduğu bilinmektedir, geri kalanı küçük-gezegenler ve daha küçük göktaşlarından ibarettir.

Fakat büyük çarpmalar mutlaka sadece şu anda yakında olan cisimlerden ortaya çıkmamıştır. Uzak kuyruklu yıldızlar bazen yörüngelerinden kaçarlar ve arada sırada Yeryüzüne de çarparlar. Olağandışı bir astronom olan Gene Shoemaker, merak uyandıran bir çalışmasında, küçük-gezegenlerin küçükçe çarpmalarda baskın oldukları halde kuyruklu yıldızların daha büyük çarpmalarda çok daha önemli olabildiklerini ileri sürmüştü. Shoemaker büyüklüklerine karşı çarpma sayılarını çizmiş ve sonuçların iki ayrı kümelenmeye bağlı gibi görüldüğünü bulmuştu. Küçükçe çarpmaların hepsi hoş bir eğri üzerine düşmüştü, fakat bu basit eğrinin barındırabildiğinden çok daha fazla büyük çarpma vardı. Küçük-gezegenlerin küçükçe çarpmalar oluşturdıklarını bilerek, Shoemaker tanık olduğu şeyin iki bağımsız katkırı temsil eden iki ayrı eğrinin toplamı olduğunu iddia ederek, büyük çarpmaları yeni bir çarpma kaynağı doğurmalıdır varsayımında bulunmuştu. Onun tahmini, büyük çarpmaların kaynağının kuyruklu yıldız olduğuydu.

Kuyruklu yıldızlar bir başka özelliğe daha sahiptirler; onlar küçük-gezegenlere kıyasla orantısız miktarda enerji taşırlar; çünkü genelde daha yüksek hızlarda hareket ederler: küçük-gezegenlerin 10 ila 30 km/sn'lik hızlarına karşılık, kuyruklu yıldızlar 70 ya da daha fazla km/sn'lik hızlara ulaşabilirler. Tipik olarak, bir balistik mermi 11 km/sn'den daha az hızla giderken, bir küçük-gezegen 20 km/sn hızla ve kısa-periyotlu kuyruklu yıldız daha çok 35 km/sn hızla ve uzun-periyotlu kuyruklu yıldız 55 km/sn hızla ha-

reket eder; daha yüksek hızlar da vardır. (Şekil 32.) Kinetik enerji sadece kütleyle artmaz, ayrıca hızın karesiyle de artar. Kuyruklu yıldızların daha büyük hızları, daha bile seyrek kuyruklu yıldız çarpmalarının ya da daha küçük cisimlerden gelen çarpmaların, ilke olarak daha-yavaş hareket eden küçük-gezegenlerden çok daha büyük hasarlar meydana getirdikleri anlamına gelir.

Shoemaker ayrıca kuyruklu yıldız önerisini destekleyen kimyasal çözümler de yapmıştı; doğrusu böyle çözümler yapan bilim insanlarının her iki yönde de iddialarda bulunmuş olduklarına işaret edilmelidir. İzotop oranları ve *tanesel* küçük-gezegenlerinkilerle uyumlu geri kalan meteorit parçaları, rakip küçük-gezegen varsayımının lehindedir; bu *tanesel* küçük-gezegenler Güneş Sisteminin oluşumu esnasında 4,56 milyar yıl önce bulutsu fırtınalarında yaratılan ergimiş damlacıklar olan milimetre-boyutlu küresel parçaları içine alır. Fakat bu kanıtlar henüz belirleyici değildir. Kuyruklu yıldızlardaki izotop oranlarını bilmiyoruz, böylece onların da benzer olduklarını bulabiliriz. Üstelik, çok daha yakın zamanlardaki araştırmalar, daha önce inanılandan daha düşük bir iridyum ve osmiyum düzeyini savunmaktadır; bu da kuyruklu yıldız yorumuyla daha tutarlı olabilir.



[ŞEKİL 32] Küçük-gezegenlerden, kısa-periyotlu kuyruklu yıldızlardan ve uzun-periyotlu kuyruklu yıldızlardan Yeryüzü üzerine çarpmaların ortalama hızı (kilometre/saniye olarak). Eğri ayrıca üç tip cismin beklenen göreceli akılarını da sergilemektedir.

1990'da, iki astrofizikçi Kevin Zahnle ve David Grinspoon, Chicxulub'da bir kuyrukluyıldız çarpmasını çok farklı bir akıl yürütme kullanarak savunmuşlardı. *K-Pg* tabakasını saran çökeltilerde bulunan aminoasitleri açıklamak için, *K-Pg* tükenişi olayından önce ve sonra Yeryüzüne kuyrukluyıldız tozu girdiğini ileri sürmüşlerdi. Toz parçacıkları atmosferde asılı durup yavaş yavaş düştükleri ve dolayısıyla yere zarar görmemiş olarak ulaşabildikleri için, toz, ilke olarak, uzun zaman süresinde parçalanıp dağılmış ve gezegenimiz üzerine malzeme yağdırmış bir kuyrukluyıldızın sonucu olabilirdi.

Kuyrukluyıldız çarpmalarının beklenebilecekten çok daha sık meydana gelmesinin bir nedeni şudur; Jüpiter kuyrukluyıldızların dolaylarında salına salına gezinirken, bazen onları parçalara ayırır. Bu olursa/olduğunda, Yeryüzüyle ilişki kurma olasılığı artar, çünkü sonra bu parçalardan birkaçı Yeryüzünün yörüngesini kesebilir. Bazı gökbilimciler bunun daha birkaç bin yıl önce bile meydana geldiği tahmininde bulunurlar ve buna iç Güneş Sistemindeki aşırı fazla kuyrukluyıldız tozunu kanıt olarak gösterirler.

Jüpiter'e çarpan oldukça taze Shoemaker-Levy kuyrukluyıldızı, böyle kuyrukluyıldız parçalarının yapabileceği yıkımın görül-meye değer bir örneklemesiydi. Carolyn Shoemaker ilkin 1993'te kuyrukluyıldızı Jüpiter yakınında fark etmiş ve kocası Gene ve diğer meslektaşları David Levy'yle birlikte onu izlemişti. Kuyrukluyıldızın, gökyüzünde bir tek çizgi olarak değil de parlak küresel beneklerle noktalı bir yay gibi olağandışı bir görünüşe sahip olduğunu fark etmişlerdi. Kısa süre sonra, daha hassas bir gözlem aracılığıyla, başka iki gökbilimci Jane Luu ve David Jewitt bir inci dizisine benzeyen bir yay boyunca en azından 17 ayrı parçayı saptamayı başarmışlardı.

Hak ettiği adıyla Astronomik Telgraflar için Merkezi Bürodan gökbilimci Brian Marsden, onun yörüngesinden şu sonucu çıkarmıştı: Kuyrukluyıldızın olağandışı yapısı, Jüpiter'in çok yakınından uçuşunun bir sonucuydu, Jüpiter'in çekimi kuyrukluyıldızı küçük parçalara ayırmıştı. Marsden, gelecekte Jüpiter'e çok yaklaşacakları ve hatta çarpacakları olasılığını ileri sürmüştü. Astronomlar bunun peşini bırakmamışlar ve Jüpiter'in kütleçekiminin gerçekten bu parçacıkları kapana kıştırabileceğini hesaplamış-

lardı; bu durum, 16 Temmuz ile 22 Temmuz 1994 arasında bir kafa kafaya çarpışma olarak karşılığını bulabilirdi.

Beklenildiği gibi, tam zamanında, ilk parça Jüpiter'in atmosferine 60 km/sn'yi aşan bir hızla dalmıştı. Görünür şekilde etkilenen bölge en azından Yeryüzü büyüklüğündeydi. Atmosfer, gerçek parçalardan önce gelmiş olan tozlar tarafından aydınlatılmıştı; parçaların kendileri de muhteşem bir parlama yaratmıştı. Bu, Chicxulub'u saran etkilere benzer etkiler doğurmuştu; fakat bu kez hasar Jüpiter'de meydana gelmişti. Parçalar 300 metreden daha az genişlikte oldukları ve başlangıçta parçaları yaratan kuyruklu yıldız en fazla birkaç kilometre büyüklükte olduğu için, salınan enerji, Chicxulub'u oluşturan cismin yarattığından çok azdı. Yine de, etkileyici bir görünüşü.

Jüpiter'in Ayları üzerindeki çarpma kraterleri, bu bölgede böyle dramatik şekilde tutsak edip parçalanmaların ve çarpmaların ilk kez meydana gelmediğini gösterir. Periyodik göktaşı fikri doğru çıkarsa, bu, kuyruklu yıldızların Güneş Sisteminin varlığı boyunca önemli oldukları hususunda ek kanıt olacaktır. Böylesi astrofiziksel olayların gezegensel yüzeylerle bağlantısı, bize görünürde soyut kuramsal araştırmanın sonunda kendi varlığımızı açıklamaya yardımcı olabileceğini hatırlatır.

TETİKLEYİCİLER

Hiç kimse emin olamasa da, bu kitabın geri kalanında, büyük çarpmalardan Oort bulutundan gelen kuyruklu yıldızların sorumlu olduklarını varsayacağım. Bu, potansiyel olarak periyodik çarpmaları açıklayabilecek tek bilinen olasılıktır. Dış Güneş Sisteminden bizim gezegenimizin yoluna doğru yollanan buz kaplı bir cismin bir tedirgemesi bilimkurgu gibi tınlasa da –sehven böyle değil, çünkü o sık sık olur– bu olaylar dizisi de bilimdir.

Güneş Sisteminin en uzak alanlarının Oort bulutunu içerdiğini hatırlayın; bu bulut, Yeryüzü-Güneş mesafesinin 50.000 katı ötesine uzanan, var olduğu düşünülen, ikincil cisimlerin oldukça küresel bir topluluğu. Doğrudan doğruya gözlenemeyecek kadar uzakta olan kuyruklu yıldızların bu devasa kaynağının varlığı için kanıt, iç Güneş Sistemine girmekte olan kesinlikle görünür kuyruklu yıldızlardır.

Daha önce değinilen dansçıların durumunun tersine, Oort bulutunun buz kaplı cisimlerini yörüngelerinde tutmaktan sorumlu olan Güneşin çekimidir; Oort bulutu cisimlerinin aralarındaki karşılıklı etkileşme değil. Fakat Güneş sadece zayıf olan kütleçekimle böylesine devasa uzaklıktaki bu cisimleri bulut içine bağlar. Kütleçekimin şiddeti uzaklığın ters-karesine göre azalır, dolayısıyla onun on binlerce kat daha ötedeki bir cisme olan etkisi 100 milyon kere daha az şiddettedir. Güneşin Oort bulutundaki bir kuyruklu yıldız üzerindeki çekimi, Güneşin Yeryüzü üzerindeki çekim şiddetinden iyice azdır. Böylesine gevşek bağlı ortamda, oldukça küçük tedirgemeler bile bir Oort bulutu cisminin yörüngesini potansiyel olarak değiştirir ve en sonunda onu yörüngesinden çıkarıp Güneş Sisteminden tamamen dışarı gönderir ya da Güneşe doğru içlerde bir yörüngeye fırlatır.

Astronom Jan Oort sonraları bu fikri daha sağlam temele oturtmuş olsa da, Estonyalı astrofizikçi Ernst Julius Öpik 1932'de şunu ileri sürmüştü: Güneş Sisteminin dış ucundaki (şimdi Oort bulutu ve nadiren de Öpik-Oort bulutu olarak bilinen yer) kuyruklu yıldızların maruz kaldığı tedirgemeler, bazen bu buz kaplı cisimleri Güneş Sisteminin iç bölgesine doğru gönderir. Öpik tüm hikâyeye esasında doğru olarak sahipti; gerekçesi de, bazı buz kaplı cisimlerin en sonunda tedirgemelere karşı kararsız ve dayanıksız hale gelebilecekleri öyle ki dış etkilerin bazen onları yörüngelerinden iteleyip Yeryüzüne doğru yönelmiş bir yola sokabileceğiydi. O hatta bunun buradaki yaşamı bile etkileyebileceğini ileri sürmüştü, ama *K-Pg* tükenişine eşlik eden cinsten küresel bir yıkımı da zorunlu olarak düşünmemişti.

Öpik'in etkileyici çalışması yine de yörüngelerin neden kararsız hale geldiklerine ya da hangi tetikleyicinin onların kaçışına zemin hazırladığına dair açık sorular bırakmıştı. Bu sorulara yıllar sonrasında, Alvarez'in önerisi (ve kitlesel yıkımın görüntüleriyle Soğuk Savaş) toplum bilincine ve canlanan ilgiye girene kadar değinilmemişti.

Astronomların tedirgeme kaynakları olarak ileri sürdükleri cisimlerin örnekleri, yakından geçen yıldızları ve Güneşinkinin 1000 ile 10.000.000 katı arasında kütleli muazzam moleküler gaz yoğunlaşmaları olan *dev molekül bulutlarını* içermektedir. Fakat yakından geçen yıldızlar yörüngeleri itelediği ve dev molekül bu-

lutları bazı etkilere sahip oldukları halde, hiçbir kuyrukluyıldızları iç Güneş Sisteminde bir yörüngeye sokmak için baskın mekanizma değildir. Bir dürtmenin etkisi onun oluşma şiddeti ile sıklığına ve ayrıca ona etkiyen buzlu cismin yoğunluk ve kütle sine bağlıdır. Ne yıldızlar ne de molekül bulutları, gördüğümüz kuyrukluyıldızların tümünü açıklamaya yetecek kadar kuvvete ve sıklığa sahiptir.

1989'da, Julia Heisler ve Scott Tremaine çok daha önemli bir etkiyi, Samanyolunun gelgit kuvvetini incelemiştir. Ay, bozucu kütleçekim etkisiyle, bilinen okyanus gelgitlerini yaratır, Yeryüzünün yakındaki ve uzaktaki bölgelerini farklı şekilde çekerek okyanusun yükselmesine ve alçalmasına neden olur. Benzer bir tarzda, Samanyolunun neden olduğu gökadasal gelgit de dış Güneş Sistemi cisimlerinin yörüngelerini bükür. Samanyolunun kütleçekimi kesin olarak aynı konumda bulunmayan cisimler üzerine farklı şekilde etkir; aksi takdirde küresel olan Oort bulutunun biçimini bozarak Güneşe doğru uzamasına ve diğer iki doğrultuda sıkışmasına yol açar.

Zamanla, Samanyolundan kaynaklanan kütleçekim kuvveti, ikincil cisimlerin yollarını çok uzamış ya da *dışmerkezli*, yörüngeler haline çekecektir. Bir kez yeterince dışmerkezli hale gelince, *günberi* -Güneşin en yakınına gelme uzaklığı- o kadar küçük olur ki cisimler çok daha kolaylıkla iç Güneş Sistemine katılırlar. Bu noktadaki gelgit kuvveti buzlu cisimleri Oort bulutundan dışarı yollamak için yeterli olabilir; bu da iç kısımdaki kuyrukluyıldız akısını artırır. Sonuç, Yeryüzüne ulaşan yavaş ve sabit bir kuyrukluyıldız akısıdır.

Meseleleri daha ilginç hale getirmek için, kuyrukluyıldızları iç Güneş Sistemine yollamak üzere buz kaplı cisimleri yerlerinden çıkarmanın başat mekanizmasının sadece gelgitlere bağlı olmadığı anlaşılır; daha çok hem yıldızsal hem de gelgitsel tedirgemeler hep birlikte işe karışır. Yıldız tedirgemeleri sonuçta genellikle kuyrukluyıldız sağanakları yaratan tedirgemeler olmasa da, onlar gelgit etkisine göre çok daha uzun zaman ölçekleri boyunca meydana geldiklerinden, Oort bulutunu, gelgitsel etkileşmenin çok önemli olabileceği bir noktaya hazırlamak için esastır. Bu Fransa Turundaki bir bisiklet takımı gibidir. Takımın geri kalanı, son atağını yapıp sarı formayı kazanması için öndeki

bisikletçiye yardım eder. O bitiş çizgisini birinci olarak geçtiği için, biz genelde sadece kazananın adını biliriz; destekleyen *hizmetçileri* değil. Böyle olsa bile, diğer bisikletçiler önemli bir rol oynamıştı. Benzer şekilde, kuyrukluyıldızların yerlerinden çıkarılmaları için hazır tetikleyici gelgit kuvvetidir; onun yeterli çekmeyi sarf etme nedeni şudur: Yıldız tedirgemeleri zaten yörüngeleri yeterince dürtüklemişti, bu nedenle bazıları kararsız durumdadır, artık sadece oldukça küçük bir iteleme kuyrukluyıldızı iç Güneş Sistemine gönderecektir. Yıldızsal karşılaşmalar esastır, fakat kuyrukluyıldızlar için gerçek tetikleyici –krediyi elde eden– öncelikle gelgit kuvvetidir.

Gökadasal gelgitin Güneşin içe doğru kütleçekimine hâkim olduğu uzaklık, Güneşten 100.000-200.000 AU kadardır. Oort bulutunun dış sınırında, Güneşin kütleçekimsel etkisi artık kararlı yörüngeleri sürdürmeye yeterli değildir. Gelgit etkilerinin, daha içerde, arada sırada küçük bir Güneş Sistemi cismini yerinden çıkarıp onu iç Güneş Sistemine yollayarak, sınırdaki kararlı yörüngeleri nasıl tedirgin ettiğini biraz evvel görmüştük. Daha yakınlarda –gözlemlere ulaşılabilir bölgelerde– gelgit etkileri Güneşin kütleçekimine kıyasla sönük kalır. Böylece gelgit etkileri sadece Oort bulutunda zayıf şekilde bağlı kuyrukluyıldızları önemli ölçüde itip kakabilir. Büyük olasılıkla bu gelgit etkileri, oradan kaynaklanan kuyrukluyıldızların yüzde 90'ından sorumludur.

Böylece Samanyolu, kuyrukluyıldızları kütleçekim etkisiyle iç Güneş Sistemine yönelik yollara sevk etmek üzere onları tedirgemeye uğratacak vasıtaları içerir; bunu fizikçiler ve astronomlar şimdi anlıyor. Fakat bu mekanizma –önemli ve ilginç olsa da– tüm kuyrukluyıldız sağanaklarını ya da kuyrukluyıldız çarpmalarındaki periyodikliği açıklamak için yeterli değildir. Ek karışıklıkların olmaması durumunda, betimlediğim gelgit kuvveti sadece yavaş fakat devamlı bir akışa yol açar.

Dolayısıyla periyodik artmaları açıklamaya çalışan gökbilimciler, bu kuyrukluyıldızları tetiklemenin neden tamamıyla rastgele olmayıp onlarca milyon yıllık düzgün aralıklarla meydana geldiklerini izah etmek için daha ileri kurgusal girişimlerde bulunmuşlardı. Sunmak üzere olduğum önerilmiş açıklamaların başarılı olmadıklarını önceden söyleyeceğim. Fakat bu önerileri ve neden başarısız olduklarını anlamak, seçenekler aramaya yardım

eder. Bu önerilerden biri karanlık disk önerisi olup, onu daha sonra betimleyeceğim.

NEMESIS ÖNERİSİ

Periyodik çarpımları açıklamak için ilk –ve en renkli– tınlayan– öneri, Güneşin şaka yollu adlandırılmış Nemesis* denen bir yoldaş yıldızla sahip oluşuydu; Nemesis ve Güneş büyük bir ikili sistem halinde yörüngede dönmekteydi. Gökbilimciler Güneşin bu varsayımsal yoldaşı için, her 26 milyon yılda bir bizden 30.000 AU kadar uzaktan geçecek şekilde eliptik bir yörünge önermişlerdi. Bu 1984 önerisi, Raup ve Sepkoski'nin önerdiği soy tükenişi periyodikliğini, Nemesis'in Güneşe en yakın olduğu her 26 milyon yılda bir Güneş üzerinde artan kütleçekim kuvveti vasıtasıyla açıklamak için bir girişimdi. Öneriye göre, bu zamanlarda Nemesis'in kütleçekim etkisi Oort bulutundan bazı küçük Güneş Sistemi cisimlerini yerlerinden oynatabilirdi ve bunlar kuyrukluyıldızlar olarak Yeryüzünü bombardıman edebilirlerdi.

Artan çarpışmalar için kabaca 30 milyon yıllık periyot (ve dolayısıyla kuyrukluyıldız çarpımlarının yüksek sıklığı), bir ya da iki ışık yılı mertebesinde *yarı-büyük eksenli* (elipsin uzunluğunun yarısı) büyük bir sistemi gerektirir. Bu öneriyle şu problem ortaya çıkar: Yıldızlar ya da yıldızlararası bulutlar böyle muazzam bir ikili sistemi kararsız kılabilir; böylece farz edilen çarpışmaların düzenliliğini bozar ve sıklığın son 250 milyon yıl üzerinden değişime uğramasına neden olur. Bu değişme gözlenmemiştir.

Fakat bu fikre gerçek bir darbe, tüm uzaydaki cisimlerin çok gelişmiş kızılaltı inceleme kataloğudur; bu katalog şimdi Nemesis'i de içerebilirdi. 1984'teki ölçümler önerilen cismin varlığı üzerine kesin karar vermek için yetersiz olmuş olsa da, o zamandan beri gözlemler dramatik şekilde gelişti. 2009'da atılmış ve Şubat 2011'e kadar ilgili verileri toplamış olan NASA'nın Geniş-Alan Kızılaltı İnceleme Gezincisi, önerilmiş olan bu kırmızı dev-tipi yıldızın var olduğunu görmüş olmalıydı; ama görmedi. Önerilen Jüpiter-büyüklüğündeki bir gaz dev gezegen de görülmemince, kızılaltı gözlemler, yeni bir varsayımsal gezegene –fikir babasının

* Eski Yunan mitolojisinde, insanlara hak ettikleri cezayı veren tanrıça; ilahi cezanın ruhu –çn.

adlandırdığı Gezegen X- dayanan bir başka benzer açıklama önerisini de elemişti.

GÖKADASAL HAREKETTEN ÖNERİLEN TETİKÇİLER

Bu başarısız fikirlerin ışığında, gökadanın bilinen bileşenleri boyunca Güneş Sisteminin hareketine dayanan birkaç çok farklı öneri ümit verici seçenekler gibi görünmektedir. Bu öneriler hiçbir yeni ve egzotik şey ortaya koymamıştı, fakat bunun yerine şunu ileri sürmüştü; Güneş Sistemi gökadasal spiral kolların içinden geçtiğinde ya da gökadasal düzlemi kestiğinde karşılaştığı mevcut yoğunluk değişimleri, Oort bulutundaki tedirgeme oranında değişimlere neden olur. Bu tekrarlanan yüksek yoğunluklu bölgelerin içinden geçişler ilke olarak periyodik kuyruklu yıldız sağanaklarını açıklar.

Hatırlarsanız Samanyolu disk şeklinde bir gökadadır; bunun anlamı, yıldızların ve gazın çoğunun yaklaşık 130.000 ışık-yılı genişliğinde fakat sadece yaklaşık 2000 ışık-yılı kalınlığında bir ince disk içine yayılmış olmasıdır. Güneş, gökada merkezinden 27.000 ışık-yılı kadar bir mesafede yerleşmiştir ve şu anda gökadasal orta-düzleme 100 ışık-yılından daha az yakındadır. Ayrıca bir spiral kolun kıyısında.

Samanyolunun spiral kolları gökada merkezinden ışınal yönlere uzanıp etrafına dolanır (bkz. Şekil 33). Bu spiral kollar arasındaki bölgelerden daha çok gaz ile toz içerir ve sonuç olarak buraları büyük olasılıkla genç yıldızların olduğu alanlardır. Bunlar dev molekül bulutlarının yüksek yoğunluklu yerleridir; daha önce değinilen muazzam molekül gaz yoğunlukları. Güneş bu iyice yoğun bölgeleri geçerken, molekül bulutları büyük bir kütleçekim kuvveti uygular; bu da ilke olarak daha kapsamlı tedirgemelere neden olur ve bu suretle çarpmalarda periyodik bir artma doğurur.

Bu öneriyle ilgili potansiyel bir sorun, spiral kolların mükemmel bir simetri sergilememesi ya da Güneşe göre sabit bir dönme hızına bile sahip olmamasıdır. Dolayısıyla, Güneş spiral kolları muhtemelen kesin olarak periyodik bir hızla geçmez. Yine de, spiral kolların yapısı, kinematığı ve evrilmesi şimdilik çok az anlaşılmış olduğundan, spiral kol seçeneğinin sadece bu temel-

de elenmesi sonucunun erken olabileceği ortaya çıkmaktadır. Ne olursa olsun, periyodiklik daha iyi kuruluncaya dek, önerilerdeki bu mükemmel düzenliliğin eksikliği verilerle bir uyumu zorunlu olarak elemez; sadece yaklaşık periyodikliği sergilediğini de ortaya koyabilir.

Yine de, başka iki etmen spiral kolları, çarpma sıklığında gözlenen herhangi bir artma için zayıf bir açıklama haline getirir. Birincisi, spiral kollardaki ortalama gaz yoğunluğunun periyodik çarpma artmalarını açıklamak için yeterince yüksek olmayışıdır. Yoğunluk yeterince değişmezse, spiral kol geçişleri esnasında herhangi bir artma kaydedilemeyecek kadar küçük olur.

İkinci konu, Güneş Sisteminin gökadamızın spiral kollarını hiç de bu kadar sık geçmemesidir. Sadece dört büyük spiral kol ve belki de iki daha küçük kol vardır ve bir gökada yılı çok uzundur; böylece son 250 milyon yılda dört büyük spiral kolun ancak birkaçı geçilmiştir. Aslında, kollar Güneş Sistemiyle aynı yönde hareket ettiklerinden (farklı hızlarla olsa da), kollardan geçişler muhtemelen 80-150 milyon yıl arayladır; bu da, soy tükenişi ya da çarpma kraterleri kayıtlarını açıklamak için aşırı seyrek tir.



[Şekil 33] Samanyolunun spiral kolları; ayrıca Güneşin konumu da gösteriliyor (boyut ölçeksiz).

Bununla birlikte, spiral kolların periyodu ve periyodik artmaları açıklamadaki başarısızlığı, potansiyel bir çarpma tetik-

leyicisi olarak yoğunluktaki düşey değişimleri hükümsüz kılmaz ve bunun, çok daha ümit verici bir öneri olduğu kanıtlanabilir. Güneş Sistemi, dairesel hareketi üzerine bindirilmiş olarak, düşey doğrultuda salınır; bu düşey hareket, Şekil 34'te resimlendiği gibi, çok küçük bir mesafeyi kapsar (26.000 ışık-yıllık yarıçapla kıyaslanınca; burada Güneş düzlem boyunca konumlanmıştır). Güneş Sistemi gökadayı kabaca dairesel bir yörüngede dolaırken, yaklaşık 240 milyon yılda (buna bir gökadasal yıl denir) tamamladığı bu çevrim süresince de hafifçe yukarı aşağı inip çıkar. Güneşin düşey doğrultudaki bu çok küçük salınım genliği, diskteki madde dağılımına bağlıdır, fakat akla yatkın bir tahmin bu genliğin kabaca 200 ışık-yılı olduğudur; şu anda orta-düzleme maksimumdan daha yakınız, belki de 65 ışık-yılı kadar uzaktayız.

Güneş Sisteminin bu salınımsal düşey hareketi, gelgit etkilerinin zamana göre değişimlerine potansiyel olarak açıklama getirebilir ve bu suretle uygun zaman ölçeği üzerindeki her periyodik etkiyi izah eder. Güneş Sistemi gökadasal orta-düzlemin bir bakıma daha yoğun bölgesinin içinde ve dışında hareket ederken yıldızların ve gazın yoğunluğu değiştiğinden, Güneş Sistemi enlemesine salınırken farklı ortamlarla karşılaşır. Güneş Sistemi orta-düzlemi çaprazlama geçip dururken yoğunluk dramatik olarak değişseydi, bu zamanlarda tedirgemeler de kuyruklyıldızların Yeryüzüne çarpma sıklığını artırırdı. Gökada gelgitleri Oort bulutunun başat tedirgeyicisi olduğundan, gökada düzlemi içerisinde düşey doğrultudaki yoğunluk değişimleri, potansiyel olarak yeterince kuvvetli etkiye sahip olabilirdi. New York Üniversitesi profesörlerinden bu öneriyi yapan Michael Rampino ve Bruce Haggerty ona renkli bir isim de vermişti: Shiva varsayımı; yıkım ve yeniden yapımın Hint tanrısı.

Gökadadaki madde dağılımının iki özelliğinin bu senaryo için gözlemlere uyması gerekir. Birincisi, orta-düzlem yoğunluğu, düşey doğrultudaki doğru salınım periyodunu açıklayan bir kütleçekim potansiyeli vermelidir. Bu koşul her hassas tedirgeme mekanizmasından bağımsızdır. Güneş Sistemi orta-düzlemi doğru hızda geçmezse, o anlardaki artmaların hiçbiri verilere uymayacaktır.



[ŞEKİL 34] Güneş Sistemi, Samanyolu etrafında dolanırken gökada düzleminde enlemesine yukarı aşağı salınır. Gökada düzlemini kesmesi esnasında Güneş büyük kütleçekim gelgitleriyle karşılaşır. Salınım periyodunun resimde anlaşılsın diye kısaltıldığına ve Güneşin gökadanın etrafını dolanırken sadece üç dört salınım yapabildiğine dikkat edin.

İkinci özellik, sıklıkta değişim elde etmek için gerekli bir özellik olup, periyodik kuyruklu yıldız sağanaklarına açıklık getirebilir; yani Oort bulutu gökada düzleminde geçerken, üzerinde zamana-bağlı bir etkiye yol açabilen, yeterli ölçüde belirgin bir yoğunluk değişimi yaratabilir. Bu iki özellik, gökadasal düzlemde her yoğunluk artması önerisiyle ilişkilidir. Bunlar, burada tartışılmış olan önerileri hükümsüz kılarlar ve –daha sonra izah edeceğim gibi– bilinen sıradan madde diskinde daha yoğun ve daha ince bir karanlık madde diskinin neden uygun bir başka seçenek olabileceğini açıklayabilirler.

Bununla birlikte, 1984'te, Rampino ve Stothers, daha standart bir Samanyolu bileşimine dayanarak gerekli yoğunluk değişimlerini dev molekül bulutlarıyla açıklamaya çalışmışlardı; bu bulutlar gökadasal orta-düzlem yakınında en yoğunlardı. Onların gerekçeleri, spiral kolları geçme önerisinde kullanılan gerekçeye benzerdi: Güneş Sistemi bulutların içinden geçerken madde yoğunluğu artar. Bu öneri bir sonraki yılda, astronomlar bulut tabakasının aşırı büyük olduğunu, neredeyse Güneşin düşey salınım genliğine kadar uzandığını, öyle ki Güneşin yörüngesi boyunca olan değişimin kaydedilemeyecek kadar küçük olabileceğini gösterdiklerinde ortadan kaldırılmıştı. Fazladan madde olmaksızın, molekül bulutlarıyla karşılaşmalar, yaklaşık 30 milyon yıllık bir periyodikliği açıklamak için her durumda aşırı seyrektir.

Bir başka olasılık, bu kez astrofizikçi Charles Alcock'la birlikte çalışan Julia Heisler ve Scott Tremaine tarafından araştırılmıştı. Samanyolundan kaynaklanan gelgit etkisinin önemini vurgula-

arak şuna işaret etmişlerdi; bu etki tek başına oldukça tekdüze bir kuyruklu yıldız sıklığı öngörse de, yakındaki bir yıldızın attığı bir "tekme," bir kuyruklu yıldız sağanağı yaratma potansiyeline sahipti. Bu durumda soru, böyle karşılaşmaların hangi sıklıkta ve hangi çarpma ile oluşabileceği haline gelir. Yeryüzüne çarpan kuyruklu yıldızların sıklığında ne kadarlık bir değişim beklemeliyiz?

Ekip, Güneş kütleli bir yıldızın (40 km/sn kadarlık bir hızla hareket ettiğinde, gerekli çarpmayı verecek minimum kütle) bir Oort bulutu cisminin 25.000 AU kadar yakınına hangi sıklıkla yaklaşacağını sorarak beklenen sıklığı tahmin etmişti. Burada 25.000 AU, onu tedirgemeye uğratması için gerekli minimum uzaklıktır, çünkü Güneşten Oort bulutuna olan uzaklık bu mertebededir. Her 70 milyon yılda bir böyle bir karşılaşmanın beklendiği anlaşılmıştı. Önerilmiş periyodikliği açıklamak için genelde bu yeterli değildir, fakat bu ilke olarak son 250 milyon yıl içinde birkaç böyle olayı açıklayabilirdi.

Heisler ve çalışma arkadaşları sonradan daha iyi öngörülerde bulunmak için, gelgit kuvvetinin temin edeceği fazlalık itmeyi de hesaba katarak, daha kapsamlı bir sayısal benzetim yapmışlardı. Yıldızların Güneşe daha önce düşündüklerinden biraz daha yakın olmaları gerektiğini bulmuşlardı. Öngörülen sağanakların gerçek sıklığı, dolayısıyla daha bile küçüktür –her 100 milyonda, hatta 150 milyonda bir gibi– ki bu da, gözlenebilmiş herhangi bir periyodikliği açıklamak için çok seyrek kalmaktadır. Daha sonraki daha ayrıntılı sayısal çözümleme, çarpmaları tetiklemede yıldız karşılaşmalarının rolünün onların bulduklarından daha büyük olduğunu göstermişti, fakat verileri açıklamak için bu hâlâ yetersizdi.

Tüm bu araştırmaların sonucu şudur ki, yeni bir içerik olmaksızın, Güneş Sisteminin kütleçekim potansiyeli, yeterince kısa bir zaman üzerinde göktaş çarpmalarında gözlenebilir bir fark yaratacak kadar, yani düzgün aralıklardaki sıklığın ardalan sıklığı üzerinde gözlenir bir baskın doruk gösterebileceği kadar, dramatik şekilde değişmez. Güneş Sistemi gökadasal orta-düzlemi periyodik temelde kesiyor olsa da, geleneksel madde dağılımı nedeniyle kuyruklu yıldız yağışı o anlarda özel olarak yükselmez.

Böylece geniş bir bakış içinde, durumun spiral kollarla olana benzediği ortaya çıkar. Öngörülen periyot aşırı derecede küçük-

tür ve yoğunluktaki değişme teklif edenlerin açıklanmasını umdukları cinsten ölçülebilir bir periyodik krater oluşturma doğuracak kadar belirgin değildir. İlk yoğunluk ölçümleri tersini ileri sürmüştü, fakat Samanyolu hakkında daha yeni verileri dikkate alan daha sonraki hesaplamalar göstermişti ki daha önceki çalışmaların önerileri, krater kayıtlarıyla uyuşacak doğru sıklığı ya da doğru dönemsel artmayı üretmemişti. Periyot için aşırı-uzun öngörü, gökada diskinde maddenin yeni ve henüz saptanmamış bir bileşeni mevcut olmadıkça, tüm gökadasal düzlem önerilerini hükümsüz kılmıştı.

Mevcut en iyi ölçümleri –ki bunlar, periyodikliğin kendisi için olan kanıtlar gibi, zamanla çok fazla değişmişlerdi– bir araya getirerek, Matt Reece ve ben sonunda, diskte şu ana kadar saptanmamış bir madde bileşeni olmaksızın, aşağı-yukarı salınım periyodunun, periyodikliği öne süren verileri açıklamak için aşırı derecede uzun olduğu sonucuna varmıştık. Dağılımın krater oluşturma sıklığında tahrik edici bir değişim üretemeyecek derecede düzgün oluşu bir yana, ayrıca bilinen Samanyolu diski, eğer sadece normal maddeden ibaretse, doğru periyodikliğe yol açamayacak kadar çok yayılmıştır.

Herhangi bir olası periyodikliği izah etmek için kendileri yeterli olmasa da, her şeye karşın yukarıdaki öneriler bana ve Matt'e ilerlemek için temel ilkelere ihtiyacımız olduğunu öğretmişti. Diski geçerken ve hemen öncesi ile hemen sonrasında iç Güneş Sistemi'ne kuyrukluysıldızları sürmek için gelgit etkilerinin yeterli tedirgemeler yarattığını öğrenmiştik. Fakat ayrıca şunu da öğrenmiştik ki bilinen astrofiziksel kaynaklar umutla-beklenen periyodik etkiler yaratmaz. Hiçbiri, Yeryüzüne kuyrukluysıldızların ulaşmasında bir artmayı açıklayacak kadar ani gelgit etkisi üretmez.

Bu bize iki olasılık bırakır. Belki daha büyük olasılıklı olanı, gözlenen periyodikliğin gerçek bir etki olmamasıdır. Kanıtı her şeyden önce o kadar da güçlü değildir ve birçok rastlantı bir periyodik etkinin ortaya çıkışına fırsat hazırlayabilir. Oldukça kurgusal, fakat çok daha ilginç olan ikinci seçenek, gökadanın yapısının yaygın olarak varsayılandan farklı olmasıdır; bu durumda gelgit etkisi beklenenden daha büyük ve çok daha dramatik şekilde değişir olabilir. Araştırmaya karar verdiğimiz yol işte buydu. Karşılığını da aldık.

Kitabın gelen kısmında açıklandığı gibi, Matt Reece ve ben Samanyolu düzlemindeki sıradan maddenin yoğunluğu ve Güneşin ölçülmüş konumu ve hızı hakkında bilinenleri hesaba kattığımızda, krater kayıtlarıyla uyuşmanın önerdiğimiz karanlık madde modeliyle karşılaşıldığı zaman daha iyi gittiğini bulduk. Olağan Samanyolu düzleminde uygun yoğunluk ve kalınlıkta bir karanlık madde diski, gökada düzleminin gelgit kuvvetinin öngörülen büyüklüğünü ve zaman bağıllığını ayarlayabilmişti. Böylece hem çarpma periyodu hem de tetikleme darbesi verilerle oldukça iyi şekilde uygun düşer.

Hoş bir ödül olarak, bu tür düşünmede bir önceki bölümün başka yere-bak etkisi daha önceki düşünceden daha az uzlaştıracıdır. Artık tüm olası periyotları düşünmek zorunda olmayıp, sadece gökadadaki ölçülmüş sıradan madde yoğunluğunu hesaba katanları düşünürüz. Güneş Sisteminin gerçekte özensiz ölçümleri ve karanlık madde diskinin uygun bir modeliyle donatılmış olarak, olası salınım periyotları aralığını, sadece mevcut Samanyolu disk yoğunluğu ölçümleriyle tutarlı öngörüler olacak şekilde sınırlayabiliriz. Matt ve ben, mevcut verileri hesaba katarak, periyodik varsayımın kabaca rastgele çarpmaların olasılığının üç katına sahip olduğunu bulmuştuk. Önerdiğimiz karanlık madde diskinin varlığını tesis etmek için yeterince güçlü istatistiksel kanıt olmadığı halde, sonuç daha ileri çalışmalara geçecek kadar ümit vericiydi.

Bu yaklaşımın en iyi tarafı, gökadanın kütleçekimsel potansiyeliyle ilgili bilginizin gelişmeye devam edeceğidir. Gökada hakkındaki mevcut tüm bilgiyi dikkate alan yöntemimiz, gökada ve Güneşin hareketi hakkında daha doğru veriler toplandıkça, giderek artan oranda güvenilir hale gelecektir. Bugün bilim insanları gökadadaki madde dağılımını ölçüyorlar. Güncel uydu gözlemleri yıldızların konumlarını ve hızlarını kaydediyorlar; bu da bize onların hissettikleri kütleçekimsel potansiyeli, yani onları Samanyoluna bağlayan potansiyeli çıkarsamaya yardım eder. Dolayısıyla gökada düzleminin yapısı hakkında bu bize daha fazla bilgi verecektir.

Gerçekten heyecan verici sonuçların neler olacağını gösterme hususunda, kuram ve ölçümler, Güneş Sistemi hareketi ile Yeryüzündeki verileri birbirine bağlayacaktır. Gelecekte daha fazla veri,

daha sağlam sonuçlara yönelterek çok daha güvenilir ngrlere yol açacaktır.

Kitabın nc kısmı karanlık madde modellerine geri dönmekte ve krater kayıtlarındaki periyodikliği açıklayan özel modelle perdeyi kapatmaktadır. Periyodikliğin ve Yeryüzünün tarihçesinin incelenmesi, hem görünür çevremizi hem de karanlık maddenin daha semavi dünyasını araştırmak için mkemmek bir haklı nedendir. Bu, bizim oralarda görünmez şekilde doldurulmuş Evrenimizde neler olabileceğiyle ilgili dikkate değer olasılıkları düşünmemizi sağlar.

III. Kısım

KARANLIK MADDEİN KİMLİĞİNİ ÇÖZME

GÖRÜNMEZ DÜNYANIN MADDESİ

Geçen yüzyılın astronomi, fizik ve kozmolojideki kuramsal ve gözlemsel ilerlemeleri bize inanılmayacak kadar çok şey öğretmişti. Fakat Evren asla görmediğimiz –ve büyük olasılıkla asla göremeyeceğimiz– kadar çok şey içerir. Sınırlı görüşümüz çeşitli etmenlerle açıklanır. Bir kere pek çok cisim, gözlemek için bizden aşırı derecede uzaktadır. Çok uzaktaki bir nesne belli ki onu teşhis etmek için yeterli miktarda ışık salamayacak ya da saçamayacaktır, çünkü onun göndereceği her ışık çok geniş bir bölgeye dağılacak ve sönecektir.

Üstüne üstlük bir de toz ya da göksel cisimler görüş çizgimizi engelleyebilir ya da görüşümüzü örtbas edebilir. Evrenin uzak bölgelerindeki uzay sondaları bu engelleri aşmaya yardım etseler de, en yakın gökada şöyle dursun, en yakın yıldız için bile bunu yapacak bir sonda yok. Onlara sınırlı ulaşım ve sadece noksan çözümlemeyle, dolaysız sondalar ancak sınırlı erişim sağlarlar.

Görebileceğimiz nesneyi bile daha başka etmenler de sınırlar. Hemen yakınımızda olsa bile, o nesne fark edilemeyecek kadar küçük olabilir. Görme işlemimiz, araya sokulan teknoloji olmaksızın saptayabileceğimiz şeyleri sınırlar. Görünür dalga boylarıyla gördüğümüz için, görünür ışığın dalga boyundan daha küçük her şey, çıplak gözle algılama becerimizin ötesindedir. En son ilerlemelerle –Genevre'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı teknoloji harikasıdır– hiç olmadığından daha küçük boyuttaki fiziksel süreçleri görebiliriz. Fakat böylesi devasa makineler bile, sadece bir metrenin trilyonda birinin on milyonda birine kadar maddenin içine nüfuz edebilir. Daha fazla teknolojik ilerleme olmaksızın, daha da ufak mesafelerle ilgili boyutlar ve kuvvetler bizim gözleme yetimizin ötesinde kalacaktır.

Fakat karanlık maddeyle ilgili olarak, onu görmemek için çok daha sağlam gerekçeye sahibiz. Karanlık madde ışık salmaz ya da

soğurmaz; oysa bu –kabul edelim ki– insanın görmesi için esastır. Karanlık madde kütleçekim aracılığıyla etkileşir, fakat söyleyebileceğimiz kadarıyla başka sezilebilir tarzı yok. Bölüm 2’de açıklanmış olan nedenlerden dolayı, onun varlığından haberdarız ve onun özelliklerinin bazı kaba yanlarını biliyoruz; fakat karanlık maddenin aslında ne olduğunu henüz kesin şekilde bilmiyoruz. Bu da araştırmak için onu böylesine merak uyandıran bir konu haline getiriyor.

Karanlık madde ile kuyruklu yıldızları birbirine bağlama nihai amacımızın gerçekleşebilme beklentisi içinde, bu bölümde artık Güneş Sisteminin incelenmesinden karanlık madde konusuna geri dönelim ve karanlık maddenin ne olabileceğine değgin bazı önde gelen olasılıkları ele alalım.

MODEL KURMA

Oralarda olduğundan emin olmamıza karşın, karanlık maddenin henüz gerçekte ne olduğunu bilmiyoruz. Evrendeki karanlık maddenin ortalama enerji yoğunluğunu (mikrodalga aralanından), onun yakınlardaki yoğunluğunu (gökadadaki yıldızların dönme hızlarından) biliyoruz. Buna göre, o “soğuk”tur; bu demektir ki o ancak ışık hızının bir kesriyle hareket etmektedir (çünkü evrende küçük ölçekli yapıyı gözleriz). Ayrıca hem sıradan maddeyle hem de kendisiyle olsa olsa aşırı derecede zayıf olarak etkileştiğini (doğrudan araştırmalarda keşif noksanlığından ve Mermi Kümesinin biçimi gibi ölçümlerden) biliyoruz ve onun elektrik yükü taşımadığını da biliyoruz.

