

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

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

WILLIAM J. KAUFMANN

RÖLATİVİTE VE KOZMOLOJİ

ONUR
KUTLU

RÖLATİVİTE VE KOZMOLOJİ

WILLIAM J. KAUFMANN, III

ÇEVİREN

SACİT TAMEROĞLU

William J. Kaufmann, III'ün *Relativity and Cosmology* (Harper & Row, Publishers, New York 1973) adlı yapıtını, İngilizce aslından Sacit Tameroglu dilimize çevirmiş, ve kitap, *Rölativite ve Kozmoloji* adı ile *Onur Yayınları* tarafından, Haziran 1980 tarihinde, Ankara'da, *İlkyaz Basımevi*'nde dizdirilip bastırılmıştır.

İ Ç İ N D E K İ L E R

7	Giriş
9	Çekim Kuramının Temelleri
20	Rölativite Kuramının Doğuşu
32	Genel Rölativitenin Temelleri
39	Rölativitenin Deneysel Olarak Sınanması
50	Kırmızıya Kaymanın Anlamı
60	Kara Delik
71	Ak Delikler ve Kurtdelikleri
87	Galaksiler ve Kuasarlar
113	Çekim Dalgaları
121	Evrenin Şekli
132	Evrenin Yaradılışı
146	Sözlük

G İ R İ Ő

ASTRONOMİNİN, hem en eski bilim dalı olması, hem de çağdaş araştırmaların en çekici alanlarından birini teşkil etmesi gibi iki özelliği vardır. 20. yüzyılın ortalarında genç ve yaşı birçok bilim adamı, astronomik ve astrofiziksel alanlarda çok çeşitli sorunlara eğildiler. Bu çabaların sonunda bizim, evreni tüm olarak algılamamızda, birkaç temel değışikliğin eşığine geldiğimiz ortaya çıkmış bulunmaktadır. Özellikle şimdi, genel rölativite kuramının, fiziksel gerçeğin etrafı olarak kavranmasında çok geçerli olduğu görölmektedir.

Astronominin ve astrofiziğin son günlerdeki hızlı gelişmesinin talihsiz sonuçlarından biri, bu gelişmeye ayak

uydurmanın güçlüğüdür. Gerçekten her ay, temel önemi olan yeni bir buluş açıklanmaktadır. Profesyonel astronomun yeni buluşları öğrenmesi için biraz daha çok çalışması gerekirken sokaktaki adam veya herhangi bir astronomi öğrencisi, çoğunlukla, bu gelişmeleri izleyememektedir.

Bu kitabın özel amacı sokaktaki adama, amatör astronomia ve astronomi öğrencisine, son zamanlardaki araştırmaların daha çarpıcı ve alışılmamış sonuçlarını, özellikle, genel rölativite kuramını tanıtmaktır. Bu açıdan bakılırsa bu kitap, yeni çıkan dergilerle üniversite düzeyindeki başlangıç astronomi derslerinde kullanılan ders kitapları arasındaki boşluğu doldurmakta yardımcı olacaktır. Metnin ve şekillerin hazırlanmasındaki çabalarından dolayı Patricia Whitt, Paul Roques, James MacKenzie, ve James Klein'e teşekkürlerimi sunmak isterim.

Aralık 1972

William J. Kaufman III

BİR ÇEKİM KURAMININ TEMELLERİ

BİNLERCE yıldanberi insanlar, gece vakti üstlerinde ki gökyüzüne hayret ve hayranlıkla bakmışlardır. Bir ufuktan diğer ufka doğru uzanan sayısız yıldızlar, bitip tükenmeden birbirini izleyen devreleri ile gümüş bir ay, ve Zodyak kuşağının burçları boyunca gezinen gezegenler insanlara astronomi konusunda ilk çalışma arzusunu aşılamışlardır. Fakat, insan olarak yalnızca sonsuz sayıda gözlemlerle yetinmek olanak dışıdır. Geceler boyu, açık havada yalnızca ayın ve gezegenlerin konumlarını kaydetmek yeterli olmamaktadır. Eğer 10 Şubat 1971 tarihli ay tutulması ile onu izleyen 30 Ocak 1972 tarihli ay tutulması gözlenmişse, bundan sonraki *ilk* ay tutulmasının ne zaman ola-

cağını sormak doğaldır. İlk insanlar için güneşin, ayın ve gezegenlerin sabit yıldızlar çevresinde, ritmik dönüşler yaparak hareket ettikleri çok açık olarak kabul edilmişti. Eğer bunların devir süreleri anlaşılabilirse, çeşitli gök cisimlerinin gelecekte nerede bulunabileceklerini *kestirmek* mümkün olabilecekti.

İlkçağ insanının, astronomi alanında sahip olduğu hüneleri ve anlayışının derinliği konusundaki tamamlayıcı bilgilerimiz çok yenidir. Mısır'daki piramitler, İngiltere'deki "Stonehenge", Babil'in Zigguratları etkili astronomik anıtlardır. Bu anıtlar üzerinde yapılan araştırmalar sonunda, ilkçağ insanı için "Stonehenge"i yapmanın, çağdaş insan için ay yolculuğunu gerçekleştirmekten daha az başarılı olmadığı anlaşılmış bulunmaktadır.

