Bilim ve Gelecek Kitaplığı

50 SORUDA

büyük patlama kuramı

Metin Hotinli



Kitap Dizisi 5

2. BASKI



Metin Hotinli 1920'de İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini özel olarak yaptıktan sonra, 1933'de dışarıdan ilkokul bitirme sınavına girerek ilkokul diplomasını aldı.

Ortaöğrenimi Feyziye (Işık) Lisesi'nde ve lise öğrenimini de Galatasaray Lisesi'nde tamamladıktan sonra, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi'nde matematik-astronomi lisansı yaptı. 1947'de İÜ Fen Fakültesi Astronomi Bölümü'ne aday asistan olarak girdi ve 1948'de asil asistanlığa atandı. 1951'de doktora sınavını pek-iyi derece ile kazanarak fen doktoru unvanını aldı.

1953-54 yılları arasında, askerlik görevinden dolayı 1,5 kadar ayrılıktan sonra tekrar aynı göreve döndü. 1956'da doçentlik sınavına girerek üniversite doçenti oldu. 1957'de eylemli doçentliğe atandı. 1956' da bir süre Cambridge (İngiltere) ve Meudon (Fransa) Gözlemevleri'nde, 1969 yılında da Liège (Belçika) Gözlemevi'nde çalıştı. 17.06.1981 yılında Fen Fakültesi Astronomi Bölümü'nde açık bulunan profesörlük kadrosuna atandı.

Metin Hotinli'nin, ikisi yurtdışında yayımlanmış olmak üzere, 11 tane bilimsel yayını vardır. Bu yayınlardan iki tanesi ortak çalışmadır. Metin Hotinli, 1982-87 yıllarında, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölüm Başkanlığı ve Fen Fakültesi Dekan Yardımcılığı ile İÜ Senatosu Üyeliği görevlerini sürdürmüş ve 1987 yılında yaş haddinden emekliye ayrılmıştır. Metin Hotinli evli ve üç çocuk babası, dört torun dedesidir.



Kitap Dizisi -5

Bilim ve Gelecek Kitaplığı - 17

50 Soruda Kitap Dizisi - 5
50 Soruda Büyük Patlama Kuramı

Metin Hotinli

© Bu kitabın yayın hakları
7 Renk Basım Yayım ve Filmcilik Ltd. Şti.'ne aittir.

Birinci Baskı: Kasım 2010
İkinci Baskı: Aralık 2012

ISBN: 978-605-5888-15-2

Yayıma hazırlayan: Nalân Mahsereci
Kapak tasarımı: Deniz Akkol
Sayfa tasarımı: Eren Taymaz

Baskı: Kayhan Matbaacılık
Davutpaşa C. Güven Sanayi Sitesi B Blok No:244,
Topkapı-İstanbul
Tel: 0212.612 31 85

7 Renk Basım Yayın ve Filmcilik Ltd. Şti
Moda C. Zuhal Sk. No: 9/1, Kadıköy-İstanbul
Tel: 0216.349 71 72
http://www.bilimvegelecek.com.tr
e-mail: bilgi@bilimvegelecek.com.tr



büyük patlama kuramı

METİN HOTİNLİ

İÇİNDEKİLER

Sunuş / Nalân Mahsereci 9

Önsöz 11

1. Bölüm
SÜMERLERDEN KOPERNİK'E ANTİK KOZMOLOJİ 13

1) Kozmolojiyi nasıl tanımlarız? İlgi alanı nedir? 13

2) Kozmoloji ne zaman ortaya çıkmıştır? 13

3) Eskiçağlarda üretilmiş kozmolojik mitoslara örnek olarak neler verilebilir? 14

4) Bilimsel diye niteleyebileceğimiz ilk kozmolojik düşünceler ne zaman ortaya çıktı? 16

5) Anaksimander ve Anaksimenes'in ilkel kozmoloji modelinde, gök katmanlarına neden gerek duyulmuştu? 17

6) Bilimsel diye niteleyebileceğimiz ilk kozmoloji modeli ne zaman oluşturuldu? 17

7) Aristoteles kozmoloji modelinin özellikleri nelerdi? 18

8) Aristoteles'in kozmoloji modeli ne zamana kadar geçerli kaldı? 20

2. Bölüm
KOPERNİK DEVRİMİ 23

9) Aristoteles kozmolojisini sona erdiren Kopernik kuramı ne gibi bir yenilik getirdi? Devrim denilmesinin nedeni nedir? 23

10) Batı'da Kopernik kuramının tetiklediği Bilimsel Devrim'in başarıya ulaşması kolay oldu mu? Ne gibi zorluklarla karşılaştı? 25

11) Kopernik kuramına dinsel çevreler neden şiddetli tepki gösterdiler? 26

12) Kopernik devriminin İslam âlemindeki etkisi ne oldu? 27

3. Bölüm
KLASİK FİZİĞİN DORUK NOKTASI: NEWTON ÇAĞI 31
13) Kopernik devriminin başlattığı süreç ne zaman hedefine ulaştı? 31
14) Newton kimdi? Bilime ve özellikle kozmolojiye ne gibi bir yenilik getirdi? 32
15) Newton kuramı ile birlikte, kozmolojinin paradigması ne gibi bir değişikliğe uğradı? 36
16) Newton kuramını başarıya ulaştıran uygulamalardan örnekler nelerdir? 38
17) Aydınlanma çağı bilginlerine yol göstermiş olan Laplace'ın ünlü yanıtı, bugün de bilimde geçerliliğini koruyor mu? Çağımızdaki bilim insanlarının bu konudaki düşünceleri nedir? 39
18) Aristoteles kozmolojisinin "yeryüzü-gökyüzü" ikilemi tümüyle ne zaman yok oldu? 41
19) Newton kuramı hiçbir engelle karşılaşmadan yoluna devam edebildi mi? Karşılaştığı zorluklar oldu ise, bunların nasıl üstesinden geldi? 43
20) 19. yüzyıl sonuna gelindiğinde, klasik fiziğin artık çözülmemiş önemli hiçbir sorunu kalmamıştı denebilir mi? 45

4. Bölüm
20. YÜZYIL KOZMOLOJİSİ 47
21) Fizik bu çıkmazdan nasıl kurtuldu? 47
22) Özel görelilik kuramı ne gibi bir yenilik getirdi? 48
23) Genel görelilik kuramı ne gibi yenilik getirdi? 50
24) Genel görelilik kuramı kozmolojiyi nasıl etkiledi? 52
25) Einstein'ın geliştirmiş olduğu statik evren modeli, bilim çevrelerinde nasıl karşılandı? 54
26) Olbers paradoksu nedir? 55
27) Einstein evren modeline karşı yapılan ilk kuramsal eleştiriler nelerdi? 57
28) 20. yüzyılın başına gelindiğinde, gözlemsel astronominin durumu nasıldı? Evrime yer var mıydı? 59
29) Radyal hız nedir? Nasıl ölçülür? 65
30) Astronomide uzaklıklar nasıl ölçülür? 66

5. Bölüm

BÜYÜK PATLAMA 71

31) Friedmann'dan sonra bu konuda kuramsal çalışmalar yapıldı mı? 71

32) Genişleyen evrenden Büyük Patlama'ya (Big Bang) nasıl geçildi? 75

33) "Kritik yoğunluk" nedir? 77

34) "Evrenin radyasyon egemen dönemi" nedir? 77

35) Büyük Patlama (Big Bang) deyimi nereden geliyor? 78

36) Genişleme ile patlama arasında ne gibi bir fark var? 80

37) Kuramın karşılaştığı zorluk: Evrenin yaşı problemi nedir? 81

38) Big Bang kuramının rakipleri var mıdır? 82

39) Radyo astronomi gözlem verileri neden durağan evren kuramı ile bağdaşmıyordu? 85

40) Big Bang kuramında yeni bir gelişme oldu mu? 87

41) Neden ilk üç dakika? Big bang kuramında ilk üç dakikanın önemi nedir? 91

42) "Kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" nedir? 92

43) Big Bang kuramındaki "yaş problemi" nasıl çözüldü? 94

44) Kozmik mikrodalga ardalan ışınımı ne zaman ve nasıl gözlendi? 97

45) Big Bang'dan önce ne vardı? 100

46) Enflasyon nedir? 103

47) Evrenin genişlemesi sürecek mi, duracak mı? 104

48) Karanlık madde nedir? 105

49) Evrenin genişlemesi hızlanıyor mu? Karanlık enerji nedir? 108

50) Büyük Patlama kuramı kalıcı mıdır, ileride değişebilir mi? Bu kuramdan arta kalan kazanım ne olacak? 110

Kaynaklar 115

Sunuş

50 Soruda dizisi kitaplarının kimilerinde, konu edilen kuram, tarihselliği içinde ele alınıyor. Okumakta olduğunuz kitapta da öyle. Böylelikle bu kitapların ele aldığı konu dışında, ikincil bir izleği de oluyor: O kuram özelinde, bilimin nasıl geliştiğinin bir anlatısı.

Ülkemiz biliminin öncü kuşağından Prof. Dr. Metin Hotinli, elinizdeki kitabın ilk üç, hatta dört bölümünü, büyük patlama kuramının altyapısını oluşturan bilimsel gelişmeleri, atılım noktaları özelinde anlatmaya ayırıyor. Başı evrene doğru uzanan yüksek ve sağlam bir binaya benzetirsek evrenbilimi, Hotinli, binanın zeminini kazmaya başlayan ilk kürek hamlesini anlatarak giriyor konuya. İnsanlığın ilk evrenbilimsel düşüncelerini içeren, evrenin doğumunu anlatan efsanelerden başlıyor.

Binanın her bir tuğlasında sayısız insanın emeği var. Birikimsel ilerliyor bilim. Eskiyi reddeden ve yeni şeyler söyleyen bilimsel atılımlar bile, eski deneyimlerin ve bilgi birikiminin üzerinde yükseliyor. Evrenle ilgili sahip olduğumuz en ufak bilgi kırıntısı, binlerce yıl boyunca, sayısız insanın geceler boyu gökyüzünü gözlemlemesine; keşifler, çıkarımlar yapmasına, kuramlar geliştirmesine; yani yoğun bir emek birikimine yaslanıyor. Farklı bilim dallarındaki ilerlemeler, teknolojik her türlü gelişim, evrenbilim binasında yeni katlar yükselten malzemeye dönüşüyor.

Binamız yükselirken, gözlemleyebildiğimiz evrenin sınırları da genişliyor. İnsanoğlu, ilkçağlardan başlayarak evrenin boyutlarının gözlediği kadar olduğu yanılgısını taşımış hep. Bildiğimiz evren, Dünyamerkezli yedi kat olmaktan başlayarak, Güneşmerkezli olmaya varmış, Güneş Sistemi'nden ibaret olmaktan çıkmış, Samanyolu Galaksisi'nin dışına taşmış, sonunda milyonlarca ışık yılı ötesine dayanmış. Elektromanyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi evreni anlamamızın yeni araçları bulundukça, gözlem araçları geliştikçe; insanoğlunun bilgisine varabildiği evrenin boyutları da giderek büyüyor.

İnsanlığın bilgi evreninin de boyutları büyüyor bu süreçte tabii. Bilim, bilinmeyenin sınırlarını gerileterek, bilinenin sınırlarını genişleterek ilerliyor. Karşılıklı bir etkileşmeyle, bildiğimiz evren büyürken, bilincimiz de büyüyor. Evrenimiz büyüdükçe, biz fiziksel varlığımızla, iyice küçülüyoruz karşısında belki; ama bilincimizle büyüyoruz.

Metin Hotinli, elinizdeki kitapta, bilincimizin bu serüvenini, evrenin sabit değil, değişim, evrim halinde olduğunun anlaşılmasının tarihi olarak, en özlü biçimde, anlaşılırlığı kolaylaştıran yalınlıkta ve anahattan hemen hiç sapmadan anlatıyor. Keyifle okuyacağınızı düşünüyoruz.

***

Elinizde özgün ve nitelikli bir örneğini tutmakta olduğunuz "50 Soruda" dizisi, bilimin ve felsefenin temel kuramlarını ve alanlarını konu edinen, Türkiyeli bilim insanlarının kaleme aldığı popüler bilim kitaplarından oluşuyor. Bu kitaplar, bilimin, anlaşılmaz, karmaşık, hayattan kopuk, soğuk, kuru ve teknolojiye indirgenmiş bir bilgi yığını olmadığını; tam tersine, evreni, doğayı, toplumu ve insanı anlamak için doğru anahtarlar sunan; bilme, öğrenme coşkusu uyandıran; en güvenilir bilgi kaynağı olduğunu gösterebilmeyi hedefliyorlar.

Bir aydınlanma hizmeti olarak tasarladığımız "50 Soruda" dizisinde yayımlanmış kitapların listesine, elinizdeki kitabın arka kapak içinden ulaşabilirsiniz.

Herkese bilim!

Nalân Mahsereci

Önsöz

Büyük Patlama veya uluslararası adıyla Big Bang bir kozmoloji (evrenbilim) kuramıdır, yani evrenin büyük ölçekteki yapısını, geçmişini, geleceğini inceleyen bilim dalının bir kuramıdır.

Bilimsel diye niteleyebileceğimiz ilk kozmoloji kuramı, Platon'un öğrencilerinden Eudoksus ve Aristotelesçe oluşturulup daha sonra İskenderiyeli Ptolomeos tarafından geliştirilen ve Kopernik devrimine kadar yaklaşık 2000 yıl geçerliliğini korumuş olan "yedi kat gök" kuramıdır.

Bu kitapta, bu kadar eski geçmişi olan kozmolojiyi, tarihsel kökenlerine hiç değinmeden, bugün gelmiş olduğu haliyle açıklamanın yetersiz olacağını düşünerek, kökenlerine kısa bir göz atmayı pedagojik bakımdan daha isabetli bulduk. İsterseniz, bu kitabın adına, "Yedi Katlı Gökten Büyük Patlamaya Nasıl Geldik?" diye bir altbaşlık ekleyebilirsiniz.

Olası okuyucu kitlesinin, konunun profesyonelleri olmayıp, genel kültürünü genişletmek isteyen meraklı kimseler ve özellikle de lise, hatta ortaokul öğrencileri olduğunu varsayarak ve Voltaire'in ünlü "Can sıkmanın sırrı, her şeyi anlatmaya kalkışmaktır" uyarısını da göz önünde bulundurarak, fazla teknik ayrıntıya girmeden, kolay okunabilir, genel bir çerçeve çizmeye çalıştık. Eğer tek bir öğrenci bile, bu kitabı okuduktan sonra, gökbilime ve evrenbilime ilgi duymaya başlar ve "ben astronom olacağım" derse, ne mutlu bize.

"Elli Soruda" dizisini tasarlamış ve yayın hayatına geçirmiş olan *Bilim ve Gelecek* dergisinin sayın yöneticilerini bu isabetli girişimlerinden dolayı kutlar ve başarılar dilerim. Son olarak, izin verirseniz, bilgisayar yazımında bana yardımda ve isabetli eleştirilerde bulunan oğlum Rauf'a da teşekkür etmeyi borç bilirim.

Metin Hotinli

1. Bölüm
SÜMERLERDEN KOPERNİK'E ANTİK KOZMOLOJİ

1 | Kozmolojiyi nasıl tanımlarız? İlgi alanı nedir?

Yunanca düzenlemek, süslemek, yerli yerine koymak anlamına gelen "kosmeo" sözcüğünden türetilen "kosmos", ilk kez Platon (MÖ 428/427-348/347) tarafından evren anlamında kullanılmıştır.

Evrenbilim olarak da adlandırdığımız kozmolojinin ilgi alanı, evrenin büyük ölçekte tüm yapısı, oluşumu ve evrimidir. Aynı kökten türetilen bir de "kozmogoni" (terimi) vardır. Anlam itibariyle eşanlamlı gibi görünse de, astronomi geleneğinde daha ziyade Güneş Sistemi'nin oluşumuyla ilgili kuramlar için kullanılagelmiştir.

2 | Kozmoloji ne zaman ortaya çıkmıştır?

Gökbilim ve onun bir kolu olan kozmoloji bilimlerin en eskisidir. Nasıl olmasın ki? Gecenin sessizliğinde, yıldızlı

göğün o görkemli görüntüsü karşısında kayıtsız kalınabilir miydi? İlk uygarlıkların genelde gökyüzünün bulutsuz olduğu güney ülkelerinde yeşerdiği düşünülürse, güneş batıp da hava karardıktan sonra, oranın insanları için en ilgi çekici görüntünün yıldızlı gökyüzü oluşu, bugünün kentlerinin hava ve ışık kirliliği nedeniyle en parlak yıldızları bile zor görebilen insanları için anlaşılması zor bir olgudur.

Şu parıldayan yıldızlar nedir? Nereden geliyoruz? Nereye gidiyoruz? Uzay ve evrende yerimiz nedir? Bu ve benzeri sorular, tarihöncesinden beri insanların zihinlerini kurcalamıştır.

Ancak bu sorulara verilen yanıtlar, eskiçağlarda, sağlam gözlemsel verilerden yoksun, sadece düş gücü ile üretilmiş, kozmolojik mitoslardan öteye gidemedi.

İnsanların gökyüzü ile ilgilenmelerinin pratik nedenleri de vardı: Yön tayini ve zamanı kayıt altına alan takvimlerin yapımı için gerekli veriler elde etmek. Diğer bir ilgi nedeni de, kendi kaderlerinin orada yazılı olduğu inancı idi. Ne yazık ki bu saplantı, günümüzde bile, büyük halk kitlelerinin ilgisini çekmektedir. Gökbilim, kendisini bu batıl inançlardan arındırdığı ölçüde gelişti ve bilim oldu.

3 | Eskiçağlarda üretilmiş kozmolojik mitoslara örnek olarak neler verilebilir?

Her uygarlığın evrenin oluşumu ile ilgili bir "yaradılış mitosu" vardır. Evrenin başlangıcında bir kaos (karmaşa) içerisinde olduğu ve tanrıların sonradan gelip bu karmaşayı bir düzene soktukları inancı, kozmoloji efsanelerinin genelde ortak paydasıdır. Yaratılış mitosları hakkındaki tarihsel bilgimiz, ancak yazılı belgelerin bulunabildiği birkaç bin yıl öncesine, Mezopotamya uygarlıklarına kadar uzanır. Bu efsanelerin çok karmaşık olan ayrıntılarına girecek değiliz.

Ancak, Sümerlerden gelip, İslamiyet'in çıkışına kadar uzanan binlerce yıllık süreç içerisinde, efsanelerin ve dinlerin ortaklaşa paylaştıkları bir inanç var ki, ona kısaca değinmeden geçemeyeceğiz.

Kökeni Sümerlere kadar giden bu efsaneye göre, yer ile gök başlangıçta yapışıktı. Sümer Tanrısı Enlil, bunları birbirinden ayırarak göğü yükseltti ve gök kubbe oluştu. Burada ilginç olan, Tanrı Enlil'in, Rüzgâr ve Fırtına Tanrısı oluşudur. Yani yere yapışık olan göğün, rüzgârın üfürmesi ile adeta bir uçurtma gibi havalanıp yükselmiş olduğuna inanılmaktadır.

Sümerlerden sonra, Babil Yaratılış Efsanesi Enuma Eliş'te de "Başlangıçta, tatlı su, tuzlu su, sis ve bulut karışımından oluşan bir Kaos vardı. O zaman henüz Tanrılar bile yoktu. Tanrılar bu Kaos'a bir düzen vermek üzere geldiler ve yapışık olan Yer ile Göğü ayırdılar" denilmektedir.

Ancak Babil anlatımında, Sümer Tanrısı Enlil'in yerini, Babil Tanrısı Marduk almıştır. Eğer efsanenin Sümer kökenindeki Rüzgâr Tanrısı Enlil'in üfürmesi ile göğün havalandığı inancını bilmesek, Marduk'un bunu yapış nedenini anlamakta biraz zorluk çekebilirdik.[1]

Yunan mitolojisine göre ise, Gaia (Yer-Toprak) ile Uranos'un (Gök) birleşmesinden doğan oğul Kronos, anası Gaia'nın kışkırtması ile babası Uranos'un cinsel organını bir tırpan darbesi ile keserek denize fırlatır ve su köpükleri üzerine saçılan spermlerden Aşk Tanrıçası Aphrodites doğar. Uranos ise büyük bir çığlık atarak yukarıya fırlar ve böylece gökyüzü oluşur.[2] Rüzgârın üfürmesi ile havalanan Sümerlerin masum "uçurtma-gökyüzü" öyküsünün burada bir Yunan tragedyasına dönüştüğünü görmekteyiz.

Tevrat'ın "Yaratılış" (Genesis) bölümünde ise göğün oluşumu "...ve Tanrı dedi: Suların ortasında bir gök ol-

1) Milton K. Munitz, *Theories of the Universe*, The Free Press, New York, 1957.

2) Jean-Pierre Vernant, *L'Univers, les Dieux, les Hommes*, Editions du Seuil, 1999. Azra Erhat, *Mitoloji Sözlüğü*, Remzi Kitabevi, 2008.

sun ve onları birbirinden ayırsın. Ve Tanrı göğü yaptı ve göğün altındaki suları göğün üstündeki sulardan ayırdı" şeklinde sunulmaktadır. Sümer efsanesinden yaklaşık 3000 yıl sonra yazılmış olan *Kuran*'da ise "...gökler ve yer yapışıkken onları birbirinden ayırdığımızı bilmezler mi?.. Halâ inanmıyorlar mı?" (Enbiya, 30) anlamında biraz serzeniş içeren bir ayetle bu inanç yerini almaktadır. Bugün bazı din bilginleri, bu ayeti "işte Büyük Patlama kuramının habercisi" diye yorumluyorlar. Ancak bu konuda önceliğin Sümerlerde olduğunu göz ardı etmemeleri gerekir.

4 Bilimsel diye niteleyebileceğimiz ilk kozmolojik düşünceler ne zaman ortaya çıktı?

Geleneksel inanca göre gökyüzü, üzerinde birer kandil gibi asılı duran yıldızlar ile birlikte, Yer'in çevresinde dönen bir kubbe gibi algılanıyordu.

Ancak göğün Yer çevresindeki günlük hareketini dikkatli izleyenler, onun tek bir kubbeden ibaret olamayacağını anlamışlardı. Yaptıkları gözlemler sonucunda şunu gördüler: Ay, yıldızlı gök kubbenin günlük hareketine göre, her gün biraz "geri" kalıyor (ortalama günde 12 yay derecesi veya 48 zaman dakikası), bazen Güneş'in önünden geçerek Güneş tutulmasına, bazen de yıldızların ve gezegenlerin önünden geçerek "örtülme" denen olaylara neden oluyor. Güneş de, yıl boyunca (gökyüzünün günlük hareketinin ters yönünde) günde yaklaşık 1 yay derecesi (veya 4 zaman dakikası) "geri" kalıyor. Gezegenler ise, yıldızlı gökyüzüne göre, bazen ileri gidiyor, bazen geri kalıyor, bazen de duraksıyor.

"Gezegenler gök kubbe üzerinde sinek gibi dolaşıyorlar" demiş olan Miletli Anaksimander ve onun öğrencisi Anaksimenes, Ay, Güneş ve -gözle görülebilen- beş ge-

zegenin her birini taşıyan ve ortak merkezlerinde Yer'in bulunduğu iç içe yedi tane katman olması gerektiğini ileri sürmüşlerdi. Bu katmanların dönüş hızlarının yıldızlı göğünkünden farklı oluşu nedeniyle, sözü edilen gökcisimlerinin karmaşık hareketleri açıklanabiliyordu. Soğan kabukları gibi iç içe geçmiş olan bu katmanların görüntülerini engellememesi için de, saydam bir maddeden, bir çeşit kristalden oluştukları varsayılıyordu.

5 | Anaksimander ve Anaksimenes'in ilkel kozmoloji modelinde, gök katmanlarına neden gerek duyulmuştu?

Bir cismin, dolanım halinde bir gökcismi bile olsa, boşlukta durabileceğine inanılmıyor, eğer bir dayanağı yok ise, Yer'in merkezine doğru düşeceği sanılıyordu. İleride, Newton kuramı çerçevesinde bu olay, çekim kuvveti ve merkezkaç kuvvet arasındaki denge ile açıklanacaktır.

Gökyüzü olaylarını kabaca açıklamakla birlikte, gözlemler daha duyarlı ve ayrıntılı yapılmaya başlanınca, yedi katmanlı bu ilkel modelin de yetersiz olduğu anlaşılacaktır. Ancak, daha eskiçağlardaki mitolojik inançlar ile kıyaslandığında, gözlemleri, doğadışı ve doğaüstü güçlerin yardımına gerek duymadan açıklama çabasının bir ürünü olduğunu görürüz. İyonyalı filozof-bilginlerin en belirgin özelliği de, doğal olayları akılcı yöntemlerle açıklama çabalarıdır.

6 | Bilimsel diye niteleyebileceğimiz ilk kozmoloji modeli ne zaman oluşturuldu?

Miletli bilginlerin ileri sürmüş oldukları yedi katmanlı gök önerisinden hareketle, bilimsel olarak niteleyebileceğimiz ilk kozmoloji modelini, Platon'un öğrencilerinden



Resim 1: Aristoteles (MÖ 384-322). Merkezdeki dünyanın çevresinde dönen, içerisinde gökcisimlerinin yer aldığı katmanlardan oluşan Aristoteles kozmoloji modeli, Kopernik'in Güneş-merkezli kozmoloji modelini geliştirmesine dek, yaklaşık 2000 yıl boyunca geçerli sayılacaktı.

matematikçi Eudoksus (MÖ 406-355) ile onun öğrencisi Kalippus (MÖ 370-300) gerçekleştirdiler. Yedi katın her birine, bir çeşit "asma kat" şeklinde yeni katmanlar ekleyerek, daha karmaşık bir "ortak merkezli kristal küreler" modeli oluşturdular.

Eudoksus'un modeline göre, yıldızlar ve gezegenlerin hareketlerini açıklayabilmek için, Güneş ve Ay'ın her birine üçer tane, beş gezegenin de her birine dörder tane olmak üzere, yirmi altı tane ortak merkezli küre gerekiyordu. Böylece, sabit yıldızlarınki ile birlikte, kürelerin toplam sayısı yirmi yediye kadar çıkmıştı. Bu kürelerin, değişik yönlerdeki eksenler çevresinde, değişik hızlarda dönmesi yolu ile gözlenen karmaşık olaylar kabaca açıklanıyordu.

Platon'un diğer bir öğrencisi olan Aristoteles (MÖ 384-322), bu modeli benimsedi. Bir matematikçi olan Eudoksus tarafından daha ziyade gezegenlerin hareketlerini önceden hesaplamak ve durumlarını öngörmek için düşünülmüş bir geometrik araç olan modele, Aristoteles yeni katmanlar da ekleyerek, fiziksel bir içerik kazandırdı. (Resim 1)

7 | Aristoteles kozmoloji modelinin özellikleri nelerdi?

Hocası Platon'un mistik düşüncelerinden de etkilenen bilgin, bu düşünceleri geliştirdiği kozmolojiye de yansıt-

tı. Yer'e en yakın gökcismi olan Ay'a kadar olan kısma Ay-altı (Sublunary) bölge dedi. Burası her türlü değişikliğin ve kötülüğün olabileceği bir yerdi. (Platon'a göre, her değişiklik bir yozlaşma sayılıyordu.) Ay-altı âlemde, her şeyin toprak, su, hava ve ateşin çeşitli bileşimlerinden oluştuğuna inanılıyordu. Ay ötesi âlem ise saf, değişmez, bozulmaz ve ebedi bir "beşinci element"ten oluşmuş gökyüzü âlemi idi.

Aristoteles evren modelinin bir özelliği de, evrenin bir çeşit tavanı sayılabilecek sabit yıldızlar katının dışında, bir dokuzuncu katta bulunan, sistemi döndüren, "kendisi hareket etmeyen ilk hareket ettiren"in varlığı idi. Bu "ilk hareket ettirici" (Primum Mobile) neydi? Tanrı mıydı? (Resim 2)

Aristoteles döneminde bir düzineye yakın tanrı olduğuna göre, olsa olsa, bu tanrılardan birisine, dolap beygiri gibi göğü döndürme görevi verilmişti. Gökyüzü adlı kitabında Aristoteles şöyle diyor: "Açıkça görülmektedir ki, gökyüzü yaratılmamıştır ve bazı filozofların dediği gibi yok da olamaz. Ebedidir ve ne başlangıcı ne de sonu vardır."

O halde, Aristoteles'in "ilk hareket ettirici"sinin, dinlerin "yaratıcı" ve insanların kaderine hükmeden Tanrısı



Resim 2: Aristoteles evren modelini temel alan bir çizim. Peter Apian'ın *Cosmographia* (1524) adlı eserinden.