Fakat hemen hemen hepsi bu. Karanlık madde bir temel parçacıktan oluşsa bile, onun kütlesini bilmiyoruz; kütleçekimsel olmayan herhangi bir etkileşmeye sahipse, onu da bilmiyoruz ya da erken Evrende nasıl yaratıldığını bilmiyoruz. Ortalama yoğunluğunu biliyoruz, ama henüz gökadamızda santimetre küp başına bir proton kütlesi mi var, yoksa Evren boyunca çok daha dağınık olarak –diyelim ki her kilometre küpe– bölüştürülmüş 1000 trilyon kere proton kütlesi mi var; bunu bilmiyoruz. İyice çok sayıda olan küçük cisimler ve daha seyrek olarak dağıtılmış ağır cisimler aynı ortalama karanlık madde yoğunluğunu verebilir, astronomların ölçtükleri sadece bu yoğunluktur.

Çoğu fizikçi, karanlık maddenin Standart Model etkileşmelerine sahip olmayan yeni bir temel parçacıktan oluştuğunu sanmaktadır. Parçacığı bilmek, onun kütlesini ve etkileşmesini ve belki de yeni parçacıkların daha geniş bir bölümünün bir parçası olduğunu bilmek anlamına gelir. Birçok fizikçinin kendi gözde adayları vardır, fakat gözlemler benden önce davranıncaya kadar hiçbir öneriyi elemeyeceğim.

Neyse ki karanlık maddenin doğasını saptamaya doğru gelişme kaydetmek üzere, fazla katı olmayan bir neden sınırlı görüşümüzde rol oynar. Düpedüz ilgisizlik ya da dikkat eksikliği, bazı şeyleri –şu anki teknolojiyle gözlemek yetisine sahip olabileceğimiz şeyleri bile– gizli tutabilir. Çok sık olarak beklemediğimiz şeyleri görmeyi başaramayız. Ana kişileri fizikçiler olan bir popüler TV gösterisi, *Big Bang Theory*'nin [*Büyük Patlama Kuramı*] setinde “yemek salonu”na katıldığımda, sadece birkaç izleyici fark etmişti varlığımı –kendim de anca böyle yapabilirim–, tamamen TV ekranı içinde, başkarakterin çok yakınında görüldüğüm halde bile. (Şekil 35.)



[ŞEKİL 35] *Big Bang Theory* [*Büyük Patlama Kuramı*] setinde, oldukça dikkat çekmemiş bir “figüran” olarak. (Jim Parsons’un izniyle.)

Bununla birlikte, ilgisizlik düzeltebileceğimiz bir şeydir. Hokkabazlar bu zayıflığın avantajını kullanırlarken, bilim insanları

onu yenmeye çalışırlar. Bizim amacımız dikkat eksikliğinden kaybedebileceğimiz şeyi saptamaktır. Benim gibi model kurucular, henüz deneycilerin bakmadıkları ya da ulaşabileceklerini düşünmedikleri yerlerde neler olabileceğini hayal etmeye çalışırlar. Modellerimizde, bildiğimiz olayların temelinde nelerin yatabileceği ve onların nasıl açıklanabileceği hususlarında tahminler yaparız. Deneyciler, akıllarında özel modellerle, her belirgin öneriyi doğrulamak ya da dışlamak için, araştırmalarını ve veri çözümlemelerini hedefleyebilirler. Anlaşılması çok zor olan mesele bile, bu suretle belirleme başlar.

Bir parçacık fiziği modeli kurmaya çalıştığımda, sık sık uygulayacağım ölçütleri sorarım. Muhakkak her iyi model, mevcut madde veya kuvvetler ya da uzay hakkındaki matematiksel kuramlara genişletilen ya da bunları kullanan esaslı fiziksel fikirlerle dayanmalıdır. Fakat bu basit kuralın ötesinde yol gösterici ilkeler nelerdir?

Çalışma arkadaşlarımin ve benim gözettiğim bir ilke, modellerin olabildiğince ekonomik ve öngörücü olmalarıdır. Aşırı çok sayıda hareketli parça içeren bir model hiçbir şeyi açıklamaz. Her potansiyel sonucu barındırmaya yetecek kadar geniş olan bir model, bilim değildir. Sadece yeterince özel olarak sınılanır ve başka fikirlerden ayırt edilir öngörüler yapan modeller sonuçta ilginç çıkar.

İstenen –esas olmasa da– ek bir özellik, modelin elemanlarının mevcut modellere bağlantısının olmasıdır. Karanlık madde adayı buna bir örnek olabilir; bu, ne de olsa, sıradan maddenin Standart Modeline temel oluşturması için önerilmiş olan modellerde bulunacaktır. Bu tür bir bağlantı garanti edilmese de, böyle ilişkiler, parçacıkların ve kuvvetlerin tamamıyla yeni bir bölümü hakkında ek kurgulardan kaçınmak bakımından ümit vericidir.

Son ve en temel olarak, modeller tüm bilinen deneysel ve gözlemsel sonuçlarla tutarlı olmalıdır. Herhangi tek bir çelişki bir modeli hükümsüz kılmaya yeter. Bu ölçütler, şimdi tartışacağım en popüler karanlık madde modelleri dahil, tüm modellere uygulanır.

WIMP'LER

WIMP'ler fizik ve astrofizik topluluklarının üyeleri arasında onlarca yıldan beri hüküm süren karanlık madde paradigması olmuştur. WIMP, "zayıf olarak etkileşen kütleli parçacık" için bir kısaltmadır. "Zayıf" sözcüğü zayıf çekirdek kuvvetine bir gönderme değildir; pek çok WIMP adayı, Standart Modelin zayıf olarak etkileşen nötrinolarından daha bile zayıf şekilde etkileşir. Fakat etkileşmeler gerçekten de, karanlık madde Evrende gidip gelirken pek saçılmaz anlamında (eğer hiç değilse), iyice zayıftır.

Üstelik, WIMP adayları yaklaşık *zayıf ölçeğin* kütlesine sahiptir; yani, kabaca söylersek, yakınlarda keşfedilmiş olan Higgs parçacığının kütlesi mertebesinde ya da deneylerin bugünlerde Büyük Hadron Çarpıştırıcısında keşfe çıktığı enerjilerde. Netlik açısından, Higgs bozonu kararlı değildir ve etkileşmelere sahiptir. O kesinlikle karanlık maddenin olduğu şey değildir. Fakat yaklaşık aynı kütleli diğer parçacıklar olabilir. Eğer doğruysa, karanlık madde abartısız sadece tam burnumuzun dibinde olmakla kalmaz, aynı zamanda onun kimliği –en azından LHC deneycileri için– yukarıda söylendiği gibi çıkabilir.

WIMP varsayımına destek, karanlık maddenin doğasına bir rastlantı ya da bir ipucu olabilecek dikkate değer bir gözleme dayanır. Eğer yakınlarda keşfedilmiş olan Higgs bozonunun kütleleriyle karşılaştırılabilir kütleli bir kararlı parçacık varsa, bugün Evrende hayatta olan böyle parçacıkların taşıdığı enerji miktarı, Evrenin karanlık maddesi tarafından taşınan enerjiyi açıklamak için neredeyse tam doğru olabilir.

Bu kütleli parçacıkların uygun karanlık madde adayları olduklarını gösteren hesaplama şu gözlemden ileri gelmektedir: Evren evrildikçe ve onun sıcaklığı düştükçe, sıcak olan erken Evrende bol bulunan ağır parçacıklar iyice dağılmış hale gelirler. Bunun nedeni, sıcaklık düştükçe ağır parçacıkların ağır karşı-parçacıklarla (parçacıkların onlarla yok olabildiği eşit-kütleli parçacıklar) yok olmalarıdır; öyle ki onların ikisi de görünmez olur, fakat onların yaratıldığı ters süreç artık önemli oranda meydana gelmez, çünkü onları oluşturmak için yeterli enerji yoktur. Sonuç, ağır parçacıkların sayısal yoğunluğunun Evren soğudukça azalmasıdır.

Parçacıklar sıcaklık düştükçe ısı dağılımlarını –belli özel bir sıcaklıkta onların çevrede olması gereken sayısı– korusaydılar, ağır parçacıkların temelde tümü birbirlerini yok ederlerdi. Bununla birlikte, ağır parçacıkların azalan bolluğu nedeniyle, az önce betimlediğimiz resim aşırı derecede basittir. Yok olmak için, parçacıklar ve karşı-parçacıklar önce birbirlerini bulmalıdırlar.* Fakat onların sayısı düştüğünde ve onlar daha dağınık hale geldiklerinde, bu buluşmanın olasılığı iyice azalmıştı. Sonuç olarak, Evren yaşlandıkça ve soğudukça, parçacıklar daha az verimle yok olmuşlardı.

Sonuç şudur ki basit bir termodinamik uygulamasının ileri süreceğinden oldukça daha fazla parçacık bugüne kalır. Ne de olsa, parçacıklar ve karşı-parçacıklar, ikisi de, öylesine seyrek hale gelmişti ki onlar neredeyse birbirlerini bulamayıp yok olamayacaklardı. Ne kadar parçacığın kalacağı, varsayılan karanlık madde adayının kütesine ve etkileşmelerine bağlıdır. Uygun hesaplamalardan çıkan ilginç ve dikkate değer sonuç şudur: Kabaca Higgs bozonu kütleli kararlı parçacıklar, tam da karanlık maddenin olması gereken bolluğunu verecek kadar kalacak gibidir.

Sayıların tam olarak hesaplanıp hesaplanamayacağını henüz bilmiyoruz. Bunu öğrenmek için ayrıntılı parçacık özelliklerine gerek duyacağız. Fakat rastlantı sonucu, kaba da olsa, yüzeyde tamamiyle farklı iki olay olarak görünenle ilişkili sayılar arasındaki uyuma insanı ayartmaktadır ve bu, Evrende karanlık maddeyi zayıf-ölçekli fiziğin açıklayacağı yolunda bir belirti olabilir.

Bu gözlem birçok fizikçiye karanlık maddenin gerçekten de WIMP parçacıklarından oluştuğu kuşkusuna götürmüştü; zaten bu adaylar bilinmektedir. WIMP'ler, Standart Model fiziğiyle ilişkileri nedeniyle, avantaja sahiptirler; bazı başka karanlık madde adaylarından çok daha kolaylıkla sınanabilirler. WIMP karanlık maddesi sadece kütleçekim aracılığıyla etkileşir. Ayrıca Standart Model parçacıklarıyla kütleçekimsel-olmayan küçük etkileşmelere de sahiptir. Bu etkileşmeler küçük olsa bile, yine de gelecek bölümde betimlenecek direkt saptama deneylerinde etkilerini kayda almak üzere çok duyarlı deneyler için yeterince büyük olabilirlerdi.

* Bazı karanlık madde parçacıkları, kendi karşı-parçacıklarıdır; bu durumda bunlar diğer benzer parçacıklarla yok olabilirler.

Fakat WIMP araştırmacıları şu ana kadar eli boş döndüler. Gerçi, bu tam da doğru değil. Kışkırtıcı saptama ipuçları düzenli olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat hiç kimse bunların herhangi birinin, istatistiksel bir dalgalanmanın, saptama düzeneğiyle bir sorunun ya da aranan etkiyi taklit edebilen astrofiziksel arda-ların bir yanlış anlaşılmasının tersine, gerçekten karanlık madde keşfini temsil ettiğine inanmamıştır. Bu kanıtın henüz kesinlikle üstesinden gelinmiş değildir.

Henüz saptama olmamasına karşın, birçok fizikçi sadece fikri beğenmekte ve hâlâ parçacık fiziğinde ve karanlık maddede içe-rilen ölçeklerin çakışmasının rastlantı olmayacak kadar iyi ol-duğunu düşünmektedir. Sanki bu yeterince çok ümitli değilmiş gibi, birçok kişi daha da ileri gidip süpersimetriyle ilgili çok özel WIMP modellerine inanmaktadır; süpersimetri, her bilinen par-çacığın henüz görülmemiş aynı kütle ve yüklü bir süpersimetrik eşinin var olduğunu ileri süren bir kuramdır. Ne süpersimetrik parçacıklar ne de WIMP'ler henüz keşfedilmediklerinden, en inat-çı destekçilerin bazıları bile biraz kuşku duyduklarını itiraf etme-ye başladılar.

Kanımca, durumu herhangi bir noktadaymış gibi değerlendiri-meye çalışayım. Yakınlarda katıldığım bir düğünde, rahip fiziğe aşırı derecede meraklıydı ve bana karanlık maddenin ne olarak ortaya çıkacağı hususunda benim içten izleniminin ne olduğunu sorup durmuştu. Bunu doğanın kararına bırakıyorum diyerek onu defalarca hayal kırıklığına uğratmıştım. Bir model kurucu olarak, LHC'nin çok yakınlardaki sonuçlarından önce bile, Higgs kütlesi hakkındaki problemlere değinirken süpersimetriye inancım hep daha azdı; çünkü sadece tüm parçaları bir araya getirmenin ne kadar meydan okuyucu olduğunu çok iyi biliyordum. Süpersimet-riyi göz ardı edemezdim ve hâlâ da etmiyorum –deneyler bunun içindir– fakat kuşkusuz ya da büyük olasılıkla doğru olacağını da söyleyemezdim.

Aynı şekilde, karanlık madde adayları hakkında açık görüşlü-yüm. Rahibe söylediğim gerçektir; bir gözdeye sahip değilim. Sı-nanır modeller kurmaya çalışıyorum, çünkü sonunda yanıtı öğ-reneceğimiz tek yol budur. Süpersimetride olduğu gibi, WIMP'ler için deneysel desteğin yokluğu, önceden kesinkes WIMP kampın-da olanlara bile kendilerinin doğru yolda oldukları inanışlarını

sorguluyorlar. Herhangi bir deneysel desteğin yokluğunda, bazı ümitlendirici başka seçenekleri ele almak elbette iyidir. Dünyada hangisi gerçekleşir –eğer onlardan biri gerçekleşirse– bunu bilmiyorum. Fakat belki doğanın bir diğer görünen-çakışması daha iyi bir ipucu oluşturur.

ASİMETRİK KARANLIK MADDE

WIMP karanlık maddesine en ilginç seçeneklerden biri, literatürde çeşitli isimlere sahiptir, fakat en yaygın şekilde *asimetrik karanlık madde* olarak anılmaktadır. Bu tipteki karanlık maddeyi içeren modeller, rastlantısal olabilecek ya da bize karanlık maddenin doğasına ilişkin bilgi verebilecek bir başka dikkate değer çakışmaya gönderme yapar: Karanlık maddenin miktarı ve sıradan maddenin miktarı şaşırtıcı bir şekilde aynıdır.

İtiraf ederim ki, karanlık maddenin sıradan madde enerjisinin beş katını taşıdığını ilk duyduğunuzda, tersi sonuca varmış olabilirdiniz; karanlık madde, sıradan madde tarafından taşınan enerjiyi bastırır. Bununla birlikte, olasılıklar silsilesi üzerinden bakıldığında, onların enerji yoğunlukları önemli ölçüde benzerdir. Karanlık madde miktarı, sıradan maddenin miktarından 700 trilyon kere daha fazla ya da 10 üzeri 100 kere daha az olmuş olabilirdi. Evrenin evrimi kuşkusuz bu durumların her birinde inanılmayacak derecede farklı olabilirdi. Fakat yine de bu oranlar tüm olasılıklar olurdu.

Yine de Evren kabaca karanlık maddeyle aynı sıradan madde miktarını içerir. Onu başka şekilde söylersek, kozmik pastanın tüm dilimlerinin, karanlık enerji, karanlık madde ve sıradan madde tarafından taşınan enerjiyi betimlediğini kolaylıkla görebilirsiniz. Tüm pasta ya da onun bir kırıntısı olarak düşünebileceğiniz bir dilim yoktur. Onlar hep dilimlerdir; fakat o aslında gerçek bir pasta olsaydı, dilimler farklı kilo alımına yol açabilirlerdi. Altında yatan bir neden olmaksızın, bu dikkate değer bir çakışmadır.

Doğrusu, gözleyebileceğimiz katkıların aynı büyüklüklerde olması şaşırtıcı değildir. Aşırı küçük bir katkı ve bir bileşen sapta-nabilir olmayabilirdi. İlginç gözlem şudur ki bugün aynı miktarlarda katkıda bulunmaları için, çeşitli bileşenler yeterince yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. İlke olarak bir katkı diğerlerinden

bir trilyon kere daha büyük olabilirdi, öyle ki küçük olanlar asla gözlenmezdi. Fakat durum böyle değil. Karanlık madde ve sıradan madde çok benzer enerji yoğunluklarına sahiptir.

Asimetrik karanlık madde modellerinde, sıradan madde ile karanlık madde arasında enerji yoğunluklarındaki benzerlik bir rastlantı değildir. Bir öngörüdür. Bu modellerin söylediği çakışma, WIMP modellerinin söylediği varsayılan çakışmadan farklıdır; bu, kısmen yok olduktan sonra karanlık maddede kalan enerji yoğunluğu miktarıyla ilgilidir. Bu çakışmalardan hangisinin –ikisi değilse– anlayışımızı geliştirecek gerçek ipucu olacağını bilmiyoruz. Fakat her iki model tipi de düşünmeye değecek kadar ilgi uyandırıcıdır ve onlardan biri doğru bile çıkabilir.

1990'ların başında, Seattle'daki Washington Üniversitesinde Çekirdek Kuramı Enstitüsünün şimdiki müdürü David B. Kaplan dahil, çok sayıda fizikçi bu olasılığı ele almıştı. Bu fikir, 2000'lerin sonlarındaki çok daha yakın kozmolojik ölçümleri açıklamak için bir başka David Kaplan (daha önce Washington'da öğrenci olmuştu) tarafından, Markus Luty ve Kathryn Zurek adlı fizikçilerle birlikte, diriltilmişti. Birçok başka fizikçi de, ben dahil, bu tip model üzerinde çalışmıştık.

Peki bu fikir nedir? Senaryoyu ve onun dürtüsünü anlamak için, sıradan maddeyi yansıtmak üzere bir an için bir adım geri gidelim. Bölüm 3'te değindiğimiz gibi, tanımlanmamış karanlık madde şu anda bir gizem sunan tek madde biçimi değildir. Bildik, sıradan madde de öyledir; özellikle onun bugün Evrende bulduğumuz miktarı. En sıradan maddenin enerjisi protonlarda ve nötronlarda yatar; bunlar, en alt-düzeyde kuark denen temel parçacıklardan oluşan *baryon*-maddesinin bir biçimidir. Çoğunlukla baryonlardan oluşan sıradan madde en basit erken Evren senaryosuna göre dağılmıştı; Evren soğudukça yok olarak, şu anda gözlediğimizden çok daha düşük yoğunluğa sahip olabilirdi.

Evrenimiz –ve kendimiz– için kritik bir durum şudur; standart ısıl beklentilere karşın, sıradan madde bir yere ayrılmayıp hayvanları, şehirleri ve yıldızları yaratmaya yetecek miktarlarda geriye kalmıştır. Bu ancak madde karşı-maddeye baskın çıktığı için olmuştur; bir madde/karşı-madde asimetrisi vardır. Miktarlar da-ima eşit olsaydı, madde ve karşı-madde birbirlerini bulurdu, yok ederdi ve yok olurdu.

Şurası açıktır ki Evrenin evrilmesinde bir noktada, madde miktarı karşı-madde miktarını aşmıştı. Böyle bir fazlalık olmaksızın, şimdiye kadar çok fazla madde gitmiş olurdu. Fakat bunun nasıl meydana geldiğini bilmiyoruz. Madde-karşı-madde asimetrisi ancak erken Evrende bazı özel etkileşmelerle ve koşullarla olmuştu. Bir süreç –Evrenin genişlemesine ayak uydurmak için aşırı yavaş ilerleyerek– ısı dengelinin dışına çıkmış olmalıydı, aksi halde madde ve karşı-madde parçacıkları eşit sayılarda yaratılırlardı. Üstelik, doğal görünebilecek simetriler, fazlalık madde yaratıldığı zaman uygulanamaz.

Simetri bozulmasını ya da ısı dengeden ayrılmayı neyin meydana getirdiğini bilmiyoruz; her ikisi için de Büyük Birleştirme Kuramlarında, lepton modellerinde (yeğin etkileşmelere uğramayan elektronlar ve nötrinolar gibi parçacıklar) ve süpersimetride öneriler olsa da. Bu modellerin hangisinin –eğer varsa– doğru olduğunu, birisi gözlemsel kanıtlar buluncaya kadar, hiç kimse bilemeyecek. Ne yazık ki bu senaryoların birçoğu kolayca gözlenebilir sonuçlara sahip olmaz.

Böyle olsa bile, bir yerde *baryogenesis* (baryon oluşumu) denen bir sürecin meydana geldiğinden emin olabiliriz; bu süreçte maddenin karşı-maddeye göre fazlalığı –bir madde-karşı-madde asimetrisi– meydana gelmişti. Baryogenesis olmaksızın, hiçbirimiz bu kısmi öyküyü anlatmak için burada olamazdık.

Karanlık madde enerji yoğunluğu sıradan maddeninkine o kadar benzemektedir ki, asimetric karanlık madde modelleri, belki karanlık maddenin de karanlık madde-karanlık karşı-madde asimetrisi yarattığını ileri sürer. Bu konuda çalıştığımızda, Caltech'te bir doktora-sonrası araştırmacısı olan Matthew Buckley ve ben, karanlık madde fikrini bilinmeyen *X* niceliğiyle temsil ederek, bu sürece *Xogenesis* etiketini yakıştırmıştık. Bu modellerin herhangi birinin aslında çok etkili yanı, sadece karanlık madde yaratımına sıradan maddeyle benzerlik içinde izin vermesi değildi. İkisi de gerçekten en ilginç örneklerde bağlantılıydılar. Karanlık madde ve sıradan madde bir etkileşme biçimine sahipse, –bu, oldukça zayıf bir etkileşme bile olabilir ve belki önceleri daha yeğin olmuş bir etkileşme de olabilir– açıklamak istediğimiz çakışmayı adres göstererek, sıradan maddenin ve karanlık maddenin enerji yoğunluğu kıyaslanabilir olmalıdır. Bu

modellerin doğru çıkabileceğine inanmak için en kuvvetli güdüleme budur.

AKSİYONLAR

WIMP ve asimetric karanlık madde modellerinin ikisi de genel paradigmalardır. WIMP-tipi modeller zayıf-ölçekli bir kararlı parçacık içerirken, asimetric karanlık madde modelleri karanlık maddenin karşı-karanlık maddeye üstün olduğu bir asimetri önerir. İki düşünce de, ayırt edici parçacıklar ve etkileşmeler içerebilen geniş bir gerçekleştirme çeşitliliğini kapsamaktadır.

Aksiyon modelleri daha sınırlayıcı bir senaryoyla uğraşmaktadır. Bir aksiyon sadece parçacık fiziğinde güçlü *CP* problemi olarak bilinen çok özel bir meseleyle ilişkili modellerde ortaya çıkar; burada *C* yükü ve *P* pariteyi temsil eder. *C* -ya da yük- korunumu, artı ve eksi yüklü parçacıkların etkileşmelerinin yakından ilişkili olduklarını söyler. *P* -ya da parite- simetrisiye hiçbir fizik yasası solu sağdan ayırmamalıdır der; öyle ki örneğin sola dönen parçacıklar ve sağa dönenler özdeş etkileşmelere sahip olmalıdırlar. Ama doğa etkileşmeleri sadece bağımsız olarak *C* ve *P*'yi bozmakla kalmaz. Doğa etkileşmeleri onların karışımalarını da bozar. Bu demektir ki *C* ve *P*'deki bozulmalar birbirlerini telafi etmez.

Bununla birlikte, henüz bilinmeyen nedenlerle, *CP* bozulumu -*C* ve *P* simetrilerinin karışımı olarak bilinir- sadece bazı süreçlerde meydana gelir. *CP*'nin neden bazı durumlardaki etkileşmelere sınırlandığının, fakat Standart Model fiziği bağlamındaki etkileşmelerde yer almadığının bir açıklamasının olmayışı, *güçlü CP problemi* olarak bilinir. Aksiyonlar bu çıkmaza önerilmiş bir çözüm içinde rol alırlar.

Buna tamamen bütünlük için değiniyorum. Parçacık fiziğinde biraz bilgi birikimi ya da konu hakkında bütün bir kitap olmaksızın, bu fikirlerin kavranmasının zor olacağını farkındayım. Neyse ki, aksiyonun kozmolojik çıkarımlarını ve onun potansiyel bir karanlık madde adayı olarak rolünü anlamak için parçacık fiziğinin inceliklerini izlemeye ihtiyacınız olmaz. Kozmolojik öngörüler sadece aşırı derecede hafif olan ve aşırı zayıf etkileşmelere sahip bir aksiyona bağlıdır.

Böyle özelliklerin aksiyonları zararsız hale sokacağını düşünebilirsiniz; aslında birçok fizikçinin başlangıçta düşündüğü buydu. Fakat dikkate değer bir makalede, parçacık fizikçileri John Preskill, Frank Wilczek ve Mark Wise bunun niçin tam doğru olmadığını açıklamışlardı. Bu yazarlar şunu göstermişlerdi; aksiyonlar o kadar zayıf etkileşmekte ve o kadar hafiftirler ki çok sayıda aksiyon erken Evrenin enerjisini etkileyemezdi. Hiçbir fiziksel süreç ortalıkta onlardan ne kadar olduğunu saptamamıştı. Onların varlığı, Evren yeterince soğuyuncaya dek Evrenin evrimini etkileyememişti.

Aksiyon yoğunluğunun başlangıçta konu dışı olması nedeniyle, aksiyonlar en sonunda bir fark yarattıkları zamanda, onların sayısının, Evrenin yeğleyebileceği bir sayı –örneğin, enerjiyi en aza indirecek olan sayı– olması çok uzak bir olasılıktır. Evren dolayısıyla o zaman kendisini büyük sayıda aksiyonla muazzam yoğunmuş bir halde bulabilirdi; o kadar çok ki, aksiyon çok hafif olsa bile, aksiyon yoğunlaşmasının enerjisi büyük olur. Şaşırtıcı bir halde, aksiyonlar aşırı zayıf olarak etkileşemezler ya da Evren düşünülenden daha fazla enerjiye sahip olabilir.

Yukarıdaki düşünceler aksiyonların izinli etkileşme aralığını sınırlar. Fakat bu gözlemi onun lehine çevirelim: Etkileşmeler zayıf fakat aşırı zayıf değilse, aksiyonlar çok büyük bir enerji yoğunluğu taşıyabilir; ille gözlemlerle çelişecek kadar da çok değil. Aslında, etkileşme şiddeti tam kararındaysa, karanlık madde tam da ölçülen karanlık madde yoğunluğunu taşıyan aksiyonlardan ibaret olabilir.

Aksiyonlar daha önce betimlenen karanlık madde adaylarının her ikisinden de çok farklı bir kütleyle sahiptir. Karanlık madde parçacıklarının zayıf-ölçeğe yakın kütleli ya da belki yüz kere daha hafif kütleli olarak önerilmiş olan diğer iki hali dikkate alırsa, aksiyon senaryoları, en azından bir milyar kere daha küçük kütleli, aşırı derecede hafif parçacıklar içerir.

Üstüne üstlük, aksiyonlar diğer karanlık madde adaylarından çok farklı olarak etkileşirler. Kozmolojik ve astrofiziksel sınırlamaların karışımı, aksiyon modellerini izin verilebilir kütlelerin ve şiddetlerin çok dar bir aralığına yerleştirir. Etkileşmeler aşırı zayıf olamaz ya da haddinden fazla aksiyon enerjisi yoğunluğu olabilir. Fakat etkileşmeler aşırı yeğin de olamaz ya da aksiyonla-

rı parçacık deneylerinde veya yıldızlarda doğrudan üretimle görülebilmek. Bunun nedeni, yeterince yoğun etkileşen aksiyonların yıldızlarda üretilebileceği ve bu suretle onları soğutabileceğidir. Süpernovaların gözlenen soğuma hızı, standart-olmayan katkıların hiçbir belirtisini göstermez ve böylece aksiyonların etkileşebileceği şiddete sınırlama getirmiş olur.

Kuramsal olarak, bu sınırlamaların ışığında, aksiyon modellerini şu bakımdan biraz tuhaf buluyorum; deneysel olarak izinli etkileşmelerin aralığı, herhangi başka fiziksel süreçlere açık bir bağlılık olmadığından oldukça rastgeledir. Aksiyonları arayan deneylerin pozitif bir sonuç bulacağı hususunda biraz kuşkuluyum, fakat birçok meslektaşım daha iyimserdir. Sürmekte olan aksiyon aramaları, onların ışıkla kuşkusuz iyice zayıf olan etkileşmesini içerir. Muazzam manyetik alanlar içine yerleştirilmiş olan aksiyon algılayıcıları, aksiyonun manyetik alanla etkileşmesinin doğuracağı ölçülebilir ısınım ararlar. Ancak zaman –ve böyle deneyler– doğada aksiyonun var olup olmadığını ve eğer varsalar, gerçekten karanlık maddeyi oluşturup oluşturmadıklarını söyleyecektir.

NÖTRİNOLAR

Sunmuş olduğum tüm modellerin ortak yanı, sıradan madde ile karanlık madde arasında bir bağlantı içermeleridir; bu bağlantı, ya WIMP'ler için kütle ölçeklerinin çakışmasıyla, asimetrik karanlık madde modelleri için enerji yoğunluklarının yaklaşıklığıyla ya da aksiyonlar halinde güçlü CP problemine önerilmiş bir çözümle kapalı şekilde söylenir. Aksiyon modelleri bir parçacık fiziği nedeni için varsayılmıştı, fakat bununla birlikte karanlık maddeye açıklama getirebilirdi. WIMP'ler de, süpersimetri gibi, önerilmiş parçacık fiziği senaryolarının parçası olarak ön plana çıkarlar. Asimetrik karanlık madde modelleri de mevcut kuramlar çerçevesinde var olabilir, fakat karanlık madde ve sıradan madde arasındaki etkileşmelere karşın, genelde bir asimetrik karanlık madde adayı kurama dışarıdan gelen bir ektir.

Yine de, karanlık madde –ya da hiç olmazsa onun bir kısmı– yalnızca kütleçekimsel olarak etkileşir. Karanlık madde, bizim maddemizce hissedilmeyen bazı kendi kuvvetlerine ve etkileşmelerine de sahip olabilir.

Fakat bağımsız bir karanlık madde bölümünün varlığını ileri sürmeden önce, fizikçiler ilkin sıradan maddenin herhangi bir tipinin bizzat kendisinin karanlık madde olmaya izin verebilecek özelliklere sahip olup olamayacağını düşünmüşlerdi. Soru şuydu: Acaba Standart Modelde herhangi bir şey ya da Standart Model parçacıklarından oluşmuş bir şey, ek parçacıklar eklenmeden bile, uygun bir karanlık madde adayı olabilir miydi?

Böyle ilk önerilerden biri, *nötrino* denen bir temel parçacık tipine aitti. Beta bozunumu olarak bilinen bir radyoaktif süreçte, bir nötron, bir proton ile bir elektron ve bir *nötrinoya* (aslında, teknik olarak, *karşı-nötrino* olarak bilinen karşı-parçacığına) bozunur. Nötrinolar –elektronlar ve onların *müonlar* ve *tau’lar* olarak bilinen daha ağır eşleri gibi– yeğin çekirdek kuvvetlerini hissetmezler. Ayrıca, elektrik yükü taşımazlar, böylece doğrudan doğruya elektromanyetizmaya da maruz kalmazlar. Nötrinoların en ilginç özelliklerinden biri, (aşırı küçük düzeyde olsa da, tüm parçacıkların maruz kaldığı kütleçekim dışında) doğrudan doğruya sadece zayıf kuvvet aracılığıyla etkileştikleridir. Bir diğer özelliği, çok hafif olarak bilinmeleridir; bir elektrondan en az bir milyon kez daha hafiftirler.

Böylesine zayıf etkileştiklerinden, nötrinolar özgün olarak ümit verici karanlık madde adayları gibi görünmüşlerdi. Fakat şu ana kadar bu ümit çeşitli nedenlerle yok edildi. Standart Modelin nötrinoları zayıf çekirdek kuvveti aracılığıyla etkileşir. Fakat zayıf etkileşmelere sahip yeterince hafif her şey için, gelen bölümde tartışılan doğrudan saptama deneyleri –ki şimdiye kadar hep eli boş döndüler– bir şey görmüş olabilirdi. Bununla da kalmayıp, var olduklarını bildiğimiz sıradan nötrinolar karanlık madde olmazlar, çünkü onların enerji yoğunluğu aşırı küçüktür. Karanlık madde enerjisinin nötrinolarinkine denk olması için nötrinolar çok daha ağır olmalıydılar.

Aslında, neredeyse ışık hızıyla ilerleyen hafif nötrinolar bir *sıcak karanlık madde* biçimi olabilir. Sıcak karanlık madde bir süper kümeden daha küçük ölçeklerdeki yapıyı silip yok edebilir. Yine de gökadalari ve gökada kümelerini gözleriz. Bu yüzden bu bir problem olabilir.

Dolayısıyla nötrinolar parçacık fiziğinin Standart Modeli bağlamında işe yarar. Fizikçiler sonradan Standart Modele düzeltme-

ler düşünmüşlerdi, ama bunlar da çalışmadı. Nötrinolar gibi etkileşen parçacıklar –nötrinoların düzeltilmiş biçimleri bile– Bölüm 5'te özetlenmiş olan yapı oluşumunun güzel hikâyesine yol açmaz.

İlke olarak, sıcak karanlık madde hâlâ yoluna girebilir, eğer var olduklarını bildiğimiz küçükçe yapılar doğrudan oluşmayıp daha büyük yapıların parçalanmasından oluşmuşlarsa. Fakat bu senaryo sayısal olarak hesaplanabilir ve öngörüler gözlemlerle denk düşmezler. Böylece yeni hafif nötrinoların rastlantısal ipuçlarına ve karanlık madde nötrinoları hakkındaki manşetlerle karşın, nötrinolar aslında karanlık madde değildir. Nötrinolar mevcut karanlık madde yoğunluğunun en iyimser görüşle ancak küçük bir kesrini açıklayabilir. Fizikçilerin dikkatlerini *soğuk karanlık madde* senaryolarına yoğunlaştırmalarının nedeni budur; bu senaryo çok daha yavaş hareket eden, genelde daha ağır karanlık madde adayları önermektedir. *Sıcak karanlık madde* senaryoları –nötrinolar gibi hafif ve çok hızlı hareket eden parçacıklara sahip olduğunuz zaman elde ettikleriniz– ortadan kaldırılmıştır.

MACHO'LAR

Son olarak, görünüşte çok daha muhtemel olan bir olasılığı ele alalım; karanlık madde yeni temel parçacıklardan değil de, bunun yerine sıradan nesnelerden yapılmış yanmayan (ve dolayısıyla ışık salmayan), yansıtmayan makroskobik yapılardan oluşmuş olsun. Karanlık bir odada neden görmüyorsak, bu cisimleri de aynı nedenle görmeyiz. Etrafınızdaki bu nesneler bir düzeyde ışıkla etkileşmediği için değildir bu. Sadece etrafta sizin görmeniz için yeterli ışık olmadığındandır. Karanlık maddenin varlığını kabul etmeden önce, her bir kişi –bilimsel eğilimli ya da değil– apaçık gibi görünen bu olasılığın neden gerçek olmadığını bilmek ister.

Bunlar gibi karanlık cisimler toplu olarak MACHO'lar diye bilinir; bu, kütleli tıkız halesel cisimlerin (*massive compact halo objects*) baş harflerinden yapılmış bir kısaltmadır. Bunların rolü, WIMP'lere bir seçenek olarak adından da bellidir. MACHO'lar çok az ya da hiç saptanır ışık salmadıklarına göre, sıradan maddeden ibaret olsalar bile, gizlenmiş ya da karanlık olarak ortaya çıkabilirler. MACHO adayları kara delikleri, nötron yıldızlarını ve kahverengi cüceleri kapsar.

Daha önce tanıtıldığı gibi, kara delikler maddenin çok sıkı şekilde kütleçekimsel olarak bağlı durumları olup, ışık salmazlar ya da yansıtımazlar. *Nötron yıldızları* –muhtemelen süpernova çökmesinde oluşmuş– çok cüsseli yıldızların artıklarıdır; tam yeterli maddeye sahip olmadıkları için kara delik haline gelememişler, ama bunun yerine aşırı yoğun nötron göbekli durumlara yoğunlaşmışlardır. *Kahverengi cüceler* ise Jüpiter’den büyük fakat yıldızlardan küçük cisimlerdir; dolayısıyla çekirdek kaynaşması aracılığıyla yanamayıp, bunun yerine sadece kütleçekimsel büzülmeleriyle ısınmışlardır.

Yukarıdaki astrofiziksel cisimler kesinlikle akla yatkın olasılıklar gibi görünürler. Fakat yakınlardaki gözlemlerden önce bile bu olasılık ciddi bir şekilde kısıtlanmıştı; MACHO’lar olasılık dışı olarak düşünülmüştü. Bölüm 4’ten hatırlayabilirsiniz ki standart Büyük Patlama senaryosunun ilk sınamalarından biri, erken Evrende çekirdeklerin oluşumuydu; ilksel çekirdek-bileşmesi olarak bilinen süreç. Fakat bu senaryo sıradan maddedeki enerji yoğunluğunun sadece bazı belli değerler aralığı için işler. Çoğu MACHO modeli doğru çekirdek bolluğu öngörülerini vermesi için aşırı miktarda sıradan madde gerektirir. Bu da yetmezmiş gibi, bu tıkHz cisimleri sıradan madde oluşturmuş olsa bile, bunların gökadasal disk halinde değil de bir hale halinde nasıl son bulunduğunu anlamak bir başka önemli meydan okuma koyar ortaya.

Böyle olsa bile, astofizikçiler açık görüşlüdürler. Karanlık madde olağanüstü bir öneridir, dolayısıyla her geleneksel açıklamanın hükümsüz kılınmasını kesinleştirmeye değer. 1990’larda, fizikçiler *hassas merceklenme* denen bir işlemle MACHO’ları aramışlardı. Bu güzel ve incelikli fikre göre, uzay boyunca hareket eden MACHO’lar arada sırada bir yıldızın önünden geçerler. Işık ışınları bir MACHO (ya da herhangi bir cüsseli cisim) civarında eğildiğinden, bu MACHO bir mercek gibi davranır; onun kütleçekimsel etkisi geçici olarak yıldızdan gelen ışığı büyültür, normale dönmeden önce onu daha parlak gösterir. Kuşkusuz bu gözlenemeyecek kadar kısa bir süre ölçeğinde meydana gelmeli ve genellikle değişme saptanacak kadar büyük olmalıdır. Fakat astronomlar bu yöntemi kullanarak, Ayın üçte bir kütlesiyle Güneşin 100 katı arasında kütleli MACHO’ların karanlık madde olamayacağını gösterebilmişlerdi; bu suretle birçok MACHO adayını elemişlerdi.

MACHO araştırmaları nötron yıldızlarını ve beyaz cüceleri ele-dikleri halde, dar bir kütle aralığındaki kara delikler bir olasılık ola-rak kalmıştı. Verilen herhangi bir kütle aralığında doğru miktarda kara deliğin olabileceğine inanmak için kuramsal nedenlerin yoklu-ğu bir yana, hem kara deliklerin neden olduğu kütleçekimsel bozul-malar hem de bir kara deliğin varlığının devam süresi daha fazla sınırlar koyar. Aşırı küçük olan kara delikler zaten Hawking ışınımı denen (onu ilk öneren fizikçi Stephen Hawking'ten bu ismi almıştır) bir süreçte fotonlar salarak bozunacakları için bu böyledir; oysa aşırı büyük olanlar gözlenebilir etkilere sahip olabilirlerdi, ama bu görülmemiştir. Bunlar, ikili sistemlerin bozulmasını, Samanyolu düzlemini ısıtabilen ve genişleten saçılmayı, kara deliklerin başka madde toplamasını ve ışınım yaymasını ve de kara deliklerle ilgili kütleçekim dalgalarının kesin olarak ölçülmüş atarca zamanlaması üzerine etkisini içerirler. Sınırlamaları bir araya getirerek, bir Ay kütesinin yaklaşık milyonda birinden bir Ay kütesine kadarki kara delik kütlelerine müsaade edilebilir, fakat bu kütle aralığının dışın-daki kara delikler dışlanırlar. Nötron yıldızı özelliklerinin ayrıntılı ölçümleri, bu kalan sınırlı aralığı bile hükümsüz kılar.

Kara delik kütleleri için çok küçük bir pencerede ısrar edilse bile, neden sadece bu tek özel kütle aralığındaki kara deliklerin yaratılabildiğini ve yeterli miktarlarda ayakta kalabildiğini de-rinlemesine kavramak zor olacaktır. Bu olasılığı düşünmek hiç de hakça olmaz. Fakat çekirdek-bileşmesi ve model-geliştirme sı-nırlamalarından yola çıkarak, kara deliklerin –ve özellikle sadece sıradan maddeyle yaratılmış olanların– karanlık madde olmaları aşırı derecede olasılıksız görünmektedir.

NE YAPMALI?

Yukarıdaki modeller karanlık madde için en yaygın olarak tartışı-lan, çoğu fizikçinin akla yakın olasılıklar olarak düşündüğü aday-ları içermektedir. Fakat bunlar neredeyse kesinlikle tek seçenek değildir. Bu fikirlerin bazıları hâlâ ümit verici olsa da, deneysel olarak doğrulanıncaya dek, her özel model ya da özellik için iyim-ser olma yolunda iyi bir nedene sahibiz.

Diğer taraftan, henüz onun ne olduğunu bilmesek de, karanlık maddenin var olduğuna emin olabiliriz. Hem kuramcılar hem de

deneyciler için, şu an daha tam bir seçenekler silsilesini yeniden değerlendirmenin ve ele almaya çalışmanın tam zamanıdır. Onların çoğu farklı türden araştırma taktikleri içerir. Değişik modeller bunları planlamada yararlı olacaktır.

Fakat bazı daha yeni fikirler edinmeden önce, şu andaki durumu daha bilgili şekilde değerlendirmek için, ilkin mevcut karanlık madde arama yöntemlerini gözden geçireceğiz. Göreceğiz ki daha önce önerilen modellerin algılama yoksunluğuyla bir araya getirilmiş astrofizikteki bol veriler, deneycilere ve gözlemcilere, bu eskice ve daha gelişmiş karanlık madde aramalarının ötesine bakmaları için iyi bir neden sağlar.

KARANLIKTA NASIL GÖRÜRÜZ?

Brown Üniversitesi profesörü ve LUX'un (başlıca karanlık madde saptama deneyi) esas araştırmacısı ve eşsözcüsü Richard Gaitskell Aralık 2013'te Harvard'da düzenlenen bir kolokyumda, toplantıya katılan çok sayıda fizik bölümü üyesini mest edercesine, onlara kendisinin ve arkadaşlarının karanlık maddeyi henüz nasıl keşfedemediklerini neşeli bir şekilde anlatmıştı. Deneyinin başarı ölçüsü, gariptir ki, geniş bir modeller sınıfının ve hatta (şimdi) yapay görünen bazı deneysel sonuçların ileri sürdüğü birçok karanlık madde adayını hükümsüz kılmasıydı. Yine de karanlık maddenin –kendi deneyiyle ya da bir başka deneyle– henüz bulunamadığı yolundaki umut kırıcı fizik haberine karşın, Gaitskell haklı olarak sevinmişti. Onun ve diğerlerinin kurduğu bu meydan okuyucu deney, umut ettiği gibi, çalışmıştı. Doğanın iş birliğine girmemesi ve deneyinin bulabileceği kütleli ve etkileşme şiddetli bir karanlık madde adayı temin etmemesi onun hatası değildi.