3.000 veya 4.000 yıl önce insanlar güneşin, ayın ve gezegenlerin hareketlerini kestirebilmek amacı ile, özenle çalınan birtakım sistemler bulmuşlardır. Bu eski yöntemlerin kaydadeğer doğrulukları halen bilinmektedir. İki Çinli astronomun, Hi ve Ho'nun, İsa'nın doğumundan önce, 2159 yılında, bir tutulmayı önceden bilemedikleri için idam edildikleri söylenmektedir. Bugün bile, bu ileri tekniğimizle hesapta yapılan bir hatanın cezası, çok daha az şiddetli olmakla birlikte, mevcuttur.

Gök cisimlerinin konumlarının hesabı ve onların hareketlerinin açıklanması için, ilkçağ insanı tarafından bulunan yöntemler, gerçekten etkileyicidir. Eudoxus, merkezinde yerküre bulunan ve eşmerkezli kristal kürelerden oluşan bir sistem önermiştir. Güneş, ay ve gezegenler, birbirlerine göre değişik hızlarla dönen bu küreler üzerine bağlanmış bulunmaktadır. İkiyüz yıl sonra Hipparchus ünlü sistemini önermiştir: bu sistemde ise gezegenler episikl'lere bağlı idiler. Bu episikl'ler ise, merkezi yerküre olan sabit bir çember (*deferent*) üzerinde hareket ediyorlardı. Bu ve buna benzer sistemler, gezegenlerin konumlarını kestirme-

de o kadar başarılı oldular ki, bugün bile Ptoleme'nin "*Almagest*"'ine geri dönülerek buradan ayın, örneğin bu akşam, nerede bulunacağını hesaplamak mümkündür. Hesabınızın, gözleminizle gayet güzel uyuştuğunu hayretle görürsünüz.

O halde çığdaş insan, bu çeşitli eski kozmolojik modelleri neden reddetmektedir? Neden, evrenin merkezinin dünya olduğu fikrini kabul etmemektedir? Bu gibi soruların, batılı insanın psikolojik ve felsefi düşüncelerinin tümünü içermesi bakımından büyük bir önemi vardır. Ama daha basit bir bilimsel açıdan bakılırsa, güneş sisteminin jeosantrik kozmolojisinden heliosantrik sisteme geçmekte, en azından iki nedenin bulunduğu kolayca görülebilir.

Astronomi alanında gittikçe artan bilgilerin sonucu, ortaya çıkan koşullara yeniden uyabilmek amacı ile yapılan çalışmalar, Galileo'nun teleskop kullanması ile başlamıştır. Galileo, Venüs'ün dönemlerini, ayın dağlarını ve Aristoteliye sisteminin terkedilmesinde çok önemli bir rol oynayan, Jüpiter'in uydularını ortaya çıkarmıştır. Diğer bir deyimle, merkezinde güneş bulunan bir sistemi (güneş sistemi) kabul eden bir Kopernik kozmolojisi, fiziksel olarak çok daha gerçekçi görünmektedir.

Fakat, Hume ve Kant gibi filozofların çalışmaları sonunda, yalnızca fizik bilimi yardımı ile gerçeğin doğru yapısının içine girme umudumuzun olmadığı anlaşılmaktadır. En iyisi, hangisinin doğru olmadığını tanıtlamaktır. Bu nedenle, Rönesans boyunca astronomide ortaya çıkan değişiklikleri yaratan güdülerin psikolojik olması mümkündür.

Çalışma sırasında her bilim adamının ruhunun derinliklerinde, gerçeğin yapısı konusunda, bilinçaltı ve hatta mistik birtakım fikirler yatar. Örneğin, doğa yasalarının güzel, harmonik ve basit olması gerektiğine inanırız. Eğer birisi size, bir fizik yasasını açıklamışsa bu bilgiyi ideal olarak, estetik ve güzel bulacağınızı ümit ederiz. Açıkça, astronomların, jeosantrik varsayımı altında yaptıkları ça-

hşmalar, estetik bir çekiciliğe sahip değildi. Gezegenlerin, konumlarının, artan bir duyarlılıkla saptanması istenirse daha fazla küreler ve daha çok sayıda episikl'lerin kullanılması gerekiyordu. Yıllar geçtikçe sistem daha az basit, kullanışsız ve açık söylemek gerekirse, daha az güzel oluyordu.

Kuramsal astronomiyi güzelleştirme konusunda ilk ve büyük ilerleme 17. yüzyılda Johannes Kepler'in çalışmaları ile gerçekleşmiştir. Kepler'in büyük katkısı, gezegenlerin güneş çevresindeki hareketlerinin daha kesin bir tanımı ile ilgilidir. Onun çalışmaları, çağdaş fizik bilimine bir kapı açtığından, kendi adı ile anılan üç yasanın bulunuşundaki özü yeniden gözden geçirmek yararlı olacaktır.