(Providence) ile bir ilgisi yoktur. Peki, Aristoteles neden buna gerek duymuştu? Çünkü onun fiziğine göre, "Hareket eden her şeyin bir hareket ettiricisi olmalıdır" kuralı geçerliydi. Henüz "atalet" veya "eylemsizlik" ilkesi bilinmiyordu. Bilim tarihçisi H. Butterfield bu bilgisizliği şu ilginç nedene bağlıyor: Çağındaki eğri büğrü çamurlu yollardaki öküz arabalarını izleyen Aristoteles, "kazanılmış hız" kavramının varlığını sezemedi; zira o yollarda öküz çekmedikçe, sürtünmeler, her türlü hareketi anında frenliyordu. Hareket halindeki cisimlerin, sürtünmeler gibi frenleyici bir etki olmadığı sürece yollarına devam edeceklerini öngören "kazanılmış hız" ilkesi, ancak 17. yüzyılda Galileo Galilei, Descartes ve Newton tarafından açıklığa kavuşturulmuştur.

8 | Aristoteles' in kozmoloji modeli ne zamana kadar geçerli kaldı?

MS 2. yüzyılda İskenderiye'de yaşamış olan Ptolomeos (Batlamyus), o zaman yaklaşık 500 yıllık bir geçmişi olan Aristoteles modelini bir hayli geliştirerek bazı yenilikler (episikller) getirmişti. Ancak bu düzenlemeler, daha ziyade profesyonellere yönelik teknik incelikler olup, halk tabakalarına pek yansımadı.

Gökyüzü-yeryüzü ikilemi üzerine kurulu, yerden göğe doğru hiyerarşik yapıdaki bu kozmolojik model, dokuzuncu kat üzerindeki "ilk hareket ettirici"si dinlerin Tanrısı ile özdeşleştirilerek, ortaçağlarda, gerek Hıristiyan gerekse de İslam âlemince benimsendi ve bir dinsel inanç haline dönüştü. Geniş halk kitlelerinin inandığı şey, yedi katlı gökle, dokuzuncu kat üzerinde tahtında oturan Tanrı idi. (Resim 3)

Bu inanç, Kopernik devrimine, yani 16. yüzyıl ortalarına kadar süregeldi. Bilim tarihinde, bu kadar uzun süre (yaklaşık 2000 yıl) geçerliliğini korumuş olan başka bir kuram yoktur.

Burada "bilimsel kuram" deyimi belki yadırganabilir. Ancak bu kuramın çıkış nedeni bilimsel amaçlı olup, yüzlerce yıl da, Ptolomeos'un düzenlemeleri göz önüne alınarak, profesyonel astronom ve astrologlar tarafından, gezegenlerin durumlarını veren cetvellerin düzenlenmesi için kullanılagelmiştir.



Resim 3: Yerden göğe doğru hiyerarşik yapıdaki Aristoteles evren modeli, ortaçağlarda, gerek Hıristiyan gerekse de İslam âleminde benimsendi ve bir dinsel inanç haline dönüştü. Geniş halk kitlelerinin inandığı şey, yedi katlı gökle, dokuzuncu kat üzerinde tahtında oturan Tanrı idi.

2. Bölüm
KOPERNİK DEVRİMİ

9 Aristoteles kozmolojisini sona erdiren Kopernik kuramı ne gibi bir yenilik getirdi? Devrim denilmesinin nedeni nedir?

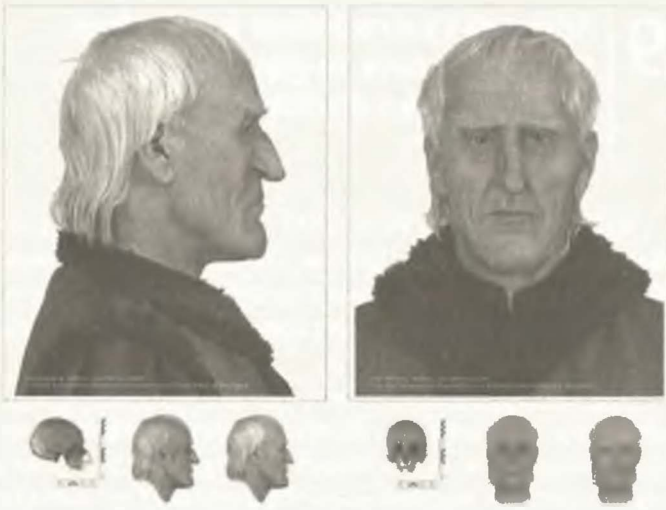
Kopernik (1473-1543), 1543 yılında yayımlamış olduğu *De Revolutionibus Orbium Coelestium* adlı kitabıyla, Yerküre'yi evrenin merkezinden kaldırıp, Güneş çevresinde dolanan sıradan bir gezegen durumuna getirerek, bir devrim gerçekleştirmiştir.

Kopernik öğretisinin önemi, yeni bir bilimsel kuram olmaktan öte, insanların dünya görüşünde köklü bir değişim yaratmış ve adeta dinsel bir dogma haline gelmiş olan Aristoteles kozmolojisine ölümcül darbeyi indirmiş olmasındadır. Kopernik Platon'un etkisinden kendini kurtaramayarak, gezegen yörüngelerini dairesel varsaymış, hatta Ptolomeos'un episikllerini bile korumuştu. Bunları ileride Kepler (1571-1630) düzeltecektir.

Kopernik'ten önce evren, toplum düzenine de örnek olacak şekilde, yerden göğe Tanrıya doğru yükselen hiyerarşik yapıda idi. Önemli olan, göğün nasıl olduğunu

araştırmak değil, göğe nasıl çıkılacağının yolunu öğrenmek idi. Bu yolu da din öğretiyordu. Kopernik devrimi ve o devrimin başlattığı süreç bu düzeni kırdı ve Batı'da yeni bir insan türünün doğmasına neden oldu: Her konuyu sorgulayabilen, kuşkucu, geleneksel düşünce ve dogmalardan kendini arındırmış, yürekli aydınlar. Bunun doğal sonucu olarak da "aydınlanma çağı" geldi ve akla dayalı deneysel ve gözlemsel yöntemlerle doğayı incelemeye başlayan bilginler yetişti.

Gökbilimdeki devrim, aydınlanma çağının önünü açtı, itici gücü oldu, ortaçağı sona erdirdi; o kadar ki, bazı tarihçiler, ortaçağın sona erişi ve yeni bir çağın başlamasını simgeleyen tarih olarak 1453 yılı yerine, Kopernik'in kitabının yayım tarihi olan 1543 yılının alınmasını önermişlerdir. (Resim 4)



Resim 4: Kopernik'in (1473-1543) kafatası temel alınarak bilgisayar ortamında yapılmış bir portresi. Yerküreyi evrenin merkezinden kaldırıp, Güneş çevresinde dolanan sıradan bir gezegen durumuna getiren kuramıyla, adeta dinsel bir dogma haline gelmiş olan Aristoteles kozmolojisine ölümcül darbeyi indiren Kopernik'in nerede gömülü olduğu kesin olarak bilinmiyordu. Arkeologların uzun araştırmaları sonrasında Kopernik'in olduğu tahmin edilen bir kafatası ve kemiklere ulaşıldı, eşyaları üzerinde bulunan saç tellerinden çıkarılan DNA ile de kıyaslanarak bu kemiklerin büyük bilgine ait olduğu kesinleştirildi.

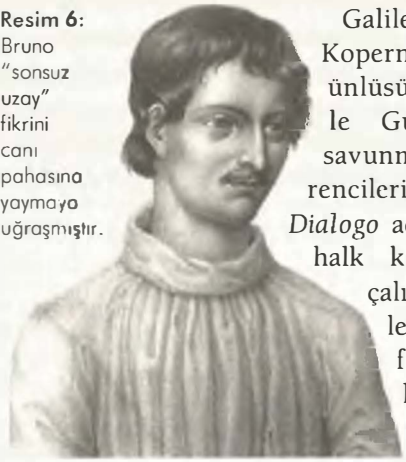
10 Batı'da Kopernik kuramının tetiklediği Bilimsel Devrim'in başarıya ulaşması kolay oldu mu? Ne gibi zorluklarla karşılaştı?

Her devrim gibi Kopernik Devrimi de tutucu çevrelerin yoğun tepkisiyle karşılaştı. Bu tepkiler iki türdü: Bir kısmı, bilindiği gibi, dinsel kaynaklı idi; diğer kısmı ise "sağduyu gereği" varsayılıyordu. İnsanlar, şu ayaklarımızın altında duran yerin hareket halinde olabileceğine bir türlü inanmak istemiyordu. Kopernik bile, kitabının önsözünde, kendini savunma gereği duyarak şöyle diyor: "Sağduyuya karşı da olsa, Yer'in bir hareketi olduğunu düşünmeye cesaret ediyorum." Kopernik'in kitabı, adeta bir saatli bomba gibi, etkisini yıllar sonra göstermeye başladı. Giordano Bruno (1548-1600) kitabın yayımından 51 yıl, Galileo Galilei (1564-1642) ise 90 yıl sonra yargılandılar.

Kopernik kuramının başarıya ulaşmasında önemli rol oynamış iki kişi vardır: biri astronom dahi olmayan Giordano Bruno, diğeri ise Galileo Galilei. (Resim 5 - 6)



Resim 5: Galileo Galilei'yi (1564-1642) Kopernik'in Güneşmerkezli evren modelini savunduğu için engizisyonda yargılanırken gösteren bir resim. Kopernik'in Güneşmerkezli evren modelini anlattığı kitabı, öldüğü yıl yayımlanmıştı. Yermerkezli evren modeline karşı Güneşmerkezli evren modelini savunmak ve yaygınlaştırmak Kopernik'ten sonrakilere, başta Giordano Bruno ve Galileo Galilei'ye düştü. Galilei kuramı derslerinde öğrencilerine anlatmış ve ünlü *Dialogo* adlı kitabı ile de geniş halk kitlelerine ulaştırmaya çalışmıştır.



Resim 6: Bruno "sonsuz uzay" fikrini canı pahasına yaymaya uğraşmıştır.

Galileo Galilei kuşkusuz, Kopernik yandaşlarının en ünlüsüdür. Büyük bir azimle Güneşmerkezli sistemi savunmuş, derslerinde öğrencilerine anlatmış ve ünlü *Dialogo* adlı kitabı ile de geniş halk kitlelerine ulaştırmaya çalışmıştır. Ancak Galilei, uzayın sonsuzluğu fikrine daima kuşkuyla yaklaşmış, (ileride Kant'ın söylediği gibi) "Evrenin sonlu mu, sonsuz mu olduğu henüz bilinmemektedir ve kanımca her zaman da böyle kalacaktır" diyerek temkinli bir tutum sergilemişti. Giordano Bruno ise, "sonsuz uzay" kavramını ciddiye alarak, bir misyoner gibi, bütün Batı Avrupa'yı dolaşıp bu fikirleri yaymaya çalıştı. Uzayın sonsuzluğu kavramı, o zamana kadar hiç Giordano Bruno kadar inanç ve tutkuyla savunulmamıştı. Yedi kristal katlı göğü, dokuzuncu katı ile birlikte, tuz buz edip uzaya savuran kişi kuşkusuz Giordano Bruno'dur. Her ne kadar kendi yaşadığı dönemde çok fazla yandaş bulamamış ise de ileriki yıllardaki gelişmeleri büyük ölçüde etkilemiştir.

11 | Kopernik kuramına dinsel çevreler neden şiddetli tepki gösterdiler?

Kopernik kuramının başlatmış olduğu sürecin neden bir din-bilim çatışmasına yol açmış olduğunu ünlü İngiliz filozof Herbert Spencer'in (1820-1903) şu sözleri ile açıklayabiliriz: "Bilim ile dinin karşı karşıya olmaları zorunludur; çünkü bir yandan din, yalnız bilimin çözebile-

ceği sorunlara karışmakta, bilim de dinin kendi tekelinde saydığı alana el atmaktadır."

Hıristiyanlığın "Kutsal Kitabı"nda (*Tevrat*, *İnciller*) göğün yedi kat olduğundan söz edilmez, çünkü bu kitaptaki kozmolojiyle ilgili bölümler, Eudoksus ve Aristoteles tarafından geliştirilmiş olan bu kuramdan önce yazılmıştır. Ancak *Tevrat*'ın bazı kısımlarındaki ifadeler, Yer'in evrenin merkezinde ve hareketsiz durduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Yedi katlı Aristoteles evren modeli, dokuzuncu kat üzerindeki "hareket etmeyen ilk hareket ettirici" (Primum Mobile) dinlerin Tanrısı ile özdeşleştirilerek, "devşirme" yollu Hıristiyanlığa girmiştir.

Aslında Aristoteles modeli, Hıristiyan öğretisine tam olarak uygun değildi, çünkü evvelce de görmüş olduğumuz gibi, bu bilgin evrenin başlangıcı ve sonu olmadığını ileri sürüyordu. Devşirilirken, bu aykırılıklar göz ardı edilmiştir.

Doğa olaylarını açıklayan bir bilimsel kuramın, bilimde geçerliliğini koruduğu sürece, dinsel çevrelerce de benimsenmiş olmasında bir sakınca yoktur. Ancak, din çerçevesi içerisine girince, donup kalıplaşır, dokunulmazlık kazanır. İleride bu kuramın yanlış olduğu bilim çevrelerince anlaşılır ve terk edilmesi gerekirse, o zaman bir "din-bilim çatışması" kaçınılmaz olur. Bundan dolayı Kopernik kuramı, bilimsel açıdan yanlış olduğu anlaşılan bir kuramın yerine gerçeğe daha yakın olduğu varsayılan yeni bir kuramın getirilmesi olayı iken, bir din-bilim çatışmasına dönüşerek, Batı âleminde bir hayli sarsıntıya neden oldu.

12 | Kopernik devriminin İslam âlemindeki etkisi ne oldu?

İslam âlemine gelince, İslamiyet ortaya çıktığı zaman, yedi katlı gökyüzü modeli, yaklaşık binyıldan beri var olan

ve geniş halk kitlelerine kadar ulaşabilmiş bir inançtı.

Doğal olarak, İslamiyet bunu benimsedi, hatta o kadar çok benimsedi ki, Tanrı'ya yedi kat gökle ilgili birçok ayet "indirtti".[3] Bu durumda, Kopernik devrimi sonucunda yedi katlı göğün tuzla buz oluşunun, İslam âleminde, Hıristiyan âleminden çok daha fazla tepki uyandırması gerekmez mi idi? Oysa hiçbir yankı uyandırmadı. Çünkü Antik Yunan'dan devraldığı bilim meşalesini, ilk parlak yıllarının ardından, Batı'ya kaptıran İslam âlemi, akılcı düşünce ve bilimle ilişkisini çoktan kesmiş ve bütün ilgisi öbür dünyaya odaklanmış insan türü topluma egemen olmaya başlamıştı. Bunun doğal sonucu olarak, bilimdeki gelişmelere ve Kopernik devrimine yabancı kaldı. Kopernik'in kitabının yayımlanmasından yaklaşık 40 yıl sonra, o zaman için İslam âleminin merkezi sayılabilecek İstanbul'da, "Yıldızları gözleyerek Allah'ın işine karışmak günahtır, uğursuzluk getirir" savıyla gözlemevi yıktırılmakta idi.[4] Oysa o sıralarda Batı'da Tyco Brahe (1546-1601), kralın özel izni ve desteğiyle ünlü Uraniborg Gözlemevi'ni kuruyordu. Kepler ise, üçüncü yasasını açıkladığı kitabının sonuna şu ilginç paragrafı eklemişti: "Kitabımı yazdım; ya şimdiki kuşak tarafından okunacak ya da gelecek kuşaklar tarafından, ne önemi var! Okuyucusunu yüzyıl da bekleyebilir. Tanrı bile eserini inceleyebilecek birisinin gelmesini binlerce yıl beklemedi mi?"

Bir tarafta, "Gökyüzünü inceleyerek Tanrının işine karışmak günahtır, uğursuzluk getirir" diyerek gözlemevi yıktıran, öbür tarafta, birisinin gelip de eserini incelemesini bekleyen Tanrı inancı. Doğu ile Batı arasında açılmaya başlayan uçurumu olanca çıplaklığı ile gözler önüne seren bir ibret belgesi!

Bugün İslam din bilginleri, yedi kat göğün varlığını hâlâ savunmak zorunda kalıyorlar. Kimisi pervasızca "Biz yedi kat göğün birinci katındayız" diyerek açıklamalarda bulu-

3) Yedi kat gök ile ilgili Ayetler: Bakara (29), İsra (44), Müminun (86), Fussilet (12), Talâk (12), Mülk (3), Nuh (15), Nebe (12).

4) Ord. Prof. Dr. A. Süheyl Ünver, *İstanbul Rasathanesi*, TTK Yayınları, 1969.

nurken, kimisi de "O yedi kat gök sizin bildiğiniz gibi değil, ne gözle görülür, ne elle tutulur, onlar manevi katlardır" türünden sözlerle, konuyu saptırmaya çalışmaktadır. Çünkü biliyorlar ki, ileri sürülen dayatmalar dizisinden tek bir halkanın bile, "Tanrısal" olmayıp "insansal" kaynaklı olduğu anlaşılırsa, o zaman geri kalanından da kuşku duyulmaya başlanır. "Ayetlerde sözü edilen 'yedi kat göğün' gerçekten de simgesel olduğu varsayılamaz mı?" gibi bir soru akla gelebilir. Ancak "direksiz", "sağlam bina edilmiş" ve "yere düşmemesi için" de "tutulmakta" olan göklerden söz eden ayetlerin varlığı, bu iyimser yorumu bir hayli zorlaştırmaktadır.[5]

5) Sözü edilen Ayetler: Ra'd (2), Hâcc (65), Lokman (10).

3. Bölüm
KLASİK FİZİĞİN DORUK NOKTASI: NEWTON ÇAĞI

13 | Kopernik devriminin başlattığı süreç ne zaman hedefine ulaştı?

Kopernik'in tetiklemiş olduğu devrim, yüzyılı aşkın bir tartışma ve bocalama sürecinden sonra, Isaac Newton'un 1687'de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* adlı kitabını yayımlaması ile hedefine ulaştı ve bilimde yeni bir çağ açıldı: Newton çağı. (Resim 7)

"Eğer ben uzağı görebilmiş isem, devlerin beni omuzlarında taşımış olmasındandır" diyor Newton (1642-1727). Bu devler, Kopernik, Kepler ve Galilei idi. Kopernik, artık bir dinsel dogma haline gelmiş olan, Yer'in evrenin merkezinde hareketsiz durduğu inancını yıkmıştı. Kepler ise, ustası Tycho Brahe'nin duyarlı gözlem verilerini kullanarak, ileride Newton için esin kaynağı olacak, gezegen yörüngeleriyle ilgili önemli yasalar buldu. Galileo Galilei, düşen cisimler ve mermilerin hareketlerini inceleyerek, deneysel fiziğin ve dinamiğin temellerini attı. Ancak bütün bu araştırmalar, birbirinden kopuk, bir bocalamadan



Resim 7: William Blake'in Newton'u (1642-1727) betimleyen bir resmi. Kopernik, Kepler ve Galilei'nin müzisyen olarak yer aldığı orkestranın şefi Newton olacaktır.

öteye gidemiyor, Arthur Koestler'in (1905-1983) ilginç benzetmesindeki gibi, sanki şefin gelmesini bekleyen bir orkestranın akort seslerine benziyordu.

Artık bu gözlem, deney ve bilgi birikimi ışığında, yeryüzü ile gökyüzü yasalarını birleştirip yeni bir sentez oluşturulması gerekiyordu. Bunu da Newton'un dehası gerçekleştirecekti.

14 | Newton kimdi? Bilime ve özellikle kozmolojiye ne gibi bir yenilik getirdi?

Genç Newton'un yeteneği çok erken fark edilmiş ve daha henüz 19 yaşındayken, Cambridge Üniversitesi'ndeki Trinity College'de öğrenim görmeye başlamıştı. Şansı da yaver gitti ve üniversitenin en iyi hocalarından Isaac Barrow'un (1630-1677) öğrencisi oldu. İlerde, hocasının emekli oluşundan sonra da, henüz 26 yaşındayken kürsünün başına geçti.

1665 yılında baş gösteren veba salgınından dolayı üni-

versitenin bir süre kapatılması üzerine, doğduğu yer olan Woolsthorpe Kasabası'na döndü. Rivayete göre, köyde bir elma ağacının altına oturmuş mehtabı seyrederken, önüne ağaçtan bir elma düştü. Herhangi biri olsa, belki elmayı alıp, mehtabı da seyrederek, keyifle yerdi. Ancak Newton sıradan birisi değildi. O bir deha idi.

Bir süreden beri aklını kurcalayan bir konu vardı: yerçekimi. Düşen elma ile seyrettiği Ay arasında ilginç bir bağlantı sezinledi. Acaba elmanın yere düşmesine neden olan yerçekiminin etkisi Ay'a kadar uzanıyor mu? Ay'ın Yerküre çevresinde dolanması ile elmanın yere düşmesi aynı etkenden mi kaynaklanıyor?

Bu hikâyeyi, büyük bir Newton hayranı olan ünlü Fransız filozof Voltaire (1694-1778), İngiltere'yi ziyareti sırasında, Newton'un yeğeninden dinlediğini söylemiştir. Voltaire'in bu anlatısı üzerine, "Newton elması" efsanesi doğdu. Bazı biyografiler, bu hikâyenin yakıştırma olabileceğini ileri sürmüşlerse de, Woolsthorpe'daki o ünlü elma ağacı 1820 yılındaki şiddetli bir kasırga sonucunda devrilinceye kadar Newton hayranlarının ziyaret yeri olmuş ve devrilmesinden sonra ağacın parçaları Londra'ya taşınarak "Royal Society"de koruma altına alınmıştır.

Newton, elmanın yere düşmesine neden olan kuvvet ile Ay'ın Yerküre çevresindeki dolanımının aynı etkenden ileri geldiğine inanmaya başlamıştı; ancak bunu kanıtlamak için, yerçekiminin uzaklık ile nasıl değiştiğini bilmek gerekiyordu. İlk akla gelen, bir kaynaktan yayılan ışığın etkenliğinin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalması olgusu ile benzetme yaparak, çekim kuvvetinin de aynı şekilde değiştiğini varsaymaktı. Bir ipin ucuna bağlanmış taş (sapan) döndürüldüğünde, taşın dönmesinden ileri gelen merkezkaç kuvvet ile ipin gerilimi nasıl birbirini dengeliyorsa, Ay'ın da Yer çevresindeki dolanımından kaynaklanan merkezkaç kuvvet ile yerçekiminin birbirini dengelediğine inanıyordu Newton. Merkezkaç ivmenin, dönen cismin hızının karesi ile orantılı ve dairenin yarıçapı ile ters orantılı olduğunu Huygens (1629-1695) 1673 yılında göstermişti.

Diğer taraftan Galilei ve daha sonra başka bilim insanları tarafından birçok kez tekrarlanan deneylere göre, yeryüzünde serbest düşen cisimlerin hızlarının nasıl arttığı (ivmeleri) ölçülmüştü. Eğer Ay'ın hareketi de, Newton'un düşündüğü gibi, yeryüzündeki cisimlerin düşüşüne neden olan çekim kuvvetinden ileri geliyor ve bu kuvvetin Ay uzaklığındaki etkisi, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalıyorsa, kuvvetin Ay uzaklığındaki şiddeti (o dönem Ay'ın uzaklığının Yerküre'nin yarıçapının 60 katı olduğu biliniyordu) yeryüzündekinden 3600 kere daha az olacaktır. Newton bu hesabı yaptı, ancak iki değer arasında tam bir uyum yoktu. Düş kırıklığına uğrayarak, bu konuyu bir kenara bıraktı.

Birkaç yıl sonra, "Royal Society"nin bir toplantısına katılan Newton, orada, Fransız rahip ve gökbilimci Jean Picard'ın (1620-1682) yeni ölçümler yaparak, bir derecelik boylamı yayının uzunluğu için, vaktiyle kendisinin kullanmış olduğundan farklı bir değer elde etmiş olduğunu öğrendi. Yer'in çevresi ve Yerküre'nin yarıçapı için evvelce kullanmış olduğu verilerin yanlış olduğunu anladı. Hesaplarını Picard'ın değerlerini kullanarak yeniden yaptı ve Yer'in çevresinde Ay'ın dolanmasından ileri gelen ivme ile yerçekiminden kaynaklanan ivmenin denk geldiğini gördü. Çekim kuvvetinin uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiği varsayımı doğrulanmıştı. Bundan sonra yapılması gereken, çekim kuvvetinin, uzaklıkların kareleri ile ters orantılı ve kütleler ile orantılı olduğu varsayımının genel olarak diğer gökcisimlerinin hareketlerine de uygulanabileceğini matematiksel olarak kanıtlamaktı.

Ancak önce, çözülmesi gereken önemli bir matematiksel problem vardı: İki küresel cismin çekimlerinde, bütün kütlenin kürelerin merkezlerinde toplanmış gibi varsayılabileceğini göstermek. Bu, o çağın matematik bilgisiyle gerçekleştirilmesi çok zor bir problemdi. Newton'un biyografları, Ay üzerinde yapmış olduğu ilk deneme hesaplarından sonra, konuyu uzun süre bekletmiş ve ancak 20 yıl sonra yayımlamış olmasının nedeni olarak, bu süre içerisinde bu çetin problemi çözmek için yeni bir matema-

tiksel yöntem geliştirmekle meşgul olmasını göstermektedirler. Newton, "flüksiyonlar yöntemi" diye tanımladığı, bugün "diferansiyel ve integral hesap" dediğimiz bu yeni matematiksel yöntemle problemi çözmeyi başardı.

Newton, kuramını gezegenlerin hareketlerine uygulayabilmek için, Kepler'in üç yasasından faydalandı ve gösterdi ki, bu üç yasanın gereği olarak, öngörmüş olduğu çekim yasası elde edilmektedir. Buna karşılık, çekim yasası kabul edilirse, Kepler'in üç yasası bunun sonucu olarak çıkmaktadır.

Newton'un başyapıtı *Principia* yayımlanır yayımlanmaz, eleştiriler de yükselmeye başladı. Karşı çıkanların başını iki ünlü isim çekmekteydi: Huygens (1629-1695) ve Leibniz (1646-1715). Eleştirmenler, Newton'un yapmış olduğu hesapların doğruluğunu kabul ediyor, ancak birbirinden bu kadar uzak gökcisimlerinin, aralarında hiçbir temas olmadan birbirlerini etkileyebileceklerine, uzay boşluğunda bir kuvvetin etkisinin olabileceğine inanmıyorlardı. Her ikisi de, Newton'un çekim yasası diye ileri sürdüğü şeyin, nedeni açıklanması gereken gizemli bir şey olduğunda birleşiyordu.

Yapılan eleştiriler, sadece çekim yasasıyla da sınırlı kalmıyordu. Newton, kurmuş olduğu dinamiğin temel denklemlerinin "mutlak uzay"da geçerli olduğunu varsayıyor ve şöyle bir tanımlama yapıyordu: "Mutlak uzay, doğası gereği, dıştaki hiçbir şeyle bağlantılı olmayarak daima kendine benzer şekilde ve hareketsiz durur." Biraz metafizik kokan bu tanımlama, herkesin oybirliği ile tartışmasız onaylayacağı kadar açık değildi. "Mutlak uzay hareketsiz durur" tanımlamasındaki çelişki açıktı. Hareket "mutlak uzay"a göre saptandığına göre, uzayın hareketsiz durduğu neye göre saptanacaktı.

Huygens ve Leibniz'in başlattığı tartışmalar bilim insanları arasında yıllarca sürecek, ancak kuramın başarı ile uygulanmaya başlanmasından sonra güncelliğini kaybederek küllenmeye yüz tutacaktır.

Newton kuramının önemli bir kazanımı, doğa olaylarının belirli matematiksel yasalara göre açıklanabileceğini

göstermiş olmasıdır. Gökcisimleri, doğadışı ve doğaüstü güçlerin etkisinden kurtarılıp matematiksel yasalara bağlanıyor ve bu yasaların aynı zamanda yeryüzünde de geçerli olduğu gösterilerek, Aristoteles'den beri süregelen "Gökyüzü yasaları ile yeryüzü yasaları farklıdır" inancı ağır bir darbe alıyordu. Bunun sonucunda, diyebiliriz ki, kozmolojinin tüm paradigması değişecektir.

15 | Newton kuramı ile birlikte, kozmolojinin paradigması ne gibi bir değişikliğe uğradı?

Evvelce de görmüş olduğumuz gibi, Yerküre'nin çevresini saran ve gezegenleri taşıdığı varsayılan kürelerin en dışında yer alan ve yıldızlı gökyüzünü oluşturan küre ile antikçağın kozmosu sona eriyordu, yani Aristoteles kozmosu bir "kapalı evren" kozmolojisi idi.

Kopernik, Yerküre ile Güneş'in yerlerini değiş tokuş etmiş, ancak, kristal kürelere ve hatta Ptolomeos'un episiklerine bile dokunmamıştı. Yıldızlı göğün sonsuzluğundan hiç söz etmiyor, ancak "immesum" (çok büyük) olduğunu vurgulamakla yetiniyordu. Kepler ise uzayın sonsuzluğu kavramına hiçbir zaman sıcak bakmamış, sonsuz uzayı bilimsel anlamı olmayan bir kavram diye nitelemişti. Galilei bu konuya kuşku ile yaklaşmış, "Evrenin sonlu mu sonsuz mu olduğu henüz bilinmemektedir ve kanımca da her zaman böyle kalacaktır" demişti. Descartes ise, uzay için "sonsuz" deyimini kullanacak yerde, "sınırsız" uzanan uzay diyerek temkinli bir üslup ile konuya yaklaşmış, "sonsuz" kavramını "Tanrının yüceliği sonsuzdur" gibi deyimlere saklamayı yeğlemiştir. Evvelce de belirtmiş olduğumuz gibi, sonsuz uzay kavramını o dönemde ciddiye alan ve en çok savunan kişi Giordano Bruno idi. İngiltere'de ise uzayın sonsuzluğunu coşkuyla savunan biri daha vardı: Cambridge Üniversitesi Platoncu filozoflarından Henry More (1614-1687).