Bu, LUX deneyinden çıkan sonuçların sadece ilk kümesiydi; deney sürmekte ve daha fazla veri toplanmaktadır. Yine de bu deney, daha eski, ta ilk başta iyi-kurulmuş deneylerden çıkan sonuçlara yetişip onları geçmişti. Gaitskell ve arkadaşları öyle temiz bir çevre yaratmışlardı ki deneyin gerçek ilk sonuçları eski bulguların yerine geçecek kadar güvenilirirdi. Derbeder bir deneycinin yanlış parmak izinden gelecek radyoaktivitenin bir karanlık madde parçacığının aranan cılız izinden milyar kere daha fazla "sinyal" katkısı verebileceği bir ortamda, Gaitskell'in deneyi olağanüstü bir şekilde iyi yapılmıştı. Deneyin topladığı temiz ve güvenilir veriler kesin olarak şunu pekiştirmişti ki onun düzeneği, yapmayı tasarladığı aşırı derecede duyarlı araştırmalar ve her yanlış sinyalin güvenilir reddedilişi gibi birçok şeyi kesinkes düşünmüştü.

Bir sürü veri bugünün en son teknolojisiyle toplanmıştı ve onların tümü kullanıcıların tercihleri değildi. Şu anda toplanmış

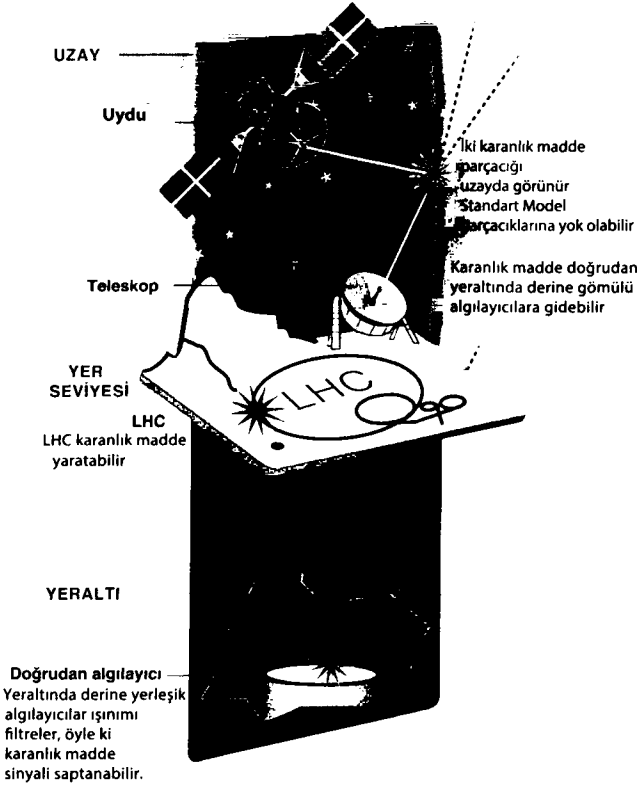
olan veriler parçacık fiziği, astronomi ve kozmolojide –ayrıca diğer bilim alanlarında– ilerlemelere yol açacaktır. Gerçi hiçbir deney karanlık maddeyi kesinkes keşfetmediyse de, birçok deney gösterip-de-vermeyen sonuçlar sunmuştu. Bazen Gaitskell'inki gibi bir deney ortaya çıkar ve pek kesin olmayan ölçümlere sahip daha önceki bir deneyin önerdiği ümit verici birçok olasılığı kapı dışarı eder. Gaitskell ve diğerleri, gerçek bir keşfi temsil edecek daha sağlıklı bir sinyal bulma ümidiyle deneylerini sürdürmekte.

Bununla birlikte, karanlık madde arayışı ürkütücü bir iş-tir. Kütleçekim böylesine zayıf bir kuvvet olduğundan, karanlık maddenin oluştuğu parçacıkların araştırılması için, karanlık maddenin maruz kaldığı henüz bilmediğimiz etkileşmelerin kesinlikle ortaya çıkarılması gerekir. Eğer karanlık madde sadece kütleçekimsel olarak ya da sıradan maddenin maruz kalmadığı yeni kuvvetler aracılığıyla etkileşiyorsa, geleneksel karanlık madde aramaları onu asla bulamayacaktır. Standart Model kuvvetleri karanlık madde üzerine etki etse bile, etkileşmelerin şimdiki deneylerin saptayacağı kadar kuvvetli olduklarından emin olamayız yine de.

Bugünün araştırmaları şöyle bir inanca bel bağlar; karanlık madde, şu sıralarda görünmemesine karşın, onu kaydetmek üzere sıradan maddeden yapılmış algılayıcılar için yeterince önemli etkileşmelere sahip olmalıdır. Bu kısmen bir hayaldir. Fakat iyimserlik de önceki bölümde tartışılmış olan WIMP modellerinin içermelerinden kaynaklanmaktadır. Çoğu WIMP karanlık madde adayları Standart Model parçacıklarıyla gerçekten de iyice az, fakat şimdi iş başında olan çok hassas deneylerle gözlenebilecek oranda etkileşmelidir. Araştırmalar artık öyle bir noktaya ulaştı ki, bu deneyler son sonuçlarını sunar sunmaz, çoğu WIMP modeli ya doğrulanacak ya da elenecektir.

İzleyen bölümlerde diğer karanlık madde modellerini incelerken, onların çok farklı bazı gözlemsel çıkarımlarını sunacağım. Fakat bu bölümün odağı WIMP karanlık maddesidir. (Şekil 36.) Karanlık maddenin ele geçmesi zordur, fakat deneyciler araştırmalarında onun incelikli gözlenebilir sonuçları için gözü pek olmuşlardı.

KARANLIKTA NASIL GÖRÜRÜZ?



[ŞEKİL 36] WIMP aramaları üç-çatallı yaklaşım gösterir. Yeraltı algılayıcıları hedef çekirdeklere doğrudan çarpan karanlık madde arar. LHC'deki deneyler LHC'nin yarattığı karanlık madde kanıtını bulabilir. Uydular ya da teleskoplar, dolaylı saptama aramalarında görünür maddeye bozulan karanlık maddenin kanıtını arar.

DOĞRUDAN SAPTAMA DENEYLERİ

WIMP'leri arayan deneylerin ilk sınıfı *doğrudan saptama* sınıfına girer. Doğrudan saptama deneyleri Yeryüzü üzerinde muazzam, aşırı derecede duyarlı düzenekler içerir; onların büyük saptama hacmi, karanlık maddenin (en iyisinden) ufak etkileşme şiddetini telafi etmek için tasarlanmıştır. Bu araştırmaların ardındaki fikir, karanlık maddenin bir çekirdeğe çarpıncaya dek bir algılayıcı-

cının malzemesi boyunca hareket etmesidir. Bu etkileşme o zaman küçük miktarda bir geri tepme ısısı ya da enerjisi temin eder ki bu, ilke olarak, ya çok soğuk bir algılayıcıyla ya da depolanmış azıcık ısıyı soğurup kaydetmesi için tasarlanmış çok duyarlı bir malzemeyle ölçülebilir. Eğer karanlık madde parçacığı doğrudan saptama düzeneği boyunca geçer, bir çekirdeğe çarpar ve ondan zarif bir şekilde sekerse, deney, parçacığın geçişinin potansiyel olarak ölçülebilen tek kanıtı olan enerjideki bu ufacık değişimi kaydedebilir. Herhangi bir tek etkileşmenin şansı çok küçük olsa da, başarı olasılığı, daha büyük boyutlarda ve daha iyi duyarlılıkta artar; deneylerin çok büyük olmalarının nedeni budur.

Sıfırtaltı (cryogenic) algılayıcılar germanyum gibi kristal soğuruculu çok soğuk düzeneklerdir. Algılayıcının içine kurulmuş *SQUID*'ler –süperiletken kuantum girişim düzenekleri– kullanarak küçük miktarda ısıya tepki verirler. Küçük bir enerji miktarı bile algılayıcının içine kurulmuş olan bu çok soğuk aşırı iletken malzemeye çarparsa, bu düzenekler aşırı iletkenliğini kaybeder ve olası bir karanlık madde olayını kaydederler. Bu sınıftaki deneyler, Sıfırtaltı Karanlık madde Araması (CDMS), Süperiletken Termometrelerle Sıfırtaltı Nadir Olay Araması (CRESST) ve Yeraltı Bölgesinde WIMP'leri Saptama Deneyi –esas adı Fransızca *Expérience pour Détecter Les Wimps en Site Souterrain*'dir– (EDELWEISS) gibi deneyleri içerir. İsimler bir tomar baş harften oluşmakla birlikte, fizikçiler sadece daha uysal olanlarını kullanır.

Doğrudan saptamada kullanılan tek algılayıcı tipi, sıfırtaltı algılayıcılar değildir. Önemleri hızla artan diğer tip algılayıcılar da asal sıvılar kullanılır. Karanlık madde doğrudan ışıkla etkileşmese bile, bir karanlık madde parçacığının çarpması halinde bir ksenon ya da argon atomuna eklenen enerji, karakteristik bir ani parıldama ışığı üretir. Bu cins deneyler, ksenon-tabanlı XENON100 deneyini, yukarıda değindiğim LUX (Büyük Yeraltı Xenon Dedektörü) deneyini ve ayrıca argon-tabanlı ZEPLIN, DEAP, WARP, DarkSide ve ArDM isimli deneyleri kapsar.

XENON ve LUX'un ikisi, gelecek yıllarda, XENON1T ve LUX-ZEPLIN işbirliği olarak, daha büyütülmüş ve daha iyileştirilmiş hale getirilecektir. İlerleme hakkında bir fikir vermiş olmak için, özgün XENON100 adındaki 100 kaba bir kilogram ölçüsüydü, bu radaki 1T ise "bir ton"u temsil etmektedir. LUX-ZEPLIN beş ton-

luk *güvenilir* hacmiyle daha bile büyük olacaktır; bu, karanlık madde saptaması için kullanılan bölgedir.

Sıfırtaltı algılayıcılar ve asal gaz algılayıcılarının ikisi de, bir karanlık madde parçacığının bırakabileceği ufacak enerjiyi kaydetmesi için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bu olabildiğince etkileyici olsa da, enerjideki çok küçük bir değişmeyi algılamak, oradan bir karanlık madde parçacığının geçtiğini kanıtlamaya yetmeyecektir. Deneyciler ayrıca karanlık maddeyi taklit eden küçük enerji miktarları bırakan ve sıradan maddeyle karanlık maddenin asla yapamayacağı kadar çok yeğin etkileşen ardaalan ışınlamını değil, istenen sinyali kaydettiklerini kanıtlamaya da gerek duyarlar.

Bu zordur. Işınım, duyarlı bir karanlık madde saptama düzeneği açısından, her yerdedir. Kozmik ışın müonları –elektronların daha ağır eşleri– kayalara çarpabilir ve bir parçacıklar serpintisi yaratabilir; karanlık maddeyi taklit eden bazı nötronların yapabileceği gibi. Karanlık madde parçacıklarının kütle ve etkileşme şiddeti hakkında akla yakın iyimser varsayımlar yaparak bile, elektromanyetik ardaalan olayları en azından bin çarpanıyla sinyale baskın çıkabilir. Bu tahmin, ayrıca havada, çevrede ve algılayıcıda mevcut olan tüm ilksel ve insan-yapımı radyoaktif maddeleri de göz önüne almaz.

Bu düzenekleri tasarlayan bilim insanları tüm bunları çok iyi bilir. Astrofizikçiler ve karanlık madde deneycileri için oyunun adı *perdeleme* ve *ayırımsamadır*. Algılayıcıyı tehlikeli ışınlımdan korumak ve potansiyel karanlık madde olaylarını algılayıcılardaki ilginç olmayan saçılmalardan ayırt etmek için, deneyciler karanlık maddeyi derin yeraltı madenlerinde ya da dağların altlarında ararlar. Kozmik ışınlar o zaman algılayıcının kendisine değil de, yeterince derine gömülü algılayıcıyı çevreleyen kayalara çarpar. Işınımın çoğu perdelenmiş olacağı için, çok daha zayıf etkileşme şiddetine sahip olan karanlık maddenin algılayıcıda saptanması engellenmemiş olur.

Neyse ki, ticari amaçlarla kurulmuş olan pek çok maden ocağı ve tünel böyle deneylere ev sahipliği yapmaya hazırdır. Daha önce işaret edildiği gibi, kısmen ağır elementlerin Yeryüzünün merkezine çökmesiyle olan madenler vardır, fakat bir kısmı zaman zaman yükselip cevher tabakaları halinde yeraltında kalır. CRESST

deneyinin yanı sıra, XENON10 ve daha büyüğü XENON100 denen deneylerle birlikte, tungsten kullanan bir algılayıcı olan DAMA deneyi İtalya'da yerin 1400 metre kadar altındaki bir tünelde bulunan Gran Sasso Ulusal Laboratuvarında yer alır.

Amerika'da Güney Dakota'da özgün olarak altın için kazılan Homestake Madeninde 1500 metre derinliğindeki bir mağara LUX deneyine ev sahipliği yapmaktadır. Homestake Madeni fizik çevrelerinde ünlüdür; orada bir başka etkileyici algılayıcı –Güneş Nötrinoları için– yer almış ve nötrinoların kütleyle sahip olduklarının ilk gerçek ipuçlarını temin etmişti. CDMS deneyi yerin 750 metre kadar altındaki Soudan Madeninde bulunmaktadır. İki milyar yıl kadar önce muazzam bir göktaşının çarpmasıyla o bölgede yoğunlaşmış metalleri kazarak yaratılmış bir maden ocağı olan Kanada-Ontario'daki Sudbury Madeni, çeşitli karanlık madde deneylerine de ev sahipliği yapmaktadır.

Üzerlerinde kayalar olan tüm bu maden ocakları ve tüneller, yine de, algılayıcıların ışıınımdan azade olmalarını garanti etmez. Deneyler çeşitli yollarla algılayıcıları daha da fazla korurlar. En matrak bulduğum perdeleme, batık bir Fransız kalyonundan alınmış eski kurşundur. Kurşun yoğun bir soğurucu malzemedir ve eski kurşun zaten başlangıçta içerdiği her türlü ışıınımdan kendini kurtarmıştı; dolayısıyla kendi yeni kaynaklarını temin etmek sizin ışıınım soğurmada etkindir.

Diğer, teknolojik olarak daha gelişkin perdeleme, örneğin, polietilenden gelir; bir şey, karanlık madde olamayacak kadar şiddetli etkileşirse polietilen ışık saçar. Asal sıvı algılayıcılarında –xenon kullananlar gibi– algılayıcının kendisi bir perde gibi davranır. Bu xenon algılayıcılarının soğurma kısmı öyle geniştir ki deneyçiler yalnızca iç bölgeden gelen potansiyel sinyal olaylarını kaydettikleri zaman, sadece radyoaktif ardalanı engellemek için kullanılan dıştaki bölgeyi ihmal ederler.

Ayrımsama da önemlidir. Parçacık fizikçileri tarafından bu gereksinim için farklı bir terim, *parçacık kimlik saptaması* (parçacık kimliği) terimi kullanılır. Belki de parçacık fiziği terimi daha çok PC'dir, "kimlik" gereksinimleri bugünlerde politik olarak yüklenmiş olsa da. Ad ne olursa olsun, ayrımsama –perdelemeye zıt olarak– elektromanyetik ışıınımı her şeye karşın potansiyel karanlık madde adaylarından ayırma hakkındadır. Deneyçiler, hem

iyonlanmayı hem de başlangıçtaki parıldamayı ölçerek, sinyali ardaan ışıınınından ayırabilirler.

İtalya'daki Gran Sasso Ulusal Laboratuvarında bulunan ve bir parıldama deneyi olan DAMA deneyi, bir süredir bir sinyal bildirilmekteydi. Bununla birlikte, deneyin sinyal ve ardaan arasında ayırım yapamaması –yalnızca zamanlama bilgisine dayalı oluşu– nedeniyle ve başka deney sonucu üretilmediğinden, çoğu fizikçi sinyalin gerçekliği konusunda kuşku içinde kalmıştır.

Diğer deneyler de olası sinyaller kaydetmişti; fakat bunlar da çok az olay içermekteydi ve sadece düşük enerjilerdeydi. Bu sonuçların da kuşku olmaları için iyi nedenler vardır. Algılayıcıların geri tepme enerjisini ölçtüklerini hatırlarsınız. Enerji çok küçük olduğunda, algılayıcı onu kaydedemez, çünkü bu, düzeneğin duyarlılığının altında kalır. En düşük enerji olayları, erişilmesi güç olan düşük-enerji sınırına en yakın olaylardır. Böylece her potansiyel düşük-enerji sinyali hakkında kuşku duyulması, daha fazla veriye ulaşınca ya da bazı diğer deneyler potansiyel gözlemleri doğrulayınca kadar, normal sayılır.

DOLAYLI SAPTAMA

Yerküremiz boyunca geçen karanlık maddeyi arayan direkt saptama deneyleri işlerini başarıp karanlık maddeyi keşfedebilirlerdi. Fakat bir başka ümit verici arama taktiği, karanlık madde parçacıkları karanlık madde karşı-parçacıklarıyla yok olduklarında (ya da aynı parçacık tipi kendi kendisiyle yok edildiğinde), karanlık maddenin enerjisini –umamız ki görünür– maddenin diğer tiplerine dönüştürerek ortaya çıkabilecek sinyali aramaktır. Karanlık madde yok oluşu muhtemelen çok sık şekilde meydana gelmez, çünkü karanlık madde çok seyrekliktir. Fakat bu hiç meydana gelmez demek değildir. Bu, karanlık maddenin doğasının ne olduğunun ortaya çıkmasına bağlıdır.

Ne zaman ki yok olmalar vuku bulursa, Yeryüzü üzerindeki ya da uzaydaki deneyler, *dolaylı* olarak bilinen *saptama*daki yok olmadan ortaya çıkan parçacıkları bulabilir. Böyle araştırmalar, yok olan karanlık madde parçacıklarının ortadan kalkmasından sonra yaratılan parçacıkları ararlar. Şanslıysak, ortaya çıkan bu parçacıklar, elektronlar ve onların karşı-parçacıkları olan po-

zitronlar ve foton çiftleri gibi Standart Model parçacıklarını ve karşı-parçacıklarını içerecektir; yeryüzündeki ya da uzaydaki algılayıcılar bunların tümünü gözleyebilir. Karşı-parçacık ve foton sinyalleri, karanlık maddenin dolaylı saptanmasıyla ilgili en ümit verici araştırma hedefleridir. Evrende karşı-parçacıklar çok az bulundukları için, karşı-parçacık sinyalleri önemlidir. Foton sinyalleri de yararlı olabilir, çünkü karanlık maddenin yok oluşundan kaynaklanan fotonlar astrofiziksel ardaalanlar vasıtasıyla yaratılmış fotonlardan farklı bir enerjiye ve uzaysal dağılıma sahip olacaklardır.

Karanlık madde yok oluşundan çıkan bu Standart Model ürünlerini arayan aygıtların çoğu başlangıçta karanlık madde algılayıcıları olarak tasarlanmamışlardı. Uzaydaki ya da yerdeki teleskopların ve algılayıcıların çoğunluğunun birincil amacı, gökyüzündeki astronomik kaynaklardan gelen ışığı ve parçacıkları kaydetmektir. Amaç, yıldızları, atarcaları ve diğer cisimleri daha iyi anlamaktır; bunlar, bir karanlık madde deneycisi için, bir karanlık madde sinyalini taklit edebilecek astrofiziksel ardaalanlardır.

Farklı şekilde bakarsak, astronomik ardaalan kaynaklarınca salınan parçacıkların ve varsayılan karanlık madde yok oluşunun bu benzerliği, mevcut teleskop gözlemlerinin potansiyel olarak bize karanlık madde hakkında da bir şeyler söyleyeceğini anlatır. Eğer astrofizikçiler böyle parçacıkların daha geleneksel kaynaklarını anlarsa, onları karanlık maddeden ileri gelen bir artmaktan ayırt edebilirler. Yorumlamada olası belirsizliklere karşın, eğer bulunabilecek sonuçları açıklamada geleneksel kaynakların yeterli olamayacağını garantilemek için geleneksel kaynaklar yeterince iyi anlaşılırsa, ancak o zaman dolaylı karanlık madde araştırmaları başarı kazanabilir.

Uluslararası Uzay İstasyonunda böyle bir dolaylı deney mevcuttur. MIT'den Nobel Ödülü sahibi Sam Ting pozitronları ve karşı-protonları aramak üzere oraya bir parçacık algılayıcısı koyma gibi zekice bir fikre sahipti. Alfa Manyetik Spektrometresi (AMS) esas olarak uzayda bir parçacık algılayıcısıdır. Bu algılayıcı, ilk sonuçlarını 2013'te rapor etmiş olan İtalya önderliğindeki PAMELA uydusunun (bu güzel isim de baş harflerden oluşmaktadır) yapmış olduğu aramayı genişletmişti.

Veriler ilk başta ilginç gibi görünmüşse de, bir açıklama olarak karanlık madde şimdi iyice gözden düşmüştür; çünkü diğer şeyler arasında, PAMELA ve AMS sinyalleri erken Evrende o kadar çok karanlık madde gerektirir ki onun mikrodalga aralan üzerindeki bozucu etkileri Planck uydusuyla görülmüş olmalıydı. Başlangıçtaki şaşırtıcı sonuç, şimdi sadece astrofizikçilerin atarcılar gibi astrofiziksel kaynaklar hakkında daha çok şey öğrenmeleri gerektiğinin bir göstergesi gibi görünmektedir. Sinyali açıklama şansı olarak geleneksel kaynaklar ortada durdukça, karanlık madde için inandırıcı bir sav ileri sürülemez.

Karanlık madde kuarklara ve karşı-kuarklara ya da gluonlara da –yeğin çekirdek kuvvetleri yoluyla etkileşen parçacıklar– bozularak yok olabilir. Aslında, çoğu WIMP-tipi model bunu en olası Standart Model sonucu olarak öngörür. En açık araştırma hedefi olan karşı-protonlar için astrofiziksel aralanlar büyüktür, fakat karşı-proton ve karşı-nötronun çok zayıf bağlı durumları olan düşük-enerjili karşı-döteronlar için olan aralanlar çok düşüktür. Deneyler, bunların bu düşük enerjili durumlara yok olmaları yoluyla karanlık maddenin keşfedilme şansına sahip olabilirler. 2019 yılında Antarktika'dan fırlatılması planlanmış olan balon-temelli GAPS deneyi bu sinyali arayacaktır.

Sadece zayıf kuvvet aracılığıyla etkileşen nötrinolar denen yüksüz parçacıklar da dolaylı karanlık madde saptamasına yardım edebilir. Karanlık madde Güneşin ya da Yeryüzünün merkezine hapsedilmiş olabilir; bu karanlık madde onun bilinen yoğunluk değerini artırır ve yok olma olasılığını yükseltir. Sadece kaçabilecek ve potansiyel olarak saptanabilecek parçacıklar bu durumda nötrinolar olabilir, çünkü –diğer parçacıkların tersine– onlar etkileşimleri vasıtasıyla kaçmaktan alıkonacak kadar zayıf etkileşirler. AMANDA, IceCube ve ANTARES isimli yerdeki algılayıcılar bu yüksek-enerjili nötrinoları aramaktadır.

Diğer Yeryüzü-tabanlı algılayıcılar yüksek-enerjili fotonları, elektronları ve pozitronları aramaktalar. Namibia'da yerleşik Yüksek Enerjili Stereoskopik Sistem (HESS) ve Arizona'daki Çok Yüksek-Enerjili Işınım Görüntüleme Teleskop Dizisi Sistemi (VERITAS) Yeryüzü üzerinde geniş dizili teleskoplar halinde olup, gökadanın merkezinden kaynaklanan çok yüksek-enerjili fotonları araştırmaktadır. Bir sonraki nesil çok yüksek-enerjili gama-ışını

gözlemevi, Cherenkov Teleskop Dizisi daha bile duyarlı olmayı vaat etmektedir.

Fakat son iki yıldaki herhalde en önemli dolaylı saptama araştırmaları Fermi Gama-ışını Uzay Gözlemevi –yaygın olarak Fermi diye bilinir– üzerindeki teleskoplarla yapılmıştı; ismini, “fermiyonlar” a da adı verilen, büyük İtalyan fizikçiden almıştır. Fermi Gözlemevi 2008’de fırlatılmış olan bir uydunun üzerinde olup, Yeryüzünden 550 kilometre yüksekliktedir ve gökyüzünü her 95 dakikada dolanmaktadır. Yeryüzünde bulunan foton algılayıcıları, gökyüzündeki uydudan çok büyük olabilme avantajına sahiptir. Fakat Fermi uydusundaki çok duyarlı araçlar daha iyi enerji çözümlemesine ve yönsel bilgiye sahip olup, daha düşük enerjili fotonlara duyarlıdırlar ve çok daha geniş bir görüş alanına sahiptirler.

Fermi uydusu karanlık madde hakkında son zamanlardaki birçok ilginç yorumun kaynağı olmuştu. İşlemin başlamasından bu yana sinyallerin çeşitli ipuçları ortaya çıkmıştı; hiçbiri belirleyici değildi, fakat hepsi karanlık maddenin ne olabileceğine dair ilginç sezgilere yol açmıştı. O aralarda en güçlü sinyal, Fermilab’ten (Chicago yakınlarında, Illinois, Batavia’da bulunan Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı) fizikçi Dan Hooper’ın savunduğuydu. O ve çalışma arkadaşları şunu gözlemişlerdi: Gökadasal merkezin yakınlarına yayılmış foton salımının özenli bir şekilde incelenmesi, astrofiziksel aralardan beklenenin üzerinde bir fazlalık göstermekteydi.

Daha önce şaşırtıcı pozitron sonucunda olduğu gibi, veriler oldukça kesin bir biçimde beklenenin üzerinde bir fazlalık gösterir. Soru yine şudur: Acaba kayıp içerik, gözden kaçmış bir astrofiziksel kaynak mı, yoksa gerçekten karanlık madde gibi mevcut bir şey midir? Astronomlar hâlâ iş başındalar, yanıtı saptamaya çalışıyorlar. Açıklama, şu an itibarıyla, ne tam olarak apaçık görünmektedir ne de inandırıcı.

Fotonlarda ortaya çıkan ve geleneksel astrofiziksel kaynaklardan bilinen bir açıklaması olmayan bir diğer sinyal, birkaç keV’de,*

* Elektronvolt (eV) parçacık fizikçileri tarafından kullanılan bir enerji birimidir. keV, kilo-elektronvolt olup, bin eV’u temsil eder; bugünün yüksek enerjili hızlandırıcılarındaki fizik tartışmalarında sık kullanılan bir birimse GeV ile gösterilen giga-elektronvolttur.

yani bir elektronun taşıdığı enerjinin yaklaşık yüzde birinde, bir X-ışını çizgisinin biçimi halinde olur. Gözlemin özel yanı, sinyalin bir çizgi oluşu, yani fazlalık fotonların çok az enerji dağılımıyla belli bir enerjide meydana gelişidir. Unutmayın ki farklı enerji düzeyleri arasındaki atomik ve moleküler geçişler benzer çizgiler verir ve sinyal fevkalade şiddetli değildir; dolayısıyla bunun bir gerçek keşif olduğu hiç mi hiç açık değildir. Bu inandırıcı kanıtın noksanlığı, olası kaynaklar olarak aksiyonlara ya da bozunan karanlık maddeye dayanan bir araştırmayı durdurmamıştı. Daha fazla veri ya da kuramsal çalışma bunun bir dalgalanma veya aralan ya da gerçek bir yeni nesnenin keşfi olup olmadığını gösterinceye dek, bunu bilemeyeceğiz.

Değinmek istediğim son varsayımsal sinyal, biraz sonra tartışacağım araştırmayı körüklemiş olması nedeniyle, 130 GeV enerjili bir foton sinyalidir; bunu ilk başta Fermi uydusu verileri ileri sürmüştü sanırım. Sinyal, gözlenen enerjinin Higgs bozonunun 125 GeV kadar olan kütlesine benzerliği dikkate alındığında, kesinlikle ilgi çekiciydi. İyi bir astrofiziksel açıklamanın olmaması nedeniyle, bazı astronomlar sinyalin karanlık maddenin yok olmasından kaynaklanabileceğini ileri sürmüştü.

Kanıtın zamana –ya da daha fazla veriye– yenik düştüğünü ve artık saygınlığını yitirdiğini peşinen söyleyeceğim. Fakat sinyalin muhtemelen nasıl ortaya çıktığını açıklamaya çalışırken, çalışma arkadaşlarım Matt Reece, JiJi Fan, Andrey Katz ve ben ilginç bir modeller sınıfını keşfetme sonucuna varmıştık; buna neredeyse kesinlikle başka türlü asla ve asla rastlayamazdık. Birçok ilginç bilimsel gelişmede olduğu gibi, modelin, ilk güdülemenin ötesindeki nedenler için ilginç olduğu ve yakında açıklayacağım karanlık madde diskine yol açacağı anlaşılmıştı.

LHC'DE KARANLIK MADDE

Bugünlerde daha az ümit verici bir olasılık gibi görünse de, WIMP'ler de Cenevre yakınında Fransa-İsviçre sınırının altındaki dairesel Büyük Hadron Hızlandırıcısında boy gösterebilir. Protonlar 27 kilometre çevreli bir halka etrafında zıt yönlerde yüksek enerjilerde birbirlerine çarpmak üzere dolanırlar. LHC, Higgs bozonunun yaratılmasına ve keşfedilmesine uygun bir enerji ara-

lığında çalışır ve ayrıca diğer, kararlı, zayıf etkileşen WIMP gibi varsayımsal parçacıkların yaratılmasını da sağlayabilir. Eğer öyleyse, böyle bir WIMP'in Standart Model parçacıklarıyla etkileşmeleri onun LHC'de saptanmasına izin verebilir.

Yeni parçacıklar LHC'de bulunsa bile, yeni keşfedilmiş bu parçacığın karanlık maddeyi oluşturduğunu gerçekten pekiştirmek için, yerde ya da uzayda bulunan özel karanlık madde algılayıcılarından da ek kanıt gerekecektir. Her şeye karşın, LHC'de WIMP'lerin bulunması elbette büyük bir başarı olur. Karanlık madde parçacığının, diğer saptama yöntemlerinin herhangi biriyle incelenmesi çok zor olabilecek ayrıntılı özelliklerini bile öğrenebiliriz.

Bununla birlikte, karanlık madde parçacıkları LHC'de çarpışan protonlarla çok fazla çarpışmaz, çünkü karanlık madde sıradan maddeyle çok zayıf etkileşmelere sahiptir. Böyle olsa bile, onlara bozunan diğer parçacıklar yaratılabilir. O zaman soru şu olabilir: Karanlık madde algılayıcıyla etkileşmediğine ve dolayısıyla kendisi görünür kanıt bırakmadığına göre, bunun meydana geldiği nasıl belirlenebilir? Bakılacak bir yer, yüklü parçacıkların bozunumunda olabilir. Yüklü parçacıklar yalnızca yüksüz karanlık madde parçacıklarına bozunamazlar, çünkü böyle bir süreç yükü korumaz. Son durumda bulunması gereken ve -görünmeyen karanlık madde dışarıya enerji ve momentum taşıdığı için- başlangıçta bozunan parçacığın aynı enerji ve momentumunu taşımayan ek yüklü parçacıkları saptamak suretiyle, özel etkileşmelere sahip iyice zayıf etkileşen bir parçacığın varlığı saptanabilir.

Karanlık maddenin üretilmiş olduğunun belirtisi, olay sıklıkları ve sinyaller için öngörülerin verilerle uyuşmasının yanı sıra, kesinlikle deneylerin saptamayı başaramadığı enerji olabilir. Fizik yasaları herkesin inandığından tamamıyla farklı olmadıkça, enerji ve momentum korunumunun görünür noksanlığı, ancak bir saptanamayan parçacığın üretildiği şeklinde yorumlanabilir; bu da o zaman karanlık maddeye dayandırılabilir.

WIMP'ler, sıradan maddeyle çok zayıf etkileşmelerine karşın, doğrudan çiftler halinde de üretilebilirler. İki WIMP'in sıradan madde yaratmak üzere yok olmasının ters sürecinde, çarpışan iki proton bazen iki WIMP doğurabilir; hesaplama, kalıntı bolluğu sonucuna götürür. Bunun meydana gelme sıklığı özel modele bağ-

lıdır; yine de, WIMP'ler mutlaka protonlara yok olmazlar, dolayısıyla ters süreç de zaten garanti değildir. Fakat birçok model için, araştırmaya iyi bir yol olabilir bu.

Deneyciler, yine, karanlık maddenin kendisinin asla saptamaz olduğu, ancak onunla birlikte diğer parçacıkların üretildiği sorununa eğilirler. Ama deneyciler karanlık maddeyle birlikte bir foton ya da bir gluon (kuarklar arasında yeğin çekirdek kuvvetini ileten parçacık) gibi bir tek parçacığın üretildiği olaylar görebilir; kuramcılar ilke olarak bu araştırmaların yeterince büyük bir sin-yale yol açabileceğini göstermişlerdi.

Şimdiye kadar, LHC çalışmaları karanlık maddenin üretildiğini belirten hiçbir şey bulamadılar. Fizikçiler bunun acaba makine enerjisinin biraz düşük olmasından mı, yoksa bu enerjilerde bulunacak ek parçacıkların yanlış yönlendirildiğini ileri süren kuramsal düşüncelerden mi ileri geldiğini bilmiyorlar. Fakat hâlâ LHC çarpışmalarının üreteceği enerjilerde ek parçacıkları bulmanın akla yakın bir şansı var. Belki bunların biri karanlık madde olacaktır.

DAHA AZ WIMP'Lİ KARANLIK MADDE ARAMA

WIMP'ler, Obi-Wan Kenobi'den farklı olarak, bizim tek ümidimiz olmayıp, bu saptama yöntemleri söz konusuysa da, onlar birçok bakımdan en büyük umudumuzdur. Doğrudan saptama, ancak Standart Model ve karanlık madde parçacıkları arasında bir etkileşme varsa çalışır ve WIMP modelleri bu olasılığı garanti eder. Üstelik, ısı üretimi eşit miktarda karanlık madde ve karşı-karanlık madde garantisi verir (ya da karanlık madde kendi karşı-karanlık maddesidir); öyle ki yok olma da olanaksız değildir. Fakat karanlık madde için diğer öngörülere ne denebilir? Onları nasıl ararız?

Ne yazık ki, henüz hükümsüz kılınmamış herhangi bir başka karanlık madde adayının bulunması büyük olasılıkla daha bile zor olacaktır. Arama taktiği söz konusu modele özgü olmalıdır. Mevcut teknolojiyle ulaşılabilirlik mutlaka garanti edilmiş değildir. Belki şansımıza karanlık madde şeffaf olmayacaktır; yarı-saydam, yani Standart Model kuvvetleriyle varsayılan bir etkileşimle bu yöntemlerle zor bela görünür olacaktır. Fakat belirsizlikler dik-

kate alındığında, kanımca karanlık madde için var olduğunu bildiğimiz bir tek kuvvet –kütleçekim– vasıtasıyla saptamaya daha çok odaklanmanın zamanıdır. Kendisiyle ya da başka görünmez maddeyle etkileşen karanlık madde, doğrudan boy göstermeyebilir, fakat şimdi göreceğiz ki onun etkileşimleri Evrendeki kütlelerin kesin dağılımı yoluyla kendisini açığa çıkarabilir.

SOSYAL BAĞLANTILI KARANLIK MADDE

Kentleşme çağdaş yaşamda birçok ilerleme için çok önemli olmuştur. Yeterli sayıda insanı bir araya getirir; fikirler gelişir, ekonomiler büyür ve bol sosyal yardımlar ortaya çıkar. Kentler genişledikçe organik olarak gelişir; insanlar oraya taşındıkça oraları daha bile çekici hale gelir, işler yaratılır ve daha iyi çalışma ve yaşama koşulları oluşur. Fakat bir kent aşırı yoğun bir hale geldi mi; pahalı konut, suç ya da diğer kentsel açmazlar insanları çoğunlukla daha seyrek yerleşimli mahallelere ya da daha bile ötelere, kentin büsbütün dışına taşınmaya zorlar. Kentin geri kalanı planlı olarak büyüyebilirdi; fakat aşırı iyimser gayri menkul imarcılarının hırsları çok hızlı büyümenin daha önceki tahminlerini küçümseyerek kentlerin içlerinde yetersiz olarak yerleşik yüksek-riskli binalarla ortalığı hüsrana uğratacaklardır. Kararlı kentsel merkezler olmaksızın, varoş toplulukları da gelişemeyecektir; bu durumda kapalı alış-veriş merkezi yapımcıları da düş kırıklığına uğrayacaklardır.

Aynı genel örüntünün Evrendeki yapının büyümesine uygulanabileceği anlaşılır. Şu andaki karanlık madde anlayışımızı ve bizi karanlık maddeyle sıradan maddenin birbirleriyle olsa olsa çok zayıf şekilde etkileştiğine inandıran birçok gözlem ve öngörü-yü açıklamıştık. Yalnızca kütleçekimsel olarak etkileşen karanlık maddeye dayalı sayısal benzetimler, gökadalardan ve gökada kümelerinin büyüklüklerini, yoğunluklarını, toplasımalarını ve biçimlerini tahmin eder. Büyük-ölçekli kentsel büyümeye değgin tahminlerde olduğu gibi, Evrendeki büyük-ölçekli yapının tahminleri de gözlemlerle aşırı derecede iyi uyuşmaktadır.

Fakat olağan karanlık madde özelliklerini varsayarak yapılan kesin sayısal benzetimler, daha küçük ölçeklerde gözlenen yoğunluk profilleriyle her zaman çakışmaz. Gökada ve gökada kümelerinin merkezi bölgeleri ve Samanyoluna yakın birkaç daha küçük

cüce gökada kuramsal tahminlerle uyuşmaz. Daha az yoğun olarak oturulan iç kentlerde ve gelişmemiş varoşlarda olduğu gibi, hem gökadalara merkezleri için öngörülen yoğunluklar hem de uydu gökadalara öngörülen sayıları aşırı yüksektir. Andromeda'daki cüce gökadalara ve diğer gökadalara da öngörülen uzaysal dağılımla uyuşmamaktadır.

Benzetimlerin yetersiz ya da gözlemlerin hâlâ aşırı noksan olduğu anlaşılmaktadır. Fakat öngörülerle küçük-ölçekteki yapıların gözlemleri arasındaki uyuşmazlıklar, karanlık maddenin şu anda varsayılandan farklı olduğu izlenimini de uyandırabilir. Belki karanlık madde bu kadar da zayıf olarak etkileşmiyordu.

Karanlık madde ve sıradan madde arasındaki etkileşmelerin iyice zayıf olduğu bilinse de, bir karanlık madde parçacığıyla bir başka karanlık madde parçacığı arasındaki etkileşmeler, epeyce büyük olabilir. Böyle kendisiyle-etkileşmeler karanlık madde algılamasının yokluğuyla daha az sınırlanır; karanlık madde algılaması, sadece karanlık madde ve sıradan madde arasındaki etkileşmeleri sınar. Bu kendisiyle-etkileşmeler, dikkate değmeye yetecek kadar büyük olabilir.

Evrendeki yapının büyümesi hakkındaki temel fikirleri şimdi doğrulayabilirsek bile, olası çelişkiler, konunun kapandığını düşünmek için bilimin yeterince ilerlememiş olduğunu gösterir. Araştırmacılar açısından, bu en iyi durumdur. Daha çok öğrenmemiz kesin; niyet ne olursa olsun. Bu bölüm, Evrenin küçükçe ölçeklerdeki yapısıyla ilgili konuları ve kendisiyle-etkileşen karanlık maddenin neden onlara değindiğini açıklamaktadır.

KÜÇÜK-ÖLÇEK SORUNLARI

Bölüm 5, karanlık madde üzerine etkiyen kütleçekiminin, Evrenin yapısını belirleyen bir şablona nasıl düzenlendiğini açıklamaktadır. Erken Evrende karanlık madde gitgide artarak büyük yoğunluk dalgalanmalarına gelişmiş ve gökadalara en fazla kütleçekim uygulayan daha yoğun bölgelerde oluşmuştu. Bu olunca, gökadalara tabakalar ve lifler boyunca yerleşip kümeler haline geldiler; bunlar da üzerinde diğer yapıların kurulduğu iskeleyi oluşturdu. Tek tek her bir gökada ya da kümenin ayrıntıları bilinmeyen ilk duruma bağlı olsa da, gökbilimciler gökada ve gökada

kümelerinin toptan istatistiksel özelliklerini öngörürler ve bu öngörülerin çoğu gözlemlerle çok iyi uyuşur.

Bununla birlikte, küçük-ölçekli –yani, cüce gökadalar ölçeğinde ki– yapı için öngörüler neredeyse hiç güvenilir değildir. Gökadaların en iç kısımlarındaki yoğunluk hesaplamaları aşırı yüksektir ve Samanyolunu dolanan küçük cüce gökadaların sayısı için olan tahminler aşırı büyüktür. Gözlemciler, bu hiyerarşik resme göre, bugüne kadar dayanabilmiş olan ne daha büyük halelerin ne de yalıtık daha küçük halelerin içinde çok büyük sayıda küçük yapı bulurlar.

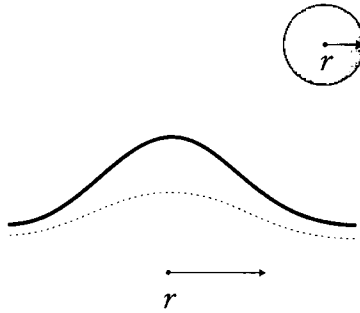
Belki de en iyi-bilinen çelişki *çekirdekli-doruklu* (core-cusp) *problemi* olarak bilinir. Gökbilimciler ve kozmologlar sadece Evrende olması gereken cisimlerin tipini öngörmekle kalmazlar, ayrıca maddenin onların içinde nasıl dağılması gerektiğini de öngörürler. Cisimlerin merkezlerinden mesafeyle olan kütle dağılımlarının bilindiğini gösteren bu *yoğunluk profilleri* için öngörüler, *dorukludur*. Bu, karanlık madde yoğunluğu merkezlere doğru oldukça keskin şekilde doruğa ulaşacak demektir, yani gökadaların ve gökada kümelerinin çok yoğun merkezi bölgelere sahip olacağı öngörülür.

Fakat gözlemciler yoğunluk dağılımlarını (bir dereceye kadar) ölçerler ve bu öneriyi doğrulayamazlar. Aslında, şimdiye kadar ölçtüklerine göre, gökadaların çoğu doruklu olmayıp bunun yerine çekirdekli profiller olarak bilinen durumu sergilerler. (Şekil 37.) Bu terim kafaları karıştırmaktadır ve bu sadece Samsung Gökada Çekirdeği (Samsung Galaxy Core) bir akıllı telefonun adı olduğu için değildir. Birçok insan herhalde bir çekirdeği, örneğin Yeryüzünün erimiş çekirdeğinde geçerli olduğu gibi, yoğun olarak düşünür. Bir çekirdekli yoğunluk profili tersi duruma göndermede bulunur; çekirdekli profil, merkezdeki maddenin çıkarılması anlamındadır; aynı bir elmadan bir çekirdeği kesip çıkardığınız zamanki gibi. Kuşkusuz, hiç kimse bir gökadanın tüm merkezini çıkarmaz. Fakat gözlemler madde yoğunluklarının, öngörüldüğü gibi, gökadaların merkezlerine doğru iyice şiddetli doruk yapmadıklarını göstermektedir. Bunun yerine, merkezi bölgelerin yoğunluk profilleri oldukça düzdür bu çekirdek bölgelerinde. Aynı durum gökada kümelerinde de geçerli olabilir.

Yoğunluk profillerinin, karanlık madde öngörülerini gereğince, neden düz ya da çekirdekli oldukları ve doruklu olmadıklarının

açıklaması, en basit karanlık madde modellerine önemli bir meydan okumadır. Bu, *kayıp uydu problemi* (öngörülen büyük merkezi gökadalara etrafında dolananlardan daha az cüce gökada) ve *problemi çözemeyecek kadar büyük* (en yoğun, en kütleli gökadalara için öngörülerin gözlemlerle uyuşmadığı durumla ilgili sorun) ile birlikte, muhtemelen standart soğuk karanlık madde paradigmasının yetersizliklerine işaret etmektedir.