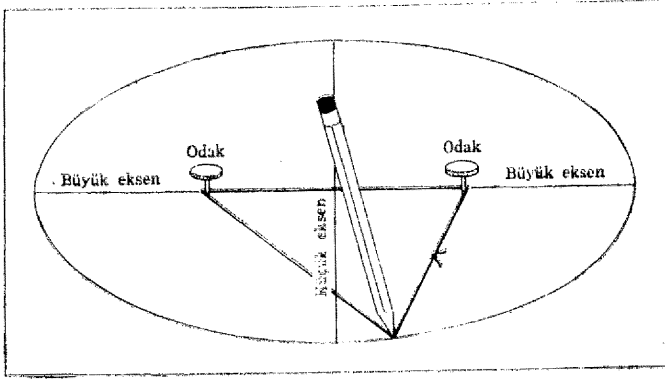
Kepler'in zamanına kadar, gezegenlerin hareketlerinde kullanılan temel öge çember olmuştur. Bu konuda, diğer eğrilerin de yararlı olabileceği düşüncesi hiçbir zaman ciddi olarak ele alınmamıştı. Bir gezegenin yörüngesinin tanımında, çember yerine, bir elips'in kullanılması gerektiği görüşünü ilk öneren Kepler olmuştur (şekil 1). Bu fikir Kepler'in birinci yasası olarak aşağıdaki şekilde dile getirilebilir:

*Her gezegen, güneş çevresinde,
odaklarının birinde güneş bulunan
bir elips çizer.*

Kepler bu önerisinde, Tycho Brahe'nin astronomik kayıtlarına dayanmış olup, bunlar, o zaman için mümkün olan en duyarlı gözlemleri biraraya getirmektedir. Bu gözlemlere dayanarak Kepler, bir gezegenin, kendi eliptik yörüngesi boyunca nasıl hareket ettiği hususundaki belirli bir ifade şekli bulabilmiştir. Bu buluş onun ikinci yasasında şöyle formülleştirilmiştir:

*Güneşi ve gezegeni birleştiren doğru,
eşit zamanlarda eşit alanlar süpürür.*

Sonuncu olarak Kepler'in üçüncü yasası gezegenin gü-



Şekil 1 — Elips: Diyagramda gösterildiği gibi halka şeklinde bir ip ve bir kalem kullanarak kolayca bir elips çizilebilir. Elipsin parçaları şunlardır: raptiyelerle yeri belirlenen iki odak, büyük eksen, küçük eksen. Büyük eksen elipsi bir uçtan öbür uca kesen en büyük uzaklık olup iki odaktan da geçer. Küçük eksen, elipsi bir uçtan diğer uca kesen en kısa uzaklık olup elipsin merkezinden geçer. Yarı büyük eksen, büyük eksenin yarısıdır. Aynı şekilde, yarı küçük eksen de küçük eksenin yarısıdır. Odaklar birbirlerine yaklaştıkça elips giderek bir çembere dönüşür.

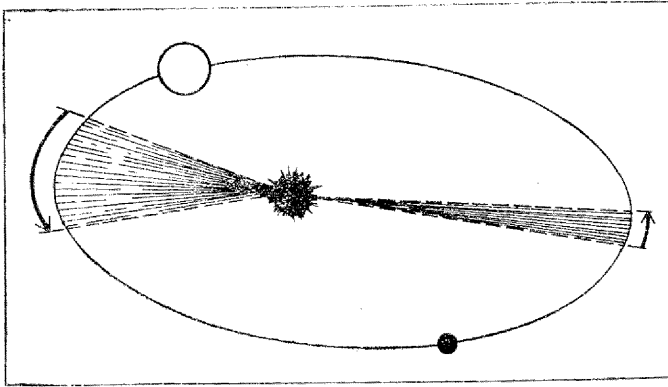
neş çevresindeki bir tam dolanım zamanı (periyod) ile eliptik yörüngenin boyutlarını aşağıdaki şekilde birbirine bağlar:

Gezegenlerin periyodlarının kareleri, onların yörüngelerinin büyük eksenlerinin yarılarının küpleri ile doğru orantılıdır.

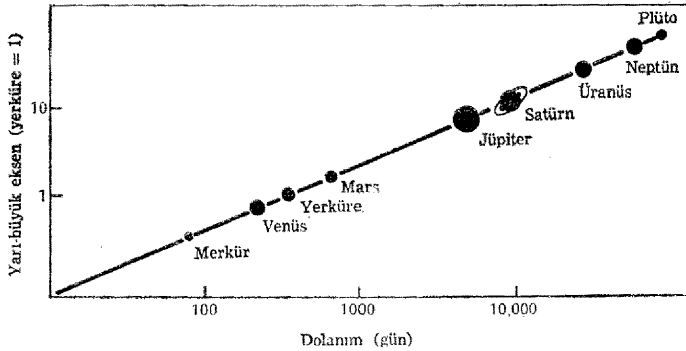
Birinci ve ikinci yasalar şekil 2'de, üçüncü yasa ise şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir.

Gezegenler, günlük hareketlerini güçleştiren her türlü yabancı etkenlerden uzak, uzayın geniş boşluğunda serbestçe dolanırlar.