More'un sonsuz uzay savunması da, diğer filozoflarınki gibi, bilimsel verilerden çok, metafiziksel kavramlar ve Tanrının yüceliğine dayanıyordu. Ancak önemli bir fark vardı: Henry More, aynı üniversitede bulunan kendisinden 28 yaş küçük genç bir matematikçiyi derinden etkilemişti. Bu matematikçi Isaac Newton idi.

Bu düşüncelerden etkilenen Newton, "sonsuz" ve "mutlak uzay" kavramlarını metafizik alandan bilimsel alana taşıdı.

Newton dinamiğinin denklemleri, "mutlak uzay"a göre hareketsiz duran (veya doğrusal düzgün-sabit hızla hareket eden) referans sistemlerine göre geçerlidir. Mutlak uzaya göre düzgün doğrusal hareket halindeki bütün referans sistemleri (Galilei referans sistemleri) eşdeğerdir.

Newton çekim yasasının yapısından kaynaklanan bir zorluk vardı. Sadece iki gökcisminin hareketi incelendiğinde, çekim yasasının tam bir matematiksel çözümü elde edilebiliyordu. Ama ikiden fazla cisim olduğu zaman, problemin analitik çözümü bulunamıyor, ancak bazı özel yöntemlerle yaklaşık çözümler elde edilebiliyordu.

Kuramın uygulanmasında karşılaşmış olduğu matematiksel zorlukların tümünün üstesinden gelememiş olmanın yarattığı kötümserlik havası içerisinde Newton, Güneş Sistemi'nin gezegenlerin karşılıklı etkileşimi sonucunda kısa sürede dağılabileceğine inanıyor, bunu önlemek için Tanrının ara sıra sistemi tekrar düzene sokması gerektiğini ileri sürüyordu. Ancak Newton'un bu "saatçi-başı Tanrı" kavramına çağdaşları bile güldüler. Alman filozof ve matematikçi Leibniz şöyle diyor: "Her şeye gücü yeten Tanrının ara sıra saatini kurması gerekiyor, aksi halde saat duracak... Çünkü durmadan işleyebilen mekanizma yapacak kadar beceri gösterememiş. Ara sıra da bir saatçi-başı gibi makinesini temizlemesi ve onarması gerekiyor."

Ancak sonraki yüzyılda gelen genç matematikçiler, Newton'un baş edememiş olduğu matematiksel güçlüklerin büyük bir kısmının üstesinden gelerek kurama inandırıcılık kazandırdılar.

16 Newton kuramını başarıya ulaştıran uygulamalardan örnek verebilir misiniz?

Newton'un çekim yasasını uygulamak istediği bir alan da, kuyrukluyıldızların (komet) hareketi idi. Güneş'in etkisi ile gökcisimlerinin çizeceği yörüngenin, çekim yasası gereği, bir koni kesiti (daire, elips, parabol veya hiperbol) olması gerekiyordu. Kuyrukluyıldızların da gezegenlerle aynı çekim yasasına uyduklarına, ancak yörüngelerinin çok basık elipsler veya parabol, hiperbol gibi açık yörüngeler olduğuna inanıyordu Newton.

Yakın dostu Edmund Halley (1656-1742), Newton'un bu varsayımını ilk uygulamaya koyan kişi oldu ve Kasım 1682'de gözlenen bir kometin yörüngesinin hesabı için Newton tarafından önerilen yöntemi uygulayarak, bu kometin 1758 yılında tekrar geleceğini ilan etti. Kendisinin bu olayı gözlemlemesinin olanaksızlığını da bildiğinden, eğer öngörüsü doğrulanırsa, bunun bir İngiliz tarafından yapılmış olduğunun anımsanmasını vasiyet etti. (Resim 8)

Halley'in öngörüsünün geçekleşmesine az bir zaman kala, Fransız matematikçi Alexis Clairaut (1713-1765), kometin yörüngesini yeniden ve daha geliştirilmiş yöntemlerle hesaplayarak, söz konusu kuyrukluyıldızın Güneş'e en yakın durumu olan periheliondan (günberiden) (bir aylık bir belirsizlikle) 1759 Nisan ayında geçeceğini açıkladı. Komet 12 Mart 1759'da periheliondan



Resim 8: Newton'un önerdiği yöntemle yörüngesi önce Edmund Halley tarafından, daha sonra Clairaut tarafından yeniden hesaplanan Halley kuyrukluyıldızı, belirlenen tarihte Dünya yakınından geçerek, Newton'un kuramlarını doğrulamıştı.

geçerek yapılan öngörüyü doğruladı. Bu olay, Newton kuramının büyük bir başarısı olarak kabul edildi ve Halley'in vasiyetine uyularak kuyrukluyıldızın adına Halley kometi denildi. Daha sonraki geçişleri de gözlenen bu komet, geniş halk kitleleri arasında en çok tanınan kuyrukluyıldız oldu.

"Fransızların Newton'u" diye anılan matematikçi Pierre-Simon Laplace (1749-1827) ise, Newton kuramını bir hayli geliştirerek gezegen hareketlerinin, Newton'un sandığı gibi doğadışı veya doğaüstü hiçbir gücün yardımına gerek olmaksızın, çekim yasasının doğal sonucu olarak açıklanabileceğini ve Güneş Sistemi'nin çok uzun süre denge halinde kalabileceğini gösterdi.

Laplace ile Napoléon arasında geçmiş olan bir konuşma, o çağın bilim insanlarında egemen olmaya başlayan akılcı akımı çok güzel yansıtması bakımından ilgi çekicidir. Büyük bilim adamı ile karşılaştığı bir gün, Napoléon ona şöyle bir soru yöneltti: "Çalışmalarınızı gördüm, çok beğendim. Ancak bir şey dikkatimi çekti. Hiçbir yerinde Tanrıdan söz etmiyorsunuz." Laplace'ın ünlü yanıtı şu oldu: "O varsayıma gerek duymadım." Laplace'ın bu yanıtı, bilim tarihinde bir milat oluşturdu. Aydınlanma çağına damgasını vurdu. (Resim 9)

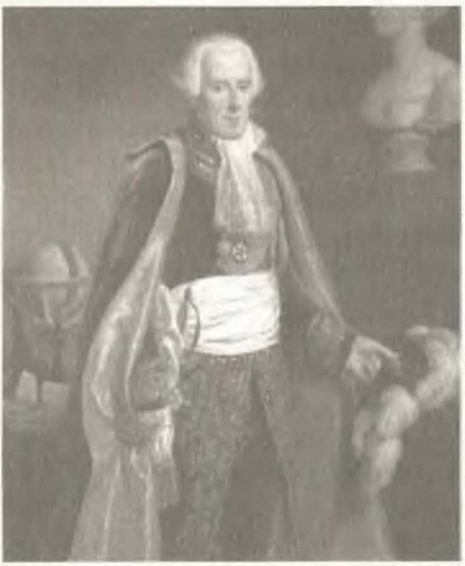
17 Aydınlanma çağı bilginlerine yol göstermiş olan Laplace'ın ünlü yanıtı, bugün de bilimde geçerliliğini koruyor mu? Çağımızdaki bilim insanlarının bu konudaki düşünceleri nedir?

Her ne kadar bilimden bu kuralı dışlamaya çabalayanlara rastlanmakta ise de, saygın bilim insanları -dinsel inançları ne olursa olsun- bu altın kurala uymaktadır. Burada, çağımızın bütün bilim insanlarının bu konudaki düşüncelerini yansıtmamıza olanak yok. 20. yüzyılın en

ünlü bilim adamlarından birisi olan Albert Einstein'ın bu konudaki düşüncelerinin önemli saydığımız bir bölümünü aktarmakla yetinelim.

Einstein'ın düşüncelerinin bir önemi de, 1926 yılında arkadaşı ünlü fizikçi Max Born'a (1882-1970) yazmış olduğu bir mektupta: "Kuantum fiziği saygı gerektiriyor, ... fakat bizi İhtiyarın sırrına yaklaştırmıyor. Şuna inanıyorum ki O zar atınıyor" diyerek Tanrıya gönderme yapan şaka yollu bazı sözlerinin, büyük bilginin çok dindar bir kişiliğe sahip olduğu yollu söylentilere neden oluşudur.

Ölümünden birkaç yıl önce yayımladığı *Out of my Later Years* adlı kitabının "Bilim ve Din" başlıklı bölümünde, bu konudaki fikirlerini Einstein açık olarak şöyle dile getirmiştir. "Kimse kuşkusuz inkâr edemez ki, her şeye gücü yeten, doğru ve iyiliksever bir kişisel Tanrının varlığı, insanlar için bir umut kaynağı ve bir yön göstericidir, aynı zamanda, basitliğinden dolayı da en az gelişmiş kafalar için bile, erişilebilecek bir kavramdır. Fakat diğer taraftan, bu düşüncenin, tarihin başından beri acı bir şekilde duyulmuş olan, inkâr edilemez zayıf tarafları vardır. Eğer bu varlığın her şeye gücü yetiyor ise, her olay, insanların hareketleri de dahil olmak üzere, insanların her düşüncesi ve her duygusu ve isteği onun eseridir. O zaman, hareketleri ve düşüncele-



Resim 9: Laplace (1749-1827). Çalışmalarında Tanrıdan neden hiç söz etmediğini soran Napoléon'a yanıtı ünlüdür: "O varsayıma gerek duymadım."

rinden dolayı insanlar böyle her şeye gücü yeten bir varlık önünde nasıl sorumlu tutulabilir? Ceza ve ödüller vermek yoluyla bir dereceye kadar kendini yargılamış olmaktadır. Bu, ona atfedilen iyilik ve doğrulukla nasıl bağdaşır? Bugün, din ile bilim arasındaki en belli başlı anlaşmazlık kaynağı, bu kişisel Tanrı kavramında bulunmaktadır."

18 | Aristoteles kozmolojisinin "yeryüzü-gökyüzü" ikilemi tümüyle ne zaman yok oldu?

Newton, gökyüzü ile yeryüzünde hareket yasalarının (dinamiğin) aynı olduğunu göstererek, Aristoteles'in yeryüzü-gökyüzü ikilemine büyük bir darbe indirmiş, ancak gökcisimlerinin yapısını oluşturan maddenin yeryüzünde bulunmayan bir "beşinci element"ten oluştuğu savı henüz yalanlanmamıştı. Güneş ışığının prizmadan geçerek saçılması, spektrum-tayf elde edilmesi ilk kez Newton tarafından gözlendi. Ancak, spektrumdaki kara absorbsiyon (soğurma) çizgilerini Newton görememişti. Güneş spektrumundaki kara çizgiler ilk kez 1802 yılında Wollaston (1766-1828) tarafından gözlendi. Bu çizgilerin spektrumda sabit dalga boylarında olduklarını ise ilk kez 1811 yılında Fraunhofer (1787-1826) saptadı ve o zamandan beri de Fraunhofer çizgileri diye adlandırılmaktadır.

Gustav Robert Kirchoff'un (1824-1887) 1859 yılında yaptığı deneyler ve kendi adını taşıyan spektroskopi yasalarının yayımlanmasından sonra anlaşıldı ki, bazı yıldızlarda kara, bazılarında da parlak (emisyon) olarak görülen bu çizgiler, gözlenen gökcisminin atmosferindeki kimyasal yapıyı saptamak olanağı vermektedir. Spektral analiz adı verilen bu yöntemin uygulanmasıyla, gözlenebilen en uzak gökcisimlerine kadar, bütün evrenin kimyasal yapısının, yeryüzünde bilinen elementlerden oluştuğu görüldü. Böylece, yeryüzü-gökyüzü ikileminin son kalıntısı da

bir darbe almış oldu. Fakat henüz tam olarak ölmemişti. Üç kez hortlar gibi olduktan sonra, kesin olarak ölecekti. Bunun ilginç olan öyküsünü özetleyelim:

1) **Helyum olayı:** 1868 Güneş tutulması sırasında Fransız astrofizikçi Janssen (1824-1907) ile İngiliz astrofizikçi Lockyer (1836-1920), Güneş diskinin kenarında gözlenen protüberansların (kabartıların) spektrumunda, hidrojenin karakteristik çizgilerinden başka, yeryüzünde bilinen elementlerin hiçbirinin çizgisi ile çakışmayan, oldukça şiddetli bir sarı çizgi gözlediler. Bu çizgiye, Güneş'e özgü bir elementin çizgisi anlamına gelen helyum çizgisi adı verildi.

Ancak 27 yıl sonra İngiliz kimyacı Ramsay (1852-1916), bazı radyoaktif minerallerden çıkan gazları spektroskopik yöntemle incelerken, helyum adı verilen ve Güneş'e özgü olduğu sanılan elementin, yeryüzünde de bulunan bir gaz olduğunu gösterdi.

2) **Nebulyum olayı:** Gaz nebulaların emisyon spektrumlarında altı tane emisyon çizgisi, bilinen hiçbir elementinki ile çakışmıyordu. Nebulalara özgü bir element olduğunu belirtmek için adına nebulyum çizgileri denmişti. Amerikalı astrofizikçi Bowen (1898-1973), 1926 ile 1938 yılları arasında gaz nebulaların emisyon spektrumlarını inceleyerek, bu çizgilerin, iyonlaşmış oksijen ve azotun metastabl durumlarının, gaz nebulaların çok düşük yoğunluk ortamında oluşabilen "yasak çizgileri" olduğunu gösterdi.

3) **Koronyum olayı:** Güneşin korona (taç) adı verilen ve ancak tam tutulmalarda veya koronograf adı verilen özel araçla gözlenebilen en dışındaki katmanın spektrumundaki bazı çizgilere de koronyum çizgileri dendi. 1941 yılında Edlen adında genç bir astrofizikçi, bu çizgilerin, demir, nikel gibi bilinen elementlerin 10 ila 16 kez iyonlaşmış olan iyonlarından kaynaklanan çizgiler olduğunu gösterdi.

Artık gökcisimlerinin hiçbirinde, yeryüzünde bilinen elementlerin dışında bir element olmadığı ve kimya biliminin yerel bir bilim olmayıp evrensel bir bilim olduğu

anlaşıldı. Böylece 2000 yıldır süregelmiş olan Aristoteles fiziğinin son kalıntısı da tarihin çöplüğüne atılmış oldu.

19 Newton kuramı hiçbir engelle karşılaşmadan yoluna devam edebildi mi? Karşılaştığı zorluklar olduysa, bunların nasıl üstesinden geldi?

Yolda karşılaştığı zorlukların öyküsünü kısaca özetleyelim. Alman asıllı İngiliz müzisyen ve gökbilimci William Herschel (1738-1822), dürbünü ile gökyüzünü adeta karış karış taradığı sırada, haritalar üzerinde gösterilmemiş olan sönük bir yıldıza rastlar. Bir süre gözlemlere devam ettikten sonra, bu "yıldız"ın aslında bir yıldız olmayıp, sabit diye tanımlanan yıldızlara göre, hareket eden bir gezegen olduğu anlaşılır ve yeni gezegene Uranüs adı verilir. Yeteri kadar gözlem yapıldıktan sonra, yeni gezegenin yörüngesi hesaplanır ve diğer gezegenler için yapılmakta olduğu gibi, çeşitli tarihlerde gökyüzünde bulunacağı yerler cetveller (efemerid) halinde yayımlanır. Ancak bir süre sonra görülür ki, yeni gezegenin izlemekte olduğu yol, hesap edilmiş yörünge ile elde edilmiş olan ve efemeridlerin vermiş olduğu değerler ile çakışmıyor. Bu durum karşısında akla ilk gelen, hesaplarda bir yanlışlık olmasıdır. Bütün hesaplar yeniden yapılır ve hiçbir yanlış olmadığı görülür.

O halde ne olabilir? Acaba gök mekaniğinin temellerinde mi bir yanlışlık var? Gezegenlerin, kuyrukluyıldızların hareketlerini, ileride oluşacak Güneş ve Ay tutulmalarını yıllarca öncesinden, büyük bir duyarlılıkla şimdiye kadar öngörmüş olan gök mekaniği, yeni bulunan bir gezegenin kaprisli hareketi yüzünden yıkılacak mı?

O sırada, biri Fransa'da Paris Gözlemevi'nde, diğeri ise, İngiltere'de Cambridge Gözlemevi'nde çalışan iki genç astronom, hesaplar ile gözlemler arasındaki uyumsuzluğun,

teorinin yetersizliğinden olmayıp, Uranüs gezegeninden daha uzakta bulunan bilinmeyen bir başka gezegenin çekim etkisinden kaynaklandığını ileri sürdüler.

Fransız astronom Urbain-Jean-Joseph Le Verrier (1811-1877), yaklaşık bir yıl süren uzun hesaplardan sonra, bilinmeyen gezegenin nerede bulunması gerektiğini 31 Ağustos 1846'da, İngiliz meslektaşı John Couch Adams'dan (1819-1892) evvel yayımladı. Genç Fransız gökbilimcinin bildirmiş olduğu yere dürbün ile bakıldığında, gerçekten gezegenin orada bulunduğu görüldü. Yıllarca önce, Halley kuyrukluyıldızının gelişiyle ilgili öngörüden sonra, Newton kuramının yeni bir başarısı daha elde edilmiş oluyordu.

Bütün sorunlar çözülmüş müydü? Hayır! Zaten bilimin gücü, sürekli sorunlar yaratarak, onları çözme uğraşı ile canlılığını sürdürmekte yatmaktadır. Aksi halde, hiçbir evrim geçirmeyen, donmuş, kalıplaşmış kurallar içeren inançlardan farkı kalmazdı.

Güneş çevresinde dolanan sadece bir tek gezegen olsaydı, Newton çekim yasası gereği, odaklarından birinde Güneş'in bulunduğu bir elips çizerdi. Ancak Güneş'in çevresinde birden fazla gezegen bulunduğundan, her birinin karşılıklı etkileşimi sonucunda bu elipsler zaman ile deforme olmakta ve eksenleri Güneş çevresinde, yavaş da olsa, bir dönüş yapmaktadır. Bu etkileşim ve yörüngenin zaman ile uğradığı değişim, gök mekaniğinde, "pertürbasyon teorisi" denilen bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bütün gezegenler için başarı ile uygulanan bu yöntem, ne yazık ki, Güneş'e en yakın olan Merkür gezegeninin yörünge hesabında başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Yörüngenin Güneş'e en yakın noktası olan perihelionun (günberi) hareketinin gözlenen ile hesaplanan değerleri arasında, gerek Le Verrier gerek ise Simon Newcomb (1835-1909) tarafından yapılan hesaplar sonucunda, 100 yılda 43 (kırk üç) yay saniyesine varan bir fark bulunmuştur. Denebilir ki, bu kadar küçük bir farkın ne önemi var. Ancak pozitif bilimlerin belirgin özelliği, en küçük ayrıntıları bile göz önüne alarak nedenlerini araştırmaktır.

Uranüs'ün hareketindeki gözlemler ile hesaplar arasındaki uyumsuzluktan hareket ederek Neptün gezegenini bulan Fransız astronom Le Verrier, Merkür gezegenindeki bu uyumsuzluğun da, Güneş'e daha yakın bilinmeyen bir gezegenin varlığından kaynaklandığını ileri sürdü. Hatta gezegene ad bile konuldu: Vulcain (Vülken). Bu gezegenin varlığına o kadar çok inanılmıştı ki, yıllarca araştırıldı, ancak hiçbir zaman bulunamadı.

Bu sorun, ancak Kasım 1915'de, Einstein'ın Prusya Bilimler Akademisi'ne sunduğu bir bildiri ile açıklığa kavuşacaktır. Bildirisinde Einstein, genel görelilik kuramı çerçevesinde, bilinmeyen bir gezegenin varlığına gerek olmaksızın, bu farkın açıklanabildiğini gösterdi.

20 | 19. yüzyıl sonuna gelindiğinde, klasik fiziğin artık çözülmemiş önemli hiçbir sorunu kalmamıştı denebilir mi?

Bilimin kendisini devamlı olarak eleştiren ve yenileyen doğası gereği, hiçbir zaman büsbütün terk edilmemiş olan "mutlak uzay" tartışması, 19. yüzyıl sonlarında yeniden gündeme geldi. Fransız matematikçi Henri Poincaré (1854-1912) ile "Newton'un mutlak uzayı, bilimden dışlanması gereken metafizik bir kavramdır" diyen Avusturyalı fizikçi Ernst Mach (1838-1916), bu konuyu irdelemeye devam ediyorlardı.

İlk kez Galileo Galilei tarafından açıklığa kavuşturulmuş ve Newton mekaniği çerçevesinde yerini almış olan bir görelilik (relativity) ilkesi (prensibi) vardı. Birbirlerine göre düzgün doğrusal hareket eden iki referans (koordinat) sistemi, mekanik yasalarının geçerliliği bakımından eşdeğerdir. Newton dinamiğinin denklemleri ise, "mutlak uzay" için geçerlidir. Ancak Galilei görelilik ilkesine göre, aynı denklemler, mutlak uzaya göre düzgün doğrusal hareket halindeki referans sistemleri için de geçerli olacak-

tır. O halde, görelilik prensibi gereği, Newton dinamiğinin geçerli olduğu referans sistemlerinden hangisi mutlak uzaya göre durmakta, hangisi hareket halinde, mekanik bir deneyle saptanamaz. Ancak, ışık dalgalarının uzayda yayılması için klasik fiziğin gerekli gördüğü "ether" ortamına göre, hareketin optik deneyler ile saptanabileceği varsayılıyordu.

Ether denilen bu ortamın da, "mutlak uzay"da sükûnet halinde (hareketsiz) durduğu varsayıldığından, yapılacak böyle optik bir deney sonucunda Yerküre'nin mutlak uzaya göre hareketi saptanmış olacaktı. Fizikçi Albert Abraham Michelson (1852-1931) astronomik gözlemler sonucu Güneş çevresinde Yerküre'nin bilinen hareketini, fizik laboratuvarında gerçekleştirilen optik bir deneyle kanıtlamak istedi.

Michelson deneyinin temelinde, ışığın, Yerküre'nin hareketi yönünde ($c + v$) hızıyla, ters yönde ise ($c - v$) hızı ile hareket edeceği varsayımı yatıyordu.

Burada c = 300.000 km/sn ışık hızı, v = 30 km/sn ise yerkürenin hızıdır. Tabii bu kadar küçük bir hız değişimini doğrudan doğruya ölçmek olanaksızdır. Ancak çok iyi bir deneysel fizikçi olan Michelson, iki zıt yönde hareket eden ışık demetleri arasındaki hız farkını, interferometrik bir yöntemle saptamayı hedefliyordu. Bu amaçla, kendi adını taşıyan bir interferometre (girişimölçer) geliştirmişti. İlk kez 1881 yılında Almanya'da, daha sonra ABD'de Edward William Morley (1838-1923) ile pek çok kez tekrarlanan deney, hiç beklenmedik bir sonuç verdi: Işık her iki yönde de aynı hızla hareket ediyor, yani Yerküre'nin hiçbir hızı saptanamıyordu.

Oysa 18. yüzyıl ortalarında, İngiliz astronom James Bradley (1693-1762) tarafından bulunmuş ve astronomide "aberasyon" adı altında bilinen bir olay ise, yerkürenin ether ortamında bir hızı olduğu varsayımına göre açıklanmıştı. Aberasyon olayının açıklanması ile Michelson-Morley deneyinin negatif sonucu birbiriyle çelişiyor ve klasik fizik çerçevesinde çözülemiyordu, yani fizik bir çıkmaza girmişti.

4. Bölüm
20. YÜZYIL KOZMOLOJİSİ

21 | Fizik bu çıkmazdan nasıl kurtuldu?

Fiziğin bu bunalımdan kurtarılışı, 20. yüzyılın Newton'u diye adlandırılan genç bir fizikçi tarafından gerçekleştirildi: Albert Einstein (1879-1955).

Bu olayın ilginç öyküsünü kısaca özetleyelim, zira bu gelişmeler, konumuz olan kozmoloji ve özellikle de Büyük Patlama kuramı için önemli sonuçlar doğurmuştur.

Evvelce de belirtmiş olduğumuz gibi, Michelson-Morley deneyi, ışık demetinin, Yerküre'nin hareketi doğrultusunda daha hızlı, ters yönde ise daha yavaş hareket edeceği varsayımına dayanıyordu. Newton paradigması çerçevesinde bu mümkün, hatta ışık hızına erişmek ve onu geçmek bile kuramsal açıdan olanaklı idi. Oysa elektromanyetik alanların davranışlarını düzenleyen Maxwell denklemlerinde ise, ışık hızı evrensel bir sabit olarak ortaya çıkıyordu.

Gençlik yıllarında ilk kez "Maxwell kuramı" ile karşılaştığında Einstein bu çelişkinin farkına varmıştı. Einstein seçimini Maxwell'den (1831-1879) yana koyarak, ışık



Resim 10: Genel ve özel görelilik kuramlarıyla, 20. yüzyıl fiziğini şekillendiren Einstein (1879-1955), biyografisini yazan Carl Sleig'e şöyle diyordu: "Hiçbir özel yeteneğim yok. Sadece neredeyse saplantılı bir şekilde merak ediyorum. Önemli olan şey soru sormaktan vazgeçmemek. Merak kavramının var olma sebebi kendindedir. Sonsuzluğun, hayatın, gerçekliğin muazzam yapısının gizemlerini düşündükçe insan kendinden geçer. İnsan her gün bu gizemin birazını anlamaya çalışsa yeter."

hızını evrensel bir sabit kabul eden yeni bir kuram geliştirdi. Temel ilkelerinden biri olarak, ışık hızının her yöne aynı hızla yayılan (izotropik) evrensel bir limit hız olduğu varsayımından hareketle geliştirdiği kuramı, 1905 yılında, "Hareket Halindeki Cisimlerin Elektrodinamiği" adı altında yayımladı. Sadece düzgün doğrusal hareket halindeki referans sistemleri için geçerli olduğundan, bu kurama "özel görelilik kuramı" denilmektedir. (Resim 10)

22 | Özel görelilik kuramı ne gibi bir yenilik getirdi?

Kuramı ilginç yapan ve büyük tartışmalara neden olarak, Einstein'a geniş halk kitleleri arasında ün kazandırmış özelliklerinden biri de, o zamana kadar hiç tartışma konusu olmamış olan "mutlak zaman" kavramını da, uzay ile birlikte, göreli (relatif) hale getirmiş olmasıdır.

Klasik (Newton) fizikte, uzay ve zaman birbirinden bağımsız iki ayrı mutlak kavramdır. Oysa görelilik kuramında, bu iki ayrı (bağımsız) kavram yerine, üç boyutu uzay bir boyutu zaman olmak üzere, dört boyutlu "uzay-zaman" kavramı getirilmiştir.

Farklı referans sistemlerinde, birbirlerine göre hareket eden gözlemciler, mutlak bir kavram olan "uzay-zaman"ı algılarken, birbirlerinden farklı olarak "uzay" ve "zaman" bileşkelerine ayırırlar. Kurama "görelilik" sıfatının yakıştırılmasının nedeni budur. Burada sözü geçen zaman, saatlerin kaydettiği fiziksel zamandır. Psikolojik zaman algılaması ile karıştırılmaması gerekir.

Kuramın getirdiği diğer ilginç bir sonuç da, kütlenin klasik fizikteki gibi sabit olmayıp, hız ile birlikte artmakta oluşudur. Bir cisim, ışık hızına yaklaştıkça kütlesi de asimptotik (kavuşmaz) olarak sonsuza yaklaşmaktadır. Bunun fiziksel anlamı, bir cismin hiçbir zaman ışık hızına erişemeyeceğidir.

İlk yayınından (1905) üç ay sonra Einstein, "Bir cismin eylemsizliği (inertia) sahip olduğu enerjiye mi bağlıdır?" adında ve enerjinin kütleye eşdeğer olduğunu gösteren ünlü $E = mc^2$ bağlantısının bulunduğu bir makale yayımladı.

Bu önemli sonuç, yıllardan beri bir türlü çözülememiş olan, Güneş ve yıldızların enerji kaynağı sorununu da ileride çözüme kavuşturacaktır. Burada konumuz dışına fazla taşmamak için, görelilik kuramı hakkında ayrıntıya girecek değiliz, ancak şunun hemen altını çizerek belirtelim ki, klasik fiziğin tüm kazanımları aynen korunmakta olup, açıklayamadığı olaylara çözüm getirilmiştir. Görelilik kuramının denklemleri "relativistik hız" denilen, ışık hızına yakın hızlar için önem kazanmakta ve Einstein kuramının denklemleri ile Newton'unkiler arasında fark oluşmaktadır (örneğin katod ışınları, kozmik ışınlar, hızlandırıcılarda çarpışan parçacıklar vb.). Işık hızından çok küçük hızlar için, Einstein denklemleri klasik (Newton) fiziğinin denklemlerine indirgenmektedir. Yeryüzündeki en hızlı araçlar (süpersonik uçaklar, uzay füzeleri) için bile, iki kuramın verdiği sonuç arasındaki fark, gözlem ve deney verilerinin duyarlılık sınırının altında kalmaktadır.