Karanlık madde öngörülerıyla ilgili daha bile yakınlarda fark edilmiş bir başka problem –yakında değineceğim karanlık madde diski tipi– şudur: Daha büyük gökadalara etrafında dolandıkları bulunmuş olan uydu cüce gökadalara, gökbilimcilerin beklemiş olabilecekleri uzaysal dağılıma sahip değillermiş gibi görünmektedir. Cüce uydu gökadalara tüm doğrultularda az çok küresel şekilde dağılmış olabilecekleri beklenmekteyken, Andromeda gökadasını dolandıkları bulunmuş olan yaklaşık otuz cüce gökadanın yarısı kadarı, kabaca bir düzleme yayılmış durumdadırlar ve bu düzlemdekilerin neredeyse tümü ortak bir yörüngesel yöne sahiptirler. Benzer bir tuhaf dağılım Samanyolunu dolanan bazı cüce gökadalara için bulunmuştur.



[ŞEKİL 37] Benzetimler gösteriyor ki bir gökadede karanlık madde, doruklu yoğunluk dağılımına sahip olmalıdır, orada madde ciddi ölçüde merkez yakınında yoğunlaşmıştır. Fakat gözlemler bir çekirdek profil, yani merkezi bölgede daha düz, daha az yoğun bir dağılım göstermektedir. Her iki durumda, yoğunluk, şekilde görüldüğü gibi, merkezde doruk yapmaktadır, ama doruklu dağılım çok daha keskindir.

Cüce gökadalara yakın hizalanması ve ortak dönme yönü, onların kaynaşan gökadalara disklerinden kaynaklandığını gös-

terebilir. Bununla birlikte, kaynaşmalar uzaysal dağılımı açıklasa bile, cüce uydu gökadalara sorunsal olarak basit açıklamanın doğru olması için aşırı miktarda karanlık madde içerir gibi görünmektedir. Karanlık maddenin standart olmayan bir modeli, bir düzlem boyunca dağılmış karanlık-madde-baskın cüce gökadalara açıklanmasını isteyebilir.

Tüm bu rapor edilmiş çelişkiler için, sayısal ve gözlemsel sonuçlar başlangıç niteliğindedir. Varsayımlarımız, gözlemlerimiz ya da benzetimlerimiz güvenilir çıkarsa, bu problemlerin en azından bazıları yok olabilir. Daha doğru benzetimler, ilk sonuçların belirsizliğini ya da sıradan madde çıkarımlarının yetersizce anlaşıldığını –yapı oluşumu üzerine süpernovaların geri beslemesi gibi– gösterebilir; bu durumda geleneksel karanlık madde modelleri Evrenin gözlenen yapısını açıklamada, karanlık madde özelliklerine hiçbir düzeltme yapmaksızın, yeterli olacaktır. Fakat problemler sürerse, geri kalan uyumsuzluklar en basit karanlık madde modelleri için gerçek yükümlülöklere dönüşebilir ve çok daha girift karanlık madde özellikleri için gereksinim gösterir.

Bu sonuçlar incelendiğinde, belki 1990'lara kadar ilk benzetimlerin de– ki onlar karanlık maddeyi ihmal etmişlerdi– verilerle uyuşmayan öngörölere yol açtığını bizlere hatırlatması yüreklen-diricidir. O zamanlar pek çok fizikçi aynı şekilde ilk benzetimlerin ve gözlemlerin yanıltıcı olduklarını, verileri ve öngörölari daha fazla ilerletmenin sonuçları bağdaştırabileceğini düşünmüştü. İlk hesaplamalar için bir övgüydü bu ve doğru öngörölari yeni anlayışlara işaret edeceğinin, yani karanlık enerjinin –tamamıyla yeni bir keşif– yapı oluşumu üzerine etkisi hesaba katılır katılmaz çelişkilerin yok olacağının bir belirtisi olabilirdi. Belki de şu anki bu küçük-ölçekli yapıya ilişkin tereddütler aynı şekilde sadece Evrendeki madde ve enerjinin altında yatan fiziksel özellikler hakkındaki yeni bir keşifle çözülecektir. Durumun gerçekten de böyle olup olmadığını, gelecek on yıldaki gözlemsel ve hesaplamalı ilerlemeler belirleyecektir.

OLASI ÇIKARIMLAR

Kesin doğrulamanın yokluğuna karşın, çok sayıda astrofizikçi ve evrenbilimci çelişkileri ciddiye almaya ve karanlık maddenin küt-

leçekimden başka etkileşmelere de sahip olabileceği olasılığını incelemeye başladılar. Bazıları daha bile ileri gidip Einstein'ın kütleçekim denklemlerinin tam doğru olmayabileceğini düşünüyorlar. Birkaç fizikçinin kütleçekimin düzeltmelerine dikkat çekmesine karşın, bu çok aşırı seçeneği hayli olasılık dışı buluyorum. Daha öne betimlediğim karanlık madde üzerine etkiyen sıradan kütleçekim için kanıt gereğinden fazla inandırıcıdır.

En kısıtlayıcı olan, Mermi Kümesinininki gibi gözlemleri açıklama zorluğudur. Bu ve diğer benzer cisimleri –geriye orta bölgelerde etkileşen gaz ve dış bölgelerde kolayca aralardan geçen karanlık madde bırakmak üzere birleşmiş olan gökada kümelelerinden oluşanlar gibi– olağan kütleçekim denklemleri uyarınca davranarak iyice zayıf şekilde etkileşen karanlık maddeden başka herhangi bir şeyle açıklamak zor olabilir. Her durumda, tutarlı kuramsal alt-desteği olmayan köklü bir seçeneği ele almadan önce, ilkin öngörülerin yanıltıcı sonuçlar verebileceği başka, daha “can sıkıcı” nedenleri ele almalıyız; örneğin, benzetimlerin varsaydığından daha büyük bir rol oynayan sıradan madde ya da geleneksel beklentiler aracılığıyla saptanmıştan farklı olan karanlık madde gibi.

Yakınlarda küçük-ölçekli yapı sorunları ve onların olası çözümlerinin tartışıldığı iki konferansa katılmıştım. Birincisi, Harvard fizik bölümündeki meslektaşlarımın kendisiyle-etkileşen karanlık madde konusunda düzenledikleri küçük bir atölye çalışmasıydı. Harvard Astrofizik Merkezinden astrofizikçilerin düzenlediği ikinci konferansın adı “Karanlık Madde Tartışmaları” olup 2014 Baharında gerçekleşmişti. Neyse ki tartışmalar görüşler üzerine olmayıp asıl mesele hakkındaydı; bu, üzerinde çok durulduğunda, birçok bilimsel tartışmayı raydan çıkarabilir.

Bu konferansları böylesine yararlı bulmamın bir nedeni, Harvard'daki fizik ve astronomi meslektaşları arasındaki sohbetler için bunların temin ettiği geniş olanaktı. Astronomların çalıştığı Astrofizik Merkezi, 1847'de, o zamanın dünyasındaki en büyük teleskoba –önemsiz 38 cm çaplı– ev sahipliği yapmak üzere Cambridge'in en yüksek noktasına kurulmuştu. Artık teleskobun bilimsel statüsü kalmamış olsa da, Merkezin yerleşimi korundugundan, astronomlar ve fizikçiler birbirlerinden birkaç km kadar uzaktadırlar, böylece biz asla su soğutucusu ya da kahve makinesi

başında rastlaşamayız. Bizi ve birçok ziyaretçi fizikçiyi ve astronomu konferanslar aynı yere getirirdi.

Fakat konferansların asıl yararı, sunulan sonuçların özgün ve çok yeni olmalarıydı. Konferans katılımcılarının ileri sürdükleri küçük-ölçekli yapı sorunları ve onların çözümleri için mevcut kanıtları içeren konular, ya sıradan maddenin rolü için yetersiz bir değerlendirme ya da karanlık maddenin kendisiyle-etkileşimleri gibi gerçekten yeni bir şey olabilirdi.

Sıradan maddenin neden küçük-ölçeklerdeki yapı oluşumunu etkileyebileceğini tartışan konuşmacılar, sayısal benzetimlere sıradan maddenin dahil edilmesinin –en bayağı olasılık– öngörüler ve gözlemler arasındaki çelişkileri çözümleme hususunda çok yararlı olabileceğini ileri sürmüşlerdi. İlk benzetimler, karanlık maddenin dinamiğe ve yapının gelişmesine hâkim olduğunu, oysaki sıradan maddenin sadece karanlık maddenin yarattığı kütleçekimsel potansiyel kuyularına düştüğünü varsaymıştı. Yıldızlar oluştuktan sonra, daha kütleli, daha yoğun bölgeler ışık saçabilse de, yoğun karanlık madde konumları üzerinde bir projektör gibi rol oynaması dışında sıradan maddenin etkisi ihmal edilmişti.

Fizikçiler başlangıçta sıradan maddenin, yapının gelişmesine önemli ölçüde etki yapamayacağını düşünmüşlerdi ve dahası güvenle yapıya dahil etmek için sayısal olarak gereğinden fazla gösteriliyordu. Bugün bile, astronomlar sıradan maddenin etkilerini dahil etmeye çalıştıklarında, geriye epeyce belirsizlik kalır. Mevcut bellek ve hesaplama gücüyle, hiç kimse her şeyi ayrıntılarıyla benzetime sokamaz, dolayısıyla benzetim yapan astronomlar yaklaştırmalar ve varsayımlar kullanmak ihtiyacındadırlar. Böyle olsa bile, şu anda çalışan ve sıradan maddeyi hesaba katan sınırlı sayısal benzetimler çelişkileri hafifletmiş görünmektedir.

Bir çift etki, benzetimler ve gözlemler arasındaki geliştirilmiş uyuşmaya açıklık getirir. Standart madde kütleçekimden başka kuvvetler aracılığıyla etkileşir, bu nedenle onun başlangıçtaki kütleçekimsel etkisi oldukça küçük olsa bile, onun yapı üzerine etkisi –özellikle küçük ölçeklerde– olmayabilir. Örneğin, gözlenen uyduların azlığı için potansiyel bir açıklama, onların aşırı derecede donuk oluşlarıdır. Yıldızlardan morötesi ışıınım –sıradan maddeye ilişkin özdek– salındığı zaman, gökadalar arası gaz ısınabilir. Bu olunca, haleler –özellikle küçük olanlar– gazın artmasında

daha az etkin olacaktır. Fakat haleler yeterli gaza sahip değilse, onlar yıldızları oluşturmaz; bu da onları şu anki teleskoplarla gözlenemeyecek kadar sönük bırakabilir.

Gözlenen uydu gökadalara azlığı ve beklenenden-daha-seyrek iç gökada çekirdekleri için bir başka açıklama şudur: Süpernova patlamaları onların ana gökadalara iç kısımlarından dışarı malzeme atarak geride çok daha az yoğun bir iç çekirdek bırakır. Sonuçtaki karanlık madde dağılımı, en yoğun kent-içi bölgelerindeki kent nüfusunun dağılımıyla karşılaştırılabilir; orada -bozunun neticesinde- şiddetli patlamalarla büyümeyi yavaşlatmış ve geriye azalmış bir iç bölge bırakmıştı. Aşırı fazla süpernova akışı görmüş olan içteki gökada artık yoğunlukça merkeze doğru büyümeyi; daha çok seyrek nüfuslu bir kent-içi haline döner.

Üstelik, süpernova patlamalarınca salınan enerji, bir gökadanın dış bölgelerindeki gazı iyonlaştırabilir ve ısıtabilir. Bu, birçok sıradan maddeyi dışarıya uçarur; bunlar cüce uydu gökadalara haline yoğunlaşmış olurlar ve daha büyük bir gökadanın etrafında dolanırlar ya da yıldız oluşumu için gerekli olan yoğun bölgeler halinde çökmeye engel olurlar. Bu dış cüce gökadalara nispeten daha az sıradan maddeye sahip olup daha donukturlar ve onları bulmak iyice zor olur.

Yöntemler ve hesaplama gücü tutarlı bir şekilde geliştikçe, küçük-ölçekli yapıda sıradan maddenin büyük rolü için lehteki ve aleyhteki kanıtlar sürekli evrilmektedir. Konferanslarda birkaç hareketli tartışma patlak vermişti; bir parçacık fizikçisi meslektaşın işaret ettiği gibi, astronomlar arasındaki tarz hoş bir şekilde uzlaştırıcıydı, herkes doğru yanıtları bulmaya çalışıyordu, birbirlerini alt etmeye değil. Sıradan maddenin önemini vurgulayanlar bile, süpernova geri-beslemesinin çok zayıf olması beklenen yalıtık cüce gökadalarda en-küçük-ölçek sorunları sürdükçe, tüm çelişkileri elemenin yeterli olmayacağını kabul etmekteydiler. Şu anki gözlemlerin ortaya koyduğu gibi, eğer durum buysa, sıradan karanlık maddenin ötesinde bir şey gerekli olacaktır. Konferanstaki herkes sıradan maddenin benzetimler ve veriler arasındaki uyumsuzluğu çözümlenmeye yardım etmek için doğru yolda olduğu konusunda fikir birliği içinde oldukları halde, orada bulunan fizikçilerin ve astronomların tümü şunun farkındaydılar; uydu gökadalara için yanlış öngörüler, standart etkileşmeyen karanlık

madde paradigması için çok daha köklü bir düzeltme ortaya koyabilirdi.

KENDİSİYLE-ETKİLEŞMELİ KARANLIK MADDE

Benzetimler verilerle zıt düştüğünde ortaya çıkan girift sorunlar dikkate alındığında, irdelenmek üzere başka karanlık madde modellerini ele almak ilginç olur. En ilginç olasılık şudur; etkileşmeyen basit karanlık madde varsayımı yanlış yola saptırır ve kütleçekim dışındaki karanlık madde etkileşmeleri yapıyı etkiler. Bu olasılığın ele alınması, fizikçilerin karanlık madde parçacıklarının kendi aralarındaki etkileşmeleri ve hangi yeni kuvvetlerin onlara etki edebilecekleri hakkında daha fazla şey öğrenmelerine yardımcı olur. Sürmekte olan ölçümler ve gelişen benzetimler bize karanlık maddenin doğası hakkında daha fazla şey söyleyecektir; sonuçlar ne olursa olsun. Çelişkiler ortadan kalksa bile, karanlık maddenin doğasını ve karanlık madde ile sıradan maddenin kozmik yapıya nasıl katkıda bulunduğunu daha iyi anlayacağız. Fakat uyumsuzluklar sürerse, onlar kendisiyle-etkileşmeler için kanıt olabilir.

Kendisiyle-etkileşmeli karanlık madde, karanlık maddenin özellikleri hakkında çok az şey bildiğimiz için, bir dereceye kadar ümit verici yeni bir öneridir. Tıpkı sıradan madde elektromanyetizma gibi kütleçekimsel-olmayan kuvvetleri hissedebildiği gibi, karanlık madde de böyle olabilir. Olağan varsayım, bu karanlık maddenin kütleçekim etkileşmelerini hissettiği ve muhtemelen sıradan maddeyle çok zayıf etkileştiği şeklinde olmakla birlikte, deneylerde doğrudan algılayamadığımız karanlık madde, bize karanlık maddenin kendisiyle etkileşmeleri hakkında hiçbir şey söylemez. Kendisiyle-etkileşmeli karanlık madde parçacıkları, tanıdığımız madde parçacıklarını değil de, diğer karanlık madde parçacıklarını çekebilir ya da itebilir. Karanlık madde henüz-saptanmamış karanlık kuvvetleri algılayabilir; bu kuvvetler sıradan maddenin parçacıklarını değil de, karanlık madde parçacıklarını etkileyebilir. Elektromanyetizma gibi standart kuvvetler sadece sıradan madde üzerine ve karanlık kuvvetler de yalnızca karanlık maddeye etkidiklerinden, karanlık madde ve sıradan madde parçacıkları birbirlerine karşı esas olarak ilgisizdirler.

Kendisiyle-etkileşmeli karanlık madde, sıradan madde gibi, toplumsal olabilir. Fakat hizipçi de olabilir; yani sadece kendi cinsiyle etkileşebilir. Karanlık madde diğer karanlık madde parçacıklarından saçılabilir; fakat karanlık madde sıradan maddeye ne denli görünmezse, sıradan madde de karanlık maddeye o kadar görünmez olabilir. Doğrudan algılama deneyleri sadece karanlık madde ve sıradan madde arasındaki etkileşimleri aradığı için, böyle bir olasılık dışlanmış değildir ve yapı araştırmaları tarafından tercih bile edilebilir.

Karanlık madde kendisiyle etkileşiyorsa, yeni kuvvetlerin hangi biçimi alacağını bilemeyiz. Böyle olsa bile, karanlık madde parçacıkları arasındaki kuvvetler kısıtlanır ve kendisiyle-etkileşimleri aşırı şiddette olamaz. Karanlık maddenin tartışmasız kanıtının, birleşen kümelerden oluşmuş olan Mermi Kümesi –ve benzer bir biçim alan diğer gökada kümeleri– olduğunu hatırlayın. Kütleçekimsel mercekleme gözlemleri bize şunu söyler; bir kümedeki karanlık madde içinden geçen bir başka kümedeki karanlık madde esas itibarıyla engellenmez; dış bölgede iki soğan biçimine yol açar ve kalan gaz aradaki merkezi bölgede tuzaklanır.

Eğer tüm karanlık madde kendisiyle –sıradan maddenin yaptığı gibi– çok kuvvetli şekilde etkileşmişse, gaz gibi davranır ve merkezde kalırdı. Fakat soğan gibi olan dış bölgeler, karanlık maddenin bunu yapmadığını ve bunun yerine boylu boyunca geçtiğini gösterir. Bu, karanlık maddenin hiç mi hiç etkileşemeyeceğini de söylemez bize; fakat kuvvetin şiddeti ve ilgili olabileceği mesafe ölçeği üzerine sınırlama koyar. Karanlık madde etkileşimlerinin şiddeti de gökada halelerinin şekli tarafından kısıtlanır; bunlar da karanlık madde etkileşimlerine duyarlıdır.

Fakat bu kısıtlamalar kendisiyle-etkileşimleri bir olanak olarak dışlamaz. Sadece izinli şiddet ve biçim üzerine sınırlar koyarlar. Bu kısıtlamalara izin verilse bile, kendisiyle-etkileşimler ilke olarak küçük-ölçekli yapı öngörülerine ilişkin sorunların üzerine gitmeye yetecek kadar şiddetli olabilir. Konferanslardaki konuşmacılar, karanlık maddenin kendisiyle-etkileşimlerinin neden potansiyel yapı sorunlarının bazılarını yardımcı olabileceğini ve ayrıca en cüsseli uyduların çekirdek yoğunluklarını neden düşüreceğini göstermişlerdi; böylece öngörüler ve gözlemler arasında daha iyi bir uyuma elde edilmiş oluyordu.

Örneğin, kendisiyle-etkileşmeler gökadalara merkezi bölgesinde aşırı fazla öngörölmüş olan yoğunluk problemi üzerine gidebilir. Kütleçekimsel-olmayan etkileşmelerin yokluğunda, yeterince yavaş hareket eden karanlık madde mevcut yapıların kütleçekimsel potansiyelinde tutsak kılınacağı için, merkeze doğru sürekli düşerek merkezdeki yoğunluğu dramatik şekilde yükseltir. Fakat karanlık madde parçacıkları arasındaki itici etkileşmeler karanlık madde parçacıklarını birbirlerinden uzak tutabilir ve böylece aşırı yakın şekilde birikmelerini önler. Sanki iyice kalabalık bir tren istasyonunda herkesin kendini bagajlarıyla sarıp kendisini başkasından bir kol uzaklığında tutması gibidir bu. Karanlık madde parçacıkları arasındaki itici etkileşmeler benzer şekilde ortaya koruyucu bir engel koyar ve karanlık maddeyi aşırı yoğun hale gelmekten korur.

Kendisiyle-etkileşmeli karanlık maddeyle benzetimler bu sezgiyi doğrular ve doruklu biçimlerden ziyade, çekirdekli biçimlere –oldukça sabit-yoğunluklu iç bölgeler gibi– yol açar. Bir gökada ya da gökada kümesinin merkezine doğru madde yoğunluğu, ancak doygun hale gelinceye kadar artar ve bundan sonra daha yoğun olamaz. Karanlık madde bu şekilde etkileşirse, ısrarla süren küçük-ölçekli yapı sorunları potansiyel olarak çözümlenebilir.

Gökadalar ve gökada kümeleri için kendisiyle-etkileşmeli karanlık maddenin farklı öngöröleri, gözlemlerin ve benzetimlerin bize karanlık maddenin özellikleri hakkında daha birçok şey söyleyeceklerini garanti eder. Farklı etkileşme modelleri farklı öngörülerde bulunacağı için, benzetimlerin gözlemlerle kıyaslanması, ayrıca etkileşmelerin farklı tiplerini de ayırt etmelidir.

Sadece seçenekleri ele alarak, onların çıkarımlarını çok daha tam olarak anlamak için Evrendeki yapıların biçimi hakkındaki bol veriden yararlanabiliriz. Belki de karanlık madde, benzetimlerin gözlemlerle daha iyi uyduğu yapıyı etkileyen etkileşmelere sahiptir. Ya da belki olağan karanlık madde, yapıyı öngörmede böyle etkileşmelere sahip karanlık maddeden daha iyi bir iş yapar ve böylece benzerlikler ve ölçümler gerçekten güvenilir olur olmaz, çok daha özenli modelleri kesinlikle dışlamaya izin verir. Sonuç ne olursa olsun, bir önceki bölümde betimlenmiş olan geleneksel WIMP aramalarının bize söyleyeceklerinin ötesinde, çok şey öğreneceğiz.

Fakat etkileşen karanlık madde başlı başına –çok ilginç olsa da– kesinlikle gelen bölümde sunulacak olan yakın araştırmalarımın odağı değildir. Ne de olsa, bütün olasılıklar, etkileşen ve etkileşmeyen karanlık maddeden ibaret değildir. Nasıl ki siyah ve beyaza odaklanınca, gri tonları ihmal etmiş –noktalı ve çizgili kumaşa değinmemiş– oluyorsak, karanlık maddenin de ya tüm etkileşmelere sahip olduğunu ya da hiçbirine sahip olmadığını varsaymak, dünyanın olasılıklarının zenginliğini görmezden gelmemize yol açar. Gelen bölümde karanlık maddenin –sıradan madde gibi– gerçekten de daha karmaşık olduğu ele alınacaktır. Belki karanlık madde etkileşmeyen bir bileşene sahiptir ve kendisiyle-etkileşmeli bir bileşene de. Belki bunların ikisi de Evrenin yapısına ve davranışına katkıda bulunur.

19

KARANLIĞIN HIZI

Bilimin sıradan izleyicileri ve bilim insanlarının kendileri, bilimsel önerileri değerlendirirken, yol gösterici olarak sık sık Occam'ın Usturasını kullanırlar. Bu hep-anılan ilke, bir olayı açıklayan en basit kuramın büyük olasılıkla en iyi kuram olduğunu söyler. Onun duyarlı-tınlayan mantığı şunu kabul ettirir ki, daha zayıf bir yapı meseleyi halledecekken karmaşık yapılar kurmak muhtemelen kötü bir fikirdir.

Yine de iki etken Occam'ın Usturasını el altından çökertmeye çalışır ya da en azından onu bir destek olarak kullanırken dikkatli olmayı önerir. Desteklerden kuşkulanmanın zor bir yolunu –entelektüel ve fiziksel– öğrenmiştim. Bir zamanlar kırık bir topuğu iyileştirmek için koltuk değnekleri kullandığımda, onların üzerine hatalı olarak dayanmış ve kollarımda sinir zedelenmesi olmuştu. Occam'ın Usturasının uyarılarına bağlı kalan kuramlar bazen aynı şekilde seçkin bir problemin üzerine giderler ve başka yerlerde –genellikle onu sahiplenene kuramın bir başka cephesinde– sorunlar yaratırlar.

En iyi bilim her zaman olası en geniş gözlemler aralığını kapsamalı ya da hiç olmazsa onlarla tutarlı olmalıdır. Gerçek soru, açıklanamamış olayların tüm kümesini en etkin şekilde neyin çözdüğüdür. Öncelikle basit görünen önerilmiş bir açıklama, daha geniş bir sorunlar kümesiyle karşılaştığında, bir Rube Goldberg makinesine devredilebilir. Diğer taraftan, özgün probleme uygulandığında aşırı derecede elverişsiz görünen bir açıklama, bilimsel bakış mercinden görüldüğünde, altında yatan zarafeti açığa çıkarabilir.

Occam'ın Usturası hakkında ikinci endişem, sadece bir olgudur. Dünya her birimizin büyük olasılıkla düşünebileceğinden çok

* Çok basit bir işi, bir sürü gereksiz yollar, bilyeler vb içeren nesneler kullanarak yapan düzeneklerin ortak adı. Bizdeki benzeri *Porof Zihni Sinir* projeleridir –çn.

daha karmaşıktır. Bazı parçacıklar ve özellikler, önem taşıyan –en azından şimdiye kadar sonuç çıkardıklarımıza göre– hiçbir fiziksel sürece gerekli görünmez. Yine de onlar mevcuttur. Bazen en basit model hiç mi hiç doğru model değildir.

Bu konudaki tartışmalar birçok kez önceki bölümde değinilen “Karanlık Madde Tartışmaları” konferansında ortaya çıkmıştı. Parçacık fizikçisi Natalia Toro, gereksiz fakat sınanabilir parçacıklar üzerine deneysel kısıtlamalar hakkındaki konuşmasında, Occam’ın Usturasından daha uygun bir rehberin “Wilson’ın Neşteri” dediği bir ilkenin olabileceğini ileri sürmüştü. Ona bu ismi fizikçi Ken Wilson’a izafeten vermişti; Wilson, sadece sınanabilir elemanların izini takip ederek bilimin neler yapabileceğini anlamaya yönelik genel bir çerçeve geliştirmişti. Natalia onun adındaki neşterin traş etmek yerine bir kurama biçim vermek için kullanılması gerektiğini, tüm sınanabilir elemanları dokunulmadan bırakarak, ileri sürmekteydi; ister onu altında yatan bir amaca yoralım, isterse yormayalım. Ondan sonra ben konuşurken, şaka yollu “Martha’nın Sofrası” ilkesinin yine de daha iyi bir fikir olduğunu ileri sürmüştüm. Ne de olsa, bir sofrayı sadece bıçaklarla kuramazsınız. Onu bir öğünü yemek için gerekli her şeyle oturaklı bir tarzda kurarsınız. Bir Martha Stewart * hüneriyle düzenleme ilkesi koyacaksınız; kaç tabak ve gümüş çatal bıçak takımı ayarlarsanız ayarlayın, fark etmez.

Bilim de gereğince hazırlanmış bir sofraya sahip olmalıdır; öyle bir sofraya ki bize gözleyeceğimiz birçok olaya eğilme fırsatı versin. Bilim insanları basit fikirleri yeğlemeye eğilimliyseler de, bunlar nadiren tüm hikâyedir. Bu tartışma, ben ve arkadaşlarımdan “kısmen etkileşen karanlık madde” dediğimiz çalışmamızı sunuşuma bir giriş niteliğinde olup, şimdi ayrıca sunacağım “çift-diskli karanlık madde” sınıfı modellere yol açar. Modellerin iki sınıfı da, karanlık maddenin özyapısının bu kadar basit olabileceğini kabul eder. Tıpkı sıradan madde parçacıkları için geçerli olduğu gibi, karanlık madde parçacıklarının tümü de aynı olmayabilir. Karanlık maddenin farklı etkileşme tiplerine sahip yeni

* Amerika’nın en ünlü kadınlarından; dergisi, TV programı, kitapları, CD’leri olan aşırı zengin, bir imparatorluğun sahibi. Bir “yaşam tarzı gurusu,” TV gösterilerinde yemekler yapıyor, ev, mutfak, bahçe vb düzenlemeleri anlatıyor –çn.

türleri var olabilir ve üstelik daha önce umulmadık, gözlenebilir sonuçlara sahip olabilirler. Etkileşen bileşenin karanlık madde-nin sadece küçük bir kesri olduğu anlaşıl-sa bile, Güneş Sistemi ve gökada için önemli çıkarımlara sahip olabilir. Bu, dinozorlar için de bir öneme sahip olmuş olabilir.

SIRADAN-MADDE ŞOVENİSTLERİ

Sıradan maddenin, Evrenin enerjisinin sadece yirmide biri kadarını ve madde tarafından taşınan toplam enerjinin altıda birini açıkladığını (geri kalan kısmını karanlık madde oluşturur) bildiğimiz halde, yine de sıradan maddeyi gerçekten de önemli bir bileşen olarak düşünürüz. Evren bilimcilerin dışında, hemen hemen herkesin dikkati, enerji hesabına göre büyük ölçüde önemsiz olduğunu düşünebileceğiniz sıradan madde bileşenine odaklanır.

Kuşkusuz sıradan maddeyi daha fazla önemseriz, çünkü içinde yaşadığımız maddesel dünyanın olduğu gibi, bizler de bu nesne-den yapılmışız. Fakat ayrıca etkileşmelerinin zenginliği nedeniyle de onunla ilgileniriz. Olağan madde elektromanyetik, zayıf ve yeğ-in çekirdek kuvvetleri aracılığıyla etkileşir; bu kuvvetler dünya-mızın görünür maddesine karmaşık, yoğun sistemler oluşturmak için yardım ederler. Sadece yıldızlar değil, ayrıca kayalar, okya-nuslar, bitkiler ve hayvanlar, gerçek varlıklarını, sıradan mad-denin doğanın kütleçekimsel-olmayan kuvvetleriyle etkileşmesi-ne borçludurlar. Tıpkı bir biranın küçük-yüzdeli alkol içeriğinin âlemcileri içkinin geri kalanından çok daha fazla etkilemesi gibi, sıradan madde de, enerji yoğunluğunun küçük bir yüzdesini taşı-dığı halde, onu ve çevresini sırf geçip giden bir şeyden çok daha belirgin ölçüde etkiler.

Bildik görünür madde, maddenin ayrıcalıklı yüzdesi –aslında en fazla yüzde 15 gibi– olarak düşünülebilir. İş ve politikada, et-kileyici yüzde bir, karar vermeyi ve siyaseti yönlendirir; oysa nü-fusun geri kalan yüzde 99’u pek de geniş ölçüde takdir edilmeyen altyapı ve destek temin eder; binaların bakımını sağlamak, kent-leri işler tutmak ve insanların sofralarına yiyecek götürmek gibi. Benzer şekilde, sıradan madde fark ettiğimiz neredeyse her şeyde baskındır; oysa karanlık madde, bolluğuna ve her yerde bulunma-sına, gökadalari ve gökada kümelerini yaratmaya yardım etmesi-

ne ve yıldız oluşumunu kolaylaştırmasına karşın, bizim bugünkü yakın çevremiz üzerinde sadece sınırlı etkisi vardır.

Civardaki yapıdan sıradan madde sorumludur. Vücutlarımızın hareketinden, ekonomimizi yürüten enerji kaynaklarından, bu kitabı okuduğunuz bilgisayar ekranı ya da kâğıttan ve esasen düşünebildiğiniz ya da ilgilendiğiniz her şeyden o sorumludur. Eğer bir şey ölçülebilir etkileşmelere sahipse, etrafta var olan her nesne üzerine anında etkilere sahip olacağı için, onunla ilgilenmeye değerdir.

Olağan senaryoda, karanlık madde bu tür ilginç etki ve yapıdan yoksundur. Yaygın varsayım, karanlık maddenin gökadalari ve gökada kümelerini bir arada tutan "tutkal" olduğu, ama onların civarında şekilsiz bulutlar halinde durduğudur. Fakat bu varsayım doğru değilse ve bu sadece bizim önyargımız –ve bilgisizliğimizse, ne de olsa bu çoğu önyargının kökenidir– ve bizi bu olası yanıltıcı yola sokmuşsa, ne olur? Sıradan madde gibi, karanlık maddenin de bir kesri etkileşiyorsa, ne olur?

Standart Model, altı cins kuark, elektron dahil üç cins yüklü lepton, üç tür nötrino, kuvvetlerden sorumlu tüm parçacıkları ve ayrıca yeni keşfedilmiş olan Higgs bozonunu içerir. Karanlık madde dünyası da –aynı ölçüde olmasa bile– epeyce zenginse ne olur? Bu durumda, çoğu karanlık madde ancak göz ardı edilecek kadar zayıf etkileşir, fakat karanlık maddenin küçük bir bileşeni sıradan maddedekilere benzeyen kuvvetler altında etkileşebilir. Standart Model parçacıkları ve kuvvetlerinin zengin ve karmaşık yapısı, dünyanın birçok ilginç olayına yol açar. Karanlık madde etkileşen bir bileşene sahipse, bu küçük parça da etkili olabilir.

Karanlık maddeden oluşmuş yaratıklar olsaydık, sıradan madde kesimimizdeki parçacıkların tümünün aynı tip olmasını varsaymamız çok yanlış olurdu. Belki biz sıradan madde insanları da aynı hatayı yapıyoruz. Bildiğimiz maddenin en temel bileşenlerini betimleyen parçacık fiziğinin Standart Modelinin karmaşıklığı ortada olduğuna göre, karanlık maddenin tümünün sadece bir tip parçacıktan oluştuğunu varsaymak çok tuhaf görünür. Bunun yerine, karanlık maddenin bir kesiminin neden kendi kuvvetlerine maruz kaldığını varsaymayalım ki?

O halde, sıradan madde nasıl ki farklı tipte parçacıklardan oluşuyor ve bu temel yapı taşlarının farklı yük düzenleri aracılı-

ğıyla etkileşiyorsa, karanlık madde de farklı yapı taşlarına sahip olabilir ve bu ayrı yeni parçacık tiplerinin en azından biri kütleçekimsel-olmayan etkileşmelere maruz kalabilir. Standart Modeldeki nötrinolar yegün ya da elektromanyetik kuvvet altında etkileşmezler, oysa kuarkların altı türü etkileşir. Benzer bir tarzda, belki de bir tip karanlık madde parçacığı kütleçekimin dışında çok zayıf etkileşmelere uğrar ya da başka hiç etkileşme yapmaz; fakat onun bir kesri –belki yüzde beşi– bunu yapar. Sıradan madde dünyasında gördüklerimize dayanarak diyebiliriz ki, belki bu senaryo, bir tek çok zayıf etkileşen ya da hiç etkileşmeyen karanlık madde parçacığı varsayımından çok daha fazla olasıdır.

İnsanlar, kültürün toplumların farklılığını göstermediğini varsayarak bir başka ülkenin kültürüyle kendi ülkesininkini bir araya koyduklarında, dış ilişkilerde hata yaparlar. Nasıl ki iyi bir delege, farklı kültürleri eşit düzeye koymaya teşebbüs ettiğinde, toplumun bir kesimini diğerine göre üstün saymıyorsa, tarafsız bir bilim insanı da karanlık maddenin sıradan madde kadar ilginç olmadığını ve ille de bizimkine benzer bir madde çeşitliliğinden yoksun olduğunu varsaymamalıdır.

Bilim yazarı Corey Powell, bizim çalışmamızı *Discover* dergisinde rapor ettiğinde, yazısına “ışık-madde şovenisti” olduğunu beyan ederek –ve başka herkesin de öyle olduğuna işaret ederek– başlamıştı. Bununla demek istediği şeydu: Bildiğimiz madde tipini, öbürlerinden kat kat daha önemli ve dolayısıyla çok karmaşık ve ilginç olarak inceleriz. Düşünebildiğiniz o inanış tipi Kopernik Devrimiyle baş aşağı edilmişti. Yine de insanların çoğu, bakış açılarının ve önemimize inanmalarının dış dünyayla tutarlı olduğunu varsaymakta ısrar etmektedir.

Sıradan maddenin birçok bileşeni farklı etkileşmelere sahiptir ve dünyaya farklı şekillerde katkıda bulunur. Karanlık madde de Evrenin yapısını ölçülebilir bir tarzda etkileyebilen böyle farklı davranışlı farklı parçacıklara sahip olabilir.

ETKİLEŞEN AZINLIK

Çalışma arkadaşlarım ve ben, karanlık maddenin kütleçekimsel-olmayan kuvvetler aracılığıyla etkileşen küçük bir bileşene sahip senaryoya “kısmen etkileşen karanlık madde” adını vermiştik. İl-

kin sadece iki bileşeni içeren böyle en basit modeli araştırmıştık. Baskın bileşen sadece kütleçekimsel olarak etkileşir ve gökadalara ve gökada kümeleri dolayındaki küresel halelerde duran geleneksel soğuk karanlık maddedir. İkinci bileşen de kütleçekimsel olarak etkileşir, fakat ayrıca elektromanyetizmaya çok benzeyen ek bir kuvvet aracılığıyla da etkileşir.

Bu iki-sıralı karanlık madde senaryosu egzotik gibi tınlayabilir, fakat benzer beyanların sıradan madde hakkında da yapılmış olabileceği aklınızda olsun. Kuarklar yeğın çekirdek kuvvetlerini duyarlar, fakat elektron gibi parçacıklar duymaz. Bu nedenle kuarklar protonlar halinde bağlanırlar, ama elektronlar bağlanmaz. Aynı şekilde, elektronlar elektromanyetik kuvveti hisseder, nötrinolarsa bundan habersizdir. Böylece olağan şovenizmimize karşı çıkar ve karanlık maddede de benzer çeşitliliğe izin verirse, karanlık kesimin bir parçasının bizim yapıldığımız maddenin etkileştiği kuvvetlere benzer –fakat ondan farklı– kuvvetler vasıtasıyla etkileşmesini hayal etmek olanaksız olmamalıdır.

Yine de, kısmen etkileşen maddenin Standart Model maddesinden şu anlamda biraz farklı olduğunu aklınızda tutunuz; elektronlar yeğın kuvveti doğrudan hissetmeseler de, kuarklarla etkileşirler ve dolayısıyla dolaylı etkileri hissederler. Karanlık maddenin yeni önerilen biçimi, etkileşmeleri açısından tamamen yalıtılmış olabileceği yerde, karanlık madde kitlesiyle yeni ortaya atılmış karanlık madde kuvvetinin dolaylı etkilerine bile maruz kalmaz. Mademki karanlık maddenin bileşenlerinin etkileşip etkileşmemesi gerektiğini –ya da karanlık maddenin farklı tipte parçacıklardan oluşup oluşmayacağını bile– henüz bilmiyoruz, öyleyse ilk ve en basit varsayım şu olabilir: Elektromanyetizmanın yeni biçiminden başka yeni etkileşmeler yoktur ve bu kuvveti sadece yeni ortaya konmuş yüklü parçacıklar hisseder. Bu senaryoda, karanlık madde kitlesi yeni kuvveti hiç mi hiç hissetmeyebilir.

Laf olsun diye, karanlık madde bileşeni tarafından hissedilen kuvvete *karanlık ışıık* ya da daha genel olarak *karanlık elektromanyetizma* diyeceğim. İsimler, yeni karanlık madde tipinin elektromanyetizma gibi bir kuvveti hissettiğini bize hatırlatması için seçilmiştir; fakat bu kuvvet dünyamızın sıradan maddesine görünmezdir. Sıradan madde yük taşıırken ve bu nedenle fotonlar salıp soğururken, yeni ortaya atılmış karanlık madde bileşeni,

sıradan maddenin hissetmediği bu yeni tip ışığı salıp soğurur sadece.

Bu karanlık elektromanyetik kuvvet, olağan elektromanyetik kuvvete benzemektedir. Fakat yüklü parçacıklara etki ederken, tamamıyla yeni tip bir parçacıkla –isterseniz, buna *karanlık foton* deyin– iletilen ayrı bir ek kuvvet altında tamamıyla farklı bir etki olabilir. Karanlık maddenin yeni bileşeni sıradan maddeyle etkileşmese de, onu bilinen maddeye benzer olarak davrandıran kendisiyle-etkileşmelere sahip olabilir; ne de olsa, o da karanlık maddeyle etkileşmez.

Sıradan madde ile karanlık maddenin ikisi de yük taşıyabilir ve kuvvetlere maruz kalır, fakat bu yükler ve kuvvetler ayrıdır. Yeni karanlık kuvvet altında yük taşıyan parçacıklar birbirlerini sıradan yüklü parçacıkların davranışına benzer bir şekilde çekebilir ya da itebilir. Ama karanlık kesimin etkileşmeleri sıradan maddeye şeffaf olabilir; çünkü karanlık madde, bizim alışık olduğumuz ışıkla değil de, kendi tek ve biricik ışık biçimi aracılığıyla etki eder. Sadece karanlık madde parçacıkları yeni kuvvetin etkisine maruz kalabilir.

Benzer fizik yasalarına uysalar ve belki uzayda çok yakınlık içinde olsalar bile, karanlık madde ve normal maddenin her biri kendi dünyasını işgal edebilir. Karanlık madde ve normal madde hiç etkileşmeden fiziksel olarak örtüşebilirler bile. Birbirleriyle aşırı derecede zayıf kütleçekimsel etkilerin yanı sıra farklı kuvvetlerle etkileşebileceklerinden, yüklü sıradan madde ve yüklü karanlık madde birbirlerinin varlığından habersiz olabilirler.

Birbirleriyle etkileşmeyen aynı yerdeki iki türden elektrik yüklü iki parçacık, aslında o kadar da gizemli değildir. Bu biraz Facebook aracılığıyla etkileşen sıradan madde ve Google+ ile kısmen etkileşen karanlık maddenin yüklü kısmı gibidir. Onların etkileşmeleri benzerdir, fakat onlar sadece kendi sosyal ağlarıyla temas halindedirler. Etkileşmeler bir ağ ya da diğeri üzerinden ilerler; genelde ikisi üzerinden değil.

Bir benzetim kurmak için daha uzaklara gidersek, bu solkanat ve sağ-kanat TV programları gibidir; bunlar aşağı yukarı aynı programlama kurallarını izlerler ve ikisi de bir tek televizyon üzerinden yayınlanabilir, fakat tamamıyla farklı oluşumlar olup her biri kendi doğrulama eğilimini pekiştirmeye çalışır. Program

sunucuları, konuk “uzmanlar,” konuları resmeden grafik gösterimler ve alttaki bantta yürüyen rastgele bağlantısız konularla ilgili haber uyarıları ile benzer formatlara sahip olmalarına karşın, iki program da içerik ve kendilerine sponsor olan reklamcılar bakımından en nihayetinde birbirinden çok farklıdır. En fazla birkaç konuk ya da konu her iki tip programda da boy gösterecek ve onların savundukları ürünler ile adaylar da farklı olacaktır.

Tıpkı yalnızca Fox Haberlerine bakan ve CNN’i dinleyen ender kişiler gibi, çoğu parçacık –ya da belki tümü– bir kuvvet ya da diğeri aracılığıyla etkileşir. Model –ortam gibi– bir bakış açısına yoğunlaşmaya yüreklendirir. İlke olarak her iki tip kuvvet vasıtasıyla etkileşen aracı parçacıklar olabilse de, çoğu parçacık bir ya da diğer türden yük taşır ve dolayısıyla birbirleriyle haberleşmezler.

Dürüst olmak gerekirse, fizikçilerin karanlık maddeyi hissedeni yeni bir elektromanyetizma tipi hakkında düşünmek için yüreklendirilmemesi tek önyargı değildi. Etkileşmeler çoğu kez sınanabilen sonuçlara sahiptir. Fizikçiler karanlık kuvvet ve kendisiyle-etkileşen karanlık madde fikrinden kaçınmışlardı, çünkü böyle senaryoların kısıtlayıcı, hatta dışlayıcı olduğunu düşünmüşlerdi. Bununla birlikte, Bölüm 18’de açıklandığı gibi, karanlık maddenin tümü o kuvvetleri hissetse bile, o sınırlamalar o kadar ciddi değildir. Fakat etkileşmeler sadece gözlemlere dayanan saptanmış sınırlar içinde izinlidirler.

Yine de, karanlık maddenin küçük bir kısmı öz etkileşmeliyse, o zaman durum çok daha az kısıtlıdır. Kendisiyle-etkileşmeler üzerine olan iki tür sınırı hatırlayın. Birincisi halelerin kendileriyle ilgili olduklarıydı: Haleler, üç eksenli yapı olarak bilinen çok az bir örnek olmayışla, neredeyse küresel olmalıydılar. İkincisi gökada kümelerinin birleşmelerini ilgilendiriyordu; tıpkı Mermi Kümesi olarak bilinen ve kümelerin kaynaşmasının bir sonucu olan en ünlüsü gibi. Gaz görülür olarak merkez bölgede kalmış, fakat kütleçekimsel merceklemeye gözlenmiş olan karanlık madde iki dış soğansı yapıyı –birazcık Miki Fare’nin kulakları gibi– oluşturmak üzere engellenmeksizin boylu boyunca birbirlerinin içinden geçmişti.