Örneğin, gezegenler, sürtünme veya hava direnci ile karşılaşmazlar. Buna göre, evrenin fiziksel yasalarının bulunuşunda ilk büyük ilerlemenin astronomiden geldiği açık olarak anlaşılmaktadır. Böylece, fiziksel evrenin yapısı, gezegenlerin hareketleri ile en basit ve en saf bir açıklama:



Şekil 2 — Kepler'in birinci ve ikinci yasaları: Her gezegen güneş çevresinde, odaklarının birinde güneş bulunan elips şeklinde bir yörünge çizer. Ayrıca güneşi ve gezegeni birleştiren doğru, eşit zamanlarda eşit alanlar süpürür.



Şekil 3 — Kepler'in üçüncü yasası: Bu grafik, gezegen yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğunun, gezegenin güneş çevresindeki bir tam dolanım süresine bağlı olarak değişimini gösteriyor. Bütün gezegenlerden elde edilen verilerin tümünün bir doğru üzerine dizilmiş olması gerçeği bize, bu iki büyüklük arasında basit bir ilişki olduğunu gösteriyor. Kepler'in üçüncü yasası bu doğrunun eğimini ya da doğrultusunu bildirmektedir.

sını kazanmış olmaktadır.

Kepler'in üç yasasının anlamını kavrayan, Isaac Newton'un dehası olmuştur. Bunu başarmak için Newton, önce yeni bir matematik yöntemi, diferansiyel ve integral hesabı bulmuş ve bunun yardımı ile gezegenlerin güneş çev-

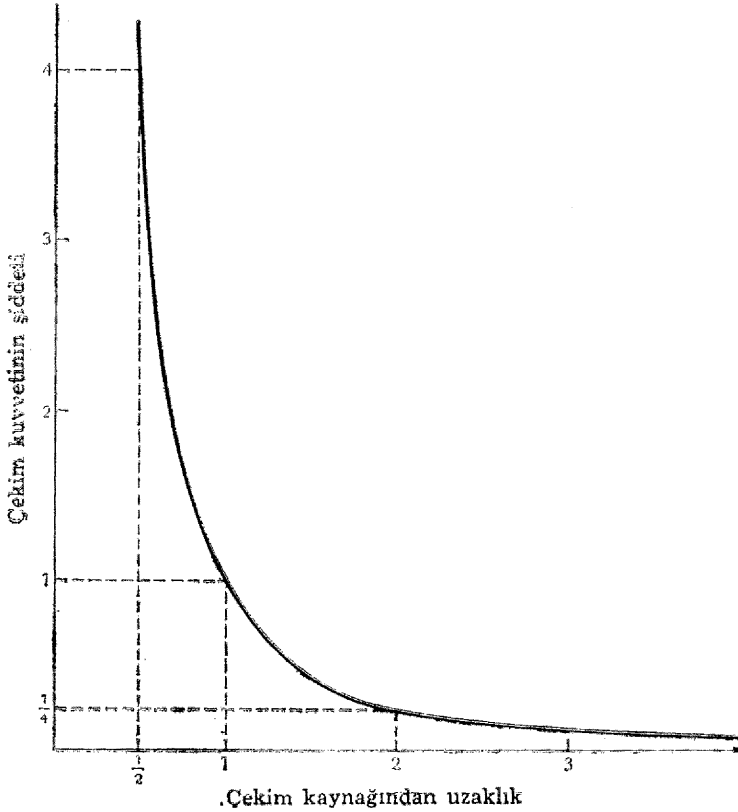
resindeki dönüşlerinde değişken olan hızlarını ve uzaklıklarını hesaplama olanağını elde etmiştir. Keplerin ampirik buluşlarına bu yeni matematik aracı uygulayarak Newton, gezegenlerin, *çekim* adı verilen bir kuvvetin etkisi altında, güneş çevresinde döndükleri sonucunu çıkarmıştır. Daha kesin olarak Newton, çekim kuramını şu şekilde formüle etmiştir:

*İki cisim birbirlerine; kütlelerinin
çarpımı ile doğru, aralarındaki
uzaklığın karesi ile ters orantılı olan
bir çekim kuvveti uygular.*

Çekim alanının şiddetinin değişimini gösteren bir grafik, şekil 4'te verilmiştir.

Buradan, kütlesi olan her fiziksel cismin, aynı zamanda bir çekim alanına sahip olduğu sonucu ortaya çıkar. Eğer cismin kütlesi iki katına çıkarılırsa alanın şiddeti iki katı artar. Ayrıca yoğun bir cisimden belirli bir uzaklıkta durursanız belirli bir çekim kuvveti hissedersiniz. Ortaya çıkan çekim kuvvetinin şiddeti cisimden iki katı uzaklaşınca dörtte-bir değerine düşer.