Özel görelilik kuramının yayımından 10 yıl sonra, Einstein, ilk kuramdaki "düzgün doğrusal hareketler" için geçerlilik kısıtlamasını kaldıran ve ivmeli hareketler

ile gravitasyon (çekim) alanlarındaki hareketleri de kapsayan "genel görelilik kuramı"nı yayımladı (1915-16). Bu kuram özellikle konumuz olan kozmoloji için çok önemli sonuçlar getirmiştir.

23 | Genel görelilik kuramı ne gibi yenilik getirdi?

Bu yeni kuram, sadece özel görelilik kuramındaki "düzgün doğrusal hareket" kısıtlamasını kaldırıp, ivmeli hareketlerin dinamiğini de kapsamakla yetinmiyor, Newton kuramındaki öteden beri tartışma konusu olan "uzaktan etkili çekim kuvveti" kavramına da yeni bir yorum getiriyordu.

Klasik fizikte, çekim kütlesi (gravitational mass) ve atalet (veya eylemsizlik) kütlesi (inertial mass) olmak üzere, iki tür kütle tanımı vardır. Çekim kütlesinin etkisi yalnız çekim (gravitation) alanlarında ortaya çıkar, oysa atalet (eylemsizlik) kütlesi maddenin ayrılmaz özelliğidir.

Roland von Eötvös (1848-1919) tarafından yapılmış olan çok duyarlı deneylerle, bu iki kütlenin eşit (veya orantılı) olduğu saptanmıştır. Newton dinamiği bu olayı bir rastlantı gibi algılar. Oysa Einstein, bu eşitliğin atalet (inertia) ile gravitasyon olaylarının gizemini sakladığını düşünüyordu.

Bernhard Riemann (1826-1866), ünlü Alman matematikçi Gauss'un (1777-1855) yüzeylerin eğriliği üzerine yapmış olduğu araştırmaları üç boyutlu uzaya genelleştirerek, eğrilen (bükülen) uzay kavramını geliştirmişti. Einstein bu kavramı genel görelilik kuramında kullanarak, Newton teorisindeki çekim kuvvetlerinin maddenin (kütle-enerji), çevresindeki "uzay-zaman"ı eğip bükmesinden (eğriltmesinden) kaynaklandığını varsaydı.

Oldukça ileri düzeyde matematik gerektiren [Ricci (1853-1925) ve Levi-Civita (1873-1941) gibi matema-

tikçiler tarafından geliştirilmiş olan tansör hesabı veya mutlak diferansiyel hesap] genel görelilik kuramının denklemlerini yazacak değiliz. Ancak kuramın ana fikrini şöyle özetleyebiliriz: Uzayın eğriliği, matematiksel olarak, "uzay metriğinin katsayıları" denilen katsayılar ile tanımlanır. Genel görelilik kuramının (tansörler ile) ifade edilen denkleminde, bir tarafta "uzay-zaman"ın geometrisini (eğriliğini) belirleyen katsayılar tansörü, diğer tarafta ise madde-enerji yoğunluğu tansörü bulunur. Bu denkleme göre, madde-enerji (kütle) çevresinde bir eğrilik oluşturarak nasıl ki viraja giren tren eğik rayların yönlendirmesiyle doğru yolundan sapıyorsa, "uzay-zaman"ı eğen (büken) kütle de, çevresinden geçen cisimlerin doğru yollarından sapmalarına neden olur. Newton kuramında ise bu olay, kütlenin "çekim kuvveti" ile açıklanıyordu. Eğilen bükülen uzayın görünen etkisi, sanki bir çekim kuvvetinden kaynaklanıyormuş gibi oluştuğundan, bundan böyle, gene çekim kuvveti ve çekim alanı gibi deyimleri kullanmaya devam edeceğiz.

Böylece, uzun süreden beri tartışma konusu olmuş olan, hatta Newton'un kendisinin bile kuşku ile baktığı, hiçbir temas olmadan uzaktan etkileşen kuvvet kavramı terk edilmiş oldu.

Kütle ne kadar büyük ise, maddenin uzayı eğmesi de o derece fazla oluyor, hatta eğilip bükülen uzay kendi üzerine kapanarak (örneğin kara deliklerde olduğu gibi) dışarı ile ilişkisi kesilebiliyor.

Genel görelilik kuramının ilginç diğer bir sonucu da şudur: Kütle (madde-enerji) sadece uzayı eğip bükmekle kalmıyor, bükülen "uzay-zaman" olduğuna göre, zaman da bükülüyor. Zamanın bükülmesi olayı ise, akışının yavaşlaması şeklinde ortaya çıkıyor. Nasıl ki kütle ne kadar büyük veya ne kadar yakın ise uzay o kadar eğiliyor ise, zamanın akışındaki yavaşlama da, kütle ne kadar büyük veya ne kadar yakın ise, o kadar artıyor. Örneğin, bir gökdelenin bodrum katında çalışanlar için zaman, en üst kattakilerden daha yavaş geçmekte. Eğer çok uzun süre (yıllarca) bu şekilde çalışmaya devam ederlerse, bodrum

kattakiler, üst kattakilerden saniyenin küçük bir kesri kadar daha uzun yaşamış olacaklar. Böyle bir deney her ne kadar insanlar üzerinde yapılmamış ise de; ilk kez 1960 yılında, Harvard Üniversitesi'nin bir kulesinin en üst katı ile en alt katında demirin (Fe) bir spektral çizgisinin frekansı kıyaslanarak, alt kattaki frekansın üst kata göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Bunlar, pratikte önemi olmayan kuramsal fanteziler gibi görülebilir, ancak çok önemli uygulama alanları vardır. Örneğin, uçakların, gemilerin ve hatta özel araçların bile faydalandığı, yer tayininde kullanılan sistem (GPS = Global Positioning System) çok duyarlı atom saatleri taşıyan bir dizi uydudan oluşur. Uyduların bulunduğu yükseklikte zamanın akışı ile yeryüzündeki farklıdır.

Yeryüzündeki saatler, Yerküre'nin çekim alanına daha yakın oldukları için, uydudakilere göre daha yavaş hareket ederler, yani zaman daha yavaş geçer. Eğer bu olay göz önüne alınmaz ise, saatler arasındaki farkın gitgide artması sonucunda, yapılan yer tayinlerinde kabul edilemeyecek büyük sapmalar oluşur.

Zayıf gravitasyon alanlarında, genel görelilik kuramının denklemleri de, özel görelilikte olduğu gibi, Newton çekim yasasının denklemlerine indirgenmektedir.

24 | Genel görelilik kuramı kozmolojiyi nasıl etkiledi?

Newton paradigmasında uzay, üç boyutlu sonsuz bir Euklides uzayı olarak peşinen varsayılmıştı. Yani, içinde madde olsa da olmasa da, varlığını ve geometrik özelliklerini aynen sürdüren boş bir çerçeveden ibaret idi.

Zaman ise, mekanik denklemlerinde, eksi sonsuzdan artı sonsuza kadar değişen bir parametre idi. Evrenin geometrisi nasıldır, bir başlangıcı ve bir sonu var mıdır gibi soruların anlamı artık zaten kalmamıştı. Ünlü Alman fi-

lozof Immanuel Kant da, her ne kadar gençlik yıllarında kozmolojiyle ilgilenmiş ise de, olgunluk çağında, bu gibi soruların hiçbir zaman çözülmeyecek metafizik konular olduğunu, insan zekâsının bunları çözme sevdasından artık kesin olarak vazgeçmesi gerektiğini ileri sürmüştü. Gökbilimciler, Kant'ın bu uyarılarına 200 yıl boyunca uyarak, kozmolojiyi bilimdışı bir uğraş olarak görmeye başlamışlardı.

Görelilik kuramları ile büyük yankılar uyandırmış ve ün kazanmış olan Albert Einstein, Kant'ın bu uyarılarını boşlayarak, 1917 yılının Şubat ayında, Prusya Bilimler Akademisi'ne "Kozmolojik Düşünceler" adı altında bir bildiri sundu. Kozmolojinin bilimden dışlanmış olduğu bir dönemde, yaptığı şeyin birçok bilim insanına ters geleceğinin bilincinde olarak, arkadaşı fizikçi Ehrenfest'e şöyle demişti: "Bu yaptığımdan dolayı, benim bir akıl hastanesine konmamı isteyenler olabilir."

Bildiride Einstein, genel görelilik kuramının alan denklemlerini evrenin tümüne uygulayarak, uzay ve evrenin yapısını kuramsal olarak incelemeyi deniyordu. Daha evvelce Güneş Sistemi'ne başarı ile uygulanmış olan denklemlerin evrenin tümüne uygulanması durumunda, kararlı denge halinde olmayan bir evren elde edildiğini gördü. Oysa o dönemde (1917 yılı) yıldız hareketlerinin, yıldızların birbirlerine uzaklıklarına göre küçük olmalarından dolayı, evrenin statik denge halinde olduğuna inanılıyor ve 2000 yıl öncesinden kalmış gökyüzü haritaları ile bugün gözlenen gökyüzü arasında önemli bir fark olmayışı da buna kanıt olarak gösteriliyordu. Statik denge halinde evren elde edebilmek için Einstein, denklemlerine "kozmolojik sabit" adını verdiği Yunan alfabesinden "lambda" (λ) harfi ile gösterilen bir terim ilave etmek zorunda kaldı. Bu terimin gerekçesi olarak da bildirinin sonuna, "Bu terim, yıldızların küçük hızlarından dolayı, hemen hemen statik bir madde dağılımı elde etmek için gereklidir" şeklinde bir açıklama ekledi.

200 küsur yıl evvel Newton, kendi çekim yasasını uygularken, benzer bir güçlükle karşılaştığında, yardımına

Tanrıyı çağırmıştı. Aradan "aydınlanma çağı" ve Laplace'ın ünlü "O varsayıma gerek duymadım" sözü geçti. Bir güçlük karşısında kalan bilim insanları, artık yardıma doğadışı veya doğaüstü güçler yerine, sadece matematiksel kavramları çağırmaya başlamıştı. Bu da "bilimsel devrim ve evrim" sürecinin doğal sonucu sayılır.

25 Einstein'ın geliştirmiş olduğu statik evren modeli, bilim çevrelerinde nasıl karşılandı?

Einstein'ın evren modeli, sadece statik olmakla kalmıyor, aynı zamanda sonlu ancak sınırsız bir uzay öngörüyordu. Sonlu ve sınırsız kavramlarına biraz açıklık getirelim. Uzayın sonlu oluşu, eğriliğinden dolayı kendi üzerine kapanmış olmasından kaynaklanıyordu. Ancak, kendi üzerine kapanmış olmasından dolayı da hiçbir sınırı yoktu. Buna örnek olarak küre yüzeyini gösterebiliriz. Kürenin yüzeyi sonlu bir yüzölçümüne sahiptir, ancak şurada bitiyor denecek hiçbir sınırı yoktur, tıpkı Yerküremizin yüzeyinde olduğu gibi. Bu verdiğimiz örnek iki boyutlu bir yüzeydir, oysa uzay üç boyutludur. İki boyutlu yüzeyler için tanımlanmış kavramları, evvelce de değinmiş olduğumuz gibi Riemann, üç boyutlu uzaya genelleştirmiştir. Einstein'ın evren modelinin uzayı işte böyle bir "hiperküre" (yani iki boyuttan üç boyuta genelleştirilmiş küre) idi. Dördüncü boyut olarak zaman alındığında, hiperkürenin zaman boyunca hareketi bir silindir oluşturur. Bundan dolayı Einstein'ın evren modeline "silindirik model" denmiştir. Einstein modelinin bazı avantajları vardı. Örneğin, Olbers paradoksuna bir çözüm getiriyordu.

Aynı yıl, Hollandalı astronom Willem de Sitter (1872-1934) de genel görelilik kuramının denklemlerinden hareketle, farklı bir çözüm buldu. De Sitter'in çözümünün özelliği, yoğunluğun sıfır oluşu, yani boş bir uzay oluşun-

dan kaynaklanıyordu ve Einstein'ınki gibi statikti.

De Sitter bu çözümü İngiltere Kraliyet Astronomi Derneği'ne (Royal Astronomical Society) bildirerek, o zaman derneğin genel sekreteri olan ünlü astrofizikçi Arthur Eddington'un (1882-1944) büyük ilgisini çekmişti.

Ancak gerek kuramsal çalışmalar, gerek gözlemsel astronomideki gelişmeler, statik evren modellerinin ileride terk edilmesine neden olacaktır.

26 | Olbers paradoksu nedir?

Yaklaşık 200 yıl önce, Heinrich Wilhelm Olbers (1758-1840) adında bir Alman astronom, şöyle bir soru gündeme getirmişti: Eğer sonsuz uzayda, sonsuz sayıda yıldız düzgün olarak yayılmış ise, geceleyin gökyüzünün karanlık olmaması, pırıl pırıl ışıldaması gerekecektir.

Bu savının gerekçesini de Olbers şöyle açıklıyordu: Merkezinde bulunduğumuz bir küre alalım ve bu kürenin yarıçapı büyüdükçe nasıl bir değişim olacağını düşünelim. Işığın şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiğine göre, bu küre üzerinde bulunan yıldızların parlaklıkları uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalacaktır. Buna karşılık, eğer yıldızlar uzayda düzgün olarak dağılmış iseler, kürenin üzerindeki yıldızların sayısı, bu yüzeyin yüzölçümü ile (yani kürenin yarıçapının karesi ile) orantılı olarak artacaktır. Bu iki zıt etki birbirini yok edeceğinden, her bir küre yüzeyinde bulunan yıldızların bize göndereceği toplam ışık şiddeti aynı kalacaktır. Her katmanın bize göndereceği eşit ışık şiddetlerinin toplamının sonsuz olması gerekir. (Resim 11)

Olbers, paradoksu çözmek için şöyle bir öneride bulunmuştu: Uzay absorblayıcı (soğurucu) bir madde ile dolu olduğundan, çok uzak yıldızların ışınımı bu ortam tarafından soğuruluyor ve bize ulaşamıyor.



Resim 11: Alman astronom Olbers'in gündeme getirdiği soru, kendi adıyla anılan bir paradoksa dönüşmüştür: Eğer sonsuz uzayda, sonsuz sayıda yıldız düzgün olarak yayılmış ise, geceleyin gökyüzünün karanlık olmaması, pırıl pırıl ışıldaması gerekecektir. O dönemde konu o kadar güncelleşmişti ki, Olbers paradoksuna çare arayanlar kervanına şairler de katılmıştı. Amerikalı şair Edgar Allan Poe, 1848'de yazdığı "Eureka" adlı şiirinde, en arka planda yer alan yıldızların ışınımlarının, ışığın hızının sonlu olmasından dolayı, henüz bize ulaşamadığını ileri sürüyordu.

Ancak, ezeli (sonsuz geçmişi olan) bir evrende, soğurucu ortam ile yıldızlardan gelen ışınım arasında eninde sonunda termodinamik denge oluşacağından, soğurucu ortam da soğurduğu ışınım kadar parlak olacak ve soru gene çözülmemiş olacak.

O dönemde konu o kadar güncelleşmişti ki, astronomların derdine çare arayanlar kervanına şairler de katılmıştı. Amerikalı şair Edgar Allan Poe (1809-1849), 1848 yılında yazmış olduğu "Eureka" adlı şiirinde, en arka planda olan yıldızların ışınımlarının, ışığın hızının sonlu olmasından dolayı, henüz bize ulaşamamış olacağını ileri sürüyordu. Ancak bu çözüm önerisi de, sonsuz geçmişi olan evren kavramı ile bağdaşmıyordu.

Sorun aslında sonsuz Euklides uzayı ve ezeli (sonsuz geçmişi olan) evren varsayımlarından kaynaklanıyordu. Ancak bu kavramlar, Newton paradigmasının sonucu olarak, klasik fizikte o kadar yerleşmişti ki, terk edilmesi söz konusu olamıyor, aksi halde başka zorlukların ortaya çıkmasına neden oluyordu. Örneğin, Euklides uzayının sonlu olabilmesi için, duvar gibi bir sınır ile çevrilmesi gerekiyor. O zaman "sınır paradoksu" denilen, "Bu sınırların ötesinde ne var?" sorusu gündeme geliyor. (16. yüzyılda yayımlanmış ünlü gravürde, sınırdan öteye başını uzatıp, ne var ne yok diye bakan meraklı adamı hatırlayın. Bkz. Resim 12.)



Resim 12: 16. yüzyılda yayımlanmış bu ünlü gravürde, meraklı bir adam, başını sınırdan uzatıp ne var ne yok diye bakıyor.

Bugün, yıldızların uzayda düzgün (üniform) olarak dağılmayıp, galaksi dediğimiz topluluklar halinde olduğunu biliyoruz. Ancak, yıldızların yerine galaksileri koyarak, Olbers'in savları tekrarlanabilir.

İleride göreceğimiz gibi, "genişleyen evren" kuramı modelleri, bu sorunu çözebilmiştir.

27 | Einstein evren modeline karşı yapılan ilk kuramsal eleştiriler nelerdi?

Einstein kozmoloji modeline karşı yapılan ilk eleştiri, Alexandre Friedmann (1888-1925) adında genç bir Rus matematikçiden geldi. 1922 yılında Friedmann, o dönemin ünlü ve çok okunan bilimsel dergilerinden *Zeitshrift für Physik*'de, "Uzayın Eğriliği Hakkında" adlı bir makale yayımladı. Bu çalışmasında Friedmann, genel görelilik alan denklemlerinin, Einstein ve De Sitter'in statik çözüm-



Resim 13: 1917 Devrimi için de savaşmış, Rus matematikçi Alexander Friedmann, Büyük Patlama kuramının öncülerindendir. 1922 yılında yayımladığı makalesinde, Einstein'ın genel görelilik alan denklemlerini kullanarak, evrenin aslında statik denge durumunda değil, değişim halinde olabileceğini, evrim geçirebileceğini göstermişti.

lerinden başka, eğrilik yarıçapı zamanın fonksiyonu varsayıldığı takdirde, statik olmayan pek çok çözümü olduğunu, daha ilginci, periyodik olarak genişleyip çöken, titreşim halinde modeller de elde edildiğini gösteriyordu.

Genişleme-çökme veya "titreşme" halinde olan modellere, küllerinden yeniden doğan efsane kuşa gönderme yapılarak, Phoenix (Feniks) modeller adı verilmişti. (Resim 13)

Friedmann'ın makalesini okuyan Einstein, hemen olumsuz tepki gösterip, 18 Eylül 1922'de aynı dergiye kısa bir eleştirel yazı göndererek, Friedmann'ın bir hesap hatası yapmış olduğunu, zamana bağlı değişken çözümlerin genel görelilik kuramı ile bağdaşmadığını ve söz konusu çalışmanın sonuçlarının kuşkulu olduğunu bildirdi.

Bu eleştirel notu okuyan Friedmann, bir mektup ile, kendi hesaplarının doğruluğunu göstererek, Einstein'ın dergiye bir düzeltme göndermesini rica etti. Ancak mektup, büyük fizikçinin eline çok geç geçti, çünkü o sırada Japonya'ya kadar uzanan bir yolculuğa çıkmıştı. Altı ay sonra döndüğünde, dergiye, "Friedmann'ın elde etmiş olduğu sonuçların doğru ve aydınlatıcı olduğunu görüyorum; bunlar, alan denklemlerinin, statik çözümlerden başka, dinamik (yani zaman ile değişen) çözümler de içerdiğini göstermektedir" şeklinde yeni bir not gönderdi. Ancak bu notun orijinalinde, "Bu çözümlere fiziksel bir anlam vermek oldukça güçtür" ifadesinin üzerini, dergiye gönderirken çizmiş olduğu görülmüştür. Bu da göstermektedir ki, Einstein, dinamik yani evrilen bir evren kavramına hâlâ sıcak bakmamaktadır.

Bu olaydan sonra, bir arkadaşına yazdığı mektupta Friedmann: "...herkes benim Einstein ile mücadelem ve son zaferimden çok etkilendi" diyerek sevincini ifade etmiştir. Periyodik çözümlerin genişleme-çökme sürelerinin kuramsal hesaplanmasından da, evrenin yaşı için, Friedmann 10 milyar yıllık bir süre bulmuştu. Bu da, bugün evrenin yaşı diye ileri sürülen değerlere çok yakındır.

Friedmann öncesi kozmolojide evren statik denge halinde, her türlü evrimden yoksun varsayılıyordu. Friedmann evrenin değişebileceğini, yani bir evrim olabileceğini göstererek öncü bir rol oynamıştır. Çok yetenekli bir matematikçi olan Friedmann'ın bu ilginç araştırmaları, ne yazık ki, 1925 yılında genç yaşta ölümüyle yarım kalacaktır.

28 | 20. yüzyılın başına gelindiğinde, gözlemsel astronominin durumu nasıldı? Evrime yer var mıydı?

Kuramsal kozmolojideki gelişmeleri açıklayabilmek için, gözlemsel astronominin ne durumda olduğunu kısaca gözden geçirmekte fayda var.

Evvelce de değinmiş olduğumuz gibi, Newton'un temellerini atmış olduğu mekanik, gezegenlerin, kuyruklu-yıldızların vb. hareketlerine uygulanarak o kadar başarılı sonuçlar elde edilmişti ki, yıllar boyunca, gökbilimcilerin ilgilerinin odak noktası Güneş Sistemi olmuştu. Bu araştırmalar, her ne kadar ilginç sonuçlar vermiş ise de, eğer gökbilimciler yalnız Güneş Sistemi ile ilgilenmiş olsalardı, evren hakkındaki bilgimiz, köyünden hiçbir zaman çıkmamış bir kimsenin dünya hakkındaki bilgisi kadar eksik olurdu.

Galileo Galilei, birçok ilginç gözlem yanında, gökyüzünü bir bulut kuşağı gibi çevreleyen Samanyolu'na da dürbününü çevirmiş ve onun aslında, çıplak gözle görüldüğü gibi bir bulut olmayıp, gözle ayırt edilemeyecek kadar sö-

nük binlerce yıldız görüntüsünün üst üste çakışmasından oluştuğunu kanıtlamıştı.

18. ve 19. yüzyıllarda, William Herschel (1738-1822) ve oğlu John Herschel (1792-1871), Galilei'nin başlatmış olduğu bu gözlemleri sürdürdüler. Her ne kadar, eskiçağlarda sanıldığı gibi, yıldızların tümü bir kubbe üzerine asılı kandiller olmayıp, her birinin çok farklı ve akıl almayacak kadar büyük uzaklıklarda uzaya dağılmış oldukları artık anlaşılmış ise de, gerçek uzaklıkları henüz bilinmiyordu. İlk yıldız uzaklığı ölçümü ancak 1836 yılında gerçekleştirebilmiştir.

Baba oğul Herscheller, yıldız görüntüleri sönükleştikçe, istatistiksel olarak, daha uzak olacakları varsayımından hareket ederek, yıldız sayımları yapıyor ve uzaydaki dağılımlarını saptamaya çalışıyorlardı. Herschellerin bu çalışmaları ilginç bir sonuç verdi: Gördüğümüz bütün yıldızların oluşturduğu topluluk, az çok dairesel, yassı bir dışbükey mercek biçimindedir. Yıldız topluluğuna genişliği doğrultusunda baktığımız zaman, çok sayıda yıldız görüntüsü üst üste çakıştığından, gökyüzünü bir bulut gibi sarmalayan ve halk arasında Samanyolu diye bilinen görüntü oluşmaktadır. Buna dik doğrultuda ise, seyrekleşen yıldızları teker teker ayırt edebilmekteyiz. Bilimsel literatürde bu topluluğa "galaksi" adı verilmektedir.

Samanyolu (veya galaksi) içerisinde, yıldızlardan başka bir de bulutumsu bazı gökcisimleri görülmüş ve bir gaz bulutundan oluştukları varsayılarak, bunlara, Latince bulutumsu anlamına gelen "nebula" adı verilmişti. Ancak nebulaların nitelikleri tartışına konusu idi. (Resim 14)

William Parsons (1800-1867) adında İrlandalı bir astronomi meraklısı, babasının ölümünden sonra Lord Ross unvanını alarak büyük bir servete kavuşunca, uzun süreden beri özlemini çektiği düşünü hemen gerçekleştirdi ve 1845 yılında şatosunun bahçesine 182 santimetre çapında dev bir teleskop inşa ettirdi. Bu teleskop, 70 yıl sonra ABD'de Wilson Dağı'ndaki 254 santimetrelik teleskop hizmete girinceye kadar, dünyanın en büyüğü unvanını koruyacaktır.



Resim 14: Üstte, Uranüs'ü keşfeden William Herschel'in 1,2 m çapında ve 12 m uzunluğundaki dev teleskobu. Teleskop metrelerce uzun olduğundan, doğru yöne çevirene kadar dakikalar geçiyordu ve mercek bakırla güçlendirildiğinden çabuk kararıyor ve ışığı yakalama kapasitesi azalıyordu. Gene de William Herschel, kızkardeşi Caroline ile birlikte, bu teleskobun başında sayısız gece geçirdi. Ve emekleri meyvesini verdi: Herschel'in yaptığı yıldızların uzaklığı ve dağılımı çalışmaları sonucunda, gördüğümüz bütün yıldızların az çok dairesel, yassı bir dışbükey mercek biçiminde bir topluluk oluşturacak şekilde toplandığı anlaşıldı. Bu galaksimizdi. **Altta,** William Parsons'un Lord Ross unvanını alarak büyük bir servete kavuşunca yaptırorak hayalini gerçekleştirdiği, 182 cm çapındaki, 16,5 m uzunluğundaki dev teleskop. 70 yıl sonra ABD'de Wilson Dağı'ndaki 254 santimetrelik teleskop hizmete girinceye kadar, dünyanın en büyük teleskobu unvanını korudu. Beş işçi çıkrıklar, vinçler ve takozlar yardımıyla teleskobu doğru yöne çevirmeye uğraşırken, Parsons, gözlemlerini yaptığı asma katta, dengesini korumaya çalışırdı. Parsons, bu zahmetli gözlemler sonucunda nebulaların spiral (sarmal) bir yapıya sahip olduğunu gösterdi. Bu canavarın kontrolü o kadar uğraştırıcı oluyordu ki, halk teleskoba Parsonstown'ın Leviathan'ı adını takmıştı.



Büyük bir şevkle gözlemler yapmaya başlayan Lord Ross'un önemli buluşları arasında, nebula (bulutumsu) diye adlandırılmış olan gökcisimlerinin bazılarının, bir eksen çevresinde dönüyormuş gibi sarmal (spiral) bir yapıya sahip olduklarını göstermesi olmuştur. Lord Ross, bu bulutumsuların bir kısmının içerisinde yıldızlar da ayırt etmeyi başararak, sarmal nebulaların sanıldığı gibi gaz bulutundan ibaret olmayıp, yıldız kümelenmesi olduğunu kanıtlamıştı.

20. yüzyılın başına gelindiğinde iki görüş vardı: Hollandalı Jacobus Kapteyn (1851-1922), sarmal nebulaların Samanyolu dışında, bağımsız sistemler olduğunu savunuyor; Wilson Dağı'ndaki gözlemevinde çalışan Harlow Shapley (1885-1972) ise bu görüşe karşı çıkarak, sarmal nebulaların da Samanyolu'nun bir parçası olduğunu ileri sürüyordu. ABD Ulusal Bilimler Akademisi, konuyu açıklığa kavuşturmak için, 1920 yılında "Büyük Tartışma" diye adlandırılan bir toplantı düzenledi. Lick Gözlemevi'nden Heber Curtis (1872-1942), Kapteyn'in görüşünü Shapley'e karşı savunacaktı. Ancak o dönemde sarmal nebulaların uzaklıkları henüz bilinmediğinden, kimse birbirini inandıramadan toplantı dağıldı. (Resim 15)

Resim 15: Harlow Shapley (solda) - Heber Curtis (sağda), "Büyük Tartışma"nın iki tarafı. ABD Ulusal Bilimler Akademisi'nin 1920'de düzenlediği "Büyük Tartışma" toplantısında, dönemin evrenle ilgili iki görüşü temsil edilmişti. Shapley, o güne dek gözlenen sarmal nebulaların galaksimiz Samanyolu'nun bir parçası olduğunu; Heber Curtis ise, sarmal nebulaların Samanyolu dışında, bağımsız sistemler olduğu görüşünü savunuyordu. Tartışmanın sonlanması Hubble'ın gözlem sonuçlarını bekleyecekti.





Resim 16: Henrietta Leavitt, menenjit sonucu işitme duyusunu yitirmiş bu kadın, Harvard Koleji Rasathanesi'nde çalışan bir gönüllüyken, kozmolojiyi derinden etkileyen bir buluşa imza attı. Fotoğraf plakalarını inceleyerek, 2400 değişken yıldız keşfetmişti. Ama asıl önemli katkısı, değişken Cepheid yıldızlarının parlaklıkları ile değişim periyotları arasındaki bağlantıyı çözmüş olmasıydı. Böylece Cepheid yıldızları, evrende uzaklık tayinlerinde kullanılmaya başlandı.