Karanlık maddenin tümü etkileştiğinde, her iki kısıtlama çok önemli olur. Fakat etkileşen bileşen karanlık maddenin sadece küçük bir kesriyse, hiçbirisi bize çok şey söylemez. Eğer sadece küçük

bir bileşen etkileşiyorsa, halenin çoğu küresel olacaktır. O baskın bileşen ya da saçıcılar beklenebilecekten daha fazla olmadıkça, etkileşmeler de üç eksenli yapıyı silip süpüremeyecektir.

Benzer şekilde, Mermi Kümesindeki gaz ve karanlık maddenin kesirleri, karanlık maddenin ufacık bileşenini kaydetmek için neredeyse yeterli olarak iyi ölçülmüş değildir; bu ufacık bileşen, ne de olsa, gökada kümesinin sadece küçük bir kısmını içerir. Bu bileşen merkezi bölgede etkileşir ve orada gazla birlikte kalır; hiç kimse onun farkına varmaz. Belki en sonunda Mermi Kümesinkiler gibi ölçümler, betimlemekte olduğum kısmen etkileşen senaryoyu sınırlamak için yeterince hassas hale gelecektir. Şimdi kesinlikle, kısmen etkileşen karanlık madde geçerli ve gelecek vaat eden bir olasılık olarak kalır.

KIVILCIM

Bu fikri ele almamı sağlayan itici güç –Harvard fizik fakültesine yeni katılan bir genç olan Matthew Reece ve iki doktora sonrası arkadaş JiJi Fan ve Andrey Katz ile birlikte– tamamıyla doğrudan ortaya çıkmış değildi. Çok ilginç çıkan birçok başka araştırma projesinde olduğu gibi, sonuçta esas hedefimiz haline gelmiş konuları çalışma niyetinde değildik. Daha çok, gökyüzünü gama ışınlarıyla tarayan NASA uzay gözlemevi Fermi uydusundan gelen bazı ilginç verileri anlamaya çalışıyorduk; gama ışınları, görünür ışık hatta X-ışınlarından bile daha yüksek enerjili biçimindedir ışıgın.

Çoğu astrofiziksel süreç geniş bir frekanslar bölgesi üzerinde düzgün dağılımlı bir ışıınım verir; bunun anlamı, fotonların sayısının herhangi özel bir frekansta dramatik olarak değişmediğidir. Böylece Amsterdam Üniversitesinden Christoph Weniger ve çalışma arkadaşları tüm Fermi verilerinde bir tek frekansta yoğunlaşmış bir ışıınım fazlalığının farkına vardıklarında, bu bizim ilgimizi çekmişti; fizik ve astronomi topluluklarında pek çok kişi de bununla ilgilenmişti.

Weniger ve arkadaşlarının saptadığı ışıınım yoğunluğundaki bu sivri doruğun (burada ışıınım sadece fotonlar ya da ışık anlamındadır) gökadanın merkezinden çıktığı görünmekteydi; orada karanlık madde çok yüksek düzeyde yoğunlaşmıştı, fakat sıradan

astrofiziksel kaynaklardan böyle bir sinyal ortaya çıkmamalıydı. Daha geleneksel bir açıklamanın –ya da bir hatanın– yokluğu halinde, foton sayısında bir sivri doruk ancak yeni bir şeyi temsil edebilirdi.

En ilginç öneri şuydu: Sinyal, karanlık maddenin fotonlara yok olmasının bir sonucu olabilirdi; Bölüm 17’de betimlenmiş cinsten dolaylı bir saptama sinyali. Belki karanlık madde parçacıkları birbirleriyle çarpışmışlar ve $E = mc^2$ “tılsım”ıyla fotonlara dönüşmüşler ve sonra Fermi uydusu onları saptayabilmişti. Bu öneri için başka bir destek, fotonların enerjisiydi; gözlenmiş olan fazlalık enerji, karanlık madde için beklenen bölgedeydi. Bu değerce, parçacık fiziği Standart Modelinin yeni keşfedilmiş olan kayıp parçası Higgs bozonunun kütlesine de yakındı; belki daha derin bir bağlantıyı bile gösteriyordu. Ölçümün üçüncü ilginç yanı şuydu ki, etkileşme kıymeti doğru karanlık madde kalıntı yoğunluğunu elde etmek için alacağı değerle uyuşmaktaydı. Karanlık madde ölçülmüş hızda yok olmuşsa, bugüne hemen hemen doğru karanlık madde miktarı kalabilirdi.

Bu güzel işaretlere karşın, sinyal gerçekten de karanlık maddenin kaynaklanmışsa, birkaç şey sıkıntı yaratacak gibi görünüyordu. Karanlık madde ışıkla etkileşmediğinden, fotonları doğrudan üretmez. Belki karanlık madde henüz gözlenmemiş bir ağır yüklü parçacıkla etkileşir ve bu parçacıklar da ışıkla etkileşir. Fakat bu söz konusu olsaydı, karanlık madde yok olup enerjiye dönüştüğünde, bu enerjinin yüklü parçacıklar da yaratmasını beklerdik. Fakat Fermi uydusu böyle bir sürecin hiçbir işaretini saptamamıştı.

Diğer sorun şuydu; toplam karanlık madde miktarı onun herhangi bir şeye ne kadar yok olduğuna bağlı olsa da, sinyal sadece fotonlara yok olma miktarına bağlıdır. Evrendeki karanlık madde yoğunluğu dikkate alındığında, fotonlara yok olma hızı, en ince ayarlı model dışında tüm modellerde aşırı derecede küçük çıkar. Bu demektir ki sinyalin bu özel karanlık madde açıklaması, sadece parametrelerin çok dar bir bölgesinde muhtemelen tutarlı olabilir; bu, yeterince büyük bir fotonlara yok olma hızına izin verirken, yüklü parçacıklara yok olmaya neredeyse hiç izin vermez.

JiJi, Andrey ve ben, izin verilebilir karanlık madde modellerini incelemek için ilginç bir olanak olarak baktık buna. Tüm hızla-

rın ölçülen değerleriyle uyuşan herhangi bir akla yakın örneğin olup olmadığını bilmek istiyorduk. Fermi sonucuna odaklanarak başlamış ve doğanın diğer fizikçilerin zaten önermiş oldukları modellerden daha iyi yapabileceği bir yol düşünebilir miyiz diye sormuştuk. Verilerin bizi yanlış yola sevk etmiş olabileceğinin de tamamen farkındaydık. Fermi sonuçları gösterip-de-vermeyen nitelikteydi, fakat yeni bir sinyal için, karanlık maddede ya da başka şeyde bir kökene sahip, karar verici bir durum oluşturacak kadar da güçlü değildi. Gözlemler, yeni bir fiziksel sürecin gerçek bir sinyali yerine, kolayca düzeneğin bir istatistiksel rastlantısını ya da yanlış anlaşılmasını yansıtmış olabilirdi; sonuçta bunu okurken aşırı beklentilerinize set çeken durum ortaya çıkardı.

Fakat gözlem, özellikle başlangıçta, yeterince ilginçti, öyle ki onun herhangi akla yakın bir fiziksel süreç yaratıp yaratamayacağını sormayı garanti ediyordu. Her şeye karşın, maddenin egzotik yeni biçimlerini aramak çetin bir iştir. Onları bulmanın her olası yolundan haberdar olmak isteriz. Bu sinyalin gerçek olduğu kanıtlanınsın ya da kanıtlanmasın, gelecekte yararlı olabilecek bir şeyler öğrenebilirdik.

Dördümüz karatahtamda, sinyalin istenen yanlarını korurken, problemlerden zekice kurtulmak için tasarlanmış çok sayıda fikri deneyerek çalışmıştık. Fakat önerilerimizin hiçbirisi izlemeye değecek kadar iyi işlememişti. Tüm sınırlamaları sağlamada başarılı olanlar Occam'ın Usturasının özüyle tutarsız hale düşmekteydi. Daha da kötüsü, bunlar iyi kurulmuş fikirler listesinin dolayında hiçbir yerde kabul edilmiyordu.

Yine de, reddettiğimiz modellerden biri, en sonunda yapmayı planladığımız her şeyden çok daha ilginç olan bir düşünme çizgisini tetiklemişti. İlk soruşturmalarımız hep mevcut sınırlamaları içine sığdıracağımız özel bir model bulmaya çalışmak üzerine dayanmıştı. Ama bir geri adım atıp kendimize şunu sormuştuk: Yerel karanlık madde düşündüğümüzden daha yoğunsa, öyle ki aslında çıkarımları yanlış yorumluyorsak, ne olur? Bu daha yüksek yoğunluk nedeniyle, karanlık madde beklediğimizden çok daha fazla yok olabilmekteyse, ne olur?

Daha yüksek yoğunlukla, karanlık madde parçacıkları birbirlerini bulabilir ve çok daha verimli bir şekilde etkileşir. Bu, dolayısıyla, çok daha kolay şekilde gözlemlere hazır büyük bir sin-

yal yaratabilir. Tıpkı New York'un Penn İstasyonunda kalabalık bir saatte birine çarpmanızın, Waterbury'de Vermont tren istasyonunda bir pazar sabahı saat 9.00'da birine çarpmanızdan çok daha olası olması gibidir. Bir karanlık madde parçacığının da bir diğer karanlık madde parçacığına yoğun bir maddesel ortamda çarpması, şekilsiz halenin olağan yaygın ortamında olduğundan çok daha büyük olasılıklıdır. Eğer bir karanlık madde haledeki maddeden çok daha fazla yoğunlaşmış olsaydı, tüm diğer sınırlamalar çok daha kolay şekilde sağlanmış olurdu.

Bu durumda soru, bunun altında yatan nedendir. Neden karanlık madde –ya da en azından karanlık maddenin bir kısmı– düşündüğümüzden daha yoğun olmak durumundadır? Bu, kısmen etkileşen karanlık madde fikrinin doğduğu yerdir; bunu yakından izleyen karanlık-disk fikriyle beraber. Aslında, şimdi Fermi sinyalinin parazit olduğundan iyice emin olsak bile, bu yeni fikir o kadar çok keşfedilmemiş çıkarımlara sahiptir ki onun izlenmek için başlı başına değerli olduğunu kısa sürede anlamıştık.

KARANLIK DİSK

Bir zamanlar evimi temizlerken (evet, Roomba robotik elektrikli süpürgem bu işi yapar), toz tablasını boşaltmış ve orada biriktirdiğim eski bir sakız falı kâğıdı bulmuştum. Kâğıtta gizemli bir soru vardı: “Karanlığın hızı nedir?” O zaman, bu sözcüklerin gerçekte bir tür şans olduklarını bilmiyordum; şu bakımdan ki o sözcükler aşağı yukarı başlamak üzere olduğum araştırma projem için kehanette bulunmuştu.

Bölüm 5'te sıradan maddenin ince yoğun bir diskte bulunduğu açıklanmıştı; çünkü enerji yayar, bunu enerjiyi etkin şekilde uzaklara taşıyan fotonlar salarak yapar. Enerji yitiminin sonucunda madde parçacıkları yavaşlar, soğur; daha sıcak, daha enerjili, daha yüksek-hızlı parçacıklardan beklenebilecek türden büyük yolculuklar yapmazlar. Daha az enerji nedeniyle dışarıya yayılmak üzere daha az hıza sahip olduğu için, madde çökmesi meydana gelir. Sıradan madde, enerji yitirip hızını düşürdüğünden, bir diske çöker; açık, kuru bir gecede görebildiğiniz Samanyolu diski gibi.

Arkadaşlarım ve ben kısmen etkileşen karanlık madde kavramını ortalığa salıverdikten sonra, onun Samanyolu gökadası ve

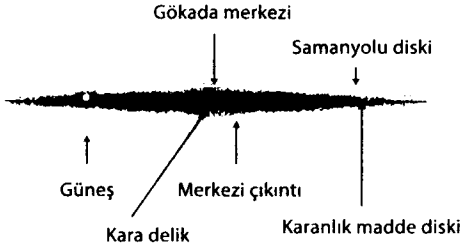
ötesi için potansiyel sonuçlarının ardına düşmüştük. Etkileşen karanlık maddenin mevcut olduğunu ve sıradan yüklü madde gibi davrandığını varsaymıştık; bunun gökadada soğuduğunu, yavaşladığını ve bu suretle bir disk oluşturduğunu biliyoruz.

Bizim senaryomuzda karanlık maddenin sadece küçük bir kısmı etkileşir. Böylece karanlık madde kitlesi hâlâ bir küresel hale oluşturur; gökbilimcilerin şu ana kadar gözledikleriyle tutarlıdır bu. Yine de, etkileşen karanlık maddenin yeni bileşeni enerji yitirebilir, böylece o –sıradan madde gibi– soğur ve bir disk de oluşturur. Etkileşen karanlık madde bileşeni –karanlık foton etkileşimleri aracılığıyla– enerji yayınlatabilir ve hızını düşürür. Bu bakımdan, iyice sıradan madde gibi davranır. Nasıl sıradan madde soğur ve çökerse, karanlık maddenin etkileşen bileşeni de öyle yapabilir. Açısal momentumun korunumu nedeniyle –ki bu düşey doğrultu dışında diğer her yönde çökmeyi engeller– etkileşen karanlık madde bir diske çökebilir.

Ayrıca, tıpkı sıradan atomların zıt yüklü proton ve elektronlardan oluşması gibi, karanlık maddenin bu bileşeni de zıt yüklü parçacıklar içerebilir. Yüklü parçacıklar, karanlık atomlar halinde bağlı olacak kadar soğuyuncaya dek enerji yaymayı sürdürecektir. O zaman soğuma çok daha yavaş hale gelir ve karanlık madde atomları, normal madde atomları gibi, bir disk içinde bulunur; bu diskin kalınlığı atomik bağlanmanın meydana geldiği sıcaklıkla ilgilidir. Akla yatkın varsayımlarla, sıradan ve karanlık bileşenlerin sıcaklıkları soğuma durduktan sonra kıyaslanabilir değerde çıkmalıdır. Böylece sıcaklıkları yaklaşık aynı olan bir karanlık madde diski ve bir sıradan madde diskiyle baş başa kalabiliriz.

Bununla birlikte, karanlık disk bilinen Samanyolu diskiyle tam olarak aynı yapıda olmayabilir. Aslında bu çok daha ilginç bile olabilir. Karanlık maddenin dikkat çekici özelliği şudur; eğer karanlık madde parçacığı bir protondan daha ağır fakat aynı sıcaklığa sahipse, karanlık madde diski daha ince olacaktır; Samanyolu diskinden daha dar genişlikte. Bir parçacığın taşıdığı enerji onun sıcaklığıyla ilişkilidir. Fakat kinetik enerji de kütle ve hıza bağlıdır. Aynı sıcaklıklı daha ağır parçacıklar, enerjilerin aynı olması için daha düşük hıza sahip olacaklardır; böylece daha büyük kütleler daha ince disklere yol açarlar. Protondan yüz kez kadar daha ağır kütleli bir karanlık madde parçacığı

-karanlık madde kütleleri için yaygın olarak kabul edilen bir değer- için disk, Samanyolunun dar diskinden bile yüz kez kadar daha ince olabilir. Bu, dikkate değer bir olasılık olup, bundan sonraki iki bölümde göreceğimiz gibi, pek çok ilginç gözlemsel sonuca yol açabilir. (Şekil 38.)



[ŞEKİL 38] Karanlık maddenin küçük bir etkileşen bileşeni, Samanyolunun orta düzleminde çok ince bir karanlık diske yol açabilir. Resimde bu disk siyah dolu çizgiyle gösterilmiştir.

Şu da önemlidir: Bu iki disk, farklı olmakla birlikte, yine de, karanlık disk Samanyolu düzleminin daha geniş diskinin içine gömülmüş olarak, aynı hizada olmalıdır. Kütleçekim aracılığıyla etkileşen sıradan madde ve karanlık madde diskleri tamamıyla bağımsız olmadıklarından bu böyledir. Daha önceki Fox Haberleri-CNN benzetimindeki bir çatlağı düşünerek, hem karanlık diskin hem de sıradan diskin hissettiği kütleçekim aslında bu iki varlığın kendilerini aynı doğrultuya yöneltmek istemelerini sağlayacaktır. Birbirlerini değışmez ve sık sık tekrarlanan yayınların toplu etkileriyle etkilediklerinden sol ve sağ-kanat TV'ler de tamamıyla bağımsız olmadıkları halde, çoğu tepki negatiftir ve bu onların karşılıklı etkileşimini itici kılar. Diğer yandan, karanlık madde ve normal madde diskleri kütleçekim aracılığıyla etkileşir ve dolayısıyla hizalanırlar.

Araştırmamızın dikkate değer ve şaşırtıcı sonucu şuydu: Sıradan diskimizle birlikte var olan, ince bir karanlık madde diskisi mevcut olabilir ve bu yeni önerilmiş olan karanlık madde diskisi, iyi-bilinen Samanyolu diskinin içine gömülmüş olabilir. Arkadaşlarım ve ben önerimiz hakkında bir hayli heyecanlanmış ve onu diğer fizikçilerle paylaşmaya heveslenmiştik. Harvard'daki meslektaşım Howard Georgi fikri de çok beğenmişti, fakat bu senaryonun önerdiğimiz her şeyden daha alımlı bir ismi hak ettiğini bilgece düşünmekteydi. İsim için bir seçenek olarak amacımıza iyi hizmet eden "çift disk karanlık madde"yi (DDDM) önerme iyiliğinde de bulunmuştu ve o zamandan beri de bunu kullanmaktayız. Varsayımlarımıza göre, isim uygundur; gökadamız gerçekten de biri diğerinin içine gömülmüş iki tür disk içerir.

Yıldız gözlemleri, iki milyon yıldan daha az önce düzlemin merkezini terk ettiğimizi gösteriyor; kozmolojik ölçeklere göre kısa bir zamandır. Bu bize diyor ki, çift-disk karanlık madde varsa, Güneş Sistemi o sıralarda karanlık disk boyunca da salınmaktaydı; böylece çok uzakta değiliz (astrofiziksel anlamda). Aslında, disk birazcık daha kalın olursa, biz bile içinde olabiliriz; belki de gözlenebilir sonuçlarıyla. Disk, yakında göreceğimiz gibi, muhtemelen birkaç dramatik etkiyle, yine çok uzun zaman ölçeklerinde olmasına karşın, Güneş Sisteminin dinamiğini de etkileyebilir. Önerdiğimiz etkileşen karanlık maddenin küçük bileşeni diğer gökadalardan içlerinde de, muhtemelen onların bazı özelliklerini açıklayan, diskler yaratabilir.

Kuşkusuz, önemli soru, karanlık maddenin etkileşen bileşeninin ve karanlık madde disklerinin gerçekten var olup olmadığıdır. Sonuçlarını ölçerek bir karanlık disk keşfetmek, yukarıdaki önerilerin herhangi birinin önemini kabullenmeye yardım edebilir. Neyse ki, sıradan maddede olduğu gibi, o Evrendeki toplam karanlık maddenin sadece küçük bir kesri olsa bile, etkileşen maddenin artmış olan yoğunluğu, onu bulmayı ve haledeki olağan yaygın karanlık maddeden onu ayırt etmeyi kolaylaştırabilir. Bu artmış karanlık madde yoğunluğunun gelen bölümde tartışacağımız birçok potansiyel fiziksel ve astronomik parçacık sinyali, karanlık diskin uygulanabilir ya da hatta yeğlenebilir olup olmadığını söylemelidir.

Eğer gerçekten de şanslıysam –elektrikli süpürge­me­de gizlenmiş olan fal kâğıdının beni inandıracacağı gibi– belki bu gözlemlerin biri ya da daha fazlası en sonunda bir karanlık madde diskinin varlığını açığa çıkaracaktır.

KARANLIK DİSKİN ARANMASI

Yakınlarda hukukçular, akademisyenler, yazarlar ve insan hakları savunucuları ile ifade özgürlüğü (düşüncelerin serbestçe ifade edilebilmesi) konusunda heyecanlı bir tartışmaya katılmıştım. Hiçbirimiz ifade özgürlüğünün önemini sorgulamamıştı. Bununla birlikte, onun tam olarak ne anlama gelmesi gerektiği konusunda ya da diğer haklar bağlamında onu nasıl dengelememiz gerektiği üzerinde tümümüz anlaşamamıştı. İfade özgürlüğünün potansiyel olarak zararlı sonuçları, ne zaman yararlarından daha ağır basar? Özel yasalar düzenlemek için ya da adayların herhangi bir şekilde kısıtlanması için para harcanmalı mıdır? Bir hukukçu, ABD Yüksek Mahkemesinin kuruluşların sınırsız politik katkılarına izin verilmesine ilişkin Birleşmiş Yurttaşlar (muhafazakâr görüşlü bir sivil toplum kuruluşu) davasındaki kararını ifade özgürlüğü hakkına –bir ifade biçimi olarak para harcama fikri yanında– nasıl dayandırdığını açıklamıştı. Fakat tartışmamızda diğerleri, kuruluşlar tarafından sınırsız harcamanın yurttaşların sesini bastırabileceğinden endişe duymakta ve ifade özgürlüğünün kuruluşlar için değil de halk için amaçlandığını iddia ediyorlardı. Ne de olsa, bir insanın sesi olmaksızın, ne para ne de kuruluşlar konuşabilir; özgürce ya da değil.

Fakat Yüksek Mahkemenin kararının bu mevcut halini ve onun neticesinde de şimdi politikaya giren/akan para selini dikkate alarak, bireylerin –ve kuruluşların– paralarını kamuoyunu etkilemek için harcaabilecekleri farklı yolları düşünelim.

Parasal katkılar, şehirler ve kasabalar gibi yerel bölgelerde tanıtımı amaçlamaya odaklanmış olabilir; oralarda halkın bakış açısını kolaylıkla değiştirebilirler ve bir oylamanın sonucunu etkilerler. Ya da bağışçılar, servetlerini geniş bir bölge üzerinde bölüştürerek ve amaçlarını örtterek çok daha yaygın şekilde katkıda bulunabilirler; böylece pek açık çizilmemiş etkiler üreterek

genel bir kanı uyandırırılar. Bu iki strateji birlikte, söz konusu tanıtımların yalnızca birinden çok daha kuvvetli etkiye sahiptir. Fakat daha küçük ama daha yoğun yerlerde ilan yoğunluğu artırıldığında, hedef bölgelerde değişim oranı açıkça daha büyük olmalıdır.

Aynı şekilde fizikte, daha ince, daha yoğun bir diskin kütleçekimsel etkisi, yıldızların hareketini, daha kalınca, daha yaygın diskten çok daha keskin şekilde etkiler. Yerel ilanların daha belirgin etkisi olduğu gibi, gökada düzleminin içinde ve dışında hareket eden yıldızların konumları ve hızları da daha ince, daha yoğun bir diskten çok daha belirgin ölçüde etkilenmiş olabilir.

Samanyolu sıradan madde ve karanlık madde disklerinin ikisini de kapsadığından, gökada düzleminin içinde ve dışında yıldızların hareketleri ikisine de bağlıdır; gökadasal orta düzlemde yoğun bölgeden uzaklaştıkça önce keskin şekilde, sonra yavaş yavaş değişen birleşik bir etki üretirler. Bu, yerel ve geniş çaplı tanıtımın birlikte sonucuna benzer. Kalınca bir sıradan madde diski içine gömülmüş ince bir karanlık madde diski ile karanlık maddenin çok güçlü çekimi, yıldızlar üzerinde Samanyolunun orta-düzleminden uzaklıkla değişen belirgin bir ölçülebilir etki vermek üzere, sıradan maddenin daha yaygın çekimiyle birleşebilir.

Zengin veriler çağında yaşamaktayız ve kesinlikle hiçbir olası araştırma hedefini gözden kaçırmak istemiyoruz; özellikle bir karanlık madde diski kadar şaşırtıcı fakat ele geçmez bir şey arandığı zaman. Bu bölüm Samanyolu diskinin kütleçekimsel etkisinin yıldızların hareketini kullanarak nasıl ölçüleceğini açıklayacaktır; bu da bir karanlık madde diskinin varlığını belirleyecek ya da çürütecektir. Fakat bunu yapmadan önce, bu bölümde ilkin disk karanlık maddesinin olanakları hakkında diğer genel düşünceler incelenecek ve şu anda devam eden daha geleneksel karanlık madde aramalarında onu keşfetmenin potansiyeli soruşturulacaktır. Ondan sonra, karanlık maddenin bazı ilginç astronomik çıkarımları sunulacaktır.

ÇEŞİTLİ KARANLIK MADDELER

Kısmen etkileşen karanlık maddeyi ilk incelememde, pratik olarak sadece sıradan maddenin parçacık tipleri ve etkileşmeler baki-

mından çeşitlilik gösterdiğini varsaymanın potansiyel yanılgısını –ve yersiz gururunu– hiç kimsenin düşünmemiş olmasına şaşır kalmıştım. Birkaç fizikçi *ayna karanlık madde* olarak bilinen ve karanlık maddeyi sıradan madde hakkında bilinen her şeyi taklit eden olarak niteleyen model gibi modelleri çözümlemeye çalışmışsa da, bunun gibi örnekler oldukça özel ve egzotikti. Onların çıkarımlarını, bildiğimiz her şeyle bağdaştırmak zordu.

Küçük bir fizikçi topluluğu etkileşen karanlık maddenin çok daha genel modellerini çalışmıştı. Fakat onlar tüm karanlık maddenin aynı olduğunu ve dolayısıyla özdeş kuvvetleri hissettiğini de varsaymışlardı. Çoğu karanlık madde etkileşmese bile, onun küçük bir kesrinin etkileşebileceği şeklindeki çok basit olasılığı hiç kimse düşünmemişti.

Bunun potansiyel bir nedeni ortadadır. Çoğu kimse, pek çok ölçülebilir olayla ilgisiz olan yeni tip bir karanlık madde bekleyebilir; yeter ki ek bileşen, karanlık madde dökümünün sadece küçük bir kesrini oluştursun. Karanlık maddenin baskın bileşeni bile gözlenmemişken, küçük bir yapıtaşıyla yakından ilgilenmek zamansızmış gibi görülebilir.

Fakat karanlık maddenin enerjisinin sadece yüzde 20 kadarını sıradan maddenin taşıdığı, ama yine de aslında çoğumuzun sıradan maddeyi önemsedіği hatırlanırsa, bu mantığın nerede çatladığını görebilirsiniz. Kütleçekimsel-olmayan daha yeğın kuvvetler aracılığıyla etkileşen madde, iyice zayıf olarak etkileşen maddenin büyük bir miktarından daha ilginç ve daha etkili olabilir.

Bunun sıradan madde için doğru olduğunu görmüştük. Sıradan madde az miktarıyla gereğinden çok etkilidir; çünkü o orada yıldızların, gezegenlerin, Yeryüzünün ve hatta yaşamın oluşabildiği yoğun bir madde diskine çöker. Yüklü bir karanlık madde bileşeni –mutlaka çok cömert olmasa da– Samanyolu içinde görünür olan disk gibi diskler oluşturmak üzere o da çökebilir. Yıldız gibi cisimlere bile parçalanabilir. Bu yeni disk-gibi yapı ilke olarak gözlenebilir ve hatta muazzam bir küresel hale içine yayılmış olan geleneksel baskın soğuk karanlık madde bileşeninden daha kolaylıkla ulaşılır çıkabilir.

Benzer şekilde düşünmeye başlayınca, olasılıklar hızla artar. Elektromanyetizma, Standart Model parçacıkları tarafından hissedilen çeşitli kütleçekimsel-olmayan kuvvetlerden sadece biridir.

Elektronları çekirdeklere bağlayan bu kuvvete ek olarak, dünyamızın Standart Model parçacıkları zayıf ve yeğin çekirdek kuvvetleri aracılığıyla da etkileşir. Sıradan madde dünyasında daha başka kuvvetler de var olabilir, fakat bunlar erişilebilir enerjilerde aşırı derecede zayıf olabilir, çünkü şimdiye kadar hiç kimse onlardan bir işaret gözlememiştir. Fakat üç kütleçekimsel-olmayan kuvvetin varlığı bile, etkileşen karanlık kesimin de karanlık elektromanyetizmadan başka kütleçekimsel-olmayan kuvvetleri hissedebileceğini ileri sürer.

Belki çekirdek-tipi kuvvetler, elektromanyetik-tipteki kuvvete ek olarak karanlık parçacıklar üzerine etkirler. Bu daha zengin senaryoda, karanlık yıldızlar oluşabilir, yapıları yaratmak için çekirdek yanması meydana gelir. Bu, şimdiye kadar betimlediğim karanlık maddeden daha çok sıradan maddeye benzer şekilde davranır. Bu durumda, karanlık disk karanlık atomların oluşturduğu karanlık gezegenlerce sarılmış karanlık yıldızlar tarafından doldurulur. Çift-diskli karanlık madde o zaman sıradan maddeyle tümünden aynı karmaşıklığa sahip olur.

Kısmen etkileşen karanlık madde spekülasyonlar için kesinlikle verimli bir toprak oluşturur ve aksi halde sahip olamayacağımız olasılıkları ele almamız için bizi yüreklendirir. Yazarlar ve sinema seyircileri, karanlık sektörde [sinemada] böyle ek kuvvetlere ve sonuçlarına sahip bir senaryoyu çok ayartıcı bulabilirler. Onlar büyük olasılıkla bizimkiyle birlikte var olan karanlık yaşamı bile ileri sürebilirler. Bu senaryoda, diğer canlandırılmış yaratıklarla dövüşen ya da nadir vesilelerle işbirliği yapan olağan canlandırılmış yaratıkların yerine, karanlık madde yaratıklarının orduları ekran boyunca yürür ve tüm sahneyi ele geçirir.

Fakat bu, izlemek için, o kadar da ilginç olmayabilir. Sorun şudur: Filmi çeken kimse bu karanlık yaşamı filme almakta güçlükle karşılaşabilir; bu kuşkusuz bize ve onlara görünmezdir. Karanlık yaratıklar orada olsaydılar bile (ve belki oradaydılar), bunu bilemeyiz. Karanlık madde yaşamının ne denli şirin olabileceği hakkında hiçbir fikriniz yok ve neredeyse kesinlikle asla olmayacaktır.

Karanlık yaşamın olabilirliği hakkında kurgular yapmak eğlendirici olsa da, onu gözlemek için bir yol bulmak ya da çok daha dolaylı yollardan varlığını bile algılamak iyice zordur. Güneşin

diğer gezegenlerindeki aramalar devam etmekte ve çok gayret harcanmakta olsa da, bizimle aynı malzemeden oluşmuş yaşamı bulmak yeterince meydan okuyucudur. Fakat karanlık yaşam için kanıt –ki var olmalı–, uzak dünyalardaki sıradan yaşamın kanıtından çok daha ele geçmezdir.

Bir tek cisimden yayınlanan kütleçekim dalgalarını henüz doğrudan görmüş değiliz. Astronomların başka tarzlarda algıladıkları kara delikler ve nötron yıldızları bile, şimdiye kadar kütleçekim-dalgasını saptamaktan yan çizdiler. Bir karanlık yaratığın ya da bir karanlık yaratıklar ordusunun –onların tümü birbirlerine ne kadar yakın olurlarsa olsunlar– kütleçekimsel etkiyi algılama şansının yok denecek kadar az olduğunu sineye çekiyoruz.

İdeal olarak, bu yeni sektörle bir şekilde iletişim kurmayı ya da onun belirgin bir tarzda bizimle haberleşmesini isteyebiliriz. Fakat bu yeni yaşam bizim hissettiğimiz aynı kuvvetleri hissetmiyorsa, bu olmayacaktır. Kütleçekimini paylaşırsak bile, bir küçük cisim ya da yaşam-biçimi tarafından uygulanan kuvvet onu algılamak için neredeyse kesinlikle aşırı zayıf olabilir. Ancak Samanyolu düzlemi boyunca uzanan bir disk gibi çok büyük karanlık cisimler, aşağıda tartışacağımız görünür sonuçlara sahip olabilirler.

Karanlık cisimler ya da karanlık yaşam çok yakında olabilir; fakat eğer karanlık nesnenin net kütlesi çok büyük değilse, bunu hiçbir şekilde bilemeyebiliriz. En güncel ya da şu anda hayal edebileceğimiz herhangi bir teknolojiyle bile, sadece bazı çok özelleşmiş olasılıklar sınanabilir. “Gölge yaşam” heyecan verici olsa da, herhangi bir görünür sonucunu zorunlu olarak fark etmeyeceğimiz, cezbedici bir olanak, fakat gözlemde muaf bir şey olacaktır.

Doğrusu, karanlık yaşam olmayacak bir iştir. Bilimkurgu yazarlarının onu yaratmada sorunları olmayabilir, fakat Evrenin üstesinden gelmesi gereken pek çok engeli vardır. Tüm olası kimyaların arasından, kaçının yaşamı sürdürebileceği iyice belirsizdir ve sürdürebileceklerin arasında bile, gerekli olabilecek çevre tiplerini bilmiyoruz. Ayartıcı olsa da, karanlık yaşam sadece sınamak için olmakla kalmaz. Yaratılması Evren için de zordur. Dolayısıyla bu olasılığı bir yana bırakacağım –en azından şimdi– ve hedeflere odaklanıp çok daha ümit verici olmasını beklediğim büyük yoğun bir disk arayacağım.

KARANLIK BİR DİSKİN İŞARETLERİ

Sistematik olmak ve en az varsayımla başlamak için, JiJi Fan, Andrey Katz, Matt Reece ve ben ilkin düşünebileceğimiz en basit DDDM modelini araştırmıştık. Olağan zayıf şekilde etkileşen karanlık maddeye ek olarak, modelimiz karanlık-yüklü parçacıklar ve elektromanyetizmaya benzer bir karanlık kuvvet içermekteydi; yüklü karanlık madde parçacıkları bu kuvvet aracılığıyla etkileşir. Model, proton gibi artı yüklü bir ağır parçacık ve elektrona akraba eksi yüklü bir diğer tip parçacık içermekteydi.

Henüz fiziğe girmemiş yeni bir fikir üzerinde çalışırken, kural hemen hemen her zaman biraz zorlu bir mücadeledir. Bazı fizikçiler ve gökbilimcileri için, çift-diskli karanlık madde bir gerginliktir. Parçacık fizikçileri için bile, maddenin temel yapı taşlarını ortaya çıkarmayı hedefleyen araştırmalarının oldukça cüretkâr doğasına karşın, birçok meslektaş –ve genelde bilim insanı– topyekûn bir tutucu gruptur. Bu tamamıyla haksız değildir: Bir gözlemin geleneksel bir açıklaması varsa, o neredeyse daima doğrudur. Ancak barınmak için eski fikirler başarısız kaldığı zaman, köklü değişiklikler benimsenmelidir. Sadece çok ender durumlarda yeni fikirler gözlemleri açıklamak için gerçekten gerekli olur.

Bilimsel topluluk yeni bir şeyin gerekliliği konusunda fikir birliğinde olduğunda bile, işin üstünlüğünün ağırlık verildiği birkaç “benimsenmiş” önerinin dışına çıkma dirençle karşılaşır. Örneğin, süpersimetri ve WIMP’ler parçacık fizikçileri tarafından, onlar için henüz deneysel bir kanıt var olmadığı halde, genellikle neredeyse yerli yerine oturmuş görülürler. Sadece gitgide artarak sınırlayan verilerin karşısında topluluğun birçok üyesi kuşku duymaya ve oturmuş araştırma kuralının ötesinde yatan şeyler için yeni olanaklar düşünmeye başlarlar.

Daha yeni bir kavram yerleşir yerleşmez, herkes onu ölümüne önemser; henüz doğruluğu kanıtlanmamış varsayımlar için bile, parametreler uzayının her köşesinde onu anlamaya ve sınamaya çalışır. Fakat bir fikir bu düzeye ulaşmadan önce, birçok (genelde haklı görülebilir) eleştiri hüküm sürer. Birkaç parçacık fizikçisi –ben ve arkadaşlarım onlar arasındadır– belirsizlik karşısında sadece açık görüşlü olmaya çalışır. Daha sık ya da ekonomik bulduğumuz bazı kuramları yeğleyebiliriz, fakat neyin doğru oldu-

ğuna –ya da ne üzerinde çalışmak gerektiğine– verilerin bir kapı açacak ya da kapayacak olan hakemliğine kadar karar veremeyiz.

Arkadaşlarım ve ben kısa sürede etkileşmeyen karanlık maddeden çok farklı davranan etkileşen karanlık maddenin ayırıcı gözlemsel çıkarımlara sahip olması gerektiğini anlamıştık. Fakat DDDM önerisinin ardındaki ilk dürtü dikkate alındığında, ilk başta araştırmamızı tetiklemiş olan dolaylı algılama sinyali gibi daha geleneksel arama yöntemleri için onun çıkarımlarını da –ve ayrıca geleneksel karanlık madde senaryolarının karşılaştığı bir sorunu DDDM’nin çözebileceği bir yeri– kısaca ele alacağım. Araştırmamıza yol açan Fermi foton sinyali gibi dolaylı sinyalleri ele alarak başlayacağım.

İnce bir karanlık madde diski, karanlık madde parçacıklarının derişikliği yüksektir anlamında yoğundur. Yoğun disk içerisinde, geleneksel bir soğuk karanlık madde halesindeki karanlık madde dağılımına göre daha fazla karanlık maddeyle karşılaşılır ve bu nedenle daha çok yok olma meydana gelmelidir. DDDM modellerinin hepsinin bu şekilde gözlenebilir olacağı anlamına gelmez bu. DDDM’nin dolaylı bir foton sinyali üretmesi için –ki bu fikrimizin başlangıç dürtüsüydü– biraz önce betimlediğim yüklü karanlık maddeye ilaveten bir ek içerik gerekebilir. Fermi-tipi bir sinyal, karanlık maddenin bir sıradan madde biçimi olan fotonlara dönüşmesini gerekli kılacağından, tıpkı Fox Haberleri ve CNN’in ikisini birden izleyen ya da Facebook ve Google+ oturumunun ikisini de açan kişinin benzeri gibi, eğer bildiğimiz elektromanyetik kuvvet ve karanlık kuvvetin ikisi altında yüklü olan bir parçacık varsa, bir gözlenebilir etkileşme ortaya çıkacaktır. İki tip elektromanyetizma altında yüklü bir parçacık mevcutsa, o zaman karanlık madde, karanlık ve görünür kesimleri bağlayan bu aracı parçacığı üreterek fotonlara yok olabilir. Bu, Fermi sinyalini DDDM’nin olası, fakat genel olmayan, bir öngörüsü yapar.

Bununla birlikte, eğer gözlenebilir etkileşmeler mevcutsa, yoğun disk, onların beklenenden daha hızlı bir sıklıkta meydana geleceği anlamını taşır. Daha iyi bir haber de şudur: Eğer DDDM herhangi bir dolaylı sinyal üretirse, bu ister fotonlar olsun, ister pozitronlar ya da isterse karşı-protonlar, sonuç, herhangi başka tür bir karanlık madde modelinin sinyalinden ayırt edilebilir olacaktır. Karanlık maddeyi olağan karanlık madde türünden do-

laylı algılama sinyaliyle, sıklık için öngörü, karanlık madde yoğunluğunun en büyük olduğu gökadanın merkezinin yakınında en yüksektir. DDDM'den gelen sinyal de gökada merkezine doğru daha kuvvetli olabilir, fakat gökada merkezinden gelen herhangi bir sinyal tüm düzlem boyunca da var olmalıdır; çünkü karanlık madde o bölge boyunca yoğundur. Gökada düzlemi boyunca böyle yok olmalar DDDM için somut kanıttır.

Doğrudan saptama deneyleri için DDDM'nin olası çıkarımları da ilginçtir; bunlar, ne de olsa, birçok karanlık madde arayıcılarının kutsal kâseleridir. Doğrudan algılamanın karanlık madde ile sıradan madde arasındaki küçük bir etkileşmeye dayandığını hatırlayın; bu etkileşme, bir algılayıcının potansiyel olarak kaydedebileceği ufacık geri-tepme enerjisinin birikimine izin verir. Dolaylı algılamada olduğu gibi, DDDM modellerinin herhangi bir doğrudan algılama sinyali de, karanlık maddenin sıradan maddeyle bir etkileşmeye sahip olduğu şeklindeki iyimser (ve genel olmayan) varsayıma dayanır; varsayılan bu etkileşme, bildiğimiz her şeyle tutarlı olacak kadar zayıf, fakat saptanabilir bir sinyale yol açacak kadar da şiddetli olmalıdır.

Doğrudan algılama sinyali yerel karanlık madde yoğunluğuna da bağlıdır; çünkü ne de olsa, daha çok karanlık madde daha iyidir. Disk karanlık maddesi sıradan maddenin civarında var olabilir ya da olmaz; o karanlık disk düzleminin kalınlığına bağlıdır. Sıradan maddenin civarındaysa, haledeki karanlık maddeden çok daha büyük yoğunluğa sahip olmalıdır.

Karanlık maddeyi algılama sıklığının karanlık madde parçacığının kütlesine bağlı olduğu da iyi bilinmektedir; bu kütle geri-tepme enerjisinin kaydedilmiş olmaya yetecek kadar büyük olup olmadığını saptamaya yardım eder ve yeterince büyükse, enerji miktarı kaydedilebilir. Sinyalin algılanabilirliği, karanlık maddenin daha fazla gözden kaçmış özelliğine, kinetik enerji ve dolayısıyla geri-tepme enerjisi miktarı için kritik olan hızına da benzer bir bağlılığa sahiptir. Enerji birikimi daha büyük olduğundan, daha hızlı karanlık maddeyi saptamak yavaş maddeyi saptamaktan daha kolaydır.

DDDM, soğumuş olduğundan, gökada düzleminin içinde ve dışında olağan karanlık maddeden çok daha düşük hıza sahiptir. Üstelik, karanlık madde gökada etrafında Güneş Sistemiyle aynı

tarzda dolanır, böylece bize göre hızı da çok küçüktür. Yeni karanlık madde bileşeninin bize göre olan düşük hızı, DDDM'nin bir doğrudan algılama deneyinde –etkileşmiş olsa bile– çok az enerji vereceği anlamına gelir; öyle ki bu enerji neredeyse kesinlikle enerji algılama eşiğinin altında olur ve dolayısıyla görülemez. Çok daha duyarlı algılayıcılar ya da modelde ek bir içerik olmaksızın, geleneksel DDDM etkileşimleri olağan doğrudan algılayıcılarda kaydedilemeyebilir.

Yine de, düşük eşikli deneyler geliştirilmektedir ve model üzerindeki seçenekler bu deneyler daha tamamlanmadan bile bir sinyale izin verebilir. Burada ilginç olan da bir sinyalin görülmek durumunda olmasıdır; bir DDDM kökeni saptamak yeterince ayırıcı olabilir. Karanlık maddenin düşük hızı, daha önce önerilmiş olan bir başka karanlık madde adayından enerjice çok daha fazla bir noktada toplanmış bir sinyale yol açar.

Modelimizin bir ileri ilginç sınaması –ya da atomlar halinde birleşen yüklü karanlık madde içeren herhangi bir karanlık madde modeli– mikrodalga ardaan ışıınının ayrıntılı incelenmesinden gelir. Birkaç gökbilimci ve fizikçi, karanlık atomların ve DDDM'nin kanıtını aramak için CMB (kozmik mikrodalga ardaanı) ve gökada dağılımı verilerini ilginç yeni bir şekilde kullanmışlardır.

Hatırlarsanız, normal maddedeki ışıının –tıpkı rüzgârın bir plajda gelgitlerin kanıtını silip süpürdüğü gibi– yüklü maddenin yoğunluk değişimlerini silip düzleştirebilir, oysa karanlık madde basitçe yapıda daha da büyümeyi çekici kılar. Kozmik mikrodalga ardaan ışıınını üzerine damgalarını basan belirgin etkiler karanlık ve sıradan maddeyi ayırt etmekte kullanılabilir. Yüklü sıradan madde yüksüz madde olarak birleştiği zaman, sıradan maddenin damgasını bırakmış olur, tıpkı bir plajda sessizce yaklaşan suyun kumda belirgin bir yükselme bırakması gibi.

Eğer karanlık madde –ya da en azından onun birazı– karanlık ışıınınla da etkileşirse, sıradan maddenin etkilerine benzeyen etkiler ardaan ışıınını üzerinde kendi damgalarını bırakacaklardır. Madem ki modelimiz –bir protona ve bir elektrona çok benzeyen– ağır bir karanlık madde parçacığı ve zıt yüklü hafif bir karanlık madde parçacığı içerdiğinden, bu parçacıklar karanlık atomları oluşturmak üzere birleşebilirler ve sıradan maddeye çok benzeyen şekillerde kaydedilebilirler.