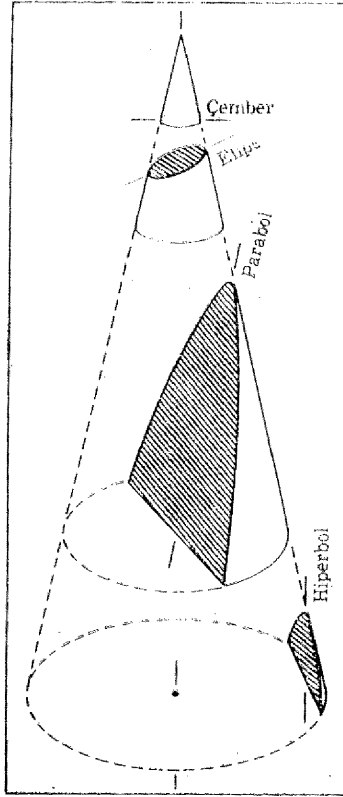
Bu çekim yasasını kullanarak, ve geliştirdiği matematik yöntemleri uygulayarak Newton, bütün Kepler yasalarını yeniden çıkarmayı başarmıştır. Diğer bir deyimle, Kepler'in buluşlarını, bütün maddesel cisimlerin (yalnızca gezegenlerin değil) sahip olması gereken etkili bir çekim kuvveti cinsinden ifade etmeyi başarmıştır. Bundan başka, Newton, o ana kadar bilinmeyen veya anlaşılamamış bazı olayları açıklayabildiği gibi bazılarını da önceden haber vermiştir. Örneğin, elips, koni kesitleri adı verilen bir eğri ailesinin bir ögesidir. Newton, güneş çevresinde hareket eden bir cismin yörüngesinin, koni kesitlerinden herhangi birisi olacağını tanıtlamıştır. Bu kesitler, bir çember, bir elips, bir parabol, ve bir hiperboldur. Bu eğrilerin, çembersel bir koninin bir düzlemlle kesilmesinden nasıl elde edildiğini gös-



Şekil 4 — Newton'un çekim yasası: Bu grafik bir cismin çekim kuvvetinin, cisimden uzaklaştıkça nasıl azaldığını gösteriyor. Uzaklık iki kat artarsa kuvvet dörtte-bire düşer.

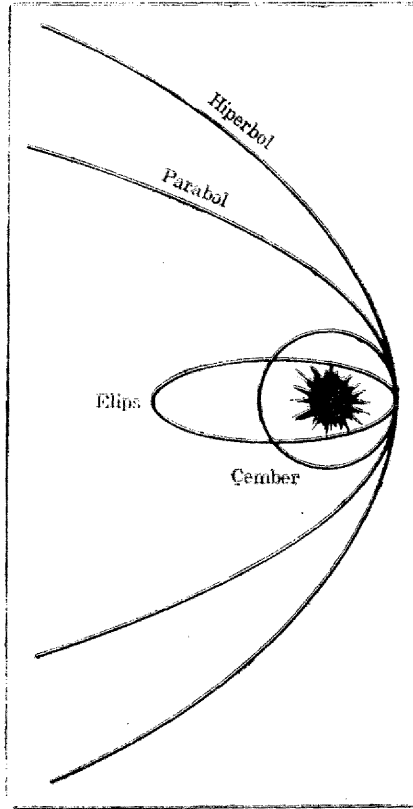
teren bir diyagram, şekil 5'te görülmektedir. Güneş çevresinde dönen bir gök cisminin kesin yörüngesi, bu cismin sahip olduğu enerjiye, özel bir şekilde, bağlıdır. Enerjisi küçük olan cisimler (güneşin çekim alanında bulunan enerjiye göre), gezegenler gibi, güneş çevresinde çembersel veya elips şeklinde bir yörünge çizmelidir. Enerjileri büyük olan cisimler, kuyruklu yıldızlar gibi, güneş çevresinde pa-

rabolik veya hiperbolik bir yörünge izlemelidir. Bu tip çeşitli yörüngeler şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5 — Konik kesitler: Bir koniyi keserek çok önemli dört eğri elde etmek mümkündür. Koniye, eksenine dik olarak kesersek bir çember elde ederiz. Eksene eğik olarak kesilirse bir elips bulunur. Kesim koni kenarına paralel olarak yapılırsa çıkan eğri bir parabol olur. Son olarak kesim koni eksenine paralel olursa ortaya bir hiperbol çıkar.

Newton'un, bu ilk başarılı çekim kuramının formülasyonunda yaptığı, temel olarak çok güzeldir. O, evrensel



Şekil 6 — Güneş çevresindeki yörüngeler: Çember en düşük enerji seviyesidir. Biraz daha fazla bir enerji ile bir cisim elips şeklinde bir yörüngeye girebilir ve güneşten daha fazla uzaklaşabilir. Enerji daha da arttıkça cisim parabolik bir yörüngeye girebilir ve güneşten kaçabilir. Ancak bu halde güneşten sonsuz uzaklıkta cisim hareketsiz kalır. Eğer cismin enerjisi çok fazla ise hiperbolik bir yörüngesi olacaktır. Bu durumda güneşten sonsuz uzaklıkta bile olsa cisim, ölçülebilir bir hızla güneşten uzaklaşmaya devam eder.