1916 yılında, o zaman dünyanın en büyük teleskopu olan Wilson Dağı'ndaki 254 santimetrelik teleskopun bulunduğu gözlemevinin direktörü, nebulalar üzerinde çalışmak üzere Edwin Hubble (1889-1953) adında genç bir astronomu görevlendirmek istedi. Ancak ABD'nin 1. Dünya Savaşı'na girmesi üzerine, bu genç Avrupa'da cepheye gidince görev yarın kalmıştı. Hubble çalışmasına ancak savaşın bitiminden sonra, 1919 yılında başlayabildi. (Resim 16)

Hubble 1923 yılında, Andromeda sarmal nebulası içerisinde, Cepheid (Sefeid) denilen türden değişken bir yıldız saptayarak, Henrietta Leavitt adındaki kadın astronomun önceki yıllarda bulmuş olduğu, Cepheidlerin değişken parlaklıkları ile değişim periyotları arasındaki bağlantıdan faydalanarak geliştirilmiş olan uzaklık tayini yöntemini kullanarak, Andromeda nebulasının, Samanyolu'nun boyutlarının çok ötesinde olduğunu kesin olarak saptadı. Bu sonucu 1924 yılında Amerikan Astronomi Derneği'ne (American Astronomical Society) bildirdi. Böylece 1920 yılındaki tartışmalar da son buldu ve sarmal nebulaların bağımsız yıldız toplulukları oldukları anlaşıldı.(Resim 17)

Hubble bu başarı ile yetinmeyerek, konu üzerinde yeni araştırmalar yapmaya devam ediyordu. Yıllarca önce astronomiye yeni başlamış genç bir öğrenciyken, Vesto Slipher (1875-1969) adında bir astronomun konferansında



Resim 17: Edwin Hubble, döneminin en önemli gözlemsel astronomu oldu. Hubble'ın ilk başarısı, Andromeda nebulasının uzaklığının Samanyolu'nun boyutlarının çok ötesinde olduğunu keşfetmesiydi. Ardından yardımcısı Milton Humason ile birlikte, birçok galaksinin Samanyolu'ndan uzaklaştığını keşfetti. Bir sonraki adımda Hubble, galaksilerin bize olan uzaklıklarıyla hızları arasında da doğrusal bir bağlantı olduğunu bularak, Büyük Patlama kuramına giden yolda, önemli bir kanıt sağladı.

dinlemiş oldukları hatrına geldi. 1914 yılındaki bu konuşmasında Slipher, birçok sarmal nebulanın radyal (görüntü doğrultusunda) hızlarının ölçümlerini yapmış ve garip bir sonuç bulmuş olduğunu açıklamıştı. Bize hızla yaklaşmakta olan Andromeda Nebulası'nın dışında, diğer sarmal nebulaların hemen hepsi büyük hızlarla uzaklaşmaktaydı. Slipher'in bu ilginç gözlemi, o zaman Hubble'ın dikkatini çekmiş, ancak savaşın araya girmesiyle konu üzerinde çalışmaya fırsat bulamamıştı.

Hubble, Andromeda'nın uzaklık tayinindeki başarısından sonra, bu konuya el atmaya karar verdi. Slipher'in radyal hız verilerine ilave olarak kendi yardımcısı Milton Humason'un (1891-1972) elde ettiklerini de kullanarak (Resim 18), Andromeda için yaptığı gibi, bu nebulaların da uzaklıklarını tayin etti ve sonuçları bir diyagram üzerinde görüntüledi: Diyagramda uzaklıklar absis, hızlar ise ordinat olarak gösterilmişti.

Elde edilen noktalar, bir doğru üzerinde kümeleniyor, yani hız ile uzaklık arasında lineer (doğrusal) bir bağlantı olduğu görülüyordu.

Radyal hızları v ile uzaklıkları da r ile gösterecek olursak, Hubble yasası denilen bu bağlantı $v = Hr$ şeklinde yazılabilir. H (orantı) katsayısına Hubble sabiti denmektedir.

Bu elde ettiği sonuçları Hubble 1929 yılında Ulusal Bilimler Akademisi Yayınları'nda (Proceedings of the Natio-



Resim 18: Hubble'in yardımcısı Milton Humason, astronomi tarihine geçişini, sabrı, titizliği azmi ve öğrenme tutkusuna borçlu, sıradışı bir insan. Humason, Wilson Dağı Gözlemevi'nin yakınındaki astronomların kaldıkları Wilson Dağı Oteli'nde bellboyken, dağın tepesindeki Gözlemevi'ne erzak ve alet taşıyan katırları çekmeye başladı. Sonra Gözlemevi'nde hizmetli oldu ve her geçen gün astronomlar ve yaptıkları iş hakkında yeni yeni şeyler öğrendi. Bir öğrenciden matematik dersi alarak, öğrendiklerini daha iyi kavradı. Gözlemevi'ne girdikten üç yıl sonra fotoğraf bölümüne alındı, bundan iki yıl sonra da tam zamanlı bir astronomi asistanı idi. Hubble ve Humason birlikte 46 galaksinin uzaklıklarını ve Doppler kaymalarını ölçtüler.

nal Academy of Science of the U.S.A.) yayımladı.

Hubble ve Humason, iki yıllık bir çalışmadan sonra, 1929'daki yayınlarında kullanmış oldukları galaksilerden 20 kat daha uzak galaksilere kadar radyal hız ve uzaklıkları ölçerek, 1931'de yeni bir yayın ile radyal-hız ile uzaklık arasındaki doğrusal bağlantıyı bir kez daha doğrulayan yeni bir çalışma yayımladılar.[6]

29 | Radyal hız nedir? Nasıl ölçülür?

Gözlemciden, gözlenen cisme doğru çizilen doğrultuda uzaklaşma veya yaklaşma hızlarına "radyal hız" denir.

Düdüğünü çalarak bizden uzaklaşan bir trenin (veya klakson çalarak uzaklaşan arabanın) düdük (veya klak-

6) E. Hubble ve M. L. Humason, "The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae", *Astrophysical Journal*, 74, 1931.

son) sesinin gittikçe pesleştiğine, aksine yaklaşıyor ise sesin perdesinin tizleştiğine herkes tanık olmuştur. Bu olaya fizikte "Doppler olayı" denir. Aynı olay, ışık için de geçerlidir. Bize ışık gönderen cisim uzaklaşıyor ise, gönderdiği ışığın dalga boyunda bir uzama, yani kırmızıya kayma, eğer yaklaşıyor ise, dalga boyunda bir kısalma, yani mora kayma olur. Dalga boyundaki uzama veya kısalma miktarının dalga boyuna oranı, cisinin uzaklaşma veya yaklaşma hızının ışık hızına oranına eşittir. Ancak, en hızlı hareket eden cisimlerin bile hızları genelde ışık hızına göre küçük olduğundan, ışığın dalga boyundaki kırmızıya veya maviye kaymanın gözle anlaşılmasına olanak yoktur. Ancak gelen ışığın spektrunu (tayfı) üzerindeki soğurma veya ışıma çizgilerinin spektrumdaki yer değiştirmeleri (yani kırmızıya veya mora kaymaları), bize göre hareketsiz duran bir kaynaktan gelen ışınımın spektrumu ile kıyaslanmak suretiyle ölçülebilir.

Radyal hız ölçümlerinde, cismin uzaklığının bilinmesine gerek yoktur. Çok uzakta olan gökcisimlerinin radyal hız ölçümleri, yakın olanlarınki kadar duyarlı ölçülebilmektedir. Günümüzde gözlemler, çok uzak gökcisimlerine kadar uzanmakta olup, radyal hızları ışık hızına yaklaşan cisimler de gözlenebilmektedir. Bu durumda, yukarda sözünü ettiğimiz Doppler yasasının, ışık hızına yakın hızlar için geçerli olan relativistik şekli uygulanmaktadır.

30 | Astronomide uzaklıklar nasıl ölçülür?

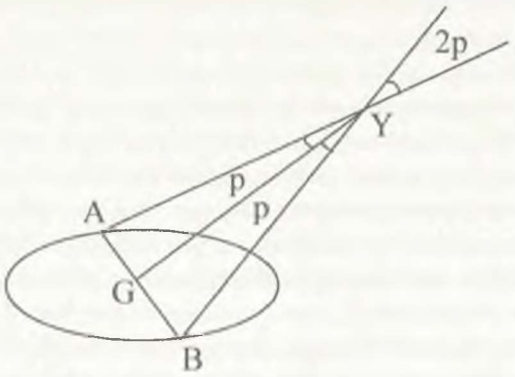
Bütün uzaklık ölçümlerinin temeli, yeryüzünün ölçümünde de kullanılan üçgenleme (triangulation) yöntemidir. Uzaklığı ölçülmek istenen (Y) noktası, aralarındaki (AB) uzaklığı bilinen iki A ve B gözlemci tarafından gözlenerek, (YAB) üçgeninin açıları ölçülür. Ancak sıra yıldızların uzaklık ölçümüne gelince, yeryüzündeki hiçbir (AB)

uzunluğu (baz) bu işlem için yeterli değildir. Daha büyük bir baz elde etmek için, yerkürenin Güneş çevresindeki yörüngesi üzerinde, altı ay ara ile bulunduğu (A) ve (B) noktaları (yani yerküre-Güneş uzaklığının iki katı) kullanılır. Astronomide bugün uzaklık ölçümlerinde, fotografik yöntem kullanılmaktadır. Uzaklığı ölçülmek istenen (Y) yıldızının bulunduğu bölgenin altı ay ara ile fotoğrafı çekilir. Fotoğraf plakları üst üste konduğu zaman, çok uzak olan yıldızların görüntüleri çakışır (üst üste gelir). Daha yakın olan ve uzaklığı ölçülmek istenen (Y) yıldızının ise, paralaksal yer değişiminden dolayı, birbiriyle çakışmayan farklı iki görüntüsü vardır. Plak üzerinde, bu görüntüler arasındaki uzaklık ölçülerek, (dürbünün odak uzaklığı bilindiğinden) (AY) ile (BY) doğrultuları arasındaki açı bulunur. Bu açının yarısı, yıldızın p paralaks açısı olarak tanımlanır (Yunanca paralaksis, yer değişimi).

Paralaks açısının maksimum değeri, Güneş'i (Y) yıldızına birleştiren (GY) doğrusu ile (AB) doğrusunun dik olduğu zamandır. Bunun için gözlem zamanları, Güneş'in ekliptik üzerinde ölçülen boylamının, yıldızın boylamından 90° ile 270° büyük olduğu (aralarında altı ay süre geçen) zamanlar seçilir.

Paralaks açısı bir yay saniyesi olan uzaklık, birim olarak kabul edilmiş ve bu birim uzaklığa parsek (parallax-second'm kısaltılması) adı verilmiştir. Trigonometriden kolayca bulunacağı gibi, bu uzaklık, Güneş-Yerküre uzaklığının 206265 katıdır. En yakın yıldızların bile paralaks açıları bir yay saniyesinden küçük olduğundan, bir yıldızın parsek cinsinden uzaklığı, p paralaks açısının tersi, yani uzaklık = 1/p olur. (Şekil 1)

Örneğin Güneş'e en yakın yıldız "Proxima Centauri"nin paralaksı p=0,76 yay saniyesi, yani uzaklık 1,3 parsektir. Yıldız uzaklıklarında kullanılan bir uzaklık birimi de, ışığın bir yılda gittiği yol olan "ışık yılı"dır. 1 parsek = 3,26 ışık yılı eder. İlk trigonometrik yıldız paralaksı ölçümleri, 1836 yılında, Almanya'da Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) ve Rusya'da Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864) tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Altı ay ara ile Yerküre'nin bulunduğu A ve B konumlarında yapılan gözlemlerle bir yıldızın (Y) paralaks açısının ölçümü. Bu çizimde oranlar p paralaks açısını iyi belirtmek ve şekli sayfaya sığdırabilmek için, abartılı şekilde değiştirilmiştir. Aslında Güneş'e en yakın yıldız için bile p açısı bir yay saniyesinden küçük, yani GY uzunluğu, AB uzunluğunun yüz bin katından büyüktür.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 1989 yılında yörüngeye yerleştirilmiş ve 1993 yılına kadar çalışmış olan HIPPARCOS (High Precision Parallax Collecting Satellite) uydusu ile yapılan paralaks ölçümleri, yeryüzünden yapılan ölçümlere göre çok daha duyarlıdır ve daha uzak yıldızların paralaks açıları ölçülebilir. Ancak söz konusu galaksiler olunca, o kadar uzaktadırlar ki, trigonometrik paralaks ölçümleriyle bir sonuç elde etmek olanaksızdır.

Evvelce de belirtmiş olduğumuz gibi, Hubble, galaksilerin uzaklığını saptamak için, değişken Sefeid (Cepheid) yıldızların parlaklık değişimlerinin periyodu ile mutlak parlaklıkları (gerçek parlaklıkları) arasındaki bağlantıdan faydalanarak geliştirilmiş olan yöntemi kullanmıştır.

Sefeid değişken yıldızlarındaki parlaklık-periyot bağlantısını, ilk kez, Amerikalı kadın astronom Henrietta Swan Leawitt (1868-1921) Harvard Gözlemevi'nde, Arequipa (Peru) Gözlemevi'nde elde edilmiş olan fotoğraflar üzerinde Magellan Bulutları'ndaki değişken yıldızları incelerken 1912 yılında saptamıştır.

Magellan Bulutları'nın uzaklığı o zaman bilinmediğinden, Leawitt'in yapmış olduğu gözlem, Sefeidlerin ışık-

değişim periyodu ile "görünen" parlaklıkları arasındaki bağlantıdır. Bu yıldız topluluklarındaki yıldızların hemen hemen hepsinin aynı uzaklıkta oldukları varsayılabileceğinden, Leawitt haklı olarak, bu periyot-görünen parlaklık bağlantısının, aynı zamanda periyod-mutlak parlaklık arasında da geçerli olacağına dikkati çekmiştir. Ancak bu bağlantının "kalibrasyonu" (yani görünen parlaklıkların mutlak parlaklıklara dönüştürülmesi) işlemi kalmıştır.

Onu da, Wilson Dağı Gözlemevi'nden Harlow Shapley, başka yöntemler kullanarak, Samanyolu içerisindeki bazı Sefeidlerin uzaklıklarını saptamak yolu ile 1918 yılında gerçekleştirebilmiştir.

Değişken Sefeid yıldızlarının ışık değişim periyodu kolayca gözlenir. Işık şiddeti de uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiğine göre, periyot-mutlak parlaklık bağlantısından elde edilen mutlak parlaklık ile görünen parlaklık kıyaslanarak, uzaklık hesaplanabilir. Sefeidler genelde çok parlak yıldızlar olduklarından, galaksiler gibi çok uzak gökcisimlerinin uzaklık tayininde çok önemli rol oynamaktadırlar.

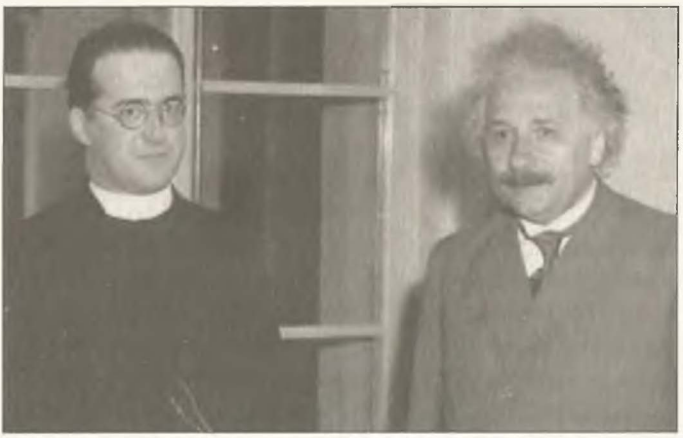
Sefeidlerin bile gözlenemeyeceği kadar uzak olan galaksiler için ise, süpernovalar veya galaksinin toplam parlaklığı gibi değişik yöntemler geliştirilmiştir.

5. Bölüm
BÜYÜK PATLAMA

31 | Friedmann'dan sonra bu konuda kuramsal çalışmalar yapıldı mı?

Friedmann'dan sonra relativist kozmoloji konusunda yapılan en önemli çalışma, Georges Lemaitre (1894-1966) adında Belçikalı genç bir matematikçi tarafından gerçekleştirildi. Lemaitre, genel görelilik kuramının denklemlerinden hareketle, Friedmann'ın çözümüne benzer, yani statik olmayan bir çözüm elde etmişti: Genişleyen evren modeli.[7] 1927'de yayımlanan bu makalenin adından da anlaşılacağı gibi, Lemaitre ABD'de bulunduğu sırada, sarmal nebulaların radyal hız ölçümleri üzerinde Vesto Slipher ve Hubble'ın yaptıkları gözlemsel çalışmalardan haberdardı ve artık 1924'den beri, Samanyolu dışında oldukları bilinen galaksilerin spektrumlarındaki kırmızıya kaymaları (red-shifts) kuramsal olarak açıklamayı deniyordu. Daha da ilginci, radyal hızlar ile uzaklıklar arasındaki lineer bağlantıyı, Hubble'dan iki yıl önce ve orantı

7) "Un Univers Homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, série A, Vol.47, 1927.



Resim 19: Aynı zamanda Katolik bir rahip olan George Lemaitre ve Einstein. Lemaitre, genel görelilik kuramının denklemlerinden hareketle, Friedmann'ın çözümüne benzer, yani statik olmayan bir çözüm elde etmişti: Genişleyen evren modeli. Lemaitre, dini görüşlerinin bilimsel görüşlerini etkilemediğini savunuyordu: "Yüzlerce profesyonel ve amatör bilim adamı *İncil*'in bilim öğrettiğini düşünüyorlar. Bu, bilim teorilerinin dini dogma içerdiğini düşünmekle eşdeğerdir" diyordu.

katsayısını onunkine çok yakın olarak vermiş olmasıdır. (Resim 19)

Bilim tarihçisi Helge Kragh, galaksilerin uzaklıkları ile uzaklaşma hızları arasında Hubble yasası diye bilinen bağlantının, Lemaitre yasası olarak da adlandırılabileceğini öne sürmüştür.[8] Lemaitre'in bu modelinde evrenin, eğriliği pozitif, monoton genişleme halindedir ve zamanda geriye doğru gidildikçe, asimptotik olarak Einstein'ın statik modeline yaklaşmaktadır. Yani başlangıç singülaritesi (tekilliği) yoktur (Singular/tekil nokta, bütün fizik büyüklüklerin sonsuz büyük değerlere ulaştığı noktadır.) Zamanda ileriye doğru gidildikçe, sıfır yoğunluktaki De Sitter modeline yaklaşmaktadır. Yani bu model, tam anlamı ile bir Büyük Patlama (Big Bang) modeli değildir, başlangıcı ve dolayısıyla yaşı yoktur. Denge durumu bozulan Einstein modelinin genişleyerek De Sitter modeline doğru evrilmesi olarak algılanabilir.

8) Helge Kragh, *Cosmology and Controversy*, Princeton University Press, 1996.

Lemaitre, kozmolojik sabit teriminin pozitif olduğu zaman bir "itme kuvveti" niteliğinde olduğunu ilk kez göstermiştir: Küçük uzaklıklarda ihmal edilebilecek değerde olan, ancak uzaklık büyüdükçe gittikçe etkisi önem kazanan uzaklık ile orantılı bir itme kuvveti.[9] Bundan dolayı, genel görelilik kuramı örneğin Güneş Sistemi'ne uygulanırken kozmolojik sabit göz önüne alınmamıştır. Lemaitre, gravitasyon ile kozmolojik sabitin oluşturduğu itme kuvveti arasındaki dengenin bozulması sonucu, Einstein'ın statik modelinin genişlemeye başlamış olduğunu varsaymıştır.

Eddington da, bu iki kuvvet arasındaki dengenin kararlı olamayacağını ve dengenin er geç bozulacağını gösterecektir.[10] Lemaitre'in 1927'deki bu çalışması, Friedmann'ınki gibi öncü niteliğindedir, ancak aynı kaderi paylaşmış ve bilim çevrelerinde hemen hemen hiçbir yankı uyandırmamıştır. Bu ilgisizliğin nedeni, çalışmanın pek fazla okuyucusu olmayan yerel bir Belçika bilimsel dergisinde yayımlanmış olması ile kısmen açıklanabilir. Ancak asıl önemli neden, bilim çevrelerinin henüz evrim halinde dinamik bir evren kavramına sıcak bakmamalarıdır.

24-29 Ekim 1927 tarihlerinde Brüksel'de toplanan ve dönemin en önde gelen bilim insanlarını bir araya getirmiş olan 5. Solvay Kongresi'nde, Lemaitre bir ara Einstein ile bu konu üzerinde konuşma fırsatı bulur. Einstein, makaleyi görmüş olduğunu, matematik bakımdan mükemmel, ancak fizik bakımdan "berbat" (Fransızca olarak: "tout à fait abominable") bulduğunu söyleyerek, Belçikalı genç matematikçiyi düş kırıklığına uğratır. Lemaitre, makalesini, vaktiyle Cambridge'de yanında çalışmış olduğu, o dönemin en ünlü astrofizik otoritelerinden A. S. Eddington'a da göndermiş ve ondan da hiçbir yanıt alamamıştır. Büyük olasılıkla, Eddington hiç okumadan

9) G. Lemaitre, "Note on the Sitter's Universe", *Journal of Mathematics and Physics*, Vol.4, 1925.

10) A. S. Eddington, "On the Instability of Einstein's Spherical World", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.4, 1925.



Resim 20: 24-29 Ekim 1927 tarihlerinde Brüksel'de toplanan 5. Solvay Kongresi'nde dönemin en önde gelen bilim insanları bir araya gelmişti. Lemaitre bu kongrede bir ara Einstein ile genişleyen evren modeli üzerine konuşma fırsatı bulur. Einstein, makaleyi gördüğünü, matematik bakımdan mükemmel, ancak fizik bakımdan "berbat" bulduğunu söyler.

yazıyı dosyasına koymuştur. (Resim 20)

Çalışmasını bilim çevrelerine tanıtmak için Lemaitre'in eline son bir fırsat geçer. 1930 yılının Ocak ayında Londra'da toplanan "Royal Astronomical Society"nin bir raporunu okurken, Eddington ile De Sitter arasında, galaksilerin spektrumlarında gözlenen "kırmızıya kayma" olayının nasıl çözüleceği konusu üzerinde yapılan tartışmalarda, Eddington'un "Bir çözüm bulunamamış olması belki, şimdiye kadar yalnız statik evren modellerinin göz önüne alınmasından kaynaklanıyor" açıklamasını görür ve anlar ki, Eddington ile De Sitter, kendisinin çözmüş olduğu problemi tartışmaktadırlar.

Hemen Eddington'a bir mektup göndererek, 1927'deki makalesini hatırlatır. Bu sefer Eddington genç matematikçinin çalışmasının önemini kavrayarak, İngilizce'ye çevirtip, astrofizik çevrelerinin en çok okunan saygın dergilerinden *Montly Notices*'de yayımlatır.[11]

Eddington, De Sitter ve Einstein, bu çözümün doğru çözüm, hiç değilse doğruya en yakın çözüm olduğunda uzlaşırlar. Böylece Lemaitre'in çalışması, bilimsel çevrelerce tanınarak, üzerinde tartışmalar yapılmaya başlanır

11) G. Lemaitre, "A Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae", *Monthly Notices of the Royal Society*, Vol.91, 1931.

ve "genişleyen evren" kuramı, kozmolojinin yeni paradigması olmaya aday gibi görülmeye başlanır.

Ancak tekrar hatırlatalım, bu model bir Büyük Patlama (Big Bang) modeli değildir; bir başlangıcı olmayıp, ezelden (yani sonsuz uzun süreden) beri var olan statik Einstein evreninin, dengesini kaybederek genişlemeye başlamış olmasını öngörür.

32 | Genişleyen evrenden Büyük Patlama'ya (Big Bang) nasıl geçildi?

Eddington, De Sitter ve Einstein'ın, doğruya en yakın diye uyuştukları bu çözümden sonra, Lemaitre beklenmedik bir adım atarak, tekil (singular) bir durumdan başlayıp genişleyen bir model geliştirir: Evrenin, "primitif atom" dediği tek bir kuantumdan bozunma (desintegration) yoluyla genişlemeye başladığını varsayar.[12] Bu çalışmasında Lemaitre, evrenin tekillikten başlayan genişleme sürecini 3 evreye ayırmıştır: 1) Tekillikten başlayan hızlı genişleme, 2) Genişlemenin yavaşladığı duraklama (stagnation) ve 3) Duraklama döneminde oluşan yerel yoğunlaşmaların çekme ile itme kuvveti (kozmolojik sabit) arasındaki dengeyi bozmasıyla yeniden genişlemenin başlaması. İşin ilginç tarafı, bu yeni çalışması, ilk çalışmasının İngilizce çevirisiyle birlikte derginin aynı sayısında yayımlanır.

Tekil (singular) başlangıç kavramının hemen bazı çevrelerce "yaratılış" ile özdeşleştirilme gayretleri tepkiyle karşılanır ve aynı zamanda rahip kimliği de olan Belçikalı genç matematikçinin dışlanmasına neden olur. Eddington "Felsefi olarak, doğanın bugünkü düzeninin bir başlangıcı olduğu kavramı bana itici gelmektedir" der. Daha önce

12) G. Lemaitre, "The Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.91, 1931.

de "Bir bilim adamı olarak Evrenin bir bang ile başladığına inanmıyorum" demişti.[13] Eddington'un kullandığı "bang" sözü, yıllarca sonra, gene Cambridgeli bir astrofizikçi olan Fred Hoyle (1915-2001) tarafından ortaya atılan "Big Bang" deyimine belki esin kaynağı olmuştur.

"Lemaitre, tam olarak 1927'deki çözümü bilim çevrelerince olumlu karşılanmaya başladığı sırada, neden tekillikten başlayan yeni bir model geliştirmeye gereksinme duydu?" diye bir soru hatıra gelebilir. Evrenin bir başlangıcı olabileceği varsayımı, kısmen Friedmann'ın tekil başlangıç içeren çalışmalarını yeni öğrenmiş olmasından, kısmen de o sırada yeni gelişmekte olan kuantum fiziğinden esinlenerek, evrenin bir ilkel kuantumdan oluşmuş olduğu düşüncesinden kaynaklanmış olabilir.

Bu konuda, ünlü *Nature* bilim dergisine de 9 Mayıs 1931'de bir mektup göndererek, evrenin büyük ölçekteki yapısı ile kuantum fiziği arasında bir bağ kurmak isteğini açıklar. Böylece, bugün "kuantik kozmoloji" denilen bilim dalının da temelini atmış sayılır.

Bu arada, statik evren modellerinin iki öncüsü Einstein ve De Sitter de boş durmayarak, 1932 yılında yeni bir model geliştirirler. Kozmolojik sabitin sıfırlandığı ve kritik yoğunlukta olan bu modelin uzayı düzdür, yani bir Euklides uzayıdır.

Einstein ve De Sitter'in 1917'deki statik modelleri ile karıştırılmaması gereken ve kısaca EdS modeli diye gösterilen bu model, evrenin boyutunun zaman ile değişimi için oldukça basit bağlantılar vermektedir. Radyasyon yoğunluğunun egemen olduğu erken dönemde, evrenin boyutu, zamanın karekökü ile orantılı olarak, radyasyon yoğunluğunun ihmal edilebilecek düzeye geldiği ve madde yoğunluğunun egemen olmaya başladığı ileriki dönemde ise, zamanın (2/3) kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir.[14]

---

13) A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge University Press, 1928.

14) A. Einstein, W. De Sitter, "On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, Vol.XVII, 1932.

Özellikle, radyasyon yoğunluğunun egemen olduğu evrenin erken dönemi için, T mutlak sıcaklık derecesinin zaman ile değişimi çok basit bir bağlantı ile verilmektedir: $T = 10^{10} / \sqrt{t}$. Bkz. 117. sayfadaki matematiksel not.

Burada T Kelvin derece, t ise saniye cinsinden zamandır. Gerek George Gamow (1904-1968) ve arkadaşları, gerekse daha sonra, James Peebles (d.1935), Steven Weinberg (d.1933) gibi bazı fizikçiler, evrenin radyasyon egemenliğindeki ilk dönemi için yapmış oldukları çalışmalarında bu modelden faydalanmışlardır.

33 | "Kritik yoğunluk" nedir?

Uzaklık ile orantılı bir itme kuvveti etkisi gösteren "kozmolojik sabit"in göz önüne alınmadığı (sıfır olduğu) ve yalnız gravitasyon kuvvetlerinin etkisinde olan bir evren modelinde, genişlemenin durup evrenin tekrar kendi üzerine çökmesi (Big Crunch) için, ortalama yoğunluğun belirli bir değerin üzerinde olması gerekmektedir. Eğer ortalama yoğunluk bu "kritik" dediğimiz değere eşit veya küçük ise, genişleme sonsuza dek sürecektir.

Evrendeki maddenin oluşturduğu çekim alanından bir galaksinin kurtulması için gereken "kaçış hızı"nın, Hubble yasasında belirlenen hızına eşit olması için gereken yoğunluk, olarak da tanımlayabiliriz.