Kozmik mikrodalga arda lan ışı nımının ayrı ntılı olarak incele nmesi göstermişti ki önerdiğimiz cinsten etkileş melere sahip olabilen karanlık maddenin küçük parçası sınırlanmıştır. İki sektö rün sıcaklıkları epeyce benzerse, karanlık ve sıradan sektörler ilk zamanlarda yeterince etkileşmiş lerse o zaman oldu ğu gibi, etkileş en karanlık madde miktarı, toplam karanlık maddenin yüzde beş i –görünür madde miktarının dörtte biri– kadar düşük olabilir. Neyse ki bu değ er yine de ilginç tir ve aşağıda sunulan yöntem kul lanılarak gözlenebilir de. Ayrıca bunun periyodik göktaş ı çarpma larını açıklamak için –ki bunu gelen bölümde yapacağ ım– gerekli değ er içinde oluş u da iyidir.

GÖKADANIN BİÇİMİNİ ÖLÇMEK

Az önce betimlenen araştırma, sadece kozmik mikrodalga arda lan ışı nımının gücünü gösterdiği için değ il, aynı zamanda modern kozmolojik çağdaki geniş veri takımlarının önemi bakımından da ilginç tir; gökbilimciler bu verilerin iş lenmesi için iyi hazırlığ a sahiptir. Bir model-geliştirme görüşü girdisiyle ve ş u anda yolda olan teknolojik ve sayısal ilerlemelerle, geleneksel-olmayan karanlık maddenin etkilerini bulma hususunda çok daha iyi ş ansa sahibiz; onlar yapının gözlenmiş dağılımı üzerine sadece incelikli etkiler olduklarında bile. Çalışma arkadaş larım ve ben, en ilginç ve güçlü sinyallerin muhtemelen zaten betimlemiş olduğ um ola ğ an karanlık madde aramaları tarafından hedeflenen sinyaller olmadıklarını anlamış tık. Bir karanlık diskin daha ümit verici gözlemsel sonuçları, diskin kendisinin kütle sel çekiminden çıkar. Bugünün “büyük veriler” çağında belirgin karanlık madde özelliklerini aramak için en iyi yerler, görünürde sıradan astronomik veri takımları olabilir.

DDDM önerisinin en açık ve belirleyici genel çıkarımı, göka danın merkezi düzleminde ince bir karanlık diskin varoluş udur. Karanlık madde parçacığı protondan daha ağırsa, disk, yıldızlar ve gaz içeren bir diskten daha dar olacak; Samanyolu gökadas ı –ve tüm diğerleri– tarafından uygulanan kütleçekim potansiyeli, karanlık maddenin yeni biçimi olmaksızın beklenebilecek potansiyelden farklı yapacaktır. Hedeflenen reklam gibi, karanlık disk, daha yaygın sıradan madde bileş enine fazladan ağırlık ekleyecek

ve üstelik kütleçekim potansiyelini en dramatik olarak karanlık maddenin toplandığı gökada orta-düzlemi yakınlarında etkileyerek maddenin dağılımını değiştirecektir. Bu madde değişiminin kütleçekimsel etkisi yıldızların hareketini etkileyebileceğinden, yıldızların yeterli konumları ve hızları uygun kesinlikle ölçüldüğü zaman, dağılım, bir karanlık diski (en azından bir fark yaratmak için yeterince büyük yoğunluklu bir diski) doğrulayacak ya da hükümsüz kılacaktır.

JiJi, Andrey, Matt ve ben ilk kez 2013 Yazında karanlık madde diski hakkında düşünmeye başladığımızda öğrendiğimiz en inanılmaz gelişmelerden biri, bu ölçümün kesinlikle Samanyolu gökadasında gerçekleştirilmeye hazırlanmış olduğuydu. O sonbaharda (ya da ilkbaharda Fransız Guiana'sındaki fırlatma yerinde, Avustralyalı dalgın bir meslektaşımın işaret ettiği gibi) fırlatılması programlanmış olan bir uydu, bu ayırt edici kütleçekimsel etkiyi ölçmelidir.

GAIA uydusu gökadanın biçimini ölçecektir. Beş yıl içinde sonucu öğrenmiş olacağız. İlk makalemiz üzerine çalışırken, uydunun hazırlıkları zaten yolunda gitmekteydi, fakat hazırlık sırasında bize sorulmuş olan talep edebileceğimiz karanlık disk ölçümü kesin olarak yürütülecektir. Aslında, bizim kesin modelimiz ya da yöntemimiz akıllarında olmadığı halde, gökbilimciler GAIA görevini büyük oranda gökadaki kütle dağılımını belirtme becerisine dayandığını ileri sürmüşlerdi; ne tür madde olduğu ya da gökadamda nerede yerleştiği hiç önemli değil. Kalkış başlangıçta planlanan tarihten iki ay kadar geciktiyse de, o yılın aralık ayındaki fırlatma –makalemizi sadece birkaç ay sonra bitirmiştik– kesinlikle dikkat çekecek şekilde rastlantısal görünmüştü.

Parçacık fizikçileri bu tür sürprizlerle çok sık karşılaşmazlar. Hangi deneylerin mümkün olduklarını biliriz ve yeni fikirleri sınayacak şekilde ince ayar yapılabilir ya da yorumlanabilirlerse onu bulmaya çalışırız. CERN'de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı LHC'deki deneyçiler, Raman Sundrum ile benim ve başkalarının, örneğin Higgs bozonunun kütlesini açıklamak için akıl ettiğimiz önerilerin bazılarını araştırırlar. LHC deneyleri başlangıçta başka modeller düşünülerek tasarlanmış olsalar da, Raman ve ben uzayın bükülmüş bir ekstra boyutu üzerindeki araştırmamızı yürütürken onlardan ve onların potansiyelinden tam anlamıyla haberdardık.

Diğer yandan, bazen bir fikir yeterince merak uyandırıcı ve sınanabilir; öyle ki deneyciler bundan etkilenecekler ve öneriyi elemek ya da doğrulamak için oldukça küçük-ölçekli bir deney tasarlayacaklardır. Örneğin, fizikçiler büyük ekstra-boyut fikirlerine karşılık olarak kütleçekim kuvvetini daha kesin ölçmek için deneyler tasarlamışlardır.

Fakat ender olarak şu da olabilir; tamamen farklı amaçlarla bağımsız olarak çalışılmış bir fikri sınamak için hazırlanan bir deney başlayabilir. Şimdi gerçekleştirilen budur. GAIA uydusu bir uzay gözlemevinde bulunmakta olup, aşırı derecede kesin ve kapsamlı üç-boyutlu bir gökadasal inceleme taraması oluşturma amacıyla, Samanyolunun milyarlarca yıldızının konumlarını ve hızlarını ölçecektir. Onun ölçümleri özel bir gökadasal potansiyel üzerine haritalanacak ve böylece bize gökadanın yoğunluk dağılımını söyleyecektir. Eğer bu dağılım bir karanlık diskin varlığını gösterirse, diskin kalınlığı ve yoğunluğu bize yeni tip karanlık madde parçacığının kütlesini ve etkileşen karanlık maddeden ne kadar olduğunu söyler.

Yöntem, Oort bulutunun varlığını da belirlemiş olan gökbilimci Jan Oort tarafından önerilmiş bir fikre dayanır. Oort, gökadasal düzlemin içine giren ve dışına çıkan yıldızların hızlarının diskin biçimine ve yoğunluk dağılımına bağlı olduğunu anlamıştı; çünkü onların hareketleri diskin kütleçekimine tepki gösterir. Dolaşısıyla, düzleme girip çıkarak salınan yıldızların hızlarının ve konumlarının ölçümü, diskteki maddenin yoğunluğunu ve uzaysal dağılımını saptar.

Bu kesinlikle bilmek istediğimiz karanlık disk önerimizin sınanması ya da doğrulanmasıdır. Bir karanlık diskin kütleçekimi yıldızların hareketini etkiler, çünkü onlar gökadanın kütleçekimine tepki gösterirler. Bu kadar çok yıldız için konumların ve hızların kesin şekilde bilinmesi, gökadanın kütleçekim potansiyelini ortaya çıkaracak ve bir karanlık diskin var olup olmadığını belirleyecektir. Disk potansiyeli ve onun içindeki maddenin uzaysal dağılımı hakkındaki ayrıntılı bilgiyle, diskin özellikleri ve onu yaratan etkileşen karanlık madde hakkında daha çok şey belirlemeyi umabiliriz.

Fakat yöntemi sınamak ve bir ön sonuç elde etmek için GAIA verilerini beklemek zorunda değiliz. Avrupa Uzay Ajansının

1989'da fırlattığı ve 1993'e kadar işlemeyi sürdürmüş olan Hipparkos uydusundan yararlı verilere sahibiz zaten. Hipparkos ayrintılı konum ve hız ölçümleri yapan ilk uyduydum, fakat GAIA'nın yapacağı incelemeye göre o ölçümler daha az kesinliğe ve daha az sayıda yıldızla sahipti. Yine de onun sonuçları, GAIA'ninkiler kadar tam olmayacak olsa da, bir karanlık diskin alacağı biçime daha şimdiden sınırlar koyar.

Bu sezgi, parçacık fizikçileri olarak bizim için yeni olsa da, bazı astrofizikçiler arasında iyi bilinmekteydi. Aslında, bu yöntemi kullanarak, birkaç araştırmacı mevcut verilerin zaten bir karanlık diski hükümsüz kıldığı sonucuna varmaya kadar bile ileri gitmişti. Bu diskin yadsınışı, makalemizin hakemlerinden biri dahil, pek çok insanın kafasını karıştırmıştı. Bununla birlikte, bir an düşünürseniz, bu sonucun (en azından ifade edildiği gibi) mümkün olmadığını söyler size. Ölçüm ne denli doğru olursa olsun, yoğunluk her mevcut sınırdan yakayı kurtarmak için daima yeterince düşük olabilir. Astrofizikçilerin gerçekte söyledikleri, bir karanlık diske gerek olmadığıydı. Bilinen tüm gaz ve yıldız bileşenlerinde yoğunluklardaki belirsizlikler göz önünde tutulursa, ölçülen potansiyel tek başına bilinen maddeyle açıklanabilirdi.

Fakat bazen doğru soru, başka neyin tutarlı olabileceğidir ve dolayısıyla verilerin tutarlı bir başka yorumu olabilir. Bir şeyin izinli hatta yeğlenen olup olmadığını bulmanın tek yolu, yeni varsayımların sonuçlarını değerlendirmek ve onların deneysel çıkarımlarını saptamaktır. Çalışma arkadaşlarım ve ben astronomlardan farklı bir soru sormuştuk. Bir karanlık diskin varlığı için kanıt istememiştik. Gerçek soru, tüm gözlemlerle tutarlılığı sürdürmekle birlikte, bir diskin ne denli temel olabileceğidir. Bir karanlık disk bileşeninin ortaya atılması, kim bilir, belki de verilerle daha bile iyi uyuyabilir.

Bu farklı düşünme şekli, büyük ölçüde parçacık fizikçilerinin –özellikle model kurucularının– ve birçok astrofizikçinin sosyolojisi arasındaki farkı yansıtır. Hakkını vermek gerekirse, astrofizikçiler bize çok şey öğretmişti. Onların probleme nasıl yaklaşımlarını ve şu anda hangi verilerin var olduğunu öğrenmiştik. Yöntemleri aşırı derecede yararlıdır. Fakat bir probleme farklı açıdan yaklaşma çoğunlukla yeni sezgilere yol açar ve yeni olasılıklar sağlar. Bir karanlık diskin var olup olmadığını, onun var ol-

duğunu varsayarak ve neyin izinli olduğunu kestirmeye çalışarak bileceğiz ancak. Sonunda herkes kazanır.

Bir karanlık disk verilerce izinliyse hatta muhtemelen yeğleniyorsa, onu öğrenmek istedik; sadece ölçülmüş yıldız özelliklerinin disksiz durumla uyuşup uyuşmayacağını değil. Samanyolu diskinin kütleçekimsel potansiyelini hesaplamak için eklenmiş karanlık madde bileşenlerinin her biri, ancak bu denli iyi bilinir. Ölçümlerdeki belirsizlikleri hesaba katmak, kesinlikle yeni bir şeylere yer açar. Bu, gökada düzlemindeki gaz yoğunluk ölçümlerinin yanı sıra, Hipparkos verilerini çalışan bir öğrenci olan Eric Kramer için düzenlediğim iştir. Astrofizikçilerin çözümlemesine girmiş olup yeniden değerlendirilmesi gereken birçok varsayımı birlikte tanımlamıştık. Hipparkos sonuçlarının üstünkörü incelenmesi bir karanlık diskin zamanından önce gözden düşmesi sonucuna yol açabilmiş olsa da, daha dikkatli ve güncel bir çözümleme verilerin böyle bir iddiada bulunmaya yetmediğini göstermişti.

Belirsizliklerin bazılarını Hipparkos verilerinin kendisi sağlar. Fakat Samanyolundaki bir kısım görünür maddenin oldukça yetersiz ölçümü de belirsizliğin ana kaynağıdır. Daha fazla esneklik payı, bir karanlık disk için daha fazla esnekliktir. Bu da yetmezmiş gibi, maddenin tüm bileşenleri, diğer bileşenlerin onlar üzerine uyguladıkları kütleçekimini hissettiklerinden, ancak başından beri tüm maddeyi –karanlık disk dahil– kapsamak suretiyle gerçek sınırlama koşulları çıkarılabilir. Bu bir modelin sahip olması gereken meziyetlerden biridir. Bir araştırmanın sonuçları değerlendirildiğinde, o iyi-tanımlanmış bir hedef ve değişmez bir hesaplama taktiği verir.

Özenli bir çözümlemeyle, bir karanlık diske yer olduğunu bulmuştuk. Belirtiler ümit vericidir; fakat çok daha sağlam veriler ele geçinceye kadar, DDDM modellerinin doğru çıkacağını ya da Evrenimizdeki maddeyi açıklamak için daha basit, daha standart senaryoların yetip yetmeyeceğini bilemeyeceğiz.

Bu beni şu soruya getiriyor: İlk önce hedeflemeyi umduğumuz karanlık disk yoğunluğu nedir? Yani, ne denli güçlü bir kısıtlama ilginç olabilir? Birçok açıdan, her değer peşinden koşulacak kadar değerlidir. Bir karanlık disk bulma, yoğunluğu ne olursa olsun, Evren görüşümüzde temel bir değişme olabilir. Fakat biraz sonra

göreceğiz ki bir başka hedef karanlık diskin periyodik-göktaş-çarpması-nedenli yanından gelir. Şimdilik basitçe diyeceğim şu ki göktaş saldırılarını tetiklemek için gerekli olarak bulduğumuz değer güncel verilerle tutarlıdır.

Ayrıca, özgün niyetimiz olmadığı halde, kısmen etkileşen karanlık madde, daha geleneksel soğuk karanlık madde senaryolarının bazı öne çıkan gizemlerini çözmeye de yardımcı olabilir. Şimdi Carnegie Mellon Üniversitesinde profesör olan astronom Matthew Walker, DDDM'nin Bölüm 18'de üstü kapalı söylenmiş olan Andromeda'daki cüce uydu gökadalara ilgili problemi irdelemeye yardım edebileceğini önermişti. Sıradan maddeli, hatta geleneksel soğuk karanlık maddeli bir dünya, bu sonuçların hiçbir açıklama sunmaması gerektiğini önerir. Harvard'dan doktora sonrası araştırmacısı Jakub Scholtz'la ben, karanlık maddenin bir bileşeni için kendisiyle-etkileşmelerin, bir düzlem içinde hizalanmış karanlık madde-baskın cüce gökadalara nasıl oluştuğu problemine tek ve biricik çözüm olabileceğini göstermiştik. Şimdi Jakub, Matthew Reece ve ben ayrıca ilksel kara delikler için –ki bunlar standart senaryolarda olması gerekenden daha iridirler– DDDM'nin potansiyel olası sonucunu inceliyoruz.

Bizim projemizi güdülemiş olan Fermi gama ışını sinyali, şimdi milleti esastan uzaklaştırmış gibi görünmektedir, çünkü sinyal zamanla sönüp gitmişti. Fakat onu anlamaya çalışmaktan kaynaklanmış olan karanlık disk senaryosu, DDDM'yi başka şekillerde gözlenebilir kılacak çok geniş çıkarımlara sahiptir. Senaryo, artık incelemeye başlayabileceğimiz gökada oluşumu ve dinamiği için daha ilginç çıkarımlara bile sahip olabilir.

Böylece, Evreni ve Güneş Sistemini kapsamlı biçimde incelememizden sonra, yolculuğumuzu bu fikirlerin birçoğunu bir araya getirerek doruğa erdirtelim. Gelen bölümde karanlık maddenin, yıldızların hareketini ve potansiyel olarak Güneş Sisteminin kenarlarındaki cisimlerin kararlılığını bozarak, bizi hassas noktamızdan nasıl etkileyebileceğini ele alacağız.

KARANLIK MADDE VE KUYRUKLUYILDIZ ÇARPMALARI

"Boffins" çoğu Amerikalının bildiği bir terim değildir. Dolayısıyla bilim ve teknoloji yazarı Simon Sharwood İngiliz dergisi *Register*'da bu unvanı bana ve iş arkadaşım Matthew Reece'e verdiğinde, başlangıçta ne düşüneceğimden emin değildim. Yazar bizi ve bizim aptallığımızı mı eleştiriyordu? Yoksa *boffins* terimi, çok kötü tınlayan fakat gerçekte bir pohpohlama terimi olan "zarafet" gibi bir terim miydi?

"Boffins"ın sadece bilim insanları ya da teknik uzmanlar – muhtemelen aşırı derecede odaklanmış kişiler– anlamına geldiğini öğrenince rahatlamıştım. Fakat bu sözcüğün "kaçık kişiler" ya da böyle bir şey anlamına gelebileceği şeklindeki ilk korkum tamamıyla da temelsiz değildi; hele Sharwood'un rapor haline getirdiği konu, bizim karanlık madde, göktaşları ve soy tükenişleri hakkındaki çalışmamız olduğu dikkate alınırsa. Fikir şuydu: Karanlık madde Oort bulutundan kuyruklu yıldızları etkin olarak dışarı atabilirdi, öyle ki fırlatılan bu cisimler periyodik olarak Yeryüzüne doğru gelirler ve muhtemelen bir kitlesel soy tükenişi- ne zemin hazırlarlardı.

Geniş ve açık görüşlü olmaya çalışan Matthew ve benim gibi parçacık fizikçileri için bile, Güneş Sisteminin bir bütün olarak karmaşık dinamiğine bağlı göktaşı çarpımları gibi darmadağınık olaylar ve bir de üstüne üstlük karanlık madde belirsiz bir yol gibi görünmüştü. Diğer yandan, karanlık madde (!), göktaşları (!), dinazorlar (!). Beş yaşında olsak ilgimizi çekerti. Güneş Sistemi hakkında daha fazla şey öğrenme merakı içindeki yetişkinler durumunda ne denir. Bilim insanları olmamız bir yana, bu çeşitli parçalar hakkında gerçekten daha fazla şey öğrenmek ve bunların tümünün nasıl bir araya geldiğini anlamak isterdik. Ne de olsa, bir karanlık diskin mevcudiyetini henüz ölçmüş olamasak da, Gü-

neş Sisteminde milyarlarca yıldızı ölçen bir uydu, önümüzdeki beş yıl içinde bu sorunu karara bağlama duyarlılığına sahip olabilecek ve önerimizin doğru olup olmadığını sınavacaktır.

Tam da, bu senaryo, fikirlerin zenginliği ya da ilerideki uydu ölçümleri, bu sorgulama çizgisini izlemek için yeterli kanıt oluşturamamışken, Matt'e projeyi düşünmek ister mi diye sorduğum gün, Chelyabinsk göktaşının çarptığı gündü. Yeryüzüne ya da onun atmosferine çarpan birçok göktaşının çoğu genelde onların farkına varamayacağımız kadar küçük oldukları halde, 15 Şubat 2013'te patlamış olan özel göktaşı 15 ila 20 metre genişliğindeydi; pırıl pırıl parlayacak kadar büyüktü ve 500 kiloton TNT'ye eşdeğer enerji salmıştı. Arizona Üniversitesindeki dinleyicilerden gelen bir sorudan sadece üç gün sonra bu göktaşının patlaması, beni periyodik göktaşı çarpmalarını düşünmeye sevk etmişti; Matt'e konuyu daha derinlemesine araştırmayı önerdiğim gün o göktaşının bize çarpması dikkat çekici ve oldukça tuhaftı. Dünya dışından gelen cisimlerin neden Yeryüzüne ulaştıklarını çalışmamız gerektiğine ve o belirli günde bir çarpmanın olduğuna şaşırıp kalmıştık. Artık bu işe nasıl devam etmezdik?

Devam eden kısımda bu kitabın incelediği birçok fikri bir araya getiren araştırmamızı ve karanlık maddenin gezegenimizi yaklaşık 30 ila 35 milyon yıllık zaman ölçeğinde nasıl etkileyebildiğini betimleyeceğim. Yanlış hatırlamıyorsam 66 milyon yıl önce, kabaca 15 kilometre genişliğindeki bir küçük-gezegen Yeryüzüne çarpmıştı çarpmasına ama olan sadece bu değildi, aynı zamanda bu çarpmanın tetikleyicisi, Samanyolunun orta düzlemindeki bir karanlık madde diskinin kütleçekimsel etkisiydi.

SENARYO

Şimdi Samanyolu gökadasının şöyle bir resmine sahibiz; gaz ve yıldızlardan ibaret parlak bir disk ve içeride, belki de, etkileşen karanlık maddeden oluşmuş daha yoğun bir başka disk daha. Samanyolu, 13 milyar yıldan daha önce, karanlık madde ve sıradan madde kütleçekimsel olarak bağlı bir yapı haline çöktüğünde var olmuştu. Muhtemelen gökada halesi oluştuktan bir milyar yıl sonra, sıradan madde, şimdi gördüğümüz pırıl pırıl yanan diski oluşturmaya başlamak üzere dışarıya enerji ışıdı. Eğer ka-

ranlık maddenin birazı etkileşip yeterince hızlı şekilde karanlık fotonlar ısıdıysa, o da disk dediğimiz ince düzlemsel bir bölge içine çökmüştü. Bunun tamamlanması sadece azıcık vakit almıştı, fakat dar karanlık disk çok daha önce oluşmuş olabilirdi.

Bu arada, kabaca dört buçuk milyar yıl önce, Güneş ve Güneş Sistemi oluşmuştu. Gezegenler sonradan Güneşin etrafını saran madde diskinden ortaya çıkmıştı. Gezegenlerin oluşumundan sonra, Jüpiter içeriye doğru hareket etmiş ve diğer dev gezegenler dışarıya doğru gitmişti; böyle yaparak, diskteki malzeme saçılmıştı. Bu malzemenin bir kısmı çok uzaklara, Oort bulutunun uzak bölgesine kadar taşınmıştı; orada küçük buzlu cisimler sadece çok zayıf kütleçekimle Güneşe bağlıdır.

Güneş Sistemi o zaman gökadanın çevresini her 240 milyon yılda bir dolanmaktaydı. Fakat Güneş Sistemi, baskın olarak çembersel yolu boyunca dolanırken, muhtemelen 32 milyon yıllık bir periyotla da gökada düzlemi üzerinde yukarı aşağı salınmaktaydı. Güneşin bu dolanması boyunca, Güneş Sistemi düzlemin altına ya da üstüne kaçabildiği kadar kaçtıkça, diskin kütleçekimi Güneşe etkiyerek her seferinde geri çağırım kuvveti olarak hizmet etmişti. Gökada çok az sürtünme verdiğinden, Güneş Sistemi gökada düzlemini her geçişinde düzlemin geri çağırım kuvvetinin etkisiyle periyodik bir temelde düşey hareketini tekrarlamıştı.

Dahası, Güneş sistemi gökada düzlemi içindeydi ya da ona yakındı, diskin bozucu kütleçekimsel gelgit etkileri ona en kuvvetli şekilde etkimişti. Bu özellikle güç aralıklar esnasında, karanlık maddenin ince yoğun diskinin gelgit etkisi Oort bulutundaki zayıf bağlı cisimlerin bazılarının sükûnetini altüst etmiş olabilirdi; aksi halde uzaktaki yörüngelerinde genelde rahatsız olmadan dolanmaya devam ederlerdi. Karanlık diskin menzili içinde oldukça, Oort bulutunun buzlu cisimlerinin tümünün bu sıkıntı karşısında yerlerinde durması olası değildi.

Bunlar olduğu sırada, tüm bu donuk cisimler kendi işlerini yaparlarken, Yeryüzü üzerinde üç buçuk milyar yıl kadar önce yaşam oluşmaya başlamıştı ve üç milyar yıl sonra da –yani bugünden 540 milyon yıl önce– karmaşık yaşam hızla çoğalmıştı. O zamandan beri, soy tükenişleriyle çeşitlenmeler tamamlandıkça, yaşamda inişler ve çıkışlar olup durmuştu. Fanerozoik çağ denen bu zaman çerçevesinde beş büyük soy tükenişi araya girmişti.

Bunların en sonuncusu, 66 milyon yıl önce bir göktaşı çarpması Yeryüzünü harap ettiğinde, meydana gelmişti.

Çarpmadan hemen önceye kadar, dinazorlar uzaktaki Güneş Sistemi sorunlarından habersizdiler. Buzsu cisimler, sadece yörüngelerinde Samanyolu diskinin uzak çekişlerinden ileri gelen rastlantısal küçük değişimlerle Oort bulutu boyunca gezinmekteydiler. Disk, Güneşin orta-düzlemde olan uzaklığına göre değişen bir şiddetle etkimekteydi. Bu buzsuz cisimlerin birkaçının yörüngesi öylesine çok bozulmuştu ki yolları onları iç Güneş Sistemine doğru yöneltmiş ve bazıları kütleçekimin bozucu etkisi altında ilk yörüngelerinden saptırılmışlardı. Bu buzsuz cisimlerden en azından biri Yeryüzüyle çarpışma yolunda bir kuyruklu yıldızla dönüşmüştü.

Bu, Oort bulutu açısından, oldukça önemsiz bir tedirgemeydi. Onun buzsuz cisimlerinden biri ya da birkaçı yerinden çıkartılmıştı. Fakat Yeryüzündeki yaşamın yüzde 75'i açısından, saygın dinazorlar dahil, çarpışmaya ayarlanmış olan göktaşı kıyametle ilintiliydi. Oysa dinazorlar önsezili, bilinçli varlıklar olsalardı bile, kuyruklu yıldız ilk görüldüğünde, olağanüstü bir şeyin olacağını fark etmezlerdi. Gerçi kuyruklu yıldızın çekirdeği gündüz esnasında görünecek kadar parlaktı parlak olmasına ve uzun kuyruğu gece boyunca görünür haldeydi, ama kuyruklu yıldız yakında vermeye hazır olduğu tahribatın hiçbir dikkat çekici işaretini açığa vurmamıştı. Kuyruklu yıldız düştüğünde, yangınlar ve enkaz gökyüzünü aydınlattığı zaman, bu izlenim değişmişti. Fakat bu ölüme mahkûm yaratıklar ne görmüş ya da tasavvur etmiş olurlarsa olsunlar, kütleçekim etkileri kuyruklu yıldızın rotasını değiştirdiği anda, bu hayvanların kaderi geri dönülemez şekilde onaylanmıştı.

Kuyruklu yıldız kısa sürede Yucatan'a hızla çarpar, hedefini un ufak eder ve gezisini geniş çaplı kitlesel bir tahribatla doruğa çıkararak bitirir. Göktaşı Yeryüzüne çarpıp Chicxulub kraterini oluşturduğunda, hem kuyruklu yıldız hem de onun çarptığı yere yakın bölgedeki toprak un ufak olur; dünyanın çevresi toz bulutlarıyla kaplanır. Yangınlar Yeryüzü yüzeyini yakıp kül eder, tsunamiler hem çarpmaya yakın bölgelerde hem de gezegenin zıt tarafındaki kıyılarda su baskınlarına yol açar. Aşağı yağan zehirli malzemeler çok daha büyük tehlike oluşturur. Besin kıtlığı orta-lığı kırıp geçirir, böylece kara-yaratıkları akıbetten hemen sonra

muhtemelen haftalar ve aylar içinde açlıktan ölürlər. Yeryüzünün ikliminde ve çeşitli yaşama ortamlarında böylesi ani ve dramatik değişmelerle yüz yüze gelindiğinde, yaşamın çoğunun hiçbir şansı olmaz. Ancak gelişmiş yaşamı çok farklı bir çağın belirsiz geleceğinde devam ettirmek için koşullar zamanla düzeldiğinde, toprağı kazan memeliler ve uçan kuşlar geriye kalmış olur.

Bu dramatik bir tablodur ve göktaş çarpmasının temel olguları artık iyice belirlenmiştir. Birçok jeolog ve paleontolog, 66 milyon yıl önce iri bir cismin bize çarptığını ve Yeryüzü üzerindeki yaşamın en azından yüzde 75'inin o zaman öldüğünü doğrulamıştı. Tüm bu tahribata yol açan kuyruklu yıldızın yerinden çıkarılmasından sorumlu olan karanlık diskin nasıl bir tetikçi olduğunu birazdan betimleyeceğim. Fakat ilk önce bu fikrin doğuşunu açıklayacağım.

BAŞLANGIÇ

Fiziğı kitap ve konferanslar aracılığıyla halkla paylaşmaktan pek çok yarar sağlanır. Fakat bu etkinliklere yatırılan zaman devam eden araştırmalardan harcandığı için, genelde kabul etmem gereken konuşma isteklerinin önceliğini belirler ve seçim yaparım. Bununla birlikte, bazı şanslı durumlarda araştırmam, beni normalde yüz yüze gelemeyeceğim insanları ziyarete götürerek ya da başka türlü düşünemeyeceğim bir fikri aklıma getirerek, yok yere korktuğum şeyin bir oyalanma olabilmesinden yarar sağlar.

Şubat 2013'te Arizona Devlet Üniversitesinin BEYOND Merkezinde Yıllık Konferansı vermem için astrofizikçi Paul Davies'in davetinden böyle bir ödöl kazanmıştım. Çok fazla seyahatten çekindiğim halde, ADÜ çok güçlü bir kozmoloji araştırma grubuna sahip olduğu için, sadece bir halk konferansı vermek üzere değil, fakat ayrıca bir sonraki gün oradaki bölümün uzmanlarına bir seminer de sunacağım için daveti kabul etmekten mutluydum. Seminer daha çok son araştırmama, yani daha önce betimlemiş olduğum çift-diskli karanlık madde fikrine odaklı olacaktı.

Katılan fizikçiler model hakkında çeşitli enfes sorular sormuşlardı; örneğin, onun keşfedilebilirliği ve kozmik mikrodalga ardalan ışıınımı için çıkarımları gibi. Fakat Paul karanlık madde diskinin dinozorların ölümünden sorumlu olup olmadıklarını

sorduğunda, eşekten düşmüşse dönmüştüm. İtiraf etmeliyim ki, temel parçacıklar ve kozmosun elemanları üzerine odaklanmış olan bilimsel araştırmamda o zamanlar dinozorları pek –aslında hiç– düşünmemiştim. Fakat Paul periyodik göktaşı çarpmaları için potansiyel kanıtlar ve onlar için iyi bir açıklamanın olmayışı hususunda beni bilgilendirmişti. Bir karanlık madde diskinin işe yarayıp yaramayacağını da sormuştu Paul. Bu süreç, dünyadaki dinozorların soylarını tüketen göktaşını hatırlatmıştı bana.

Paul'ün sorusu göz ardı edilmeyecek kadar iyiydi. Yanıtı apaçık değildi ve çok daha belirgin şekilde yanıtlamadan önce öğrenmem gereken daha çok şey vardı; fakat karanlık madde ve dinozorlar kesinlikle bana –ve potansiyel olarak çok daha geniş bir fizikçi topluluğuna– çok şey öğretebilecek bir bağlantı gibi görünmekteydi. Matthew Reece'e göktaşı çarpmasının önerdiği karanlık disk tarafından tetiklenmiş olabileceği olasılığını incelemekle ilgilenip ilgilenemeyeceğini sormuştum; ne de olsa, bu disk dinozorlarla ilgili bir sorudan daha çok fizikle ilintili gibi görünmekteydi.

Matt işbirliği yapmak için apaçık bir seçimdi. İlk DDDM araştırmasında can alıcı bir rol oynamıştı, sakın bir teknik kafaya sahipti ve yeni fikirler söz konusu olduğunda bilimsel olarak açık görüşlüydü; onun tamamen tutucu davranışından bekleyebileceğinizden katbekat fazla. O kibirli birinin –kendine fazlaca güvenen pek çok kıdemli meslektaşın bile– her şeyi doğru tahmin ettiğini sandığı yaygın yanılgıya düşmez.

Fakat daha önemlisi, Matt çok yüksek standartlara sahip mü-kemmel bir fizikçidir. Bir şey yaptığında, onun sağlam bir temel üzerinde olduğundan eminsinizdir. Yine de, görünürde böyle bir uçuk öneriye nasıl tepki vereceğinden emin değildim. Matt bu fikri ilgi çekici bulduğunda ve onun potansiyel bilimsel değerini fark ettiğinde, çok memnun olmuştum. Paul Davies de öneriyle ilgilenmişti, ama onun zaten devam eden pek çok araştırma projesi vardı, bu nedenle katılmayıp zarifçe temasta kalmayı seçmişti.

Böylece tam da bu fikri tartışmaya başladığımız gün Chelyabinsk hakkındaki haberleri şaşkınlıkla dinledikten sonra, Matt ve ben hemen öğrenebileceğimiz şeyleri görmeye ağırlık vermiştik. Hedefimiz, göktaşı çarpmalarına yol açan delice bir karanlık disk kavramını, sınanabilir bilim içine döndürmektir. Model kurucuları

ve parçacık fizikçileri olarak, Matt ve ben yeni fikirlere ve yorumlara açık olmaya çalışıyoruz. Fakat biz ayrıca tarafsız ve özenli kalmanın önemini de tam anlamıyla bilmekteyiz. Şimdi betimleyeceğim araştırmada bu nitelikler esastır.

KARANLIK DİSK VE GÜNEŞ SİSTEMİ

14. Bölümde açıkladığım gibi, amaçlarımızda gerçekçi olmak için, Matt ve ben önce sorgulamamızı kısmaya karar vermiştik. Dinozorlarla ilgili merakımıza karşın, başlangıçta soy tükenişlerine özgü ek sorunları bir kenara bırakmış ve sadece göktaşları, Güneş Sisteminin dinamiği ve fiziksel krater kayıtlarındaki olası bir periyodiklik üzerine odaklanmıştık. Sonra çalışılacak olan soy tükenişi konusuyla, karanlık diskin kuyrukluyıldızlar üzerine olan potansiyel etkisini ve periyodik göktaşı çarpmalarından onun sorumlu olup olamayacağını doğrudan araştırabilirdik. Daha sonra da göktaşı öngörülerimizin herhangi bilinen bir çarpmayla, *K-Pg* tükenişinden sorumlu olan çarpma dahil, ne kadar iyi açıklandığına karar verebilirdik.

Ondan sonra Oort bulutu cisimlerini yerinden oynatabilecek periyodik tetikleme için önceki önerilerin hiçbirinin periyodik bir sinyali başarıyla açıklayamadığını sağlama bağlamıştık. Eğer daha geleneksel bir mekanizma yetseydi, o zaman, biz dahil, hiç kimse daha egzotik bir senaryonun –ne kadar iyi ve ayartıcı olursa olsun– krater kayıtları için sonuçları değerlendirmekle canını sıkmazdı.

Bununla birlikte, 15. Bölümde açıklandığı gibi, geleneksel tetiklemeler işlememişti. Sadece standart Samanyolu diskiyle, gökadan kaynaklanan gelgit etkileri aşırı düzgündür ve yıldızlardan gelen tedirgemeler aşırı seyrek. Ne olağan gelgit etkileri, Nemesis, Gezegen X ne de Samanyolunun spiral kolları sık ya da yeterince göze çarpan kuyrukluyıldız sağanaklarını tetiklemeye yeterli olur. Bu daha önceki öneriler, ne gökada düzlemini kesmeler arasında doğru zamanı vermişti ne de krater kayıtlarına uyan yeterince aniden olan çarpmaları. Örneğin, hareketi etkilemek için sadece diskteki normal maddeyle, Güneşin düşey salınım periyodu 50 ya da 60 milyon yıl kadar olurdu; bu da, mevcut verilerle uyuşmayacak kadar uzundur.

Bu bize iki olası sonuç bırakmıştı: Ya periyodiklik gerçek değildi, durumun bu olduğu ortaya çıkabilir ya da çok daha ilginç olan mantıksal seçenek doğrudur ve tetikleme alışılmadıktır. Önceki önerilerin ortadan kaldırılmasıyla, önerdiğimiz karanlık diskin sıradan maddenin tek başına başarısız kaldığı yerde başarılı olup olamayacağı ve istenen periyodikliği ve sıklıktaki değişimi yaratıp yaratamayacağı bizim için anlam ifade etmekteydi. Gerçekten de, karanlık disk normal madde diskinin yetersizliklerine değinmek için tam gerekli özelliklere sahiptir. Yoğun karanlık maddenin ince bir diskiyle, diskin gelgit kuvveti, hem periyodu hem de Oort bulutuna tedirgemelerin zaman bağıllığını başarılı şekilde açıklayabilir.

Hatırlarsanız, Oort bulutu cisimleri, var oldukları sürece, sıradan madde diskinin gelgit kuvvetine ve arada sırada geçen yıldızların kesik kesik fakat yine de önemli etkilerine maruz kalır. Bu etkiler, Oort bulutunun oldukça zayıf kütleçekim kuvvetleriyle bağlı uzak cisimlerini dolaştırmaya ve onları Güneşin yakınlarına itmeye yarar. Samanyolu düzleminin gelgit etkisi daha sonra son bir çekme yaparak bu buzsuz cisimleri Yeryüzü-Güneş mesafesinin 10 katı kadar içerilerdeki kararsız, çok dış merkezli yörüngelere getirebilir; buralarda büyük gezegenlerin kütleçekimi onları büyük olasılıkla Oort bulutundan sökecektir. Bu çekme, böyle kuyrukluysıldızları ya Güneş Sisteminden dışarı atacak ya da onları öyle içeri çekecektir ki onlar iç Güneş Sisteminde sıkıca bağlı yörüngelere gireceklerdir. Bu ayrılmalar, her yıl Güneş Sistemine giren çeşitli yenileriyle, uzun-periyodlu kuyrukluysıldızların oluşumunu açıklar. Arada sırada, yine de, tedirgenmiş cisimler yörüngelerinden tamamen saptırılırlar ve bu zamanlarda sapan kuyrukluysıldızlar Yeryüzüne çarpabilirler.

Fakat bu tür tedirgemeler tek başlarına periyodik çarpmaları açıklamak için yeterli olmazlar. Periyodik çarpmaların meydana gelmesi için, Oort bulutundan ayrılmaların sıklığında düzgün aralıklarda ani bir değişim olmalıdır. Ayrıca, mevcut kanıtlarla eşleşmesi için, periyodun 30 ila 35 milyon yıllık bölgede olması gerekir. Bu ölçütlerden biri bile başarısız çıksa, periyodik göktaşı çarpmaları için önerilen bir açıklama işe yaramaz. Ve hiçbir ölçüt hiçbir geleneksel öneriyi yerine getirmemektedir.

Bununla birlikte, daha yoğun ve daha dar bir karanlık diskin eklenmesiyle, bu iki sorunun da üzerine çok iyi şekilde gidilmiş

olur. Periyodik göktaş çarpmalarının olası gerçekliğini kabul eder etmez, bir karanlık disk gerçekten de çok ümit verici bir fikir haline gelir. Karanlık disk, hem daha yoğun hem de –geleneksel gökada düzlemi diskinin yaptığından– zamanla daha çabucak değişen bir etki uygular; işte size kuyruklu yıldız yoğunluğunda sivri doruklar yaratmak için iki ana gereksinim.

Samanyolu düzlemine karanlık diskin katılmasıyla, Güneşin düşey salınım periyodu, tek başına geleneksel Samanyolu diskiyle ortaya çıkan periyottan daha kısa olacaktır, çünkü karanlık disk maddesinin eklenmesiyle kütleli çekim şiddetlenir. Üstelik, bugünkü madde yoğunluğu saptamalarına göre, Güneş Sistemi gökada düzleminin altında ve üstünde sadece yetmiş parsek kadar salınır; sıradan madde diskinin kalınlığından katbekat fazla sınırlı bir uzanım. Güneş yörüngesinin epeyce geniş bir kesrini kaplayan dar karanlık disk, Güneş Sisteminin hareketi üzerine –düzlem boyunca yukarı ve aşağı inip çıkarken– orantısız şekilde büyük bir etkiye sahip olabilir.

İnce bir karanlık diskin diğer meziyeti şudur; ince olsa bile, Güneş Sistemi onun içinden kuyruklu yıldız sıklığında bir sivri doruk oluşturacak kadar hızlı –bir milyon yıl kadar sürede– geçebilir. Büyük zamana-bağlı etkisi nedeniyle, Güneş Sisteminin gökada düzlemini her kesişinde, karanlık disk daha fazla tedirgemeyi tetikleyerek düzenli biçimde –düzlemi her geçiş süresince– kuyruklu yıldız sağanakları yaratır; aksi halde sadece yıldızların iyice yakına yaklaşmalarıyla çok seyrek olarak tetiklenirdi. Güneş Sistemi karanlık diskin işgal ettiği dar bölgeyi geçerken artan gelgit etkisi meydana gelir. Sadece bu geçiş sırasında ve belki bir ya da iki milyon yıl sonrasında kuyruklu yıldız çarpmaları artmış olacaktır.

Güneş Sistemi bu zaman ölçeğinde disk içinden geçtiğinde ve artmış bir gelgit kuvvetiyle –eğer bu yeterince çabuk olursa, kuvvette bir doruksal artma olur– karşı karşıya kaldığında, Oort bulutundaki buzsuz cisimler yerlerinden çıkabilir ve birkaçı gezegenimize 50 km/sn kadarlık bir hızla bile düşebilir. İzden ayrılma bu tarzda olunca, yolculuk çabuk olur; belki birkaç bin yıl. Fakat ilk önce tetiklenen tedirgeme daha yavaş –genelde başlamak için birkaç yörüngesel periyotta bir ile– gerçekleşir. Bu demektir ki, yüz bin ile bir milyon yıl arasında bir zaman periyodunda, Güneşe aşırı yakın gelmiş kuyruklu yıldızların kaderi belirlenecektir

ve onların bazıısı Yeryüzünün atmosferine ya da kendisine çarpan kuyruklu yıldız sağanıklarını açıklayabilir.

Matt ve ben öngörülen yörüngeyi çözümledik ve senaryo bir başarıydı; en azından kısıtlı ve bir parça sağlıklı verilerle konulmuş sınırlar içinde. Fakat saygın fizik dergisi *Physical Review Letters* için makalemizi inceleyen bir hakem tarafından bize belirtildiği gibi, tamamlamadığımız bir son sına ma vardı. Karanlık maddenin varlığında Güneş Sisteminin hareketinin saptanmasına ek olarak, gökada düzleminden geçerken Güneş Sistemi ortamının yoğunluğundaki yükselme ve düşmeyi hesaplamıştık. Yoğunluğu bilmemiz gerekirdi, çünkü Oort bulutunu tedirgin eden şeyin bu madde yoğunlaşması derecesiyle orantılı olabileceğini kabul etmiştik. Ne de olsa, daha fazla madde daha çok gelgit etkisi demekti, bu da daha çok tedirgeme anlamına gelmelidir. Dolayısıyla yoğunluğun, göktaş çarpmalarının sıklığı için yararlı bir temsilci olarak hizmet edebileceğini varsaymıştık, gerçekten de durumun bu olduğu anlaşılmıştı.

Fakat karanlık diskin Oort bulutundaki buzs u cisimler üzerine etkisiyle bulutun gelgit bozulmasının kuyruklu yıldızların doğru sıklıkta aşağıya yağmasına yeterli olup olmadığını henüz açıkça doğrulamamıştık. Neyse ki, bizim için Scott Tremaine ve Julia Heisler zaten on yıl kadar önce bu ağır kapasiteli işi yapmıştı; böylece onların sonuçlarını kolayca kullanabilirdik. Ve gerçekten de kabulümüz doğru çıkmıştı. Artırılmış yoğunluk, kuyruklu yıldızları uygun zaman ölçeğinde yerlerinden sökmek için, tam da gereken türden çekme yaratır.