çekim kuramında yer alan basit bir kabuller dizisinden hareketle, Kepler yasalarının geçerliliğini tanıtlamış ve çok sayıda başka problemleri de açıklamıştır. Newton'u izleyen

üçyüz yıl içerisinde, onun çekim kuramının başarısı devamlı olarak dorukta kalmıştır. Gauss, Euler, Lagrange, Laplace, Hamilton, ve Jacobi gibi büyük matematikçiler ve fizikçiler; *Klasik Mekanik* adı altında bilinen fiziksel gerçeklerin tanımını verebilmek için, Newton tarafından düşünülen uygulama alanı üzerinde, titizlikle çalışmışlardır. Bununla birlikte, son yüzyıla girerken, klasik mekanik ile elektromagnetik kuramı arasında üzücü ve sıkıntılı bazı çelişkiler ortaya çıktı. Bu çelişkileri çözen ve temelleri bakımından yeni ve farklı bir çekim kuramı bularak buna *genel rölativite kuramı* adını veren Albert Einstein olmuştur. Göreceğimiz gibi, Dr. Einstein'ın kuramı, Newton'un- kine göre çok daha estetik ve gözahıcıdır.

Einstein, genel rölativite kuramını 1916 yılında yayımlayınca, bu yeni kuramın gözlemsel olarak sınanması konusunda büyük bir çaba başladı. Sonraları, yavaş yavaş, genel rölativiteye duyulan ilgi zayıfladı. Bu hal 1950 yılının sonlarına kadar, yalnızca Einstein'ın fikirlerini benimseyen fizikçi ve matematikçilerin oluşturduğu ufak bir grubun çalışmaları ile böylece sürüp gitti. Bundan sonra kuasralların keşfi ile, genel rölativiteye duyulan ilgi dehşetli bir şekilde artmış ve bugün, bu konuda çalışan teorik araştırmacıların sayısı eskiye göre büyük sayılara ulaşmıştır. Yeni çalışmaların sonucu olarak, genel rölativitenin bütün olanakları açık bir şekilde belirmiştir. Bu olanakları daha ilerdeki bölümlerde inceleyeceğiz.

RÖLATİVİTE KURAMININ DOĞUŞU

19. YÜZYILDA fizikteki başlıca ilerlemeler, elektrik ve manyetizma üzerinde yoğunlaşmıştı. Oersted ve Faraday'ın çalışmalarından önce, elektrik ve manyetizmanın, farklı ve birbirlerinden bağımsız iki olay olduğu düşünülüyor ve bunlar hakkında pek az şey biliniyordu. Ama 1800'lerin başlarında, deney alanındaki büyük gelişmeler sonucu, bu iki olayın birbirleri ile çok yakından ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin, hareketli bir elektrik yükü bir manyetik alan meydana getirir. Ve tersine, manyetik alandaki bir değişme, herhangi bir elektrik yükünün yardımı olmaksızın, bir elektrik alan oluşturur.

Bu buluşların bir sonucu olarak, geleneksel Newton me-

kanığı çerçevesi ile çok iyi uyuşmayan bazı doğa olayları ile karşılaşıldı. Newton, iki cismin birbirine uyguladığı kuvvetlerin şiddetinin, yalnızca bu iki cisim arasındaki uzaklığa bağlı olduğunu kabul ediyordu. Buna karşılık Oersted, örneğin, hareketli bir elektrik yükünden başka bir şey olmayan bir elektrik akımının, bir manyetik pusulanın ibresine bir kuvvet uyguladığını buldu. Böylece, bir elektromanyetik ara-etkinin yapısının belirlenmesinde hareketin önemli olduğu ilk kez ortaya konmuş oluyordu. Buna ek olarak, gök cisimlerinin birbirlerini yalnızca çekmelerine karşılık, elektrik kuvvetleri birbirlerini hem çekebilir hem de itebilirler. Ve sonunda Hertz, elektromanyetik bozucu etkilerin sonlu bir hızla hareket ettiğini gösterdi, oysa ki, daha önce yapılmış astronomik gözlemler, iki cisim arasındaki kuvvetlerin, bu cisimlerin yalnızca o andaki konumlarına bağlı olduğu izlenimini bırakıyordu.

1800'lerin ortalarında, zeki İskoçyalı fizikçi James Clerk Maxwell, bu ilginç olayları, tek bir kuram altında toplamayı başardı. Maxwell, bu başarıya *alan* kavramı üzerinde önemle durarak ulaşmıştır. Newton, iki cismin birbirlerine boş uzay üzerinden, doğrudan doğruya tesir ettiklerini kabul ederken, Maxwell, yüklü parçacıklar şeklindeki cisimlerin, yakın çevrelerinde birtakım gerilmeler meydana getirdiğini delillerle tanıtladı. Bu gerilme alanları, maddesel parçacıklar arasında aracılık yaparlar. Bu alan düşüncesine girişin bir sonucu olarak Maxwell, *elektromanyetik kuramın tümünü, Maxwell'in alan denklemleri* adı verilen dört basit denklemle formüleştirdi.