34 | "Evrenin radyasyon egemen dönemi" nedir?

Evrendeki toplam yoğunluk, maddesel yoğunluk ve radyasyon (ışınım) yoğunluğunun katkısından oluşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, enerji yoğunluğunun katkısı, maddesel yoğunluk önünde ihmal edilebilir. Ancak evre-

nin çok sıcak erken dönemlerinde, enerji yoğunluğunun toplam yoğunluğa katkısı, maddesel yoğunluğu ihmal edecek kadar yüksektir. Bundan dolayı, evrenin erken dönemine radyasyon (ışınım) egemen dönem denir. Bu olguyu kısaca açıklayalım: Anlatımı kolaylaştırmak için, evreni yarıçapı R olan küresel bir bölge imiş gibi düşünelim. Maddesel yoğunluk, bu küresel bölge içerisindeki toplam kütlenin $(4/3)\pi R^3$ ile bölünmesi ile elde edilir. Yani maddesel yoğunluk yarıçapın küpü ile ters orantılıdır.

Enerji yoğunluğu ise, kürenin içerisindeki fotonların sayısı ve bu fotonların enerjilerinin toplamına eşittir. Fotonların sayısal yoğunluğu maddesel yoğunluk hesabında olduğu gibi, kürenin yarıçapının küpü (R^3) ile ters orantılıdır. Ancak fotonların enerjileri ise, dalga boyları ile ters orantılıdır. (Kısa dalga boylarına gittikçe fotonların enerjileri yükselir.) Fotonların dalga boyları, evrenin genişlemesi sonucu R ile orantılı olarak, enerjileri ise R ile ters orantılı olarak değişir.

Her iki etkeni göz önüne alırsak, radyasyon (ışınım) yoğunluğunun, kürenin yarıçapının dördüncü kuvveti (R^4) ile ters orantılı olduğunu görürüz.

Şimdi, radyasyon yoğunluğunun maddesel yoğunluğa oranını göz önüne alalım. Bu oran (R^4) ile ters ve (R^3) ile ise orantılı, yani sonuç itibari ile R ile ters orantılı olacaktır. Evrenin erken dönemlerine doğru gidildikçe, boyutu (yani R) küçüleceğinden, bu oran büyüyecektir.

Limit durumda, R sıfıra doğru yaklaştıkça, radyasyon yoğunluğunun maddesel yoğunluğa oranı sonsuz büyüyecek, yani evren radyasyon egemen duruma gelecektir.

35 | Büyük Patlama (Big Bang) deyimi nereden geliyor?

Evrim halindeki dinamik evren kavramına sıcak bakmayan o dönemin bilim çevreleri, Lemaitre'in 1927'de

tasarladığı, çekim ile itme kuvveti (kozmolojik sabit) arasında süren dengenin bozularak, genişleme sürecine giren evren modelini bile büyük direnç ile karşıladıktan sonra, ancak kabul etmişlerdi. Genç matematikçinin 1931'de tasarladığı ve sonlu geçmişte tekil (singular) bir başlangıç içeren yeni modelinin ne kadar itici gelmiş olabileceğini tahmin etmek kolaydır.

Newton kozmoloji paradigmasının Aristoteles'den devralmış olduğu sonsuz geçmişi olan (ezeli) evren kavramı, bilim çevrelerinde o kadar tartışılmaz bir gerçek olarak algılanmaya başlamıştı ki, sonlu geçmişi olan evren kavramı kolay yutulabilir bir lokma değildi. Karşılaşılan matematik zorluk ise, zamanın sıfırlanması ile bütün fiziksel büyüklüklerin sonsuz büyük değerlere ulaştığı tekil noktanın oluşması idi.

Daha sonra geliştirilen modellerde, genişleme süreci sıfır anından değil de, "Planck zamanı" denilen 10^{-43} saniyeden başlatılarak (zira daha küçük bir zaman diliminin kuantum fiziğinde anlamı yoktur) kozmolojistler tekil nokta karabasanından kısmen kurtulmuşlardır.

Genişleyen evren modeline karşı olan ve kendisinin de rakip "durağan evren" (Steady-State Universe) modeli bulunan İngiliz gökbilimci Fred Hoyle, radyoda yapmış olduğu bir konuşmada, o zamana kadar sadece "genişleyen evren" (expanding universe) adı verilen modelden söz ederken, alay edercesine "Big Bang" deyimini kullandı. Bununla da yetinmeyip, Lemaitre ile karşılaştığı uluslararası toplantılarda, genç Belçikalı bilim adamını "This is the Big Bang man" diye biraz küstahça karşılayarak alaycı tutumunu sürdürdü. Hoyle'un esprisi daha iyi yansıtılmak istenirse, bu deyimi Türkçe'ye "Koca-Paat" veya "Koca Buum kuramı" gibi bir dille çevirmek (veyahut hiç çevirmemek) belki daha uygun olurdu. "Büyük Patlama" diye, (patlama deyimini çok ciddiye alarak) Türkçeleştirmek, Hoyle'ın alaycı esprisini hiç yansıtmamaktadır. Zaten bildiğimiz kadarıyla, bizden başka hiçbir dilde çevrilmemekte olup, "Big Bang" deyimi artık kuramın uluslararası adı olmuştur. Bundan başka, "patlama" sözünden kaynakla-

nan ve kuramın özüne ters gelen bir sakınca daha söz konusudur. Çünkü bu modellerdeki olay istediği kadar hızlı gerçekleşsin (örneğin "inflasyonist" modellerde olduğu gibi) gene de bir patlama değil, bir genişlemedir.

36 | Genişleme ile patlama arasında ne gibi bir fark var?

"Patlama" deyiminin yaratabileceği yanlışlık üzerinde biraz duralım. Bir patlama sonucunda, patlama noktasından etrafa saçılan parçalar, sahip oldukları ilk hızlarla orantılı uzaklıklara giderler. Böylece patlama noktasından gözlendiği zaman, her parçanın hızı, Hubble yasasında olduğu gibi, uzaklığı ile orantılıdır.

Ancak bu olgu, yalnız patlama noktasında yapılan gözlem için geçerlidir. Eğer evrenin genişlemesini bir patlamaya benzetirsek, o zaman bizim de patlamanın tam merkezinde olmamız gerekecek, bu da Kopernik devriminden beri terk edilmiş olan "antroposantrik" (insan merkezli) kozmolojiye bir geri dönüş olacaktır. Oysa "genişleyen evren" modellerindeki "genişleme" olayına benzer bir kıyaslama yapmak gerekirse, bunu bir patlamadan çok, havada gitgide genişleyerek dağılan bir tutam dumana benzetebiliriz. Genişleme, genişleyen şeyin her tarafında aynı anda olup, özel bir merkezi yoktur.

Bu olayı somut olarak açıklamak için şöyle basit bir deney düşünelim: Elastik ve homojen bir şerit üzerine birbirine bitişik on bir tane düğme dikilmiş olsun. Bu düğmelere sırasıyla A, B, C, D, E, ... diyelim. Sonra şeridi iki ucundan tutup çekerek uzatalım. Uzatma işlemini, ilk düğmeden son düğmeye kadar olan uzaklığı, her saniye bir santimetre uzatacak şekilde gerçekleştirelim. Eğer şerit, varsaydığımız gibi homojen bir yapıda ise, bu uzama, düğmeler arasındaki on aralığa eşit olarak dağılacak, yani düğmeler arasındaki her bir aralık saniyede bir milimetre hızla uzayacaktır.

Bu işleme on saniye devam ettikten sonraki durumu düşünelim. Düğmeler arasındaki uzaklıklar birer santimetre olmuştur. Şerit üzerindeki düğmelerden herhangi birisini, örneğin D düğmesini gözlem noktası olarak seçelim. Bu düğmeye hemen bitişik olan C ve E düğmeleri saniyede bir milimetre hızla D'den uzaklaşmaktadır. Bir sonrakiler, yani B ve F düğmeleri saniyede iki milimetre hızla, A ve G saniyede üç milimetre hızla vs. olmak üzere, yani her düğme, gözlem noktası olarak seçtiğimiz D düğmesinden uzaklıkları ile orantılı olarak büyüyen hızlarla uzaklaşacaklardır.

Eğer gözlem için herhangi başka bir düğme seçersek sonuç aynı olur. Fazla olarak, şeridin uzamasının ne kadar zamandan beri devam ettiğini öğrenmek istersek yapılacak işlem, herhangi bir düğme için, seçtiğimiz gözlem noktasının düğmeye olan uzaklığını o düğmenin hızı ile bölmek olacaktır. Bu işlemi yaparsak görürüz ki her düğme için aynı sonuç, yani on saniye çıkacaktır. Eğer uzaklaşma hızlarını ordinat ve uzaklıkları da apsis olarak bir diyagram üzerine yerleştirirsek, Hubble yasasına benzer, doğrusal bağlantıyı gösteren bir grafik elde ederiz.

Uzayın genişlemesi sonucunda, galaksiler de buna benzer şekilde, birbirinden, uzaklıkları ile orantılı olarak büyüyen sabit hızlarla uzaklaşmaktadırlar. Galaksilerin kendileri ise, içlerindeki maddenin oluşturduğu çekimin etkisiyle, boyutlarını koruyarak, bu genişlemeye katılmamakta; tıpkı uzayan şerit üzerindeki düğmelerin şerit ile birlikte uzamaması gibi.

37 | Kuramın karşılaştığı zorluk: Evrenin yaşı problemi nedir?

Eğer evrenin ne kadar zamandan beri genişlemekte olduğunu hesaplamak istersek, yapılacak işlem, tıpkı uzayan şerit örneğinde olduğu gibi, her bir galaksinin uzaklı-

ğını o galaksinin uzaklaşma hızı ile bölmek, yani Hubble yasası $v = Hr$ 'den hareket ederek, $\frac{r}{v} = \frac{1}{H}$ değerini hesaplamak olacaktır.

Ancak, Hubble yasasında v hızları km/saniye cinsinden verilmiş olmasına karşın, geleneksel olarak, r uzaklıkları megaparsec cinsinden verilmektedir.[15] Hubble'ın 1929'da vermiş olduğu değer H = 558 km/saniye/megaparsec, megaparsec uzaklığındaki bir galaksinin hızıdır. O halde, megaparsec'in kilometre cinsinden değerini 558 ile bölmek gerekecektir. Bu işlem yapılırsa, bu sürenin saniye cinsinden değeri elde edilir. Elde edilen bu değeri, bir yıl içerisindeki saniye sayısı ile bölersek, 1,8 yani yaklaşık 2 milyar yıl bulunur. Elde edilen bu değere "evrenin yaşı" denilmektedir. Oysa yerkürenin kabuğunun yaşı 1930'lu yıllardaki değerlendirmelere göre bile, bundan çok daha büyük idi. Bugün ise 4,5 milyar yıl olarak kabul edilmektedir. Bu sonuç uzun süre Big Bang kozmolojisinin inandırıcılığını zedelemiş ve karşısına rakip kuramların çıkmasına neden olmuştur.

Ancak galaksilerin radyal doğrultudaki hızları spektroskopik olarak çok duyarlı saptanmasına karşılık, uzaklık tayinleri oldukça kuşkuludur. Hubble zamanından beri yapılan uzaklık tayinlerinde, hata yapılmış olduğu anlaşılarak, birkaç kez gözden geçirilmiş ve her seferinde uzaklıklar biraz daha büyük çıkmıştır. Bugün kabul edilen uzaklıkların da, hiç değilse bir kısmının, ileride değişebileceğini göz ardı etmememiz gerekir.

38 Big Bang kuramının rakipleri var mıdır?

Big Bang kuramının en güçlü rakibi, Cambridge Üniversitesi'nden üç genç bilim insanı tarafından 1948 yı-

15) Mega: milyon katı.

lında geliştirilmiş olan "Steady-State Universe" (durağan evren) kuramıdır.

1939 yılında 2. Dünya Savaşı'nın çıkışıyla, kozmoloji alanındaki çalışmalar, genç bilim insanlarının çoğunun savaş nedeniyle askeri amaçlı konular üzerinde çalışmaya başlamaları sonunda bir süre durakladı.

İngilterc'de yeni gelişmekte olan radar üzerinde araştırmalara öncelik tanınmıştı ve bilim insanlarının birçoğu bu alanda çalışıyordu. Fred Hoyle, Hermann Bondi (1919-2005) ve Thomas Gold (1920-2004) adlarında üç genç bilim insanı, bu konu üzerinde çalışmalar yapan bir grupta bir araya gelmişler ve tanışmışlardı. Boş zamanlarında bilimsel konular ve kozmoloji üzerinde tartışmalar yapıyorlardı.

Üçü de tekil (singular) başlangıcı ve sonlu geçmişi olan modellerden yana değildi; ancak galaksi spektral çizgilerinde gözlenen kırmızıya kayma (red-schift) olaylarının "Doppler olayı" olarak yorumlanıp galaksilerin birbirinden uzaklaşmakta olduğunu da görmezden gelemezlerdi. "Statik-evren" varsayımına geri dönüşün olanaksız olduğunu görüyorlardı. Thomas Gold bir fikir ortaya attı: Hem statik (yani hep aynı kalıyormuş gibi) görünen, fakat aynı zamanda da dinamik olan bir evren düşünülemez mi? Örneğin durgun akan bir nehir görünüşte sakin bir göl gibi



Resim 21: Sağdan sola Fred Hoyle, Herman Bondi ve Thomas Gold birlikte "kararlı evren modeli" olarak da bilinen, gelişen ama değişmeyen bir evren modeli önermişlerdi.

"statik" görülür, ancak su bir taraftan akar, bir taraftan yenilenir, yani dinamiktir. (Resim 21)

Galaksilerin birbirinden uzaklaşarak kaçıp gitmesine rağmen evrenin görünüşte aynı kalması, yani yoğunluğunun değişmemesi için, giden maddenin yerine, akan nehirdekine benzer şekilde, yeni maddenin gelmesi gerekiyordu. Bu madde nereden gelecekti? Bunun için uzay boşluğunda hiç yoktan yeni madde oluşması veya "yaratılması" gerekiyordu. Böylece evren hem Hubble yasasının öngördüğü gibi dinamik olacak, hem de genel görüntüsünde zamanla hiçbir değişiklik olmayacaktı.

Bu modele "durağan evren" (Steady-State Universe) dendi. Gold ve Bondi kuramlarını açıklar ve savunurken, felsefi gerekçeler de kullanarak, fizik yasalarının değişmezliğinin ancak zaman ile görünümü aynı kalan "durağan" bir evrende varsayılabileceğini ileri sürüyorlardı.[16] Fred Hoyle ise kuramını, genel görelilik kuramı alan denklemlerine hiç yoktan madde oluşmasına olanak sağlayacak bir "yaratma" tansörü ilave ederek geliştirdi.[17]

Hoyle, "durağan evren" kuramını geniş halk kitlelerine açıklamak için yazdığı popüler yayınlarında, ne kadar zamanda ne kadar madde oluşması gerektiğini şöyle bir örnekle dile getiriyordu: Bir gökdelen büyüklüğündeki hacim içerisinde, yüzyılda bir protonun (veya nötron) uzayda gelişigüzel dağılmış olarak oluşmasının yeterli olacağını söylüyordu.[18]

İleride, durağan-evren kuramının inandırıcılığını zamanla kaybetmesinde en büyük etkenlerden biri, radyo astronomide yapılan gözlemler olmuştur.

---

16) H. Bondi and T. Gold, "The Steady-State Theory of the Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108, 1948.

17) F. Hoyle, "A New Model for the Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108.

18) F. Hoyle, *Frontiers of Astronomy*, Mentor Books, New York, 1955.

39 Radyo astronomi gözlem verileri neden durağan evren kuramı ile bağdaşmıyordu?

Durağan evren kuramı ile Big Bang kuramı arasındaki seçimde, en etken gözlem verileri, radyo astronomiden elde edilenler olmuştur.

Radyo yayınlarında kullanılan dalga boylarında, uzaydan (özellikle Samanyolu bölgesinden) bazı radyo gürültüsü veya paraziti gibi tanımlanan yayınların geldiğini ilk kez 1932 yılında saptayan, Bell Telefon Şirketi'nde çalışan Karl Jansky (1905-1950) adında bir radyo mühendisi idi.

Gündelik gazetelerde "Uzaydan mesaj gönderenler var!" şeklinde abartılı yorumlara neden olduktan sonra, bu konu araya savaşın girmesiyle bir süre unutulur gibi oldu. İngiltere, savaş sırasında hava saldırılarına karşı kendini koruyabilmek için, radar tekniğinin geliştirilmesini öncelikli konuları arasına almıştı. Birçok genç bilim insanının radarın geliştirilmesi üzerinde çalışmak üzere seferber edilmiş olduğunu evvelce belirtmiştik.

İngiliz fizikçi James S. Hey (1909-2000) bu konu üzerinde çalışırken, 1942 yılında, Güneş'in leke bölgelerinden radyo dalgaları geldiğini tespit etti. Savaş nedeniyle açıklanması o zaman yasaklanmış olan bu önemli gözlem, ancak 1946 yılında yayımlanarak astronomların bilgisine sunulmuştur.

Radar çalışmalarına büyük katkı sağlamış bir diğer isim de Martin Ryle'dir (1918-1984). Kazanmış olduğu bu deneyimden faydalanarak, savaştan sonra Cambridge Üniversitesi'nde bir radyo astronomi birimi kurarak, konunun önde gelen uzmanları arasına girmişti.

İngiliz radyoastronomlar, 1950 yılında Andromeda Galaksisi'nden gelen radyo dalgası yayınını ilk kez gözlemlediler. Bu gözlem, Samanyolu dışında ilk radyo kaynağının saptanması olmuştur. 1953 yılında Cavendish Fizik Derneği'nde yapmış olduğu bir konuşmada Martin Ryle, Samanyolu dışı radyo kaynakları incelemesinin,

kozmoloji kuramları arasında bir seçim yapılmasına olanak sağlayabileceğinin altını çizmiştir. Cambridgeli radyoastronomların sistemli bir şekilde incelemeye başladıkları radyo kaynaklarının "sayı-şiddet" diyagramlarının, durağan evren kuramının öngörülerine uymadığı anlaşıldı. Uzak kaynaklara ulaşıldıkça, sayılarının düzgün (üniform) dağılmadığı belirmeye başladı. Radyoastronomların bu çalışmaları sürerken, 1963 yılında ilk kez yeni bir radyo kaynağı türü daha gözlendi: İngilizce "quasi-stellar object" deyiminin kısaltılmış şekli olan "quasar"lar (kuazar). Bir yıldız gibi noktasal görüntü veren, spektrumlardaki çok büyük kırmızıya kaymalardan (redshifts) dolayı da çok uzakta oldukları varsayılan bu gökcisimlerinin diğer ilginç özelliklerinden biri de, büyük bir galaksinin yayınladığı ışınım gücünün yaklaşık yüz katı şiddetinde radyo dalgaları yayınlamalarıdır. Eğer kuazarlar, öngörüldüğü gibi çok uzaklarda olan gökcisimleri ise, bu aynı zamanda onların evrenin ancak erken dönemlerinde var olmuş olduğunun, yani evrenin bir evrim geçirmiş olduğunun kanıtıdır.

En güçlü radyo kaynaklarının (radyo galaksiler ve kuazarlar gibi) gözlenen en uzak gökcisimleri olmaları, onların kozmolojik ölçekte geçen zaman süresinde, güçlerini kaybettiklerinin göstergesi olarak varsayılmıştır. Bu da, durağan-evren kuramındaki, evrenin her dönemde aynı olduğu "mükemmel kozmolojik prensip" (perfect cosmological principle) varsayımına aykırı gelen bir olgudur.

Durağan-evren kuramının inandırıcılığını zamanla kaybetmesinde en büyük etkenlerden biri, radyoastronominin bu bulguları olmuştur.

Gözlemsel gelişmeler kuramın öngörüleri ile ters düşmeye başlayınca Fred Hoyle, çeşitli kozmolojistlerle de ortak çalışmalar yaparak bazı kurtarma operasyonlarına giriştiyse de başarılı olamadı ve Big Bang kuramının gözlemlerle desteklenen öngörüleri karşısında, durağan-evren kuramı unutulmaya terk edildi.

40 | Big Bang kuramında yeni bir gelişme oldu mu?

1948 yılı, bir taraftan Big Bang kuramına karşı güçlü bir rakibin çıkmasına sahne olurken, diğer taraftan, Big Bang kuramının yeniden gündeme gelme yılı olacaktır.

2. Dünya Savaşı, kozmoloji üzerinde yapılan çalışmaları durma noktasına getirmişti. Kuramın iki öncüsünden Friedmann genç yaşta hayata veda etmiş, Lemaitre ise savaş dolayısıyla, 1939-1945 yılları arasında, işgal altındaki Belçika'da, Louvain Üniversitesi'nde, dış ülkelerle ilişkisi kesilmiş durumda kalmıştı. Savaştan sonra, her ne kadar genişleyen evren kuramı üzerinde konferanslar verip, popüler kitaplar yazmaya devam ettiyse de, bilimsel açıdan savaş öncesi çalışmalarına katkı sağlayacak yeni bir çalışması olmadı. "Genişleyen evren" veya sonraki adı ile Big Bang kuramını sahiplenip bu konu üzerinde ciddi çalışmalar yapmaya başlamış olan artık yeni bir "üçlü" vardı: George Gamow ve çalışma arkadaşları Ralph Alpher (1921-2007) ile Robert Herman (1914-1997). Daha ziyade kuantum teorisi ve nükleer fizik konularındaki çalışmalarıyla kendini Batı'da tanıtmış olan Gamow, Leningrad Üniversitesi'nde öğrenci olarak bulunmuş olduğu 1923-24 yıllarında, Alexandre Friedmann tarafından verilmekte olan genel görelilik ve kozmoloji derslerini takip etmişti. Yani kozmolojiye ilgisi gençlik yıllarından kalma bir tutkuydu. 1933 yılında Brüksel'de toplanan ünlü Solvay Kongresi'ne katıldıktan sonra, tekrar Sovyetler Birliği'ne dönmeyerek Batı'da kalmayı yeğledi. 1934 yaz aylarında Michigan Üniversitesi'nde ders vermek üzere davet edilen Gamow, bir daha ABD'den hiç ayrılmayarak oraya yerleşti. (Resim 22)

Gamow'un astronomiye getirmiş olduğu önemli katkılardan biri de yıldızların evrimi alanındaki çalışmalarıdır. Kırmızı dev olarak adlandırılan yıldızların içyapılarına ilişkin bir kuram geliştirmiştir. Big Bang kuramının öncüleri Friedmann ve Lemaitre'in bilimsel formasyonları daha



Resim 22: Hoyle, Bondi ve Gold'un kararlı evren modelinin karşısında, "genişleyen evren" modelini veya sonraki adı ile Big Bang kuramını sahiplenip bu konu üzerinde ciddi çalışmalar yapmaya başlayan başka bir üçlü vardı: Soldan sağa George Gamow-Ralph Alpher-Robert Herman. İki grup arasında, sadece bilimsel araştırmalar ve kuram düzeyinde değil, gazetelere, karikatürlere, şiirlere konu olan atışmalar da yaşanıyordu. Hatta, genişleyen evren modelinin "Big Bang" kuramı adını almasına, bu modelden bir radyo programında küçümsemeyle söz eden Fred Hoyle'un betimlemesi neden olacaktı.

ziyade matematik ağırlıklı idi. Bu yüzden fizikçiler kurama fazla ilgi göstermiyorlar, yapılan çalışmaları parlak matematikçilerin zekâ oyunları olarak görüyorlardı. Oysa Gamow sapına kadar fizikçiydi ve kuramı sadece matematiksel olarak değil, daha ziyade fiziksel açıdan değerlendiriyordu. O zamana kadar yapılmış olan çalışmalarda, evrenin şimdi genişlediğine göre, zamanda geriye doğru gidildikçe çok yoğun olduğu bir dönemden geçmiş olması gerektiği varsayılmış, ancak kimse bu dönemin aynı zamanda çok sıcak olması gerektiğini vurgulamamıştı.

Gamow ilkel evreni, yeryüzünde hiçbir laboratuvarda elde edilemeyecek sıcaklıkta bir fırın veya hiçbir hızlandırıcıda gerçekleştirilemeyecek yüksek enerjilere sahip parçacıkların çarpıştığı bir ortam olarak algılıyordu; yani nükleer fizikçilerin arayıp da bulamadıkları bir laboratuvar. Kendisi de bir nükleer fizikçi olan Gamow, Big Bang modellerinden faydalanarak erken evrende sıcaklık değişimini, evvelce sözünü ettiğimiz EdS modelindeki $T = 10^{10} / \sqrt{t}$ bağıntısı ile hesaplıyor ve nükleer fizik yasalarından da faydalanarak, bu ortamda kimyasal elementlerin sentezinin nasıl oluşacağını göstermeye çalışıyordu. Savaş yıllarında askeri projeler için geliştirilmiş

olan nükleer fizik verilerinden de faydalanarak, kimyasal elementlerin oluşumunu açıklayan bir kuram geliştirmişti. Bu kurama göre bütün elementler evrenin çok sıcak olan ilk dönemlerinde oluşmuştu.

O sırada öğrencisi olan Ralph Alpher ile birlikte yapmış oldukları çalışmayı (aslında bu araştırmada hiçbir katkısı olmayan) Hans Bethe'nin (1906-2005) adını da katarak 1948 yılında yayımladılar.[19] Bethe'nin ismini neden kattığı Gamow'a sorulduğunda, isimlerin baş harflerinin "alfa, beta, gama" olması için dedi ve bu çalışma bilim literatürüne "alfa, beta, gama" çalışması olarak geçti.

Ancak kuramın karşılaştığı bazı zorluklar vardı. Beş veya sekiz nükleer parçacıktan oluşan denge halinde çekirdek olmadığından, Gamow ve arkadaşlarının ileri sürdükleri gibi helyum çekirdeğinden daha ağır olanların sentezinin, ilkel evrenin çok kısa süren gerekli sıcaklıktaki ortamında oluşamayacağı, Enrico Fermi (1901-1954) ve Anthony Turkevitch (1916-2002) gibi fizikçiler tarafından belirtildi.

1952 yılında E. E. Salpeter (1924-2008), yıldızların içindeki bol helyum ortamında ve uzun süre devam eden gerekli sıcaklıklarda bu engelin aşılabileceği ve daha ağır elementlerin sentezinin oluşabileceğini gösterdi. 1957 yılında ise, Geoffrey Burbidge (1925-2010), Margaret Burbidge (d.1919), William Alfred Fowler (1911-1995) ve Hoyle ağır elementlerin sentezinin yıldızların içinde oluşabileceğini geniş kapsamlı bir çalışma ile gösterdiler.[20]

Bu çalışma üzerine, elementlerin hepsinin yıldızların içinde oluşabileceği ve Big Bang kuramına gerek olmadığı gibi bir izlenim doğdu. Ancak bunun doğru olmadığı sonradan anlaşılacaktır. Big Bang kuramının amansız karşıtlarından Fred Hoyle'un ifadesine göre, evrende spektroskopik olarak gözlenen helyum miktarı, yıldızların içerisinde üretilenin en az on katı kadardır. Yıldızlarda üretilen hel-

19) R. A. Alpher, H. Bethe ve G. Gamow, "The Origin of Chemical Elements", *Physical Review*, 1948.

20) E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler ve F. Hoyle (1957) "Synthesis of the elements in stars", *Review of Modern Physics*, 29.

yumun çoğunluğu hâlâ yıldızların içerisinde hapsedilmiş olup, henüz uzaya saçılmamıştır. Bu olgu, Big Bang modellerinde ise, helyumun evrenin yoğun ve çok sıcak ilkel döneminde protonların kaynaşarak helyum çekirdeklerini oluşturmuş olmaları ile açıklanabilmektedir. Böylece astrofizikçi ve kozmolojistler ortak bir noktada uyuştular: Helyum ve döteryum, lityum gibi hafif elementler erken evrenin "Big Bang" döneminde, geri kalan ağır elementler ise yıldızların içinde oluşmakta ve süpernova patlamalarıyla uzaya yayılmaktadır.

Süpernovaların uzaya saçtığı bu elementler, gaz bulutlarını ağır element bakımından gitgide zenginleştirmektedir. İleride bu gaz bulutlarından gravitasyon yolu ile sıkışarak oluşacak olan yeni kuşak yıldızlar, eskilerine göre ağır element bakımından daha zengin olacaklardır.

Her ne kadar Gamow ve arkadaşlarının çalışmalarının bir kısmı eleştiriler sonucunda kısmen terk edilmiş ise de, Big Bang kuramına getirmiş oldukları kalıcı katkılar inkâr edilemez.