Gerçekten de hakemin yararlı önerisiyle etkilenmiştim. Bugünlerde, uzman olması gereken meslektaşların basım için onaylamak üzere makaleleri gözden geçirerek yazdıkları hakem raporları, genelde ya basmakalıp sözlerdir ya da atıf arayan mazlum yazarlar için araçlardır. Bu hakemin önerisi gerçekten bize biraz fizik öğretmişti. Önemsemez bir tavırdaydı rapor, fakat öneriyi araştırarak bir şeyler de öğrenmiştik. Bazı yanlış eleştirilerle de uğraşmıştık; fakat makaleleri önce uzmanlar ve sonra biz kontrol etmeye özen gösterdiğimiz için bu eleştirilerdeki kusurları kolayca saptayabilmıştık.

Sonunda, Matt ve ben yeğlenen yoğunluğu ve krater kaydıyla uyuşan bir karanlık disk için kalınlık değerlerini hesaplamış ve

bunların daha önce var olan DDDM modeliyle uyumlu olduklarını bulmuştuk; bunun, o zamana kadar var olan gökadasal ölçümlerle tutarlı olduğunu biliyorduk. Araştırmamızda bizim bulduğumuz daha bile iyi, yeni ustaca çözüm, kuyruklu yıldız çarpmalarının elebaşı olarak diski ciddiye alırsanız, sadece karanlık diskin izinli oluşu değil, ayrıca onun gerçekte yeğlenmiş olmasıydı.

Karanlık diskin yüzey yoğunluğu, sıradan diskteki maddenin-kinin altıda biri kadar olmalıdır. Bu ilginç olmak için yeterlidir, fakat şimdilik anlaşılan olayları bastıracak kadar çok değil. Bu karanlık maddenin oldukça büyük bir parçasıdır; örneğin milyonda biri değil, fakat yüzde birkaçı gibi. Bu karanlık bileşen var olmak durumundaysa, ölçülebilir etkilere sahip olmaya yetecek büyüklüktedir ve dolayısıyla dikkate değer olabilir. Üstelik disk kalınlığı, olağan madde diskinin onda bir kalınlığından daha az olabilir; kabaca 2000 ışık-yılı kalınlıklı sıradan maddeye kıyasla, enine birkaç yüz ışık-yılından daha az. Yine, karanlık maddenin bu darlığı, onun neden periyodik temelde olası dramatik etkileri tetikleyebileceğini açıklar.

Doğru yoğunluklu karanlık diskin üç çarpanıyla yeğlendiğini bulmuştuk. Daha iyi istatistiksel destekli bu yeni sonuca en önemli katkı, 15. Bölümde değindiğimiz başka-yere-bak etkisindendi. Periyodik çarpmaları neyin tetikleyebileceğiyle ilintili belirli bir modelle, sadece periyodu daha iyi öngörmekle kalmayıp, ayrıca çok daha güvenilir yapabiliriz. Aslında, makaledeki amacımız, bir karanlık diskin periyodik kuyruklu yıldız sağanaklarını sıradan gökadasal bileşenlerle yapılamayacak şekilde açıklamada başarılı olabileceğini göstermenin ötesine geçmekti. İstatistikle ve bu sonucun ya da herhangi başka sonuçların öneminin nasıl değerlendirileceğiyle ilgili ikinci bir vurgu da yapmak istemiştik.

14. Bölümde tartıştığımız gibi, periyodiklik için var olan çoğu araştırma Güneş Sisteminin yukarı-aşağı hareketi için verilere bir periyodik fonksiyon –örneğin, sinüs dalgası gibi– uydurmayla çalışmıştı. Bu ilginç olabilir, fakat tüm hikâyeyi yansıtamaz. Güneş Sisteminin hareketini tahmin edemeyiz. Gökadanın her şeyini ve Güneşin ilk konumu, hızı ve ivmesini bilseydik, Güneşin hareketini hesaplamak için Newton'ın kütleçekim yasalarını kullanır ve beklediğimiz periyodu öngörebilirdik. Ne de olsa, Güneş Sisteminin hareketi rastgele değildir, fakat temelindeki dinamik-

le tutarlı olmalıdır. Güneşin tam olmayan yoğunluk dağılımı ve parametreleriyle bile, olası yörüngelerin uzanımı –ve dolayısıyla periyodları– kısıtlıdır.

Matt ve ben gökada diskindeki bilinen maddenin yoğunlukları hakkında bildiklerimizi –güncel ölçümlerin desteklediği tüm olası değerler bölgesi için izin verilenleri– birleştirmiş ve bir karanlık diskin madde katkısını da eklemiştik. Hedefimiz, ölçülmüş disk bileşenleri –yıldızlar, gaz, vb– ile ileri sürdüğümüz karanlık disk bileşeni hakkında bildiğimiz her şeyi hesaba katar katmaz, Güneş Sisteminin hareketiyle uyumlu periyodik krater oluşması sıklıkları için kanıtın var olup olmadığını kontrol etmektir.

Sıradan maddenin ölçülen katkıları Güneş Sisteminin girebileceği olası yörüngelerin uzanımını kısıtlar, çünkü disklerdeki –hem sıradan hem de karanlık– maddenin kütleçekimi Güneşe etki eder ve onun hareketini etkiler, böylece başka-yere-bak etkisini azaltır. Matt ve ben Güneş Sisteminin periyodik hareketini öngörmek için ölçülmüş yoğunlukları kullanmış ve ne denli iyi uyuştuklarını kontrol etmek için, gökadasal düzlemi kesme zamanlarıyla rapor edilmiş krater oluşma zamanlarını karşılaştırmıştık. Temelinde bir model olmayan öngörüler yeterince ayırt edilemedikleri halde, var olan ölçümlerin hesaba katılmasıyla, istatistiğin, periyodik göktaş saldırıları için yaklaşık 35 milyon yıllık bir periyodu yeğlediğini bulmuştuk. Geliştirilmiş son veriler gösteriyor ki, periyot büyük olasılıkla daha bile kısadır; herhalde 32 milyon yıl gibi.

Karanlık disk, senaryoyu işler kılmak ve yeğlenen çarpma sıklığını üretmek için, önemlidir. Hikâyeyi tersine çevirirsek, krater verilerini Güneş Sistemi hareketine daha iyi eşleştirmeye, bir karanlık disk sahiden de yeğlenir. Gelecek veriler, en iyi istatistiksel anlamı vermesi için, akılda bu tür bir modelle çözümlenmelidir. Sonuçlar, o zaman ya bizim sonucumuzu güçlendirir ya da onu hükümsüz kılar.

VE DİNOZORLAR...

Matt ve ben her şeyi çözümledikten ve araştırmamız *Physical Review Letters* tarafından basıma kabul edildikten sonra, sonuçlarımızı çevrimiçi dergi havuzuna göndermiştik; bu, araştırma makalelerini henüz basılmadan *preprint* (ön baskı) olarak bilinen şekliyle

derhal internet ortamına aktarmaktır. Gerçek gönderiyi Matt yapmıştı. Makalemize ölçülü davranarak "Periyodik Kuyrukluyıldız Çarpmaları İçin Bir Tetikleyici Olarak Karanlık Madde" [Dark Matter as a Trigger for Periodic Comet Impacts] adını vermiştik. Fakat meğer Matt "yorumlar" bölümü de hazırlamış –bu bölüm, genelde formatı ya da gönderiye düzeltileri betimlemek için kullanılır– ve oraya "4 şekil, dinozorsuz" ibaresini de yazmış. Bunun çok komik olduğunu düşünmüştüm, çünkü makalemizde açık olarak dinozorlara değinmekten titizlikle kaçınmış; sadece krater kayıtlarına ve bunun fizikle doğrudan temasına odaklanmıştık.

Fakat kuşkusuz bu bağlantı hep aklımızdaydı ve çalışmamıza şaka yollu bile "dinozor makalesi" göndermesi yapıyorduk. Herhalde daha fazla dikkat harcasaydım, bir sonraki gün makalemize gösterilen bu derecedeki çevrimiçi ilgiye şaşırıp kalmazdım. Çalışmamız, birçok blog ve dergi sitesinde bazı oldukça eğlenceli grafikler eşliğinde –"boffins" ibaresi dahil– anlatılmıştı.

Fakat bu beni ister istemez dinozorlara geri götürüyor. Kuyrukluyıldız çarpmalarını öngörmek için veriler ile modelleri bir araya getirmek için en azından ilk girişimi oluşturmuş olarak ve bunun son söz olmayıp gelecek ölçümlerle geliştirileceğini bilek, bizim modelin Chicxulub olayının zamanlamasıyla ne denli iyi uyduğuna görmek istemiştik. Hesaplamalarımız şunu göstermişti; Samanyolu diskindeki sıradan ölçümlerin gelişmesine bağlı olarak, göktaşı çarpmaları her 30 ila 35 milyon yılda bir meydana gelmelidir. Gökada düzleminden son iki milyon yıl içinde geçtiğimize göre, eskiden gerçekten bir tam salınma (diskin iki kez kesilmesi) sahip olabilen Oort bulutundan çıkarılmış olan bir kuyrukluyıldız 66 milyon yıl önce, K-Pg tükenişi zamanında, hızla Yeryüzüne düşmüş ve muazzam hasara yol açmıştı. Laf aramızda, eğer diski bir milyon yıldan daha az önce geçseydik, hâlâ artan bir kuyrukluyıldız akısının kuyruk ucu üzerinde olup bugün artmış çarpmaları görme potansiyeline bile sahip olabilirdik. Fakat çok daha büyük olasılık şudur; Yeryüzü diskin içinden epeyce ileri geçmiştir ve gerçekten de rastgele ve aşırı olasılıksız bir olay dışında, bir diğer otuz milyon yıl süresince bir başka Chicxulub'a şahit olmayacağız demektir.

Güneşin konumundaki belirsizlik ve kesin periyoda ait bilgi noksanlığı nedeniyle, diski geçme zamanlarını ancak yaklaşık

olarak öngörebiliriz. Eğer Yeryüzü gökada orta-düzlemini iki milyon yıl kadar önce geçtiyse, yaklaşık 32 milyon yıllık salınım periyodu, geçmişte 66 milyon yıl önce meydana gelmiş olan bir olayı üretmek için en uygun olabilirdi. Bizim özgün kaba çözümlememiz 35 milyon yıllık bir periyot vermişti; ki bu Chicxulub zamanlamasıyla uyuşması için biraz fazla büyüktür. Yine de modeldeki ve artan kuyruklu yıldız çarpmaları zamanının uzunluğundaki belirsizlikler, hâlâ akla yakın uyuşmaya yer bırakır. Samanyolu diski için gökadamızın bileşenlerinin daha yeni ölçümlerini hesaba katan güncel modelimiz, o zamandan beri periyodu aşağı düşürmüştü; böylece K-Pg tükenişi zamanına daha iyi bir uyum sağlanmıştı. Fakat ilk öngörümüz için kullandığımız kaba modelle bile, karanlık diskin Chicxulub olayına karşılık geldiği yolunda akla yakın bir olasılık var.

Sonuçlarımızın yeterince kesin olmadığına dair ana neden, ilk çözümlememizi yaptığımız zamandan bu yana, Samanyolundaki madde ölçümlerinin değişmiş olmasıdır. Biz ayrıca, yetersiz derecede bilinen gökada kolları gibi, zamana-bağlı gökada ortamını tam olarak hâlâ modelleyemedik. Bu etkilerden gelen yoğunluk değişimi, göktaşı çarpmalarını tetiklemeye yeterli olmayabilir. Fakat bunlar modelin –çarpmaların ne zaman meydana geldiğiyle ilgili– kesin öngörüsünü birkaç milyon yıl kadar değiştirmeye yeterli olabilir.

Başka etmenler de artan kuyruklu yıldız sağanakları için öngörülen tam zamanlardaki belirsizliğe katkıda bulunur. Güneş Sisteminin gökada düzlemini geçmesi bir milyon yıl kadar zaman alır; disk daha kalınsa, bu biraz daha uzun olur. Üstelik, birkaç milyon yıla kadar olan bir zaman periyodu, ilk tetikleme olayını Yeryüzüne gerçek göktaşı çarpmasından ayırabilir. Üçüncü olarak, krater kaydı ve tarihleme hassasiyeti yetersizdir. Daha çok krater bulma ve onları tarihleme çok daha kesin olarak fayda sağlayabilir; yeni krater keşifleri nadiren ortaya çıkarsa da. Yalnızca kraterler değil, fakat kayalarda hapsolmuş toz da, kuyruklu yıldızların ne zaman çaptıklarının çok kesin bir kaydını üretmeye de yardım edebilir.

Güneşin gökada düzleminden öteye ve gökada düzlemine doğru dikey hareketindeki 30 ile 35 milyon yıllık periyodiklik için kanıt, beklenmeyen yönlerden gelebilir. Matt ve ben makalemizi yazdıktan sonra, benim astronomi, jeoloji ve iklimden büyülenmiş oldu-

ğumdan haberdar, fakat o zaman “dinozor makale”mizi bilmeyen bir parçacık fiziği meslektaşımız bana tesadüfen Kudüs’teki İbrani Üniversitesinden Nir Shaviv ve arkadaşlarının çalışmasından söz etmişti; onlar 540 milyon yıllık tüm Fanerozoik çağdaki iklimi çalışmışlar. Dikkat çekecek derecede, 32 milyon yıllık bir periyotla iklimde bir değişim bulmuşlar; bu, bizim saptadığımız periyoda çarpıcı şekilde benzemekteydi. Eğer Shaviv’in sonucu geçerliyse ve iklimdeki bu periyodiklik gerçekten Güneşin gökada düzlemi içindeki hareketiyle saptanmışsa, 32 milyon yıllık periyot da bir karanlık diskin kanıtı olabilir, çünkü sıradan madde tek başına disk geçişleri arasındaki bu oldukça kısa zaman aralığını vermeye yeterli olamaz.

Kuşkusuz, karanlık maddenin etkisini görmek için geçmiş didiklememiz gerekmez. Karanlık madde gerçekten de Evrendeki madde dağılımının yapısını değiştirecek etkileşen bir bileşene sahipse, bunu çok yakında, belki de başka karanlık madde araştırmalarından herhangi biri sonuca ulaşmadan daha önce bile öğreneceğiz. Sadece karanlık disk yoğunluklarının sınırlı bir aralığı krater verilerini açıklayabilir. Gelecek ölçümler neredeyse kesin olarak olası öngörülerin aralığını daraltır; bu da önerimizi ya doğrular ya da ortadan kaldırır.

Öğrencim Eric’le benim daha önce yapmış olduğum çözümleme, gerekli yoğunluğa ve kalınlığa sahip bir karanlık diskin bugüne kadarki gözlemlerce uygun bulunduğunu göstermektedir. GAIA’dan gelecek daha iyi veriler bir diskin varlığını, yoğunluğunu ve kalınlığını daha da iyi şekilde yerine oturtacaktır. Bu uydu Samanyolunun en yakın bölgesindeki yıldızların 3-D haritasını tamamlayınca, karanlık disk –ya da onun yokluğu– çok daha iyi saptanmış olacaktır. Bu dolaylı rotayla, sadece gökada ve karanlık madde hakkında değil, Güneş Sisteminin geçmişi hakkında da çok şey öğrenebiliriz. Eğer GAIA verileri, doğru kalınlık ve yoğunlukla, bir diskin varlığını saptarsa, krater önerisinin yaşamasının güçlü bir kanıtı olacaktır bu.

Daha iyi bir can alıcı nokta, kuşkusuz, dinozorların tam ölüm tarihini sonuçtan emin olacak kadar küçük belirsizlikle kesin şekilde hesaplamaktır. Fakat bu, meydan okuyucu ölçümler içeren karmaşık bir konudur. Öyle olsa bile, Son 50 yılda bilim insanlarının yaptıkları ilerleme miktarı tam anlamıyla şaşırtıcıdır. Karan-

lık madde birçok bakımdan, çok daha kolay görünen Yeryüzüne, Güneş sistemine ve Evrenin pek çok başka görünür elemanına kıyasla çok daha ele geçmez bir şeydir. Fakat betimlediğim araştırmalar boyunca, fizikçiler onu izleyerek bulmak için yeni yollar icat ediyorlar. Sonuç ne olursa olsun, gökadamızın ve Evrenin ve de maddenin kendi iç işleyişlerinin, bazı hazır sürprizlere sahip olduğundan emin olabiliriz.

SONUÇ: İYİYE GİDİŞ

Ticaret, hukuk ve dış politikadan, sanatlara, medya ve kuşkusuz bilime kadar çeşitli alanlardan liderlerle konferanslara davet edilmiş olma şansına ermiş biriyim. Bu toplantılarda diğer panelist ya da konuşmacılardan farklı bir bakış açısına sahip olduğumda bile, tartışmalar önemli konuların geniş bir spektrumu hakkında hep taze düşünceleri uyarır. Fakat en iyi sorular –özellikle araştırmam hakkında– her zaman konferansa katılanlardan gelmez. Bir yakın olayda, özellikle fizik hakkında memnuniyet verici bir alışveriş konferans bittikten hemen sonra olmuştu; beni yerel Montana hava alanına götüren Jake adındaki genç taksi şöförü, düşünceli ilgisiyle beni şaşırtmıştı.

Benim fizikçi olduğumu öğrenir öğrenmez, birçok kişi konuya karşı kendi düşüncesini bana söylemeye zorunlu hisseder; sevse ya da nefret etse de, büyülenmiş ya da kafası karışık olsa da. Bunu biraz tuhaf bulurum. Ne de olsa, çoğumuz, örneğin hukukçulara hukuk felsefesi üzerine düşüncemizi söyleme gereksinimi duymayız. Fakat bu meraklı itirafsal fizik sohbetleri bazen işe yarar. Jake bana birkaç yıl önce Oregon lisesinde kolej-düzeyi fiziğinden ne kadar çok zevk aldığını ve şimdi daha fazla öğrenmeye hevesli olduğunu açıklamıştı. Artık ders almasa da, fizikçilerin o zamandan beri Evreni anlamamız üzerine yaptıkları birçok ilerleme hakkında daha fazla şey duymak istiyordu.

Ama Jake sadece yeni gelişmeler hakkında sormamıştı. Ayrıca, sonraki ilerlemelerin ışığında, onun öğrendiği fiziğin bugünkü durumunu da bilmek istiyordu. Böylece ona yirminci yüzyılın bize öğrettiği gelişmeleri, örneğin Newton Yasalarının –bilinen ortamlarda aşırı doğru yaklaşıklıkta kaldıkları halde– yüksek hızlarda, küçük mesafelerde ya da yüksek yoğunluklu ortamlarda artık uygulanmadığını; bu durumlarda özel görelilik, kuantum mekaniği ya da genel göreliliğin işi devraldığını izah etmiştim.

Bir an bunu düşünüp taşındıktan sonra, Jake vurgusuz bir tavır takınmış, ama içe işleyen şu soruyu sormuştu: Zamanda geri

gidebilseydim, bilgimle ne yapabilirdim; acaba orada hakkında sadece şimdi bildiğimiz daha yeni gelişmelerle tanıştığımı insanlara söyler miydim diye merak etmişti. Jake bu ikilemin iki önemli yanının farkındaydı. Birincisi herhangi biri bana inanabilir miydi, yoksa benim kaçık olduğumu mu zannederlerdi? Ne de olsa, sadece çok ileri teknoloji yoluyla elde edilmiş destekleyici deneysel kanıt olmaksızın, son yüzyılda bilim insanların keşfettiği ve çıkarımlar yaptığı dikkat çekici olaylar ve bağlantılar kaçıkça görünebilirdi. Bunlar çok daha sıradan çevrelerde formülleştirilmiş sezgileri bozar.

Fakat onun ikileminin ikinci yanı belki de daha bile zorlayıcıydı. Jake şunu merak ediyordu; insanlar yeni iç-görüşleri/anlayışları dinleseler ve onlara inansalar bile, acaba onlardan korkar ve onları ihmal mi ederlerdi, yoksa –diğer uçta– onları acele uygulama yoluna mı giderlerdi? Onun ilk içgüdüğü, bilgiyi kendi hayali zaman-yolculuğuma saklamalıyım düşüncesi idi ve bunun nedeni de şuydu: Dünyanın, evrildiği şekilde –bilimsel bilgiye kısa yollar koymadan– evrilmesine izin verilseydi, dünya daha iyi olurdu.

Toplumun uzun-vadeli düşünmeye karşı olağan direnci dikkate alınırca, Jake ani bir bilgi patlamasının tehlikeli olabileceğinden endişelenmekteydi. Değişimin kötü olduğunu düşünmüyordu. Fakat video oyunları ve akıllı telefonlar tarafından tutsak alınmış daha genç kardeşlerini gördüğünde, endişeliydi; kendisi, onların yaşında açık hava ve araştırma duygusundan öyle çok zevk almıştı ki. Ayrıca üzüldüğü bir başka husus kendi kasabasının örneği idi; orada yeni teknolojiler ortaya çıkar çıkmaz, ne yerel ne de küresel gerektirimlere bakmaksızın, kaynakları hızla kapan endüstriler görmüştü. Jake, kırlarla ve ailesinin yaşam tarzıyla ilgili gördüğü tersinmez sonuç üzerine düşünüp taşınınca, toplumun muhtemelen yeterli zaman içinde büyük bilimsel keşiflere ya da teknolojik değişimlere uyum sağlamak konusunda daha dikkatlice geliştirilen kapsamlı, uzun-vadeli stratejilerle daha iyi olacağı yolunda mantık yürütmüştü.

Bu kitap, Yeryüzünün geçmişinde çeşitli büyüklükte, kontrol edilemez tedirgemelerin gezegenimizin kararlılığını nasıl derinden sarstığını araştırıp soruşturdu. Dünya-dışı kaynaklı böyle bir tedirgeme, 66 milyon yıl önce, herhalde karanlık madde tarafından tetiklenmiş olabilecek hızlı bir göktaşı büyük bir soy tükeni-

şine yol açtığına meydana gelmişti. Belki önümüzdeki yaklaşık 30 milyon yıl içinde, yine böyle bir başkası olacaktır. Böyle olayları deşifre etmek büyüleyicidir; bu nedenle bu kitapta bunlara odaklandım ve güncel araştırmalarımda onları çalışmaya devam edeceğim.

Fakat onların gezegenimize ve yaşama çarpmasını anlamak daha fazla yarara sahip olabilir; bugün çevremizde oluşturduğumuz bazı tedirgemelerin sonuçlarını öngörmemize yardım edebilir. Yeryüzü üzerindeki uygarlık ve güncel yaşamın çeşitliliğiyle ilgili zaman ölçeklerinde, yolundan sapan bir kuyruklu yıldız bizim en acil kaygımız değildir. Fakat patlayan nüfusun Yeryüzü kaynaklarını aşırı hızlı şekilde kötüye kullanmasıyla meydana gelen değişiklikler pekâlâ bizi endişelendirir. Bu kez bizim kendi suçumuz olan çarpma, yavaş hareket eden bir kuyruklu yıldızın çarpmasıyla bile kıyaslanabilir. Güneş Sisteminin en uzak menziline tetiklenen bir çarpmanın tersine, şimdi olan değişimleri kontrol etme potansiyeline sahibiz.

Karanlık madde çalışması böyle kaygılara neredeyse hiç açık bir yol değildir. *Karanlık Madde ve Dinozorlar* en geniş anlamda çevremiz –kozmik çevremiz ve bilimsel ilerlemelerin şimdiden bize getirdiği dikkate değer içgörüler– ve gelecekteki ilerlemelerin ortaya çıkaracağı şeyler hakkında bir kitaptır. Fakat karanlık madde hakkında düşünmek, beni gökadamız üzerine düşünmeye sevk etti; bu da Güneş Sistemi hakkında daha fazla şeyler öğrenmeme, kuyruklu yıldızları dikkate almama, dinozorların yok oluşunu daha iyi anlamama, yaşamın –bugün Yeryüzü üzerinde var olan yaşam anlamında– zenginleşmesine izin veren hassas dengeyi derin derin düşünmeme yol açtı. Bu dengeyle uğraşırsak, ayakta kalabiliriz ve gezegenimiz de kesinlikle kalır. Fakat beraber yaşadığımız ve onlara bel bağladığımız türlerin her köklü değişiklikte ayakta kalacakları çok açık değildir.

Evren 13,8 milyar yıldır ortalıktaydı ve Yeryüzü dört buçuk milyar yıldır Güneşin çevresinde dolanmaktaydı. Biz insanlar sadece iki milyon yıldan beri gezegeni onurlandırmaktayız ve uygarlığımız yirmi bin yıldan bile daha az yaşlı. Oysa benim yaşamımda bile, gezegene dört milyardan fazla kişi eklenerek, insan nüfusu iki kattan daha bile fazlaya çıktı. Yeryüzü kaynaklarını –gezegeni ve onun yaşamını önemli ölçüde etkileyerek– aşırı hız-

lı şekilde kullandığımız vakit, milyonlarca ve hatta milyarlarca yıllık kozmik çalışmayı çok çabuk şekilde mahvederiz. Tehditler bir insan yaşamının kısa süresi içinde kolayca dikkatten kaçabilir. Fakat ileri gidişte tedbirli davranılması, gelecekte yeni bilgiler ve ilerlemelerden yararlanmak için çok daha iyi yollar bulmada bize yardımcı olabilir.

Güçlükleri yenme yeteneğine sahip olduğumuzu düşünmek isteriz, fakat büyük olasılıkla dünyanın geçerli durumu sandığımızdan daha az kararlıdır. Yaşama alanlarını ve atmosferi bugünkü hızla değiştirme ve tahrip etme, biyoçeşitliliği etkiliyor ve bu, altıncı bir soy tükenişine bile zemin hazırlıyor olabilir. İnsanlar kesinlikle çok yakın bir zamanda ortadan yok olmayacak olsa da, yaşama tarzımızın önemli yanları ortadan kalkabilir. Yapmakta olduğumuz değişiklikler –ya da denenen çözümler bile– çevremizi tehdit etmektedir; sosyal ve ekonomik kararlılığımıza değinmedim bile. Sonuçlar en sonunda küresel anlamda yararlı olabilse de, bunlar şimdi Yeryüzü üzerinde yaşayan türler için hiç mi hiç böyle olmayacaktır.

Çevremizin bazı yanlarını planlayıp düzenlemeye çalışabiliriz, fakat dünya birçok mucize-gibi-görünen nitelikler kullanan aşırı derecede karmaşık bir sistemdir; onların sadece bazılarını şu anda anlamaktayız. Teknoloji bazı problemleri çözebiliyorsa bile, artıp duran değişme hızıyla bunu her durumda sürdürmesi zor olacaktır. Denklemi büyük oranda değiştirmek için tekrar tekrar yenilikler yapılmaksızın, sonuçta, bir şeylerin patlayacağı sürdürülemez bir genişleme kaçınılmaz olacaktır. En uygun tepkiyi koyacaklarsak, teknolojinin çok daha kapsayıcı bir strateji içinde bütünleşebileceği destekleyici bir politik, sosyal ve ekonomik iklim işin olmazsa olmazıdır. Meydan okumalar açıkça göz korkutucudur, fakat bu çok değerli amaca doğru bir hamle yapmamızı önlememelidir.

Üstel artış oldukça yavaş başlar, ama sonra dramatik olarak hızla yükselir. Bu yeni mevcut durumu sürdürmek için gerekli kaynaklar, geçmişte karşılaştığımız her şeyi ezip geçer. Karmaşık ve kırılgan altyapımızla incelikle dengelenmiş ekosistemimizde, oldukça küçük tedirgemeler bile büyük etkiler üretme kapasitesine sahiptir. Kendimize şunu sormamız önemlidir; acaba büyümemizi farklı şekilde mi planlamalıyız ya da akla uygun değişimleri

çok daha ölçülü tarzda mı öngörmeliyiz? Papa Francis bile 2015 Genelgesinde, “çabuklaşma” adını verdiği daha hızlı ve çok daha yoğun insan etkinliği hakkında uyarılarda bulunur. Gelecekteki değişmelerin bazı yanları yararlı olacak olsa bile, potansiyel derecede zararlı sonuçlar önceden görme açısından değerlidir. Dışarıdan –ya da içeriden– bakınca, epeyce kısa-görüşlü gibi görünebiliriz.

Beni yanlış anlamayın. Gelişmeye inanırım. Ne de olsa, bilgi harika bir şeydir. Fakat ilerlemeleri akıllıca uygulama sorumluluğunu üstlenmeye de inanırım; bu bazen uzun vadeli bakışı benimsemiş anlamına gelir. Bir akıllı tür, ortaya çıkmaları milyarlarca ya da en azından milyonlarca yıl alan kıt kaynaklar için yarışarak ve onları tahrip ederek varlığını göstermemelidir. Teknolojik uygulamalar yararlı ya da –bazen bilmeyerek– zararlı olabildiği halde, artan bilgi bize istenen makineleri yaratma, daha iyi öngörülerde bulunma, potansiyel problemlere işler çözümler yaratma ve şu anki anlayışımızın sınırlarını değerlendirme yetisi verir. Bilgi dağarcığımızı iyi kullanmak bize bağlıdır.

Şunu hatırlamalıyız ki, bilimsel keşiflerin tüm uygulama alanları başta nadiren belirgindir. Yine de bilimsel ilerlemeler hem dünyamızı hem de dünya görüşümüzü gizlice değiştirir. İyi uygulanırsa, muazzam yararlar verebilir. Soyut kuramdan –kimsenin başlangıçta pratik uygulamalarının olabileceğini düşünmediği temel araştırma– kaynaklanan birçok içgörü bile, dünyamız üzerinde derin bir etkiye sahiptir.

Bugün kanseri tedavi etme amacını güden genetik çalışmalar DNA araştırmalarına dayanır; bunlar da başlangıçta saf kuramsal sorular üzerine odaklandırılmıştı. MR gibi tıbbi araçlar atom çekirdeğini anlamamızdan doğmuştu. İyi ve kötü için kullanılmakta olan nükleer enerji, atomun yapısının bilgisinden ortaya çıkmıştı. Elektronik devrimi, kuantum mekaniğinden geliştirilen transistörün gelişmesinden doğmuştu. İnternet CERN'deki –şu anda Büyük Hadron Çarpıştırıcısına ev sahipliği yapan parçacık fiziği merkezi– bilgisayar bilimcisi Tim Berners-Lee'nin farklı ülkelerin bilim insanları arasındaki iletişimi ve koordinasyonu iyileştirme çalışmasının bir yan ürünüydü. Bugün her yerde var olan GPS sistemi, Einstein'ın görelilik kuramını kapsamına almıştı. Elektriğin, ilk keşfedildiğinde, bu kadar önemli olabileceğini hiç kimse bilmi-

yordu; oysa şimdi güncel yaşam tarzımız için can alıcı bir konuma sahiptir.

Babası Nobel Ödülü kazanmış bir fizikçi olan jeolog Walter Alvarez, çalışmalarına ilk başladığında, fiziğe göre jeolojinin sıradan bir iş olduğunu düşünmekteydi. Jeologlar oldukça sıradan ırmak ve arazi örüntülerini yeniden yapılandırmaktaydılar; oysa yirminci yüzyıl fizikçileri, insanların dünya ve onun nasıl çalıştığı hakkındaki düşünce tarzlarını köklü olarak değiştiriyorlardı. Fakat levha tektoniği, katmanlar bilimi ve jeolojik evrim daha iyi anlaşılır hale gelince, petrol rezervleri ve minerolojik yataklar keşfedilmiş ve işletilmişti. Atıl merak olarak başlayan araştırma, petrol ve mineral arayan araçların geliştirilmesine dönüşmüştü. Bu geçiş 18. yüzyılda başlamıştı, fakat jeoloji 20. yüzyılda önemli hale gelmişti. Jeoloji, dünyamıza büyük kâr payları sağlamıştı. O, kelimenin tam anlamıyla, modern endüstri kompleksini –ve beraberinde, ekonomimizi ve yaşam tarzlarını– yükseltmişti; fakat bugünkü birçok çevresel sorunu da beraberinde getirmişti.

Yine de, Alvarez ve diğerlerinin mirasının gösterdiği gibi, sadece endüstriyel uygulamalar değil, temel araştırma hedefleri de, jeolojiyi anlamamızda önemli ilerlemeleri kamçılıyordu. Göktaşı ve Güneş Sistemini daha geniş içerikte, gökadamızın yapısı içinde bağlantılamak, dünyamız ve onu çevreleyen Evren arasındaki bağlantıları kavramanın bu genişleyen entelektüel serüveninde doğru ilerleme gibi görünüyor.

Bu kitabın betimlediği araştırmayı, Alvarez'in jeoloji, kimya ve fiziği iç içe geçirerek başlattığı çalışmasının diğer bilimleri takdir etmesinin bir devamı olarak düşünmek isterim. Karanlık maddenin bilinen ilişkiler cümlesini tamamlayabilmesi, bu sürekliliği pekiştirir. Jeolojiyi sadece bir kozmik olayı anlamak için kullanmakla kalmayıp, ayrıca belki karanlık maddenin doğasını ayrıntılı bir şekilde anlamakla, bir kuyruklu yıldızın ilkin bizim yolumuz içine atmış olan dinamiği anlamaya başlayacağız.

Çoğu insanın –astronomlar ve küçük-gezegen-madenciliği yatırımcıları bir yana– göktaşlarına olan ilgisi, onların yaşam için potansiyel sonuçlarından kaynaklanır; bu uçan cisimlerin yaratacağı mutlak tehlike çok azdır. Küçük-gezegenler ve kuyruklu yıldızlar genelde kararlı yörüngelerdedir ve Yeryüzüne çarpmak üzere sapanlarsa çoğunlukla epeyce küçüktür. Sadece nadiren bü-

yük cisimler Güneş Sisteminden ayrılacak ya da Yeryüzüne çarpacak kadar çok saparlar yörüngelerinden. Sunduğum bilgiye dayalı olarak, ümit ediyorum ki artık gelecekte hangi dünya-dışı cisimlerin bize çarpabilecekleri ve onların çarpmasının büyük olasılıkla nasıl olacağı hakkında daha iyi bir hisse sahipsinizdir.

Bu kitap böyle bir ilişkinin sağlam bir örneğini oluşturan kanıtın çoklu tehditlerini açıklamıştı; bu ilişki, 66 milyon yıl önceki *K-Pg* soy tükenişidir. Küresel bakımdan, biz tamamen Chicxulub neslinden gelenleriz. Anlamak istediğimiz hikâyemizin bir parçasıdır. Doğruysa, bu kitapta sunulan ek karışıklık şu anlama gelir: Karanlık madde sadece dünyamızın geri dönülemez değişiminden sorumlu olmakla kalmamış, ayrıca onun bir kısmı bizim varlığımıza olanak sağlamada can alıcı bir rol oynamıştı. Bu senaryoda, dinozorların açısından, karanlık madde sonuçta belaydı ve bilim insanlarının ona verdiği ad uygundu. Fakat biz insanlar açısından, karanlık maddenin bu yeni önerilen tipi, Yeryüzünün gelişmesinin akışını burada oturup bu kitabı okuma noktasına değiştiren ana rastlantılardan birinin elebaşısıydı.

Karanlık Madde ve Dinazorlar'da, bilimsel araştırmaların doğasının tadını vermeye çalıştım; bildiklerimizi ve keşfedilmemiş alanların ötesini nasıl saptadığımızı. Diğer taraftan, Evrenin ve Yeryüzünün tarihi, bizi geçmişimizin içinde heyecanlı ama çetrefilli bir seyahate çıkarır. Aile geçmişinizi izlemenin –hikâyeyi size anlatacak insanlar hâlâ ortalıkta olduğu halde– zor olduğunu düşünürseniz, siz bir de sadece cansız kayalarda korunan bir geçmişçi açığa çıkarmaktaki engelleri düşünün. Onların bazıları zamanla aşınmıştır ya da yerkabuğunun altına geri gömülmüştür, ayrıca yapıyı oluşturan, görülmesi bile olanak dışı olan karanlık malzemeleri anlamamanın karmaşıklığı da işin cabası.

Yine de bilimdeki ilerleme, en temel maddenin fiziksel özyapısı ile gördüğümüz dünyanın nitelikleri arasındaki dikkate değer girift bağlantıları açığa çıkarmıştı. Karanlık maddenin parçacıkları gökadalari oluşturmak üzere çökmüştü, yıldızların içinde yaratılan ağır elementler yaşamın içine soğurulmuştu, yerkabuğunun derinliklerinde radyoaktif çekirdeklerin bozunumlarıyla salınan enerji dağları oluşturmak üzere Yeryüzü kabuğunu harekete geçirmişti. Evrendeki bu derin bağlantıları anlamada ilerlemeler yapma yetimizi gerçekten esinlendirici bulurum. Her zaman bilim

insanları bilinen dünyanın sınırlarını soruşturmuşlardı ve beklenmedik keşifler ortaya çıkmıştı.

Dünyamız zengindir; o kadar zengin ki parçacık fizikçilerinin sorduğu en önemli sorulardan ikisi şudur: "Bu zenginlik neden?" ve "Gördüğümüz tüm madde birbirine nasıl bağlıdır?" Araştırmamda, incelediğim şeyin en sonunda bizi saran dünyayı hissetmemizle doğrudan ilişkili olabileceğinin ya da olamayacağının farkındayım; fakat sonuçların, ne olursa olsun, daha fazla ilerlemeye katkıda bulunacağını ümit ederim. Çok yakındaki işe yoğunlaşırım, herhangi bir şey standart resme ve hesaplamalara uymuyorsa, bilirim ki bu, ya geleneksel modellerin yetersiz anlayışını göstermektedir ya da yeni bir şeylerin işareti olabilir.

Karanlık madde ve onun Evrenin evrilmesindeki rolü, bugün için en heyecanlı bilimsel konulardan bazılarıdır. Kültürel olarak karışık her toplulukta olduğu gibi, ancak çevremizin zenginliğine değişik halklar birlikte katkıda bulundukları zaman, maddenin tüm biçimlerini tam olarak anlayacağız. Anlayışımızı ilerletmenin en iyi yolu, maddenin gözlemlere uyan en şık ve güvenilir tablo kurgusunu saptamış olmaktır. Sunmuş olduğum karanlık madde önerisi şimdilik bir düşünce deneyi olabilir, fakat gelecekteki gerçek ölçümler tarafından geçerli ya da geçersiz olabilecek bir öneridir. Veriler ve kuramsal tutarlılık birlikte neyin doğru olduğunun ödün tanımayan hakemleridir.

Bu kitabı adlandıran bir kuyruklu yıldızın kurgusal etkisi, önerdiğimiz yeni tip karanlık maddenin tek olası çıkarımı değildir. Karanlık madde diski yıldızların hareketlerini, cüce gökadalaların oluşumunu ve hem uzaydaki hem de laboratuarlardaki deneylerin ve gözlemlerin sonuçlarını etkileyebilir. Karanlık maddeyi anlamak birçok bakımdan Yeryüzü ve Güneş Sistemini incelemeye göre çok daha ele geçmesi zor bir iş olsa da, bilim insanları onu izleyip bulmak için yeni yollar keşfediyor. Sonuçlar gökadamızın ve Evrenimizin yaratılışı hakkında bize çok şey öğretecektir.

Gezegelimiz muhtemelen evrendeki tek yaşam biçimlerini içermez. Fakat bizim varlığımız, çok sayıda olağanüstü özelliklere sahip bir evren ve bir gezegen gerektirmişti ve hâlâ da gerektirmektedir. Ancak anlamaya başladığımız kuvvetler, bizim bu duruma nasıl geldiğimiz hususunda temel olmuştu. Gökadayı ve onun içinde kökenimizi anlamak, hem mutlu rastlantılar üzerine geniş

bir bakış açısı hem de bizi bu noktaya getiren daha öngörülür evrimsel süreçleri açığa vurur. Çok daha fazla bağlantıyı açığa çıkarmayı hedeflediğimiz gibi, daha şimdiden esasını kavradığımız miktar dikkate değerdir. Son 50 yılın ilerlemeleri dudak uçuklatacak derecededir.

Dünya olaylarında sık sık iç karartıcı başlıklarla ve düş kırıklığı yaratacak döngüsel örüntülerle yüz yüze gelsek de, büyüyen bilimsel bilgi dağarcığı, yaşantılarımızı zenginleştirme ve çok değer verdiğimiz ilerlemeyi sürdürmemizi koruyacak şekilde eylemlerimizi yönlendirme potansiyeline sahiptir. Yaşamlarımızı çevrelerimize ve şimdimizi geleceğimize bağlayan köprüleri daha fazla açmak için araştırmalar sürerken, dünyamızın birçok çehresinin kıymetini bilmeliyiz; bunlar, oluşturulması bu denli uzun süren ve kullanılırken gözetilmesi gereken edindiğimiz bilgi ve teknolojik ilerlemelerin ürünüdür.

Ben her zaman şaşırtıcı kozmolojik içeriğimizi hatırlamayı iç rahatlatıcı bulurum. Dünyanın değersiz ağız dalaşları ve kısa-vadeli kaygıları, bizi dünya hakkında bilgilendiren bilimin devasa çalışma alanından uzaklaştırmamalıdır. Hakkında söyleyeceğim sözler daima en pratik öğüt gibi tınlamayabilir. Fakat yukarı bakın! Çevrenize bakın! Büyüleyici bir Evren işte orada, bizimle, ekip biçmek, bağrına basmak ve anlamak için.

EK OKUMA

İlginç ve yararlı bulduğum bazı makale ve kitapların bir derlemesi aşağıdadır. Bu ayrıntılı bir tarama olarak amaçlanmamıştır. Birçok kayıt daha tartışmalı konulara yöneliktir, fakat bazı gözden-geçirici ve birkaç da ana makale koydum listeye. Temel konular ders kitaplarında ve ayrıca Wikipedia'da da içermektedir; ikincisinde, bilgili ve istekli kişilerce güncel tutulan birçok bilim konusu yer almaktadır.

1 ve 2. BÖLÜM

- Bergstrom, Lars. "Non-Baryonic Dark Matter: Observational Evidence and Detection Methods." *Reports on Progress in Physics* 63.5 (2000): 793–841.
- Bertone, Gianfranco, Dan Hooper ve Joseph Silk. "Particle Dark Matter: Evidence, Candidates and Constraints." *Physics Reports* 405.5-6 (2005): 279–390.
- Copi, C J, D N Schramm ve M S Turner. "Big-Bang Nucleosynthesis and the Baryon Density of the Universe." *Science* 267.5195 (1995): 192–9.
- Freese, Katherine. *The Cosmic Cocktail: Three Parts Dark Matter*. Princeton Üniversitesi Yayınları, 2014.
- Garrett, Katherine ve Gintaras Duda. "Dark Matter: A Primer." *Advances in Astronomy* 2011 (2011): 1–22.
- Gelmini, Graciela B. *TASI 2014 Lectures: The Hunt for Dark Matter*. (2015). <http://arxiv.org/abs/1502.01320>.
- Lundmark, Knut. *Lund Medd.* 1 No125 = VJS 65, p. 275 (1930).
- Olive, Keith A. "TASI lectures on dark matter." *arXiv preprint astro-ph/0301505*(2003).
- Panek, Richard. *The 4 Percent Universe: Dark Matter, Dark Energy, and the Race to Discover the Rest of Reality*: Mariner Books, 2011.
- Peter, Annika HG. "Dark Matter: A Brief Review." *Frank N. Bash Symposium 2011: New Horizons in Astronomy*. Ed. Sarah Salviander, Joel Green ve Andreas Pawlik. Texas Üniversitesi Yayınları Austin, 2012.
- Profumo, Stefano. "TASI 2012 Lectures on Astrophysical Probes of Dark Matter." (2013): 41.
- Rubin, V. C., N. Thonnard ve Jr. Ford, W. K. "Rotational Properties of 21 SC Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from

- NGC 4605 /R = 4kpc/ to UGC 2885 /R = 122 Kpc/." *The Astrophysical Journal* 238 (1980): 471–487.
- Rubin, Vera C. ve Jr. Ford, W. Kent. "Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions." *The Astrophysical Journal* 159 (1970): 379–403.
- Sahni, Varun. "Dark Matter and Dark Energy." *Physics of the Early Universe*. Springer Berlin Heidelberg, 2005. 141–179.
- Strigari, Louis E. "Galactic Searches for Dark Matter." *Physics Reports* 531.1 (2013): 1–88.
- Trimble, V. "Existence and Nature of Dark Matter in the Universe." *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 25 (1987): 425–472.
- Zwicky, F. "Die Rotverschiebung von Extragalaktischen Nebeln." *Helvetica Physica Acta* 6 (1933): 110–127.
- Zwicky, F. "On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae." *The Astrophysical Journal* 86 (1937): 217.