Bu dört denklemin önceden haber verdiği en önemli olay, bütün elektromanyetik dalgaların (radyo dalgaları, ışık, X ışınları, vb. gibi) uzayda, *daima*, genellikle *c* ile gösterilen, gayet belirgin bir hızla yayıldıklarıdır. Bu hız, iyi bilindiği gibi, saniyede 300.000 kilometredir. Böylece, Maxwell, elektrik yükleri ile elektrik akımları ve bunların

sonucu olan elektrik ve manyetik alanlar arasındaki bağıntının kesin matematik tanımını verdiği gibi, bu alan denklemleri, bize ilk kez temel bir hız tanıtıyordu.

Fizikte, temel bir hızın, o kadar önemli olduğu iddia edilemez. Newton mekaniğinde temel olarak bizi yalnızca ivmeler ilgilendirir. Ama, gene de böyle bir temel hızın varlığı, mutlak hareketsizliğin eylemsizlik takımı olarak adlandırılan bir eksen takımını, deneysel olarak belirleyebileceğimiz anlamına gelir. Bunun anlamını kavramak için uzayda v hızı ile hareket eden yerküreyi ele alalım. Eğer yerkürenin hareketi yönünde bir ışık ışını gönderirsek ışık $c + v$ hızına sahip olmalıdır, eğer ışını ters yönde gönderirsek ölçeceğimiz toplam hız $c - v$ olmalıdır. Bu deneylerin sonucu olarak dünyanın evrende nasıl hareket ettiğini kesinlikle belirleyebilirdik.

Böyle bir deneye ilk girişenler, Albert A. Michelson ve Edward W. Morley adlı iki Amerikan fizikçisi oldu. Yapılan deneyler sonunda şaşkınlıkla görüldü ki, ışığın hızı, ışının gönderilme yönü ne olursa olsun, her zaman aynı kalmaktadır. Bir başka deyimle, bu özel sayının (saniyede $c=300.000$ kilometre) herkesin beklediğinden çok daha önemli olduğu anlaşıldı. Michelson Morley deneyinin temel bir sonucu olarak şunu açıklamak mümkündür: (1) Dünya hareket etmemektedir (bunun anlamı yok!) veya (2) Newton fiziğinde yanlış olan bir şey vardır.

Klasik Newton fiziği bakış açısından, ortaya çıkan bu güçlüklerin önemini kavrayan Einstein'ın dehası oldu. O, bütünü ile fiziğe yepyeni bir doğrultu verdi ve madde, uzay ve zaman hakkındaki fikirlerimizde büyük bir devrim yaptı.

Bu işe başlamak için, Einstein önce, *ışık hızının mutlak bir sabit olduğunu* kabul etti. Bir başka deyimle, ışığın hızını kim ölçerse ölçsün, onu nasıl ölçtüğünün hiç önemi yoktur; ışık kaynağının veya gözlemcinin hareketli olup

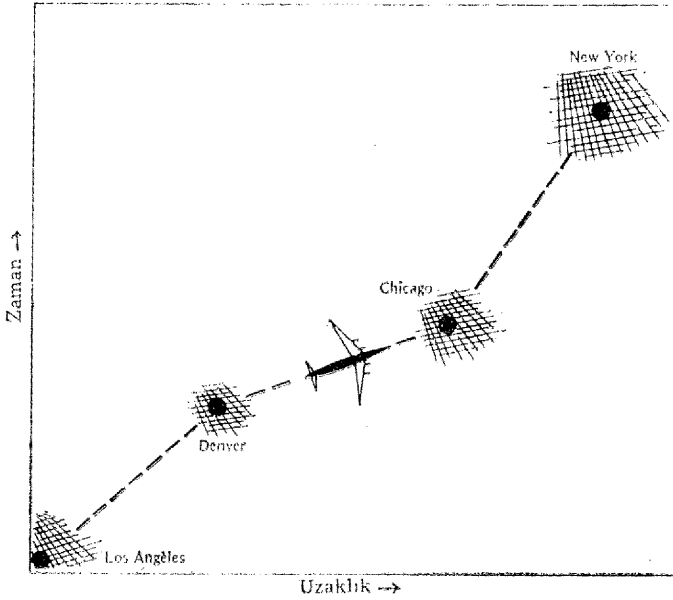
olmaması da önemli değildir. Işık, gözlemciye her zaman; saniyede 300.000 kilometrelik bir hızla ulaşacaktır. Bu, bizim uzay ve zaman hakkındaki günlük deneylerimize doğru-
dan doğruya ters düşmektedir. Sonuç olarak, bizim uzay ve zaman konusundaki kavramlarımız değişmelidir.

Birinci değişiklik, uzay ve zamanın, birbirlerinden tam olarak bağımsız olmayan iki büyüklük oldukları şeklinde ortaya atılmıştır. Gerçekten, uzay ve zamanın, dört boyutlu sürekli bir uzay-zaman ortamı oluşturduğunu düşünmek yararlıdır. Bu, zamanı, bilinen üç uzay boyutuna eklenen dördüncü bir boyut olarak düşünmek demektir (yukarı-aşağı, sol-sağ, ön-arka).

Uzay-zaman ile ne anlatılmak istendiği hakkında tam bir fikir verebilmek için, iki boyutlu basit bir örnek ele alalım. Los Angeles'tan New-York'a giden ve arada Denver ve Chicago'ya iniş yapan bir uçak düşünelim. Alınan yolun zamana göre değişimini gösteren bir grafik çizersek, iki boyutlu bir uzay-zaman diyagramı elde etmiş oluruz. (Şekil 7.)