Ünlü fizikçi Steven Weinberg, *The First Three Minutes* ("İlk Üç Dakika") adlı kitabında, fizikçiler için evren kuramlarından herhangi birini ciddiye almanın son derece zor olduğunu, erken evreni ciddiye alıp fiziğin bilinen temel yasalarını uygulayarak Big Bang kuramına ilgi ve inandırıcılık kazandıranların Gamow, Alpher ve Herman olduğunu vurgulamaktadır.[21]

Bütün bu olumlu gelişmelere rağmen, Gamow ve arkadaşlarının çalışmalarının bilim çevrelerinde kabul görmesi bir hayli zaman alacaktır. Durağan evren kuramının, özellikle radyoastronomi gözlem verilerine ters düşmesi sonucu inandırıcılığını kaybetmesi ve Gamow, Alpher ve Herman'ın 17 yıl önce kuramsal olarak öngördükleri "kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" (cosmic microwave background radiation) veya popüler adı ile "fosil radyasyon"un 1965 yılında gözlenmesi ile Big Bang kuramı tekrar gündeme oturacak ve astronomların hepsi

21) S. Weinberg, *The First Three Minutes*, Basic Books, New York, 1977.

tarafından değilse bile, büyük çoğunluğu tarafından gözlem verilerine en uygun kozmolojik kuram olduğu kabul edilecektir.

41 Neden ilk üç dakika? Big Bang kuramında ilk üç dakikanın önemi nedir?

Relativistik evren modelleri için $t = 0$ anı tekil (singular) bir noktadır. Basınç, yoğunluk, sıcaklık gibi büyüklüklerin değerleri sonsuz olur. Bunun ise fiziksel bakımdan bir anlamı yoktur.

Ünlü fizikçi Steven Hawking (d.1942) ile Roger Penrose (d.1931), genel görelilik kuramı çerçevesinde geliştirilen evren modellerinde bir tekilliğin oluşmasının kaçınılmaz olduğunu kuramsal olarak göstermişlerdir.

Kuantum fiziği açısından ise, "Planck zamanı" diye tanımlanan $t = 10^{-43}$ saniyeden küçük bir zaman diliminin fiziksel anlamı yoktur. Onun için kozmolojistler Big Bang kuramı modellerini Planck zamanından başlatırlar.

"Planck dönemi" diye tanımlanan $t = 10^{-43}$ saniye için, evrenin sıcaklık derecesinin, $T = 10^{10} / \sqrt{t}$ bağlantısından, $T = 10^{32}$ Kelvin olacağı görülür. Bu sıcaklıkta hiçbir çekirdek varlığını koruyamaz. Kuantum fiziğine göre, evren bu ilkel sıcak döneminde, kuark, antikuark, lepton, antilepton ve fotonlardan oluşan bir karışım halindedir. Çekirdeklerin oluşumunun ilk adımı, protonlar tarafından nötronların yakalanması olgusudur. Bu sürecin başlaması için, sıcaklığın 10^9 (bir milyar) Kelvin dereceye düşmesi, yani Big Bang'den $t = 100$ saniye sonrasına gelinmesi gerekecektir. Bu süreç içerisinde, hidrojen ve ağır izotopları (döteryum, trityum) ile helyum ve hafif izotopu helyum3 ile bir miktar lityum çekirdeği oluşur. $t = 300$ saniyeye gelindiğinde ise, evrenin genişleyerek yoğunluğunun düşmesi ve soğuması sonucunda, termonükleer re-

aksiyonlar (tepkimeler) sona erer. İlkel evrendeki bütün bu nükleosentez, 300-100=200 saniyelik (yani yaklaşık 3 dakikalık) süreç içerisinde oluşmaktadır.

S. Weinberg'in verilerine göre, bu 3 dakikalık süreç sonucunda, oluşan hidrojen ve helyum oranları şöyledir: Yüzde 73 hidrojen, yüzde 27 helyum ve elektron-pozitron yok oluşu döneminden arta kalan bir miktar elektron.

Bugün gözlenen toplam kimyasal elementlerin ancak yüzde 2'si kadarını oluşturan diğer elementler ise, daha sonra yıldızların içerisinde oluşarak süpernova patlamaları ile uzaya yayılmışlardır. Steven Weinberg'in kitabına "İlk Üç Dakika" adını vermiş olmasının nedeni budur.

42 | "Kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" nedir?

Popüler adı ile "fosil radyasyon" diye bilinen "kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" (cosmic microwave background radiation) George Gamow ve çalışma arkadaşları Ralph Alpher ile Robert Herman tarafından 1948 yılında kuramsal çalışmalar sonucunda ortaya atılmış bir öngörüdür.

Evrenin çok sıcak olan erken döneminde madde tamamen iyonlaşmış, yani elektronlarını kaybetmiş, çekirdek serbest elektron ve foton karışımından oluşan "plazma" durumundadır. Plazmanın elektrik yüklü parçacıkları ile fotonlar sürekli etkileşim halinde olduklarından, tıpkı sisli bir ortamda olduğu gibi, fotonlar serbest hareket edemezler. Ancak madde ile ışınım sürekli etkileşim sonucu termodinamik denge halindedir ve ışınımın enerji-dalga boyu dağılımı Planck eğrisi ile belirlenen "kara cisim ışınımı" durumuna gelir. Uzayın genişlemesi sonucunda ortam hızla soğuduğundan, bir süre sonra sıcaklık derecesi 3000 Kelvin'in altına düşünce, elektronların kinetik enerjileri, serbest olarak hareket etmeleri için yeterli olamaya-

cağından, çekirdekler tarafından yakalanarak nötral hidrojen ve helyum atomları oluşmaya başlar ve fotonlar ile madde etkileşimi sona erer. Bu döneme "ayrışma dönemi" (decoupling era) denilmektedir. Ayrışma döneminden sonra, uzayın genişlemesi sonucunda, ışınımı oluşturan dalgaların boyları uzayın genişlemesi ile orantılı olarak uzar, ancak ışınım Planck dağılımı özelliğini korur.

Bu düşüncelerden hareketle Gamow, 1948 yılında yaptığı hesaplar sonucunda, 50 Kelvin derecelik bir "kara cisim" radyasyonu gözlenebileceğini ileri süren çalışmasının bir kopyasını *Nature* dergisine, bir kopyasını da çalışma arkadaşları Ralph Alpher ve Robert Herman'a ulaştırır.[22] Çalışma arkadaşları Gamow'un hesaplarında bazı hatalar bulurlar ve sıcaklık derecesinin Gamow'un öngördüğü gibi 50 Kelvin olmayıp, sadece 5 Kelvin olması gerektiğini kendisine bildirirler. Ancak Gamow makalesini dergiye göndermiştir ve geri çekip düzeltmesine olanak yoktur. Bunun üzerine arkadaşlarına kendi hesaplarını da dergiye göndermelerini önenir. Böylece her iki makale de yayımlanır.[23]

Alpher ve Herman 1949 ile 1951 yılları arasında yaptıkları çeşitli çalışmalarda bu konuyu işlemeye devam ederler. En son yayımladıklarında, kara cisim radyasyonu için sıcaklık derecesini 28 Kelvin gibi çok yüksek bir değer elde etmişlerdir. Gamow da 1950 yılında *Physics Today* dergisinde yayımladığı bir makalede 3 Kelvin bulmuş, 1953 de ise 7 Kelvin ve en nihayet 1956'daki bir yayında 6 Kelvin olarak ilan etmişti.

Gamow ve arkadaşlarının bu "fosil radyasyon" öngörüleri, yıllarca hiçbir radyoastronom tarafından dikkate alınıp araştırılmamıştır. Belki bu ilgisizliğin altında, birbirinden bu kadar farklı değerler ileri sürülmüş olmasından kaynaklanan bir kuşku yatmaktadır.

---

22) G. Gamow, "The evolution of the Universe", *Nature*, Vol.162, 30 Oct. 1948.

23) R. Alpher ve R. Herman, "Evolution of the Universe", *Nature*, Vol.162, 13 Nov. 1948.

43 | Big Bang kuramındaki "yaş problemi" nasıl çözüldü?

Daha evvelce de belirtmiş olduğumuz gibi, Hubble sabiti veya daha doğru bir deyimle parametresinin 1929 yılında saptanmış olan değeri ile elde edilen "Hubble zamanı" veya popüler adı ile "evrenin yaşı" yaklaşık 2 milyar yıl idi. Oysa radyoaktif elementler yardımı ile geliştirilmiş yaş tayini metotlarına göre, yeryüzü kabuğunun yaşı bile bu sürenin iki katından fazla olarak bulunmuştu.

Bu olgu, Big Bang kuramının karşılaştığı ve inandırıcılığını zedeleyen ciddi bir çelişki oluşturuyordu. Peki, bu çelişkiye neden olan gözlemsel verilerin hiç kuşku duyulacak bir yanı yok muydu? Bunu ortaya koyabilmek için, Hubble parametresinin saptanmasında izlenen yöntemin ayrıntılarını incelemek gerekecektir. Yapılan işlem üç evreye ayrılabilir: 1) Spektrumdaki çizgilerin "kırmızıya kayma"larının ölçümü. Bu adım, yapılan işlemlerin en sağlam ve fazla tartışmaya açık olmayan kısmıdır. Deneyimli bir spektroskopist tarafından yapıldığı zaman, hiçbir kuşkuya açık kapı bırakmayacak kadar sağlam veriler elde edilmiş olur. 2) Yöntemin ikinci kısmı ise, kırmızıya kaymaların bir Doppler olayı olarak yorumlanmasıdır. Bu aşamada, gözlemlerin yapıldığı ilk dönemlerde, astronomlar ikiye bölünmüştü. Bir kısmı, kırmızıya kayma olayını, çok uzaktan gelen ışınım fotonlarının yolculuk sırasında enerjilerinin bir kısmını kaybetmiş oldukları ("yoruldukları") ve fotonların dalga boyları enerjileri ile ters orantılı olduğuna göre, düşük enerjili fotonların spektral çizgilerinin bu yüzden uzun dalga boylarına -yani kırmızıya- kaymış olduğunu ileri sürerek açıklıyorlardı. Ancak bilinen fizik yasaları içerisinde, fotonun "yorulması" diye bir olay yoktu. Eğer fotonların yolda enerji kaybına neden olan bir çeşit "saçılma" olayı olsa idi; o zaman, gittikçe daha uzak galaksiler gözlendiğinde, görüntülerin sanki bir sis perdesi arkasındaymış gibi flulaşması, netliğini kaybetmesi gerekecekti. Oysa görüntüler sönükleşmekte, ancak

flulaşmamaktadır. O dönemden beri fizikçiler, fotonların "yorulması" diye nitelenen bir olay saptayamamışlardır. Bundan dolayı astronomların çoğunluğu, bu "kırmızıya kayma" (redshift) olayını galaksilerin gerçekten radyal, yani gözlem doğrultusunda uzaklaşma hızı olarak yorumlamayı yeğlemişlerdir. Kırmızıya kaymayı Doppler olayı olarak varsayınca yapılacak işlem, dalga boyundaki kayma miktarının dalga boyuna oranını galaksinin uzaklaşma hızının ışık hızına oranına eşitleyerek galaksinin uzaklaşma hızını hesaplamak olacaktır. Çok büyük, "relativistik hız"lar için ise relativistik Doppler formülü kullanılır. 3) Bu üçüncü adım, yani galaksilerin uzaklıklarının saptanması, yöntemin en kuşkulu ve tartışmalı halkasıdır. İsveçli astronom Knut Lundmark 1940'lı yıllarda, Hubble'ın galaksi uzaklıkları değerlerinin çok küçük olduğu yolunda bazı kuşkular ileri sürmüştü. 1951 yılında Alman astronom Albert Behr de aynı kuşkuyu paylaştığını ve galaksiler arası uzaklıkların en aşağı iki katına çıkarılması gerektiğini savunmuştu.

1952 yılında Roma'daki Uluslararası Astronomi Birliği'nin toplantısında, Alman asıllı olup 1931 yılından beri ABD'de Wilson Dağı'ndaki 2,5 metrelik ve Palomar Dağı'ndaki 5 metrelik, o zaman dünyanın en büyük teleskopları ile çalışmış olan Walter Baade (1893-1960), bu konuyu gündeme getirerek galaksi uzaklıklarındaki yanlışların nedenlerini açıklamaya çalıştı.

Baade'ye göre yıldızlar, genç olanlar ve yaşlı olanlar diye ikiye ayrılmaktaydı. Galaksi uzaklıkları tayininde faydalanılan değişken Cepheid (Sefeid) yıldızlar da böyle iki gruba ayrılıyordu. Genç kuşaktan olanlar, aynı ışık değişim periyodundaki yaşlılardan daha yüksek öz-parlaklıklara sahiptiler. Hubble zamanında parlaklıkları farklı, ancak periyotları aynı olan iki ayrı grup değişken Cepheid'in varlığı bilinmiyordu ve hepsinin aynı öz-parlaklıkta olduğu varsayımından kaynaklanan bir yanlışlık yapılmıştı. Açıklamalarında Baade, galaksi uzaklıklarının en az iki katına çıkartılması gerekeceğini vurgulamıştı.



Resim 23: Alan Sandage, büyük patlama kuramının "evrenin yaşı" açmazını çözen gözlemsel astronom. Hubble parametresine göre hesaplanan evrenin yaşı 2 milyar yıl civarında çıkıyordu. Oysa radyoaktif elementlerin yardımıyla yapılan yaş tayinlerine göre, yerkabuğunun yaşı bile bunun iki katıydı. Sandage, galaksilerin uzaklığının Hubble'ın öngördüklerinden daha fazla olduğunu saptayarak, Hubble parametresinin değerini değiştirdi. Böylelikle evrenin yaşı, 10-20 milyar yıl arasına çekilmiş oluyordu.

Ancak 1952'deki Uluslararası Astronomi Birliği Kongresi'ne sunulmuş olan sonuçlar henüz ön çalışma niteliğinde olduğundan, hemen yayımlanmadılar ve ileride daha kapsamlı çalışmalar yapılması konusunda görüş birliğine varıldı.

Bundan böyle bu konu üzerine çalışmaları sürdürecek genç bir astronom yetişmişti: Allan Sandage (d.1926). 1950 yılında Wilson Dağı Gözlemevi'nde Hubble'ın asistanı olarak astronomiye adımını atmış olan Sandage, daha sonra Palomar Dağı Gözlemevi'nde Baade'nin asistanı olacak ve ondan sonra da bu programın yöneticisi olarak göreve devam edecektir. (Resim 23)

İlk çalışmalarını Milton Humason ve Nicholas Mayall (1906-1993) ile birlikte 1956 yılında yayımladı.[24] Sandage, daha evvelce yapılmış olan çalışmalarda, Baade'nin açığa çıkarmış olduklarından başka hataların bulunduğunu gördü. Cepheid değişkenlerinin parlaklığı, çok uzak galaksilerde gözlenmeye yeterli değildi. Onun yerine, "galaksinin en parlak yıldızı" denilen başka bir yöntem uygulanıyordu. Sandage, galaksinin en parlak yıldızı diye gözlenen şeylerin aslında yıldız olmayıp iyonlaşmış hidrojen bulutları (HII bölgeleri) olduğunu saptadı. Çok parlak olan HII bölgelerinin yıldız gibi algılanması, uzak galak-

24) M. L. Humason, N. U. Mayall ve A. R. Sandage, "Redshifts and magnitudes of Extragalactic nebulae", *Astronomical Journal*, 61, 1956.

silerin olduğundan yakın varsayılmasına neden olmuştu. Bütün bu araştırmalar sonucunda Sandage, Hubble parametresinin en olası değerinin 50 km/sn/Mpc ile 100 km/sn/Mpc arasında olacağına karar verdi. Bu değerlendirmelere göre, Hubble zaman ölçeği (veya evrenin yaşı) de 10 ila 20 milyar yıl arasında oluyordu. Einstein-de Sitter modeline göre ise, bu değerin (2/3) katı alınarak, yaklaşık 7 ila 13 milyar yıl arasında değerler bulunmaktadır.

Bugün kozmolojistlerin büyük çoğunluğu, Hubble zaman ölçeği olarak 15 milyar yıl civarında bir değerde uzlaşmaktadır. Bu değerse, gerek yerkabuğu yaşının çok üstünde, gerekse yıldızların evrim teorisi ile hesaplanan en yaşlı yıldızların yaşlarına da hemen hemen denk gelmektedir. Bu araştırmalar sonucunda, "yaş problemi" diye nitelenen problem çözülmüş gibi görülmektedir.

44 | Kozmik mikrodalga ardalan ışınımı ne zaman ve nasıl gözlendi?

Evvelce de belirtmiş olduğumuz gibi, Gamow, Alpher ve Herman 1948 ile 1956 yılları arasında, kozmik mikrodalga ardalan ışınımı öngörüsü üzerine birçok çalışma yapmış ve çeşitli bilim dergilerinde yayımlamışlardı. Ancak bütün bu yayınlara rağmen, her nedense hiçbir radyoastronom bu konuda araştırma yapma gereğini duymadı. Oysa o dönemdeki radyoastronomi tekniği, böyle bir araştırmayı gerçekleştirecek düzeyde idi. Bunun bir nedeni olarak, Gamow ve arkadaşlarının çeşitli tarihlerde çeşitli dergilerde yayımladıkları öngörülerde, birbirinden çok farklı değerler ileri sürerek inandırıcılık uyandırmamış olmaları gösterilebilirse de, diğer bir neden, kuramsal ile gözlemsel çalışanlar arasındaki kopukluktur.

1960'lı yıllarda, Princeton Üniversitesi'nde, Robert Dicke (1916-1997) tarafından yönetilen ve James Peebles, Peter Roll ve David Wilkinson'dan oluşan bir fizikçi top-



Resim 24: Princeton Üniversitesi'nden James Peebles ve Robert Dicke, genişleme-çökme halinde bir evren modeli üzerinde çalışıyorlardı; bu modele göre evrenin geçmiş dönemlerinden kalma 10 Kelvin derece civarında bir "fosil radyasyonun" gözlenebileceğini ileri sürmekteydiler. Ancak daha önce Gamow, Alpher ve Herman'ın da fosil radyasyondan söz ettiğinden habersizdiler.

luluğu, genişleme-çökme halinde olan bir evren modeli üzerinde çalışmaktaydı. (Resim 24)

İlk kez A. Friedmann tarafından 1920'li yıllarda, genel görelilik kuramı alan denklemlerinden bu gibi çözümler elde edilebileceği gösterilmiş, hatta kendi küllerinden yeniden doğan efsane kuşa gönderme yapılarak "Phoenix-evren" modeli denmişti. Robert Dicke ve çalışma arkadaşı James Peebles'in bu kuramsal araştırmasına göre, "Büyük Çöküntü" (Big Crunch) sonucunda, olağanüstü yüksek basınç ve sıcaklıklara erişilikten sonra, adeta bir lastik topun yere düştükten sonra tekrar zıplaması gibi, evren genişlemeye başlamıştı. Bu çöküntünün oluşturduğu çok yüksek sıcaklık, evren genişledikçe soğudu. Dicke ve Peebles, bugün yaklaşık 10 Kelvin derece civarında bir "fosil" kara cisim radyasyonu gözlenebileceğini ileri sürmekteydiler.

Yani bundan yaklaşık 10 küsur yıl önce Gamow ve arkadaşlarının yapmış oldukları öngörünün hemen hemen aynısı. Ancak Dicke ve ekibi Gamow'un öncü çalışmalarından habersizdi. Bu da gösteriyor ki, sadece kuramsal çalışanlar ile gözlemciler arasında değil, kuramsal araştırmacılar arasında bile bazen bir kopukluk vardır.



Resim 25: Arno Penzias ve Robert Wilson, Bell Laboratuvarları'nın elemanları olarak, üzerinde çalıştıkları bir antenden gelen ve parazit olarak nitelendirdikleri bir gürültüyü yok etmeye uğraşıyorlardı. Ama çalışmaları sırasında, kozmoloji tarihinin çok önemli bir buluşuna imza attıklarının farkında değillerdi: O gürültü, fosil radyasyon ya da kozmik mikrodalga ardalan ışınımının ta kendisiydi.

Dicke ve Peebles bu öngörülerini kanıtlamak üzere, radyoastronom arkadaşları Peter G. Roll (d.1935) ve David T. Wilkinson'dan (1935-2002), milimetrik dalga boyu bölgesinde çalışacak bir anten kurmalarını istediler. Tam o sıralarda, Bell Laboratuarları'nda çalışan Arno Penzias (d.1933) ve Robert Wilson (d.1936) adında iki radyoastronom da, yaklaşık bir yıldan beri, üzerinde çalıştıkları bir antenden gelen ve parazit olarak nitelendirdikleri bir gürültüyü yok etmeye uğraşıyorlardı ki, Princetonlu fizikçilerin çalışmalarından bir rastlantı sonucu haberdar oldular. İki grup birbiriyle temasa geçti ve Penzias ile Wilson'un diğerleri tarafından aranmakta olan kozmik mikrodalga ardalan ışınımını gözlemiş oldukları anlaşıldı. Her iki grup da çalışmalarının sonuçlarını ayrı ayrı iki makale halinde yayımladılar.[25] (Resim 25)

Penzias ve Wilson'un yapmış oldukları gözlem, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde 7,3 santimetreydi. Bu gözlemin Big Bang kuramının öngördüğü

25) R. H. Dicke, P. J. E. Peebles, P. G. Roll ve D. T. Wilkinson, "Cosmic blackbody radiation", *Astrophysical Journal*, 142, 1965. A. A. Penzias ve R. W. Wilson, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s", *Astrophysical Journal*, 142, 1965.

koznık mikrodalga ardalan ışınını olduğunu kanıtlamak için spektrumun başka bölgelerinde de gözlem yapılarak, dalga boyu dağılımının kara cisim radyasyonu (yani Planck eğrisi) olduğunun kanıtlanması gerekiyordu.

1989 yılında NASA tarafından yörüngeye oturtulan COBE (Cosmic Microwave Background Explorer) uydusu ile elde edilen veriler, radyasyon şiddetinin dalga boyuna göre dağılımının 2,726 Kelvin derecelik bir Planck eğrisi olduğunu kesin olarak gösterdi. 1992 yılında da, biriken verilerden, ortalama değer etrafında, kozmolojistlerin beklediği gibi birkaç yüz mikrokelvin civarında dalgalanmalar bulundu. Bu gözlemler, Big Bang kuramına inandırıcılık kazandırmada çok etkili oldular.

45 | Big Bang'dan önce ne vardı?

Genel görelilik kuramı çerçevesinde geliştirilmiş olan evren modellerinde, zamanda $t = 0$ anına yaklaştıkça, yoğunluk, sıcaklık, basınç gibi fiziksel büyüklüklerin sonsuz değerlere ulaşarak bir matematiksel tekillik oluşturmasının kaçınılmaz olduğunu daha önce belirtmiştik. Bunun fiziksel açıdan bir anlamı yoktur ve genel görelilik kuramı çerçevesinde makrokosmos için geliştirilmiş olan modelin, Planck döneminin kuantik boyutlarında artık uygulanamaz oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu açmazdan çıkış yolu ise, genel görelilik ile kuantum fiziğini bağdaştıracak yeni bir "kuantik gravitasyon" kuramının oluşturulmasıdır.

Matematiksel tekillikten kaçınmak için, kozmolojistler, Big Bang kuramı modellerini "Planck çağı" diye tanımlanan $t = 10^{-43}$ saniyelik dönemden sonra başlatırlar, zira kuantum kuramına göre, daha küçük bir zaman diliminin fiziksel anlamı yoktur.

Gene de, "Daha önce ne vardı?" diye soran meraklılara, kozmolojistler iki tür yanıt vermektedir: Bir kısmı,

bu anı evrenin ve zamanın mutlak bir başlangıcı olarak sunup, daha önce ne vardı sorusunun anlamsız olduğunu ileri sürerek konuyu kapatırlar. Bu kolay yanıt ile yetinmeyip, daha öncesini de araştırmak isteyenler ise -ki şimdi sayıları giderek çoğalmaktadır- çeşitli varsayımlar ileri sürmektedirler.

Daha 1920'li yıllarda, Alexandre Friedmann, genel görelilik kuramı alan denklemlerinin matematiksel olarak periyodik çözümlerinin bulunduğunu göstermiş, 1930'lu yıllarda da, Georges Lemaitre aynı konu üzerinde çalışmalar yapmıştı. Ancak daha önce de değinmiş olduğumuz gibi, bu iki genç bilim insanının formasyonları matematik ağırlıklıdır. Zaten o dönemde kuantum fiziği henüz emekleme çağında olduğu için, ellerinde araştırma yapacak gelişmiş böyle bir fiziksel kuram da yoktu.

Buna rağmen, Big Bang öncesi dönem hakkında bazı varsayımlar ileri süren kozmolojistler olmuştur. Örneğin George Gamow, 1950'li yıllarda yayımladığı *Evrenin Yaradılışı* (*Creation of the Universe*) adlı kitabında, "Evrenin başlangıcında meydana gelmiş olan büyük basınç ve yoğunluk, daha önceki bir çöküntünün sonucunda olmuştur. Bugünkü genişleme, bu çöküntüde yoğunluk maksimum bir değere eriştikten sonra, evrenin elastik bir 'geri tepme' ile tekrar genişleme sürecine girmesinin sonucudur" şeklinde bir açıklama yapmıştı.

Ünlü fizikçi Steven Weinberg de, 1977'deki *İlk Üç Dakika* (*The First Three Minutes*) adlı kitabında "Bir olasılık da, sonsuz büyük yoğunlukta bir dönemin hiçbir zaman var olmamış olduğudur. Evrenin genişlemesi, daha önceki bir çöküntü döneminde yoğunluğun çok büyük ancak sonlu bir değere erişmesinden sonra başlamış olabilir" demektedir.

Bugün ise bu konuda oldukça umut verici gelişmeler gözlenmektedir.

"Kuantik gravitasyon kuramı" adayları arasında, "ilmik kuantum gravite" (Loop Quantum Gravity) kuramı oldukça iddialıdır. Bu kurama göre, maddenin elementer

parçacıklardan oluşan süreksiz yapısı "uzay-zaman" için de geçerlidir, ancak "uzay-zaman atomları"nın boyutları o kadar küçüktür ki, bize sürekli bir "kontinuum" gibi gözükürler.

Uzay-zaman "atomları"nın madde ve enerjiyi içlerine alma ve sindirme kapasiteleri sınırlı olduğundan, "tekillik" oluşması engellenir. Süreksiz yapının sınırlı madde ve enerji depolama kapasitesi, çok yüksek yoğunluklara erişildiği zaman, gravitasyonun niteliğini değiştirerek, "çekici" olmaktan "itici" olmaya dönüştürür.

Big Bang öncesi evren, çekici gravitasyon kuvvetlerinin etkisinde, bir "Büyük Çöküntü" (Big Crunch) geçirerek maksimum yoğunluğa eriştikten sonra, gravitasyon kuvvetlerinin "çekicilikten", "iticiliğe" dönüşmesi sonucu, "Büyük Zıplama" (Big Bounce) yaparak, sonunda "Büyük Patlama" (Big Bang) evresine geçer. Big Bang modellerinin birçoğunda, "enflasyon" diye nitelenen aşırı hızlı genleşme dönemi, bir çeşit, sonradan ekleme (ad hoc) niteliğindedir. Oysa "ilmik kuantum gravite" kuramcılarına göre bu olgu, uzay-zamanın atomik yapısının doğal sonucu olup, evren çökünce çekicilikten iticiliğe geçiş kendiliğinden devreye girer.[26]

Umut verici olmakla birlikte, bu kuramın henüz yeterli deneysel ve gözlemsel kanıtları bulunmamaktadır.

Ancak kuramı savunanlar, Demokritos'un (MÖ 460-370) "atom"larının da ancak 2000 yıl sonra kanıtlandığını hatırlatarak, "bizimki o kadar uzun sürmeyecek" demektedirler.

Diğer bir "kuantik gravitasyon" adayı ise, "süper sicim" (superstrings) kuramıdır. Aslında bu kuram, sadece "kuantik gravitasyon" kuramı olmayıp, bütün kuvvetleri birleştirme iddiasında olan bir yaklaşımdır. 11 boyutlu bir uzay-zaman için tasarlanmıştır. Bu boyutlardan 10 tanesi uzay ve 1 tanesi zamandır. Boyutlardan yedi tanesi, evrenin soğuması ile birlikte, gözlenemeyecek kadar kü-

26) Carlo Rovelli, "Quantum Gravity", Cambridge University Press, 2004. Martin Bojowald, *Scientific American*, October 2008.

çülmüşler ve bugün içinde bulunduğumuz uzayda sadece gözleyebileceğimiz üç uzay boyutu kalmıştır.

Bu kurama göre elementer parçacıklar, noktasal varlıklar olmayıp, boyutları 10^{-33} santimetreden küçük sicimler şeklindedir. Sicim kavramının bir avantajı şudur: İki noktasal kütle çok yaklaştıkça, aralarındaki etkileşim kuvvetleri ıraksak olur. Süpersicimlerde ise böyle bir tekillik sakıncası yoktur. Süpersicim senaryosuna göre, evrenin 10^{-43} saniye öncesi çok yüksek enerjideki döneminde, gravitasyon kuvveti de diğer üç kuvvetle birleşikti ve sadece bir tek süper kuvvet vardı.

Oldukça spekülatif olan bu kuram, bugün henüz kanıtlanmış değildir ve bazı eleştirmenlere göre fizikçiler matematiksel güzelliğinden dolayı bu yöndeki araştırmaları sürdürmektedirler.

Henüz, herkesin değilse bile, büyük çoğunluğun onayını almış bir "kuantik gravitasyon" kuramı yoktur.

46 | Enflasyon nedir?