3. BÖLÜM

- Humboldt, Alexander von. *Kozmos: A General Survey of Physical Phenomena of the Universe*, Volume 1. H. Bailliere, 1845.

4. BÖLÜM

- Baumann, Daniel. "TASI Lectures on Inflation." (2009). <http://arxiv.org/abs/0907.5424>.
- Boggess, N. W. vd. "The COBE Mission—Its Design and Performance Two Years after Launch." *The Astrophysical Journal* 397 (1992): 420–429.
- Freeman, Ken ve Geoff McNamara. *In Search of Dark Matter*. Springer, 2006.
- Guth, Alan H. *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Perseus Books, 1997.
- Hinshaw, G. vd. "Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Data Processing, Sky Maps ve Basic Results." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 180.2 (2009): 225–245.
- Kamionkowski, Marc, Arthur Kosowsky ve Albert Stebbins. "A Probe of Primordial Gravity Waves and Vorticity." *Physical Review Letters* 78 (1997): 2058–2061.
- Komatsu, E. vd. "Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Cosmological Interpretation." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 180.2 (2009): 330–376.
- Kowalski, M. vd. "Improved Cosmological Constraints from New, Old, anCombined Supernova Data Sets." *The Astrophysical Journal* 686.2 (2008): 749–778.
- Leitch, E. M. vd. "Degree Angular Scale Interferometer 3 Year Cosmic Microwave Background Polarization Results." *The Astrophysical Journal* 624.1 (2005): 10–20.

- Penzias, A. A. ve R. W. Wilson. "A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/sn." *The Astrophysical Journal* 142 (1965): 419-421.
- Seljak, Uroš ve Matias Zaldarriaga. "Signature of Gravity Waves in the Polarization of the Microwave Background." *Physical Review Letters* 78.11 (1997): 2054-2057.
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Basic Books, 1993 [*İlk Üç Dakika: Evrenin Kökenine Çağdaş Bir Bakış*, Kırmızıkeci Yayını, Bilim Dizisi 2, 2013]

5. BÖLÜM

- Binney, J. ve S. Tremaine. *Galactic Dynamics*. Princeton Üniversitesi Yayınları, 2008.
- Davis, M. vd. "The Evolution of Large-Scale Structure in a Universe Dominated by Cold Dark Matter." *The Astrophysical Journal* 292 (1985): 371-394.
- Hubble Maps the Cosmic Web of 'Clumpy' Dark Matter in 3-D." (7 January 2007). <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2007/01/image/a/grav/>.
- Kaehler, R., O. Hahn ve T. Abel. "A Novel Approach to Visualizing Dark Matter Simulations." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18. 12 (2012): 2078-2087.
- Loeb, Abraham. *How Did the First Stars and Galaxies Form?*, Princeton Üniversitesi Yayınları, 2010.
- Loeb, Abraham ve Steven R. Furlanetto. *The First Galaxies in the Universe*. Princeton Üniversitesi Yayınları, 2013.
- Massey, Richard vd. "Dark Matter Maps Reveal Cosmic Scaffolding." *Nature* 445.7125 (2007): 286-90.
- Mo, Houjun, Frank van den Bosch ve Simon White. *Galaxy Formation and Evolution*. Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2010.
- Papastergis, Emmanouil vd. "A Direct Measurement of the Baryonic Mass Function of Galaxies & Implications for the Galactic Baryon Fraction." *Astrophysical Journal* 259.2 (2012): 138.
- Springel, Volker vd. "Simulations of the Formation, Evolution and Clustering of Galaxies and Quasars." *Nature* 435.7042 (2005): 629-36.

6. BÖLÜM

- Blitzer, Jonathan. "The Age of Asteroids." *New Yorker*. (2014). <http://www.newyorker.com/tech/elements/age-asteroids>.
- DeMeo, F. E. ve B. Carry. "Solar System Evolution from Compositional Mapping of the Asteroid Belt." *Nature* 505 (2014): 629-34.
- Kleine, Thorsten vd. "Hf-W Chronology of the Accretion and Early Evolution of Asteroids and Terrestrial Planets." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73.17 (2009): 5150-5188.

- Lissauer, Jack J. ve Imke de Pater. *Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability*. Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2013.
- Rubin, Alan E. ve Jeffrey N. Grossman. "Meteorite and Meteoroid: New Comprehensive Definitions." *Meteoritics and Planetary Science* (2010): 114-122.

7. BÖLÜM

- Bailey, M. E. ve C. R. Stagg. "Cratering Constraints on the Inner Oort Cloud: Steady-State Models." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 235.1 (1988): 1-32.
- Europe's Comet Chaser." *European Space Agency*. (2014). http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Europe_s_comet_chaser.
- Gladman, B. "The Kuiper Belt and the Solar System's Comet Disk." *Science* 307.5706 (2005): 71-75.
- Gladman, B., B. G. Marsden ve C. Vanlaerhoven. "Nomenclature in the Outer Solar System." *The Solar System Beyond Neptune*. Ed. M. A. Barucci vd. Arizona Üniversitesi Yayınları, 2008. 43-57.
- Gomes, Rodney. "Planetary Science: Conveyed to the Kuiper Belt." *Nature* 426.6965 (2003): 393-5.
- Iorio, L. "Perspectives on Effectively Constraining the Location of a Massive Trans-Plutonian Object with the New Horizons Spacecraft: A Sensitivity Analysis." *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* 116.4 (2013): 357-366.
- Morbidelli, A ve H F Levison. "Planetary Science: Kuiper-Belt Interlopers." *Nature* 422.6927 (2003): 30-1.
- Olson, RJM. "Much Ado about Giotto's Comet." *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 35.1 (1994): 145.
- Robinson, Howard. *The Great Comet of 1680: A Study in the History of Rationalism*. Northfield News Yayınları, 1916.
- Walsh, Colleen. "The Building Blocks of Planets." *Harvard Gazette* 12 Aralık 2013.

8. BÖLÜM

- Francis, Matthew. "The Solar System Boundary and the Week in Review (September 8-14)." *Bowler Hat Science*. (2013). <http://bowlerhatscience.org/2013/09/14/the-solar-system-boundary-and-the-week-in-review-september-8-14/>.
- McComas, David. "What Is the Edge of the Solar System Like?—NOVA Next | PBS." (2013). <http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/space/voyager-ibex-and-the-edge-of-the-solar-system/>.

9. BÖLÜM

- Gehrels, T., ed. *Hazards Due to Comets and Asteroids*. Arizona Üniversitesi Yayınları, 1995.
- The Earth Institute, "The Growing Urbanization of the World," Columbia Üniversitesi Yayınları, New York, 2005. "IAU Minor Planet Center." (2015). <http://www.minorplanetcenter.net/>.
- Kring, David A. ve Mark Boslough. "Chelyabinsk: Portrait of an Asteroid Airburst." *Physics Today* 67.9 (2014): 32-37.
- Levison, Harold F vd. "The Mass Disruption of Oort Cloud Comets." *Science* 296.5576 (2002): 2212-5.
- Marvin, U. B. "Siena, 1794: History's Most Consequential Meteorite Fall." *Meteoritics* 30.5 (1995): 540.
- Marvin, Ursula B. "Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the Origins of Modern Meteorite Research." *Meteoritics & Planetary Science* 31.5 (1996): 545-588.
- Marvin, Ursula B. "Meteorites in History: An Overview from the Renaissance to the 20th Century." *Geological Society, London, Special Publications* 256.1 (2006): 15-71.
- Marvin, Ursula B. ve Mario L. Cosmo. "Domenico Troili (1766): 'The True Cause of the Fall of a Stone in Albereto Is a Subterranean Explosion That Hurlled the Stone Skyward.'" *Meteoritics & Planetary Science* 37.12 (2002): 1857-1864. "Meteorites, Impacts, & Mass Extinction." (2014). http://www.tulan.edu/~sanelson/Natural_Disasters/impacts.htm.
- National Research Council. *Defending Planet Earth: Near-Earth Object Surveys and Hazard Mitigation Strategies*. National Academies Yayınları, 2010.
- Nield, Ted. *Incoming! Or, Why We Should Stop Worrying and Learn to Love the Meteorite*. Granta Books, 2012.
- Shapiro, Irwin I. vd., with National Research Council. "Defending Planet Earth: Near-Earth Object Surveys and Hazard Mitigation Strategies." 2010: 149.
- Tagliaferri, E. vd. "Analysis of the Marshall Islands Fireball of February 1, 1994." *Earth, Moon, and Planets* 68.1-3 (1995): 563-572.

10. BÖLÜM

- "Astronomy: Collision History Written in Rock." *Nature* 512.7515 (2014): 350.
- Barringer, D. M. "Coon Mountain and Its Crater." *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, Vol. 57. 1905. 861-886. "Earth Impact Database." <http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/>.
- Grieve, R A F. "Terrestrial Impact Structures." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 15 (1987): 245-270.

- Kring, David A. Guidebook to the Geology of Barringer Meteorite Crater, Arizona. Lunar and Planetary Institute, 2007.
- Tilghman, B. C. "Coon Butte, Arizona." *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, v. 57 (1905). 887–914.

11. BÖLÜM

- Bambach, Richard K. "Phanerozoic Biodiversity Mass Extinctions." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 34.1 (2006): 127–155.
- Bambach, Richard K., Andrew H. Knoll ve Steve C. Wang. "Origination, Extinction, and Mass Depletions of Marine Diversity." *Paleobiology* 30.4 (2004): 522–542.
- Barnosky, Anthony D. *Dodging Extinction: Power, Food, Money, and the Future of Life on Earth*. California Üniversitesi Yayınları, 2014.
- Barnosky, Anthony D vd. "Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived?" *Nature* 471 (2011): 51–57.
- Carpenter, Kenneth. *Eggs, Nests, and Baby Dinosaurs: A Look at Dinosaur Reproduction*. Indiana Üniversitesi Yayınları, 1999.
- Eldredge, Niles. *Reinventing Darwin: The Great Debate at the High Table of Evolutionary Theory*. Wiley, 1995.
- Jablonski, David. "Mass Extinctions and Macroevolution." *Paleobiology* 31.sp5 (2005): 192–210.
- Kelley, S. "The Geochronology of Large Igneous Provinces, Terrestrial Impact Craters, and Their Relationship to Mass Extinctions on Earth." *Journal of the Geological Society* 164.5 (2007): 923–936.
- Kidwell, Susan M. "Shell Composition Has No Net Impact on Large-Scale Evolutionary Patterns in Mollusks." *Science* 307 (2005): 914–917.
- Kolbert, Elizabeth. *The Sixth Extinction: An Unnatural History*. Henry Holt & Co., 2014.
- Kurten, Bjorn. *Age Groups in Fossil Mammals*. Helsinki: Societas scientiarum Fennica, 1953.
- Lawton, John H. ve Robert May, ed. *Extinction Rates*. Oxford Üniversitesi Yayınları, 1995.
- MacLeod, Norman. *The Great Extinctions: What Causes Them and How They Shape Life*. Firefly Books, 2013.
- "Modern Extinction Estimates." (2015). http://rainforests.mongabay.com/09x_table.htm.
- Newell, Norman D. "Revolutions in the History of Life." *Geological Society of America Special Papers* 89. Geological Society of America, 1967. 63–92.
- Pimm, S. L. vd. "The Biodiversity of Species and Their Rates of Extinction, Distribution, and Protection." *Science* 344 (2014): 1246752.
- Rothman, Daniel H vd. "Methanogenic Burst in the End-Permian Carbon Cycle." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111.15 (2014): 5462–7.

- Sanders, Robert. "Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived?" *UC Berkeley News Center* 2 Mar. 2011.
- Schindel, David E. "Microstratigraphic Sampling and the Limits of Paleontologic Resolution." *Paleobiology* 6.4 (1980): 408-426.
- Sepkoski, J. J. "Phanerozoic Overview of Mass Extinction." *Patterns and Processes in the History of Life*. Ed. D. M. Raup and D. Jablonski. Springer Berlin Heidelberg, 1986. 277-295.
- Valentine, James W. "How Good Was the Fossil Record? Clues from the California Pleistocene." *Paleobiology* 15.2 (1989): 83-94.
- Wilson, Edward O. *The Future of Life*. 1st ed. Vintage Books, 2003.

12. BÖLÜM

- Alvarez, Walter. *T. Rex and the Crater of Doom*. Princeton Üniversitesi Yayınları, 2008.
- Alvarez, L. W. vd. "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction." *Science* 208.4448 (1980): 1095-108.
- Caldwell, Brady. "The K-T Event: A Terrestrial or Extraterrestrial Cause for Dinosaur Extinction?" *Essay in Palaeontology* 5p (2007).
- Choi, Charles Q. "Asteroid Impact That Killed the Dinosaurs: New Evidence." (2013). <http://www.livescience.com/26933-chicxulub-cosmic-impact-dinosaurs.html>.
- Frankel, Charles. *The End of the Dinosaurs: Chicxulub Crater and Mass Extinctions*. Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1999.
- Kring, David A. vd. "Impact Lithologies and Their Emplacement in the Chicxulub Impact Crater: Initial Results from the Chicxulub Scientific Drilling Project, Yaxcopoil, Mexico." *Meteoritics & Planetary Science* 39.6 (2004): 879-897.
- Kring, David A. vd. "The Chicxulub Impact Event and Its Environmental Consequences at the Cretaceous-Tertiary Boundary." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 255.1-2 (2007): 4-21.
- Moore, J. R. ve M. Sharma. "The K-Pg Impactor Was Likely a High Velocity Comet." *44th Lunar and Planetary Conference; Paper #2431*. 2013.
- Ravizza, G ve B Peucker-Ehrenbrink. "Chemostratigraphic Evidence of Deccan Volcanism from the Marine Osmium Isotope Record." *Science* 302.5649 (2003): 1392-5.
- Sanders, Robert. "New Evidence Comet or Asteroid Impact Was Last Straw for Dinosaurs." *UC Berkeley News Center* 7 Feb. 2013.
- Schulte, Peter vd. "The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary." *Science* 327.5970 (2010): 1214-8.
- "What Killed the Dinosaurs? The Great Mystery-Background." <http://www.ucmp.berkeley.edu/diapsids/extinction.html>.

"What Killed the Dinosaurs? The Great Mystery-Invalid Hypotheses
<http://www.ucmp.berkeley.edu/diapsids/extincthypo.html>.
 Zahnle, K ve D Grinspoon. "Comet Dust as a Source of Amino Acids at
 the Cretaceous/Tertiary Boundary." *Nature* 348.6297 (1990): 157–60.

13. BÖLÜM

American Chemical Society. "New Evidence That Comets Deposited
 Building Blocks of Life on Primordial Earth." *Science Daily* (2012):
 27 March. [www.sciencedaily.com/releases/2012/03/120327215607](http://www.sciencedaily.com/releases/2012/03/120327215607.htm).
 htm.

"Astronomy: Comets Forge Organic Molecules." *Nature* 512.7514 (2014):
 234–235.

Durand-Manterola, Hector Javier ve Guadalupe Cordero-Tercero. "As-
 sessments of the Energy, Mass and Size of the Chicxulub Impactor."
 (2014). arXiv:1403:6391.

Elvis, Martin. "Astronomy: Cosmic Triangles and Black-Hole Masses."
Nature 515.7528 (2014): 498–499.

Elvis, Martin. "How Many Ore-Bearing Asteroids?" *Planetary and Space
 Science* 91 (2014): 20–26.

Elvis, Martin ve Thomas Esty. "How Many Assay Probes to Find One
 Ore-Bearing Asteroid?" *Acta Astronautica* 96 (2014): 227–231.

Knoll, Andrew H. *Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of
 Evolution on Earth*. Princeton Üniversitesi Yayınları, 2003.

Livio, Mario, Neill Reid ve William Sparks, ed. *Astrophysics of Life: Pro-
 ceedings of the Space Telescope Science Institute Symposium, Held
 in Baltimore, Maryland May 6–9, 2002*. Cambridge Üniversitesi Ya-
 yınları, 2005.

Melott, Adrian L. ve Brian C. Thomas. "Astrophysical Ionizing Radiation
 and Earth: A Brief Review and Census of Intermittent Intense Sour-
 ces." *Astrobiology* 11.4 (2011): 343–361.

Poladian, Charles. "Comets Or Meteorites Crashing Into A Planet Could
 Produce Amino Acids, 'Building Blocks Of Life.'" *International Bu-
 siness Times* 15 Sept. 2013.

Rothery, David A., Mark A. Sephton ve Iain Gilmour, Ed. *An Introducti-
 on to Astrobiology*. 2nd ed. Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2011.

Steigerwald, Bill. "Amino Acids in Meteorites Provide a Clue to How
 Life Turned Left." 2012. [http://scitechdaily.com/amino-acids-in-](http://scitechdaily.com/amino-acids-in-meteorites-provide-a-clue-to-how-life-turned-left/)
 meteorites-provide-a-clue-to-how-life-turned-left/.

14. BÖLÜM

Alvarez, Walter ve Richard A. Muller. "Evidence from Crater Ages for
 Periodic Impacts on the Earth." *Nature* 308 (1984): 718–720.

- Bailer-Jones, C. A. L. "Bayesian Time Series Analysis of Terrestrial Impact Cratering." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 416.2 (2011): 1163–1180.
- Bailer-Jones, C. A. L. "Evidence for a Variation-but No Periodicity-in the Terrestrial Impact Cratering Rate." *EPSC-DPS Joint Meeting 2011* (2011): 153.
- Bailer-Jones, C. A. L. "The Evidence for and against Astronomical Impacts on Climate Change and Mass Extinctions: A Review." *International Journal of Astrobiology* 8.3 (2009): 213.
- Chang, Heon-Young ve Hong-Kyu Moon. "Time-Series Analysis of Terrestrial Impact Crater Records." *Publications of the Astronomical Society of Japan* 57.3 (2005): 487–495.
- Connor, E. F. "Time Series Analysis of the Fossil Record." *Patterns and Processes in the History of Life*. Springer Berlin Heidelberg, 1986. 119–147.
- Feulner, Georg. "Limits to Biodiversity Cycles from a Unified Model of Mass- Extinction Events." *International Journal of Astrobiology* 10.02 (2011): 123–129.
- Fox, William T. "Harmonic Analysis of Periodic Extinctions." *Paleobiology* 13.3 (1987): 257–271.
- Grieve, R. A. F. vd. "Detecting a Periodic Signal in the Terrestrial Cratering Record." *Lunar and Planetary Science Conference* (1988): 375–382.
- Grieve, R. A. F. ve D. A. Kring. "Geologic Record of Destructive Impact Events on Earth." *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Ed. Peter T. Bobrowsky and Hans Rickman. Springer Berlin Heidelberg, 2007. 3–24.
- Grieve, Richard A. F. "Terrestrial Impact: The Record in the Rocks*." *Meteoritics* 26.3 (1991): 175–194.
- Grieve, Richard A. F. ve Eugene M. Shoemaker. "The Record of Past Impacts on Earth." *Hazards Due to Comets and Asteroids*. Ed. T. Gehrels, Arizona Üniversitesi Yayınları 1994. 417–462.
- Heisler, Julia ve Scott Tremaine. "How Dating Uncertainties Affect the Detection of Periodicity in Extinctions and Craters." *Icarus* 77.1 (1989): 213–219.
- Heisler, Julia, Scott Tremaine ve Charles Alcock. "The Frequency and Intensity of Comet Showers from the Oort Cloud." *Icarus* 70.2 (1987): 269–288.
- Jetsu, L. ve J. Pelt. "Spurious Periods in the Terrestrial Impact Crater Record." *Astronomy and Astrophysics* 353 (2000): 409–418.
- Lieberman, Bruce S. "Whilst This Planet Has Gone Cycling On: What Role for Periodic Astronomical Phenomena in Large-Scale Patterns in the History of Life?" *Earth and Life: Global Biodiversity, Extinc-*

- tion Intervals and Biogeographic Perturbations Through Time.* Springer Netherlands, 2012. 37–50.
- Lyytinen, J. vd. "Detection of Real Periodicity in the Terrestrial Impact Crater Record: Quantity and Quality Requirements." *Astronomy and Astrophysics* 499.2 (2009): 601–613.
- Melott, Adrian L. vd. "A ~60 Myr Periodicity Is Common to Marine-87Sr/86Sr, Fossil Biodiversity, and Large-Scale Sedimentation: What Does the Periodicity Reflect?" *Journal of Geology* 120 (2012): 217–226.
- Melott, Adrian L. ve Richard K. Bambach. "A Ubiquitous ~62-Myr Periodic Fluctuation Superimposed on General Trends in Fossil Biodiversity. I. Documentation." *Paleobiology* 37.1 (2011): 92–112.
- Melott, Adrian L. ve Richard K. Bambach. "Analysis of Periodicity of Extinction Using the 2012 Geological Timescale." *Paleobiology* 40.2 (2014): 177–196.
- Melott, Adrian L. ve Richard K. Bambach. "Do Periodicities in Extinction -with Possible Astronomical Connections -Survive a Revision of the Geological Timescale?" *The Astrophysical Journal* 773.1 (2013): 1–5.
- Noma, Elliot ve Arnold L. Glass. "Mass Extinction Pattern: Result of Chance." *Geological Magazine* 124.4 (1987): 319–322.
- Quinn, James F. "On the Statistical Detection of Cycles in Extinctions in the Marine Fossil Record." *Paleobiology* 13.4 (1987): 465–478.
- Raup, D. M. ve J J Sepkoski. "Mass Extinctions in the Marine Fossil Record." *Science* 215.4539 (1982): 1501–3.
- Raup, D. M. ve J. J. Sepkoski. "Periodicity of Extinctions in the Geologic Past." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 81.3 (1984): 801–805.
- Raup, D. ve J. Sepkoski. "Periodic Extinction of Families and Genera." *Science* 231.4740 (1986): 833–836.
- Stigler, S M ve M J Wagner. "A Substantial Bias in Nonparametric Tests for Periodicity in Geophysical Data." *Science* 238.4829 (1987): 940–5.
- Stothers, Richard B. "Structure and Dating Errors in the Geologic Time Scale and Periodicity in Mass Extinctions." *Geophysical Research Letters* 16.2 (1989): 119–122.
- Stothers, Richard B. "The Period Dichotomy in Terrestrial Impact Crater Ages." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 365.1 (2006): 178–180.
- Trefil, J.S. ve D.M. Raup. "Numerical Simulations and the Problem of Periodicity in the Cratering Record." *Earth and Planetary Science Letters* 82.1-2 (1987): 159–164.
- Yabushita, S. "A Statistical Test of Correlations and Periodicities in the Geological Records." *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* 69.1-2 31–48.

- Yabushita, S. "Are Cratering and Probably Related Geological Records Periodic?" *Earth, Moon and Planets* 72.1-3 (1996): 343-356.
- Yabushita, S. "On the Periodicity Hypothesis of the Ages of Large Impact Craters." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 334.2 (2002): 369-373.
- Yabushita, S. "Periodicity and Decay of Craters over the Past 600 Myr." *Earth, Moon and Planets* 58.1 (1992): 57-63.
- Yabushita, S. "Statistical Tests of a Periodicity Hypothesis for Crater Formation Rate-II." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 279.3 (1996): 727-732.

15. BÖLÜM

- Davis, Marc, Piet Hut ve Richard A. Muller. "Extinction of Species by Periodic Comet Showers." *Nature* 308.5961 (1984): 715-717.
- Filipovic, M. D. vd. "Mass Extinction and the Structure of the Milky Way." *Serbian Astronomical Journal* 87 (2013): 43-52.
- Grieve, Richard A. F. ve Lauri J. Pesonen. "Terrestrial Impact Craters: Their Spatial and Temporal Distribution and Impacting Bodies." *Earth, Moon and Planets* 72.1-3 (1996): 357-376.
- Heisler, Julia, Scott Tremaine ve Charles Alcock. "The Frequency and Intensity of Comet Showers from the Oort Cloud." *Icarus* 70.2 (1987): 269-288.
- Matese, J. "Periodic Modulation of the Oort Cloud Comet Flux by the Adiabatically Changing Galactic Tide." *Icarus* 116.2 (1995): 255-268.
- Matese, J.J., K. A. Innanen ve M. J. Valtonen. "Variable Oort Cloud Flux due to the Galactic Tide." *Collisional Processes in the Solar System*. Ed.
- Mikhail Marov and Hans Rickman. Kluwer Academic Publishers, 2001. 91-102.
- Melott, Adrian L. ve Richard K. Bambach. "Nemesis Reconsidered." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters* 407.1 (2010): L99-L102.
- Napier, W. M. "Evidence for Cometary Bombardment Episodes." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 366.3 (2006): 977-982.
- Nurmi, P., M. J. Valtonen ve J. Q. Zheng. "Periodic Variation of Oort Cloud Flux and Cometary Impacts on the Earth and Jupiter." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 327.4 (2001): 1367-1376.
- Rampino, M. R. "Disc Dark Matter in the Galaxy and Potential Cycles of Extraterrestrial Impacts, Mass Extinctions and Geological Events." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448.2 (2015): 1816-1820.
- Rampino, M. R. "Galactic Triggering of Periodic Comet Showers." *Collisional Processes in the Solar System*. Ed. Mikhail Ya Marov and Hans Rickman. Kluwer Academic Publishers, 2001. 103-120.

- Rampino, Michael, Bruce M. Haggerty ve Thomas C. Pagano. "A Unified Theory of Impact Crises and Mass Extinctions: Quantitative Tests." *Annals of the New York Academy of Sciences* 822.1 (1997): 403–431.
- Rampino, Michael R. ve Richard B. Stothers. "Terrestrial Mass Extinctions, Cometary Impacts and the Sun's Motion Perpendicular to the Galactic Plane." *Nature* 308 (1984): 709–712.
- Schwartz, Richard D. ve Philip B. James. "Periodic Mass Extinctions and the Sun's Oscillation about the Galactic Plane." *Nature* 308.5961 (1984): 712–713.
- Shoemaker, Eugene M. "Impact Cratering Through Geologic Time." *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* 92 (1998): 297–309.
- Smoluchowski, R., J.M. Bahcall ve M.S. Matthews. *Galaxy and the Solar System*, Arizona Üniversitesi Yayınları, 1986.
- Stothers, R. B. "Galactic Disc Dark Matter, Terrestrial Impact Cratering and the Law of Large Numbers." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 300.4 (1998): 1098–1104.
- Swindle, T. D., D. A. Kring ve J. R. Weirich. "40Ar/39Ar Ages of Impacts Involving Ordinary Chondrite Meteorites." *Geological Society, London, Special Publications* 378.1 (2013): 333–347.
- Torbett, Michael V. "Injection of Oort Cloud Comets to the Inner Solar System by Galactic Tidal Fields." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 223 (1986): 885–895.
- Wickramasinghe, J. T. ve W. M. Napier. "Impact Cratering and the Oort Cloud." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 387.1 (2008): 153–157.
- Whitmire, Daniel P. ve Albert A. Jackson. "Are Periodic Mass Extinctions Driven by a Distant Solar Companion?" *Nature* 308.5961 (1984): 713–715.
- Whitmire, Daniel P. ve John J. Matese. "Periodic Comet Showers and Planet X." *Nature* 313.5997 (1985): 36–38.
- Wickramasinghe, J. T. ve W. M. Napier. "Impact Cratering and the Oort Cloud." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 387.1 (2008): 153–157.

16 ve 17. BÖLÜM

- Ahmed, Z vd. "Dark Matter Search Results from the CDMS II Experiment." *Science* 327.5973 (2010): 1619–21.
- Akerib, D. S. vd. "First Results from the LUX Dark Matter Experiment at the Sanford Underground Research Facility." *Physical Review Letters* 112.9 (2014): 091303.
- Aprile, E. vd. "First Dark Matter Results from the XENON100 Experiment." *Physical Review Letters* 105.13 (2010).
- Bergstrom, Lars. "Saas-Fee Lecture Notes: Multi-Messenger Astronomy and Dark Matter." (2012): 105.

- Bertone, Gianfranco. "The Moment of Truth for WIMP Dark Matter." *Nature* 468.7322 (2010): 389–393.
- Bertone, Gianfranco. *Particle Dark Matter: Observations, Models and Searches*. Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2010.
- Bertone, Gianfranco ve David Merritt. "Dark Matter Dynamics and Indirect Detection." *Modern Physics Letters A* 20.14 (2005): 1021–1036.
- Buckley, Matthew R. ve Lisa Randall. "Xogenesis." *Journal of High Energy Physics* 9 (2011).
- Cline, David B. "The Search for Dark Matter." *Scientific American* 288.3 (2003): 50–59.
- Cohen, Timothy vd. "Asymmetric Dark Matter from a GeV Hidden Sector." *Physical Review D* 82.5 (2010).
- Cohen, Timothy ve Kathryn M. Zurek. "Leptophilic Dark Matter from the Lepton Asymmetry." *Physical Review Letters* 104.10 (2010).
- Cui, Yanou, Lisa Randall ve Brian Shuve. "A WIMPy Baryogenesis Miracle." *Journal of High Energy Physics* 4 (2012): 75.
- Cui, Yanou, Lisa Randall ve Brian Shuve. "Emergent Dark Matter, Baryon, and Lepton Numbers." *Journal of High Energy Physics* 2011.8 (2011): 73.
- Davoudiasl, Hooman vd. "Unified Origin for Baryonic Visible Matter and Antibaryonic Dark Matter." *Physical Review Letters* 105.21 (2010).
- Drukier, Andrzej K., Katherine Freese ve David N. Spergel. "Detecting cold dark-matter candidates." *Physical Review D* 33.12 (1986): 3495.
- Freeman, Ken ve Geoff McNamara. *In Search of Dark Matter*. Springer, 2006.
- Gaitskell, Richard J. "Direct Detection of Dark Matter." *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 54.1 (2004): 315–359.
- Hooper, Dan, John March-Russell ve Stephen M. West. "Asymmetric Sneutrino Dark Matter and the Omega(b) / Omega(DM) Puzzle." *Physics Letters B* 605.3–4 (2005): 228–236.
- Jungman, Gerard, Marc Kamionkowski ve Kim Griest. "Supersymmetric Dark Matter." *Physics Reports* 267.5–6 (1996): 195–373.
- Kaplan, David B. "Single Explanation for Both Baryon and Dark Matter Densities." *Physical Review Letters* 68.6 (1992): 741–743.
- Kaplan, David E., Markus A. Luty ve Kathryn M. Zurek. "Asymmetric Dark Matter." *Physical Review D* 79.11 (2009).
- Napier, W. M. "Evidence for Cometary Bombardment Episodes." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 366.3 (2006): 977–982.
- "Neutralino Dark Matter." http://www.picassoexperiment.ca/dm_neutralino.php.
- Preskill, John, Mark B. Wise ve Frank Wilczek. "Cosmology of the Invisible Aksiyon." *Physics Letters B* 120.1–3 (1983): 127–132.
- Profumo, Stefano. "TASI 2012 Lectures on Astrophysical Probes of Dark Matter." (2013): 41.

- Shelton, Jessie ve Kathryn M. Zurek. "Darkogenesis: A Baryon Asymmetry from the Dark Matter Sector." *Physical Review D* 82.12 (2010): 123512.
- Thomas, Scott. "Baryons and Dark Matter from the Late Decay of a Supersymmetric Condensate." *Physics Letters B* 356.2-3 (1995): 256-263.
- Turner, Michael S. ve Frank Wilczek. "Inflationary Aksiyon Cosmology." *Physical Review Letters* 66.1 (1991): 5-8.
- Weinberg, Steven. "A New Light Boson?" *Physical Review Letters* 40.4 (1978): 223-226.
- Wilczek, F. "Problem of Strong P and T Invariance in the Presence of Instantons." *Physical Review Letters* 40.5 (1978): 279-282.

18. BÖLÜM

- Ackerman, Lotty vd. "Dark Matter and Dark Radiation." *Physical Review D* 79.2 (2009): 023519.
- Bovy, Jo, Hans-Walter Rix ve David W. Hogg. "The Milky Way Has No Distinct Thick Disk." *The Astrophysical Journal* 751.2 (2012): 131.
- Buckley, Matthew R. ve Patrick J. Fox. "Dark Matter Self-Interactions and Light Force Carriers." *Physical Review D* 81.8 (2010).
- De Blok, W. J. G. "The Core-Cusp Problem." *Advances in Astronomy* (2010).
- Faber, S. M. ve R. E. Jackson. "Velocity Dispersions and Mass-to-Light Ratios for Elliptical Galaxies." *The Astrophysical Journal* 204 (1976): 668-683.
- "First Signs of Self-Interacting Dark Matter?" *ESO Basın açıklaması*, European Southern Observatory. <http://www.eso.org/public/news/esol514/>
- Goldberg, Haim ve Lawrence J. Hall. "A New Candidate for Dark Matter." *Physics Letters B* 174.2 (1986): 151-155.
- Governato, F vd. "Bulgeless Dwarf Galaxies and Dark Matter Cores from Supernova-Driven Outflows." *Nature* 463.7278 (2010): 203-6.
- Holmberg, Johan ve Chris Flynn. "The Local Surface Density of Disc Matter Mapped by Hipparcos." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 352.2 (2004): 440-446.
- Kuijken, Konrad ve Gerard Gilmore. "The Galactic Disk Surface Mass Density and the Galactic Force $K(z)$ at $Z = 1.1$ Kiloparsecs." *The Astrophysical Journal* 367 (1991): L9-L13.
- Langdale, Jonathan. "Could There Be a Larger Dark World with Dark Interactions? There Is More Dark Matter than Visible." (2013). <https://plus.google.com/+JonathanLangdale/posts/Es7M9VhiFNp>.
- Markevitch, M. vd. "Direct Constraints on the Dark Matter Self-Interaction Cross Section from the Merging Galaxy Cluster 1E 0657-56." *The Astrophysical Journal* 606.2 (2004): 819-824.

- Moore, Ben vd. "Dark Matter Substructure within Galactic Halos." *The Astrophysical Journal* 524.1 (1999): L19–L22.
- Oort, J. H. "The Force Exerted by the Stellar System in the Direction Perpendicular to the Galactic Plane and Some Related Problems." *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands* 6 (1932): 249–287.
- Oort, J. H. "Note on the determination of K_z and on the mass density near the Sun." *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands* 15 (1960): 45.
- Read, J I. "The Local Dark Matter Density." *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 41.6 (2014): 063101.
- Salucci, Paolo ve Annamaria Borriello. "The Intriguing Distribution of Dark Matter in Galaxies." *Particle Physics in the New Millennium* 616 (2003): 66–77.
- Spergel, David N. ve Paul J. Steinhardt. "Observational Evidence for Self-Interacting Cold Dark Matter." *Physical Review Letters* 84.17 (2000): 3760–3763.
- Weinberg, David H. vd. "Cold Dark Matter: Controversies on Small Scales." *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2015): <http://arxiv.org/abs/1306.0913>.
- Weniger, Christoph. "A Tentative Gamma-Ray Line from Dark Matter Annihilation at the Fermi Large Area Telescope." *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2012.08 (2012).
- Zhang, Lan, vd. "The gravitational potential near the sun from SEGUEK-dwarf kinematics." *The Astrophysical Journal* 772.2 (2013): 108.

19. BÖLÜM

- Cline, James M., Zuowei Liu ve Wei Xue. "Millicharged Atomic Dark Matter." *Physical Review D* 85.10 (2012): 101302.
- Cooper, A. P. vd. "Galactic Stellar Haloes in the CDM Model." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 406.2 (2010): 744–766.
- Dienes, Keith R. ve Brooks Thomas. "Dynamical Dark Matter: A New Framework for Dark-Matter Physics." *Workshop on Dark Matter, Unification and Neutrino Physics: CETUP* 2012*. Vol. 1534. AIP Publishing, 2013. 57–77.
- Fan, JiJi vd. "Dark-Disk Universe." *Physical Review Letters* 110.21 (2013): 211302.
- Fan, JiJi vd. "Double-Disk Dark Matter." *Physics of the Dark Universe* 2.3 (2013): 139–156.
- Foot, R. "Mirror Dark Matter: Cosmology, Galaxy Structure and Direct Detection." *International Journal of Modern Physics A* 29.11n12 (2014): 1430013.
- Foot, R., H. Lew ve R.R. Volkas. "A Model with Fundamental Improper Spacetime Symmetries." *Physics Letters B* 272.1-2 (1991): 67–70.

- Kaplan, David E vd. "Atomic Dark Matter." *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 05 (2010): 21.
- Kaplan, David E. vd. "Dark Atoms: Asymmetry and Direct Detection." *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 10 (2011): 19.
- Pillepich, Annalisa vd. "The Distribution of Dark Matter in the Milky Way's Disk." *eprint arXiv:1308.1703* (2013).
- Powell, Corey S. "Inside the Hunt for Dark Matter." *Popular Science*. (2013).
<http://www.popsoci.com/article/science/inside-hunt-dark-matter>.
- Powell, Corey S. "The Possible Parallel Universe of Dark Matter." *Discover Magazine.com*. (2013). <http://discovermagazine.com/2013/julyaug/21-the-possible-parallel-universe-of-dark-matter>.
- Purcell, Chris W., James S. Bullock ve Manoj Kaplinghat. "The Dark Disk of the Milky Way." *The Astrophysical Journal* 703.2 (2009): 2275–2284.
- Read, J. I. vd. "Thin, Thick and Dark Discs in Λ CDM." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389.3 (2008): 1041–1057.
- Rosen, Len. "Is There Only One Type of Dark Matter?" (2013). <http://www.21stcentech.com/type-dark-matter/>.

20. BÖLÜM

- Bovy, Jo ve Hans-Walter Rix. "A Direct Dynamical Measurement of the Milky Way's Disk Surface Density Profile, Disk Scale Length, and Dark Matter Profile at 4 Kpc $< R < 9$ Kpc." *The Astrophysical Journal* 779.2 (2013): 1–30.
- Bovy, Jo ve Scott Tremaine. "On the Local Dark Matter Density." *The Astrophysical Journal* 756.1 (2012): 89.
- Bruch, Tobias vd. "Dark Matter Disc Enhanced Neutrino Fluxes from the Sun and Earth." *Physics Letters B* 674.4-5 (2009): 250–256.
- Bruch, Tobias vd. "Detecting the Milky Way's Dark Disk." *The Astrophysical Journal* 696.1 (2009): 920–923.
- Buckley, Matthew R. vd. "Scattering, Damping, and Acoustic Oscillations: Simulating the Structure of Dark Matter Halos with Relativistic Force Carriers." *Physical Review D* 90.4 (2014): 043524.
- Cartlidge, Edwin. "Do Dark-Matter Discs Envelop Galaxies?" *Physics-World.com*. (2013). <http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/jun/03/do-dark-matter-discs-envelop-galaxies>.
- Cyr-Racine, Francis-Yan vd. "Constraints on Large-Scale Dark Acoustic Oscillations from Cosmology." *Physical Review D* 89.6 (2014).
- Cyr-Racine, Francis-Yan ve Kris Sigurdson. "Cosmology of Atomic Dark Matter." *Physical Review D* 87.10 (2013).
- Holmberg, J ve C Flynn. "The Local Density of Matter Mapped by Hipparcos."

- Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 313.2 (2000): 209–216.
- Kuijken, K. ve G. Gilmore. "The Mass Distribution in the Galactic Disc -II-Determination of the Surface Mass Density of the Galactic Disc Near the Sun." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 239 (1989): 605–649.
- Kuijken, Konrad ve Gerard Gilmore. "The Mass Distribution in the Galactic Disc. I -A Technique to Determine the Integral Surface Mass Density of the Disc near the Sun." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 239 (1989): 571–603.
- March-Russell, John, Christopher McCabe ve Matthew McCullough. "Inelastic Dark Matter, Non-Standard Halos and the DAMA/LIBRA Results." *Journal of High Energy Physics* 2009.05 (2009).
- McCullough, Matthew ve Lisa Randall. "Exothermic Double-Disk Dark Matter." *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2013.10 (2013): 58.
- Motl, Luboš. "Exothermic Double-Disk Dark Matter." (2013). <http://motls.blogspot.com/2013/07/exothermic-double-disk-dark-matter.html>.
- Nesti, Fabrizio ve Paolo Salucci. "The Dark Matter Halo of the Milky Way, AD 2013." *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2013.07 (2013): 16.
- Randall, Lisa ve Jakub Scholtz. "Dissipative Dark Matter and the Andromeda Plane of Satellites." (2014). <http://arxiv.org/abs/1412.1839>.
- Rix, Hans-Walter ve Jo Bovy. "The Milky Way's Stellar Disk." *The Astronomy and Astrophysics Review* 21.1 (2013): 61.

21. BÖLÜM

- Aron, Jacob. "Did Dark Matter Kill the Dinosaurs? Maybe...." *New Scientist*. (2014). <http://www.newscientist.com/article/dn25177-did-dark-matter-kill-he-dinosaurs-maybe.html#.VVYlfvIvHbC>.
- Choi, Charles Q. "Dark Matter Could Send Asteroids Crashing Into Earth: New Theory." (2014). <http://www.space.com/25657-dark-matter-asteroid-impacts-earth-theory.html>
- Gibney, Elizabeth. "Did Dark Matter Kill the Dinosaurs?" *Nature*. (2014). <http://www.nature.com/news/did-dark-matter-kill-the-dinosaurs-1.14839>.
- Nagai, Daisuke. "Viewpoint: Dark Matter May Play Role in Extinctions." *Physical Review Letters Physics* 7 (2014): 41.
- Nair, Unni K. "Dinosaurs Extinction from Dark Matter?" (2014). <http://guardianlv.com/2014/03/dinosaurs-extinction-from-dark-matter/>.
- Piggott, Mark. "Were Dinosaurs Killed by Disc of Dark Matter?" (2014). <http://www.ibtimes.co.uk/were-dinosaurs-killed-by-disc-dark-matter-1439500>.

- Randall, Lisa ve Matthew Reece. "Dark Matter as a Trigger for Periodic Comet Impacts." *Physical Review Letters* 112.16 (2014): 161301.
- Sharwood, Simon. "Dark Matter Killed the Dinosaurs, Boffins Suggest" *The Register*. 5 Mar. 2014. http://www.theregister.co.uk/2014/03/05/dark_matter_killed_the_dinosaurs_boffins_suggest/.

SONUÇ

- Bettencourt, Luis M A vd. "Growth, Innovation, Scaling, and the Pace of Life in Cities." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104.17 (2007): 7301–6.
- Brynjolfsson, Erik ve Andrew McAfee. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton, 2014.
- "Geoffrey West." (2015). <http://www.santafe.edu/about/people/profile/Geoffrey%20West>.
- "On Care for Our Common Home." Encyclical Letter Laudato Si' of the Holy Father Francis (2015). http://w2.vatican.va/content/francesco/en/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html.
- Weisman, Alan. *The World Without Us*. Reprint Edition. Picador, 2008.
- West, Geoffrey. "Why Cities Keep Growing, Corporations and People Always Die, and Life Gets Faster." *The Edge*. (2011). <http://edge.org/conversation/geoffrey-west>.

66 milyon yıl önce, şehir büyüklüğünde bir cisim uzaydan Dünya'ya düşmüş; gezegenimiz üzerindeki türlerin üçte ikisiyle birlikte dinozorları öldüren bir felakete yol açmıştı. Lisa Randall bunun bir kuyrukluyıldız olduğunu öneriyor: Güneş sistemimiz Samanyolu düzlemindeki karanlık madde diskinden geçerken, karanlık maddenin etkisi bu kuyrukluyıldızı yörüngesinden çıkarmış olabilir. Randall karanlık maddenin doğası hakkındaki varsayımlara meydan okuyor ve bilim insanlarının yeni fikirleri nasıl ortaya atıp formüle ettiklerini gösteriyor.

**“Karanlık Madde ve Dinozorlar bir popüler bilim şaheseri...
Bilimsel araştırmanın doğasını aydınlatan
bir dedektiflik öyküsü...”**

–Kip Thorne, *Yıldızlararası Bilimi*'nin yazarı

**“Dünyaca ünlü fizikçi Lisa Randall en eski gizemlerden birisini,
karanlık maddenin doğasını gözler önüne seriyor.”**

–Max Tegmark, *Matematiksel Evren*'in yazarı

**“Öykücülük ile bilimsel bilgi aktarmayı harika bir şekilde
birleştiren bir kitap.”**

–Wall Street Journal

“Meselenin tamamını görmemizi sağlayan bilimsel bir anlatı.”

New York Times Book Review