1981 yılında, Alan Guth (d.1947) adında genç bir fizikçi tarafından ileri sürülmüş olan bu modele göre, Big Bang tekilliğinden çıkıştan yaklaşık 10^{-35} saniye sonra evren, yaklaşık her 10^{-35} saniyede boyutunu iki katına çıkaran üstel (eksponansiyel) bir genişleme sürecine girdi. Tekillikten çıkıştan yaklaşık 10^{-32} saniye sonraya kadar süren ve (ekonomiden esinlenerek) "enflasyon" diye tanımlanan bu süreç sonunda boyutu 10^{50} katına çıktı. Bu gelişmeye neden olan etkenin vakum (boşluk) enerji yoğunluğu olduğu varsayılmaktadır. Bu senaryoya göre, evrenin bundan sonraki gelişmesi klasik standart modeldeki gibi süregelmektedir.

Böylece, çok küçük bir bölgenin çok kısa sürede aşırı genişlemesi sonucunda oluşmuş olan evrenin, homojen-



Resim 26: Sırasıyla Andrei Linde, Alan Guth ve Paul Steinhart, Big Bang tekilliğinden çıkışı açıklayan, birbirlerine az çok benzeyen "enflasyonist" modeller geliştiren bilim insanları.

lik, izotropluk ve geometrisinin düz oluşu gibi özellikleri açıklanmış oluyordu. 1984 yılında, bir taraftan Sovyetler Birliği'nde Andrei Linde (d.1948), diğer taraftan ABD'de Paul Steinhardt (d.1952) adındaki kozmolojistler, az çok birbirine benzeyen "enflasyonist" modeller geliştirdiler.

Bu modellere göre, enflasyon sonucunda, şimdi gözlenen evrenden çok daha büyük kabarcıklar (bubbles) oluştu ve içinde bulunduğumuz evren, böyle oluşmuş olan kabarcıklardan bir tanesidir. (Resim 26)

47 | Evrenin genişlemesi sürecek mi, duracak mı?

Genişlemenin sonsuza dek süreceği mi, yoksa durup tekrar evrenin kendi üzerine çökeceği mi konusu (kozmolojik sabitin sıfırlandığı modellerde), yeryüzünden uzaya gönderilmek üzere fırlatılan bir füzenin, yoluna durmadan devam edeceği mi, yoksa durup yeryüzüne düşeceği mi problemine benzer. Yerkürenin kütlesi ve yarıçapının fonksiyonu olarak yüzeyinde oluşan bir çekim alanı vardır. Eğer füzeye kazandırılmış olan hızın oluşturduğu kinetik enerji, yerçekiminin potansiyel enerjisinin mutlak değerinden küçük ise, füzenin hızı, çekimin frenlemesi ile yavaşlayacak ve sonunda sıfırlanıp füze tekrar yeryüzüne düşecektir. Eğer kinetik enerjisi potansiyel enerjiden büyük ise, o zaman füze, hızı gitgide çekimin frenlemesi ile yavaşlasa

bile, (kuramsal olarak) sonsuza dek yoluna devam edecektir. Limit durumda, füzenin kinetik enerjisi tam olarak potansiyel enerjiye denk ise, füze gene hızı yavaşlayarak yoluna devam edecek ve sonsuz uzakta hızı sıfırlanacaktır. Geri düşmeden yoluna devam edebilmesi için gereken bu limit hıza (o gökcisminden) kurtuluş hızı denir.

Yarıçapı r ve kütlesi M olan bir gökcismi için v "kurtuluş hızı"nın değeri $v = \sqrt{2GM/r}$ 'dir (G gravitasyon sabiti). Örneğin yerkürenin kurtuluş hızı 11,2 km/saniye, Ay'ınki ise 2,4 km/saniyedir.

Hubble yasasına göre, r uzaklığındaki bir galaksinin radyal hızı, evvelce görmüş olduğumuz gibi $v = Hr$'dir. Eğer galaksinin bu v radyal hızını, r yarıçapındaki küresel bölgenin kurtuluş hızına eşit varsayar ve denklemdeki v yerine (Hr) koyarsak, buradan, "kritik yoğunluk" için $\rho_k = 3H^2 / 8\pi G$ bağlantısını elde ederiz. Bu değer, astronomik gözlemlerden elde edilen evrenin yoğunluğu ile karşılaştırıldığı zaman, gözlenen yoğunluğun kritik yoğunluktan küçük olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, biraz evvel belirtmiş olduğumuz gibi evrenin genişlemesinin durmadan süreceğidir.

Ancak bu kıyaslamada söz konusu olan evrenin yoğunluğu, ışık yayan gökcisimlerinin (yıldızlar, galaksiler vb.) yoğunluğudur.

Oysa uzun süreden beri, aslında Big Bang kozmolojisiyle ilgisi olmayan başka araştırmalar sonucunda, bazı astronomlar, uzayda görünen (yani ışık yayan) maddelerden başka bir de görünmeyen "kara madde"nin varlığından kuşku duymakta idiler.

48 | Karanlık madde nedir?

Evrende görülmeyen "karanlık madde"nin varlığına ilişkin kuşkular yıllar öncesine dayanır. Bu sav ilk kez 1930'lu yıllarda, Fritz Zwicky (1898-1974) adındaki,

Bulgar asıllı-İsviçreli olup ABD'de çalışmakta olan bir astronom tarafından ortaya atıldı. O sırada Amerika'daki en büyük teleskoplarla çalışmakta olan Zwicky, galaksi kümelerindeki hareketleri incelerken, kümelerde gözlenen maddenin toplam görülen kütlesine göre, galaksilerin hareketlerinin çok hızlı olduğuna dikkat çekmişti. Zwicky'ye göre, bu galaksilerin aşırı hızları, ancak küme içerisinde gözlenen maddeden başka, onun yüzde 90 katına yakın bir "görünmeyen madde"nin varlığı ile açıklanabilirdi. O zamanki astronomi literatüründe, bu görünemeyen karanlık madde için "eksik kütle" (missing mass) deyimi kullanılmaktaydı. Ancak, çok ilginç olmasına karşılık, Zwicky'nin bu saptamasını astronomlar yıllarca önemsemediler. 1970'li yıllarda konu James Peebles ve bazı araştırmacılar tarafından tekrar gündeme getirildi. Sarmal galaksilerin disklerinin içinde görülen ışık veren maddeden başka, görülmeyen büyük miktarda madde olması gerektiğini, aksi halde bu bölgelerin kısa sürede dağılacağını ileri sürüyordu bu araştırmacılar. Gene bu yıllarda Vera Rubin (d.1928) ve Kent Ford (d.1931) adındaki iki astronom da, o sıralarda yeni kullanılmaya başlanan hassas elektronik araçlarla, evvelce pek incelenememiş olan, galaksinin dış bölgelerinin dönüş hızlarını ölçerek, bu bölgelerin görülen maddenin çekimsel etkisi ile açıklanamayacak kadar hızlı döndüklerini gösterdiler. Bu konu üzerinde yapılan araştırmalarda kullanılan diğer bir teknik yöntem de, gravitasyonel mercek diye tanımlanan ve genel görelilik kuramının öngörmüş olduğu bir olaydır. Bilindiği gibi, genel görelilik kuramına göre, bir ışın demeti büyük bir kütlenin yanından geçerken, onun çekim alanının etkisi ile yolundan sapar. Çok uzak olan kuazarlardan gelen ışın, yolu üzerinde büyük bir galaksiye rastlarsa, kuazarın ışın demeti adeta bir mercekten geçmiş gibi sapar; kuazarın görüntüsü sanki birbirine çok yakın bir çift kuazar görüntüsüne, bazı durumlarda ise bir ışık yayına dönüşebilir. Hatta kuazar ile mercek rolü oynayan galaksi tam aynı doğrultuda ise, yani görüntüleri çakışırsa



Resim 27: Fritz Zwicky, evrende görülmeyen "karanlık madde"nin varlığını savlayan ilk bilim insanıdır. Zwicky, galaksi kümelerindeki hareketleri incelerken, kümelerde gözlenen maddenin toplam görülen kütlesine göre, galaksilerin hareketlerinin çok hızlı olduğuna dikkat çekmişti. Zwicky'ye göre, bu galaksilerin aşırı hızları, ancak küme içerisinde gözlenen maddeden başka, onun yüzde 90 katına yakın bir "görünmeyen madde"nin varlığı ile açıklanabilirdi.

-ki bu oldukça küçük bir olasılıktır- kuazarın görüntüsü bir halka şeklinde de olabilir (Einstein halkası). Yay şeklindeki bu görüntülerden, buna neden olan galaksideki kütle dağılımı bulunarak, galaksinin "halo" denilen dış bölgelerinde önemli miktarda görünmeyen karanlık maddenin varlığı saptanabilmiştir. (Resim 27)

Bunlara MACHO (Massive Compact Halo Object), yani büyük kütleli kompakt halo cisimleri denilmektedir.

Bu karanlık madde nedir? Birçok karanlık madde adayı vardır. Başlıcaları şunlardır: 1) Bilinen (baryonik) maddeden oluşmuş ancak ışık vermeyen gökcisimleri, örneğin gezegenler, kahverengi cüceler, kara delikler; 2) Nötrinolar; 3) Baryonik olmayan "egzotik" maddeden oluşan parçacıklar.

Erken evrenden arta kalmış olduğu varsayılan ve baryonik olmayan bu karanlık madde adaylarına WIMP (Weakly Interacting Massive Particle), yani zayıf etkileşimli kütlesel parçacıklar denilmektedir. Her ne kadar bu parçacıkların varlığını kanıtlayacak inandırıcı bir deney gerçekleştirilmemiş ise de, parçacık fizikçileri kuramsal nedenlerden dolayı bunların varlığına inanmaktadırlar.

Toplam madde, kritik yoğunluğun yüzde 30'u kadarı olup, bunun da ancak yüzde 5 kadarı gerçekten gözlenen madde, geri kalanı ise "karanlık maddedir." Gökbilimciler karanlık maddenin ne olduğunu araştırmaya çalışırlarken, 2000'li yıllardan beri, sahneye yeni bir aday daha çıktı: "Karanlık enerji."

49 | Evrenin genişlemesi hızlanıyor mu? Karanlık enerji nedir?

1998 yılında, biri ABD (Kaliforniya'da), diğeri de Avustralya'da iki ayrı astronom grubu tarafından yapılan süpernova gözlemlerine göre, evrenin genişleme hızının artmakta olduğu anlaşıldı. Gözlemlenen (Tip Ia) süpernovaların çok parlak ve erişilebilen en uzak galaksilerde bile gözlenebiliyor olmaları, diğer taraftan hepsinin öz (mutlak) parlaklıklarının aynı değerde oluşu, onları uzaklık ölçümleri için çok yararlı yapmaktadır.

Bu süpernovalarla, patlamadan yaklaşık üç hafta sonra parlaklık en yüksek değerine erişir ve maksimum değerden sonra iniş ve süpernovanın gözden kaybolması birkaç aylık bir süre alır. Tek bir süpernovanın gözlenmesi ve bu gözlemlerin analiz edilerek araştırma sonucunun elde edilmesi bir yılı aşabilmektedir.

Süpernovanın spektrumundaki çizgilerin kırmızıya kayma miktarından, süpernovanın ve dolayısıyla içinde bulunduğu galaksinin radyal hızı bulunur ve bulunan bu v radyal hızı ile Hubble yasası $v = Hr$ 'den yararlanarak, galaksinin r uzaklığı elde edilir. Diğer taraftan, süpernovanın parlaklık maksimumunun (kuramsal olarak bütün Ia süpernovalar için aynı olması gereken) gerçek değeri ile gözlenen değeri kıyaslanarak (ışık şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiğine göre) süpernovanın (ve dolayısıyla içinde bulunduğu galaksinin) uzaklığı ikinci bir yolla daha bulunmuş olur. Her iki astronom grubunun da elde etmiş oldukları sonuca göre, bu iki değer birbirini tutmamaktadır.

Radyal hız ve Hubble yasasından faydalanarak elde edilen uzaklık, parlaklık ile elde edilenden daha küçük çıkmaktadır. Bu radyal hız ile süpernova ve içinde bulunduğu galaksinin, Hubble yasasına göre, bu kadar uzağa gitmesi olanaksız.

Ancak astronomlar, süpernovanın parlaklığı ile elde edilen uzaklığın, Hubble yasası ile elde edilenden daha

güvenilir olduğuna inanıyorlar. Yani terslik, yakın çevremiz için elde edilmiş olan Hubble yasasının, o dönem için geçerli olmamasından kaynaklanıyor.

Ekim 1998 tarihinde, süpernova uzmanları ile kozmolojistler, Chicago Üniversitesi'nde üç gün süren bir toplantı düzenleyerek, bu sorunu çözmeye çalışıyorlar ve sonunda, süpernovanın patladığı ve ışınımının bize gelmeye başladığı döneme göre (yaklaşık altı milyar yıl önce) evrenin daha hızlı bir genişleme sürecine girmiş olduğu sonucuna varıyorlar.[27]

Gözlem sonuçlarını başka türlü yorumlamak olanağı da var: Eğer uzak, dolayısıyla evrenin daha eski dönemlerindeki süpernovalar, bize daha yakın olan, dolayısıyla evrenin daha yeni dönemlerindeki süpernovalara göre daha sönük iseler, o zaman bu gözlemlere benzer bir sonuç elde edilir, ancak konunun uzmanlarının görüşü şimdilik birinci şık lehinde.

Biraz evvel (47. soruda) gördük ki, "kozmolojik sabit"in sıfırlandığı modellerde, çekim kuvvetlerinin etkisiyle, genişleme hızının daima yavaşlaması gerekmektedir. Eğer süpernova gözlemlerinden elde edilen sonuçlar doğru ise, pozitif olduğu zaman itici etki gösteren kozmolojik sabitin tekrar denklemlere geri dönmesi gerekecektir.

Ancak Einstein'ın ilk kez 1917'deki modelinde kullandığı ve 1930'lu yıllarda gene Einstein'ın etkisiyle terk edilmiş olan "kozmolojik sabit", bu kez fiziksel bir anlam kazanarak "karanlık enerji" adı altında ve "vakum enerjisi" (vacuum energy) ile özdeşleştirilerek geri geldi. Kuantum fiziğine göre vakum (boşluk), klasik fizikte varsayıldığı gibi bir hiçlik değil, sürekli "kuantik dalgalanmalar" olan bir enerji kaynağıdır. Buna vakum enerjisi denmektedir. Vakum enerjisi, maddenin aksine, belirli yerlerde (yıldızlar, galaksiler gibi) kümelenmeyip, uzayın her tarafında düzgün olarak (eşit yoğunlukta) dağılmış bulunmakta ve etkinliği kısa mesafelerde görülmeyip, uzun mesafeler ve zaman süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Uzay genişle-

27) Mario Livio, *The Accelerating Universe*, John Wiley and Sons.

dikçe maddenin yoğunluğu küçülmekte ve çekim gücü azalmakta, buna karşılık karanlık enerjinin yoğunluğu değişmediğinden gücü de azalmamakta ve zamanla çekim ile karanlık enerji arasındaki denge ikincinin lehine bozularak genişleme hızının artmasına neden olmaktadır.

Ancak "kozmolojik sabit"in adını "karanlık enerji" yapıp "vakum enerjisi" ile özdeşleştirmek, beraberinde önemli sorunlar da getirmektedir. Kuantik mekaniğe göre hesaplanan "vakum enerjisi", kozmolojik olarak gerekli olan "karanlık enerji" değerinin çok üstünde, 10^{120} katı bulunuyor.

Problem çözülüyor gibi görünürken ortaya bir yenisi çıkmakta. Bilimin güzel ve canlılığını koruyan tarafı da bu: Her problem çözüşte, çözülmesi gereken yeni bir problem daha çıkıyor.

50 | Büyük Patlama kuramı kalıcı mıdır, ileride değişebilir mi? Bu kuramdan arta kalan kazanım ne olacak?

Bilimde hiçbir kuramın kesin ve değiştirilemez olduğu söylenemez. Bilim tarihinde en uzun süre geçerliliğini korumuş olan Aristoteles-Ptolomeos kozmolojisi bile 2000 yıldan fazla dayanamamıştır. Donmuş, kalıplaşmış, yüzlerce yıldan beri değişmeyen düşünce sistemleri ile bilim arasındaki fark, onun devamlı kendisini yenileyen ve canlı tutan yapısıdır. Ancak bütün bu değişim sürecine rağmen, her kuramın getirdiği ve kalıcı olan kazanımları vardır. Örneğin antik kozmolojinin yerküreyi merkez varsayarak gökyüzünü incelemesi, gökcisimlerinin durumları ve hareketlerini Yermerkezli koordinat sistemlerine göre inceleyen "küresel astronomi" kolunun hâlâ kullanmakta olduğu bir yöntemdir.

200 küsur yıl süren mutlak egemenliğinden sonra yerini kısmen Einstein paradigmasına terk etmesi, Newton

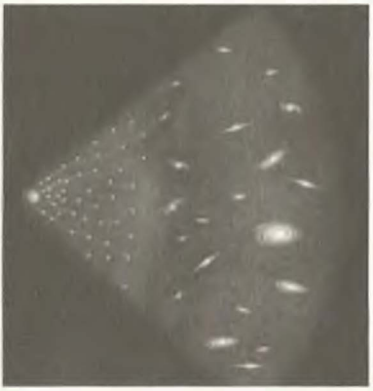
kuramının büsbütün terk edildiği anlamına gelmez. Klasik Newton dinamiğinin kazanımları hâlâ bilimde yerini koruyor ve geçerli olduğu koşullarda kullanılmaya devam ediyor.

Büyük Patlama kuramı da, eğer bir gün yerini başka daha gelişmiş bir kurama terk ederse, sağlam ve kalıcı olan kazanımlarının hepsi yerini koruyacaktır. Örneğin evrenin statik olmadığı ve dinamik evrim halinde oluşunun anlaşılması artık geri dönüşü olmayan bir olgudur. (Resim 28)

Geçen yüzyılın başında, hiçbir önemli değişiklik geçirmeyen, statik durağan bir evrende yaşadığımızı sanıyorduk. Biyolojik evrim, sadece canlıları ilgilendiren tekil bir olay olarak görülüyordu. Bugün ise, tümüyle evrim halinde bir evrende, kimyasal evrim sürecinin son halkası olarak biyolojik evrim de daha anlamlı bir yere oturmuş oluyor.

Bütün bu kazanımlara rağmen, Big Bang kuramının henüz çözülmeyi bekleyen pek çok problemi var. En önemli sorunlarından biri de, genel görelilik ile kuantum fiziğinin sentezini gerçekleştirecek bir "kuantik gravitasyon" kuramının eksikliğidir.

Bu konuda pek çok çalışma yapılmakta ve iddialı kuramlar geliştirilmekte, ancak fizikçi ve kozmolojistlerin hiç değilse büyük çoğunluğunu bir çatı altında toplayıp yeni bir paradigma oluşturacak kuram henüz yok.



Resim 28: Büyük Patlama kuramını betimleyen bir çizim. Büyük Patlama kuramı da, eğer bir gün yerini daha gelişmiş bir kurama terk ederse, sağlam ve kalıcı olan kazanımlarının hepsi yerini koruyacaktır. Örneğin evrenin statik olmadığı ve dinamik evrim halinde oluşunun anlaşılması artık geri dönüşü olmayan bir olgudur.

Daha önce kullanmış olduğumuz bir benzetmeyi tekrar etmemize izin verirseniz, "kuantik gravitasyon" kuramı üzerindeki çalışmalar, şefin gelmesini bekleyen bir orkestranın akord seslerine benziyor. Bakalım elindeki bagetiyle şef ne zaman sahneye gelecek ve bugünkü karmaşadan bir armoni çıkacak?..

Matematiksel Not

Soru 32'de vermiş olduğumuz, evrenin radyasyon (ışınım) egemen döneminde, T mutlak sıcaklık derecesinin zamana göre değişimini veren $T = 10^{10} / \sqrt{t}$ formülünün (genel görelilik kuramının denklemlerine başvurmadan) Newton dinamiği çerçevesinde basit şekilde nasıl elde edilebileceğini gösterelim. İçinde bulunan toplam M kütlesi sabit kalarak zamanla genişleyen R yarıçaplı küresel bir bölge ele alalım. Yoğunluk düzgün dağılmış ve kritik değerde, (soru 33) yani kürenin yüzeyindeki bir m kütlesinin uzaklaşma hızı/kurtuluş hızına eşit olsun. (Bkz. soru 47). Bu durumda, kürenin yüzeyindeki bir m kütlesinin $(1/2)mv^2$ kinetik enerjisi (kritik yoğunluğun tanımlamasına göre) potansiyel enerjisine denktir, yani

$$(1/2)mv^2 = GMm/R \quad (1)$$

Burada $v = dR/dt$, göz önüne alınan m kütlesinin hızı, t zaman ve G gravitasyon sabitidir. Yoğunluk ρ düzgün dağılmış olduğundan,

$$M = (4/3)\pi R^3 \rho \quad (2)$$

yazabiliriz.

v hızının yukarıda verilmiş olan değeri ile M kütlesinin (2)'de verilmiş olan değerini (1) denkleminde yerlerine koyarak,

$$R^{1/2}\, dR = \left(\frac{8\pi G R^3 \rho}{3}\right)^{1/2} dt \quad (3)$$

elde ederiz.

Evrenin radyasyon egemen döneminde olduğu varsayıldığından, maddesel yoğunluk ihmal edilerek, sadece radyasyon yoğunluğu göz önüne alınabilir ve soru 34'de görmüş olduğumuza göre, radyasyon yoğunluğu ile R^4 çarpımı $R^4\rho$ sabittir.

(3) denkleminin her iki tarafını $R^{1/2}$ ile çarpalım.

Denklemimiz

$$R\,dR = \left(\frac{8\pi G}{3}R^4\rho\right)^{1/2} dt \qquad (4)$$

olur. Şimdi (4) diferansiyel denkleminin sağ tarafındaki parantezin içerisi sabit olduğundan, kolayca entegre edilir ve (gerekli düzenlemeleri de yaptıktan sonra)

$$R = \left(\frac{32\pi G}{3}R^4\rho\right)^{1/4} t^{1/2} \qquad (5)$$

elde ederiz.

Boltzmann yasasına göre radyasyon yoğunluğu aT^4'dür. (Burada a Boltzman sabiti) Radyasyon yoğunluğunun kütle cinsinden değeri ise (Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ denklemine göre), aT^4/c^2 olacaktır. Bu değeri (5) denkleminde yerine koyarak ve parantez içerisindeki R^4 terimini de parantez dışına çıkartıp, denklemi T sıcaklık derecesine göre çözerek,

$$T = \left(\frac{3c^2}{32\pi Ga}\right)^{1/4} t^{-1/2} \qquad (6)$$

bulunur.

Sabitlerin sayısal değerleri yerlerine konularak

$$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}} \qquad (7)$$

elde edilir.

Evvelce (soru 32'de) belirtmiş olduğumuz gibi, (7) bağlantısı, radyasyon egemen dönemdeki evrenin sıcaklık derecesi T'nin değerini, t zamanının (saniye cinsinden) fonksiyonu olarak vermektedir.

KAYNAKLAR

"Un Univers Homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, série A, Vol.47, 1927.

Alpher, R. A.; H. Bethe ve G. Gamow, "The Origin of Chemical Elements", *Physical Review*, 1948.

Alpher, R.; ve R. Herman, "Evolution of the Universe", *Nature*, Vol.162, 13 Nov. 1948.

Bondi, H. and T. Gold, "The Steady-State Theory of the Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108, 1948.

Burbidge, E. M.; G. R. Burbidge, W. A. Fowler ve F. Hoyle (1957) "Synthesis of the elements in stars", *Review of Modern Physics*, 29.

Dicke, R. H.; P. J. E. Peebles, P. G. Roll ve D. T. Wilkinson, "Cosmic blackbody radiation", *Astrophysical Journal*, 142, 1965.

A. A. Penzias ve R. W. Wilson, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s", *Astrophysical Journal*, 142, 1965.

Eddington, A. S.; "On the Instability of Einstein's Spherical World", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.4, 1925.

Eddington, A. S.; *The Nature of the Physical World*, Cambridge University Press, 1928.

Einstein, A.; W. De Sitter, "On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, Vol.XVII, 1932.

Gamow, G.; "The evolution of the Universe", *Nature*, Vol.162, 30 Oct. 1948.

Hoyle, F.; "A New Model for the Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108.

Hoyle, F.; *Frontiers of Astronomy*, Mentor Books, New York, 1955.

Hubble, E. ve M. L. Humason, "The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae", *Astrophysical Journal*, 74 (1931).

Humason, M. L.; N. U. Mayall ve A. R. Sandage, "Redshifts and magnitudes of Extragalactic nebulae", *Astronomical Journal*, 61, 1956.

Kragh, Helge; *Cosmology and Controversy*, Princeton University Press, 1996.

Lemaitre, G.; "Note on the Sitter's Universe", *Journal of Mathematics and Physics*, Vol.4, 1925.

Lemaitre, G.; "A Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae", *Monthly Notices of the Royal Society*, Vol.91, 1931.

Lemaitre, G.; "The Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.91, 1931.

Livio, Mario; *The Accelerating Universe*, John Wiley and Sons.

Munitz, Milton K.; *Theories of the Universe*, The Free Press, New York, 1957.

Rovelli, Carlo; "Quantum Gravity", Cambridge University Press, 2004.

Martin Bojowald, *Scientific American*, October 2008.

Ünver, A. Süheyl (Ord. Prof. Dr.); *İstanbul Rasathanesi*, TTK Yayınları, 1969.

Vernant, Jean-Pierre; *L'Univers, les Dieux*, les Hommes, Editions du Seuil, 1999.

Azra Erhat, *Mitoloji Sözlüğü*, Remzi Kitabevi, 2008.

Weinberg, S.; *The First Three Minutes*, Basic Books, New York, 1977.



50 SORUDA KİTAP DİZİSİ

YAYIMLANMIŞLAR

50 Soruda İnsanın Tarihöncesi Evrimi
Prof. Dr. Metin Özbek

50 Soruda Aydınlanma
Afşar Timuçin - Ali Timuçin

50 Soruda Görelilik Kuramları
Yard. Doç. Dr. İbrahim Semiz

50 Soruda Deprem
Prof. Dr. Haluk Eyidoğan

50 Soruda Büyük Patlama Kuramı
Prof. Dr. Metin Hotinli

50 Soruda Yer'in Evrimi
Prof. Dr. Mehmet Sakınç

50 Soruda Yaşamın Tarihi
Dr. Deniz Şahin

50 Soruda Arkeoloji
Prof. Dr. Mehmet Özdoğan

50 Soruda Matematik
Prof. Dr. Şahin Koçak

50 Soruda Evren
Çağlar Sunay

50 Soruda Psikiyatri
Doç. Dr. Ali Nahit Babaoğlu

50 Soruda Antropoloji
Doç. Dr. Sibel Özbudun-Dr. Gülfem Uysal

50 Soruda Bilim ve Bilimsel Yöntem
Ed. Alâeddin Şenel

50 Soruda Dil Felsefesi
Atakan Altınörs

Bilim ve Gelecek Kitaplığı



büyük patlama kuramı

Metin Hotinli

Bilim ve Gelecek Kitaplığı "50 Soruda" dizisi, bilimin temel kuramlarını ve kimi alanlarını, popüler düzeyde anlatan kitaplardan oluşuyor.

Dizinin 50 Soruda Büyük Patlama Kuramı adlı elinizdeki kitabında, Prof. Dr. Metin Hotinli, evrenin nasıl oluştuğunu ve geleceğini açıklayan büyük patlama kuramını, dinamik ve evrim halinde bir evren gerçeğine ulaşmanın tarihi çerçevesinde ele alıyor. İÜ Astronomi ve Uzay Bilimleri Eski Bölüm Başkanı olan yazarın, insanlığın evrenin doğumuna dair ilk düşüncelerini içeren mitoslardan başlayarak, büyük patlama kuramına ulaşırken geçtiği kimi sorular şöyle:

İlk kozmolojik düşünceler ne zaman ortaya çıktı? Aristoteles kozmoloji modelinin özellikleri nelerdi? Kopernik kuramı ne gibi bir yenilik getirdi? Newton kuramı ile birlikte, kozmolojinin paradigması nasıl değişti? Özel ve genel görelilik kuramları ne getirdi? Einstein'ın geliştirdiği statik evren modeli, bilim çevrelerinde nasıl karşılandı? Astronomide uzaklıklar nasıl ölçülür? Genişleyen evrenden büyük patlamaya nasıl geçildi? Büyük patlama kuramında evrenin yaşı problemi nasıl çözüldü? Radyo astronomi gözlem verileri durağan evren kuramıyla bağdaşıyor mu? Big Bang kuramında ilk üç dakikanın önemi nedir? Fosil radyasyon nedir? Big Bang'dan önce ne vardı? Evrenin genişlemesi sürecek mi, duracak mı? Karanlık madde nedir? Karanlık enerji nedir? Büyük patlama kuramı kalıcı mıdır, değişebilir mi? Big Bang kuramının rakipleri var mıdır?

Bilim ve Gelecek Kitaplığı

ISBN 978-605-5888-15-2

9 786055 888152