Benzer şekilde, üç boyutlu ve hatta dört boyutlu bir uzay-zaman düşünebiliriz. Örneğin, şekil 8, bir odaya giren bir insanın önce lambaya ve sonra iskemleye doğru yürümesini tanımlayan üç boyutlu bir uzay-zaman göstermektedir.

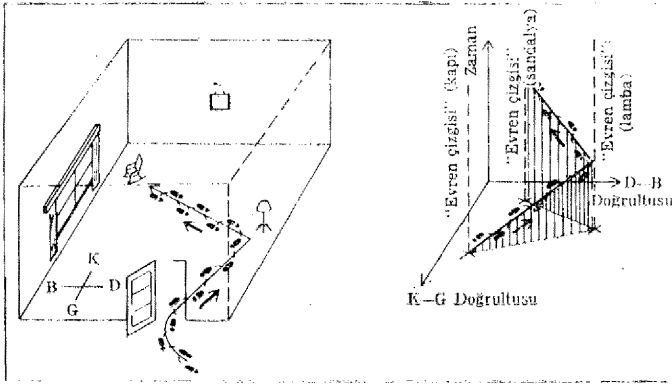
Fizikçiler, uzay-zaman diyagramlarını ortaya koyarken, grafiklerini özel bir tarzda çizmeyi çok yararlı bulurlar. Önce, iki boyutlu bir uzay-zaman gözönüne alalım. Uzay boyutu x ve zaman boyutu da t olsun. Bundan başka, x 'in t 'ye göre değişimini o şekilde çizelim ki, ışık ışınları 45° 'lik doğrular boyunca yol alsınlar. Kuşkusuz bu tamamen keyfi bir varsayımdır, ama, çok uygun bir anlatım şeklidir. Şimdi biz, ışık ışınlarının, iki boyutlu uzay-zamanımızda 45° 'lik doğrular boyunca yol aldığını biliyoruz. Böylece, örneğin, $t = 0$ ve $x = 0$ noktasından geçen ışık



Şekil 7 --- İki boyutlu uzay-zaman: Bu şematik diyagram bir uçağın uzay-zamanda Los Angeles'tan New York'a uçuşunu gösteriyor. Alman yol yatay eksen, geçen zaman ise dikey eksen üzerinde gösterilmiştir.

ışınları, şekil 9'da görüldüğü gibi, bir "ışık-konisi" tanımlarlar. Sonuç olarak, uzay-zamanımız, üç ayrı bölgeye bölünmüş olur: geçmiş, gelecek ve "geriye kalan ortam".

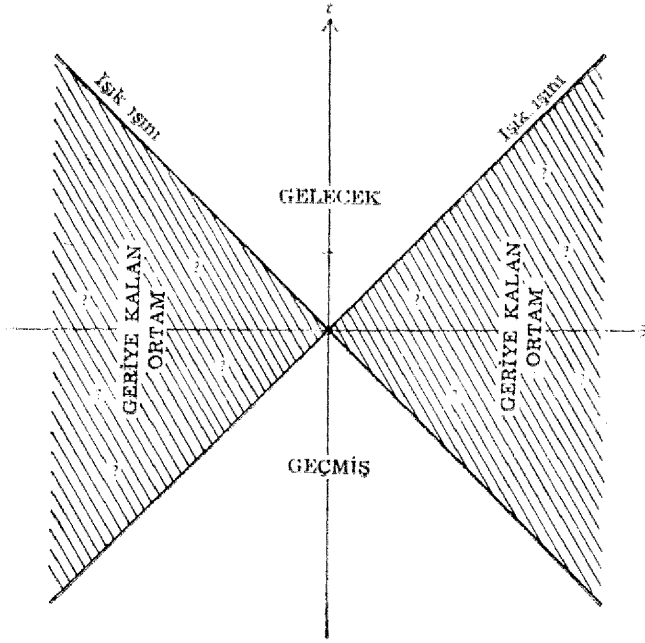
Einstein'ın rölativite kuramının iyi bilinen sonuçlarından biri de, göreceğimiz gibi, ışık hızından daha yüksek bir hızla yol almanın mümkün olmadığıdır. Bu nedenle, eğer, şekil 9'da $x = 0$, $t = 0$ noktası "burası" ve "şu an" ise herhangi bir gözlemci için, "geriye kalan ortam" yazılı bölgeler hakkında herhangi bir şey bilmek olanak dışıdır. Şekil 10'da görüldüğü gibi "geriye kalan ortam"ların içinde gidilemez, çünkü, bunu yapabilmek için uzay aracının ışıktan daha hızlı yol alması gerekir. "Geriye kalan ortam"daki birisi ile haberleşmek de olanak dışıdır çünkü,



Şekil 8— Üç boyutlu uzay-zaman: Bir odaya girdiğinizi ve önce lambaya ve sonra da iskenleye doğru yürüdüğünüzü varsayalım. Olağan bir uzayda çizdiğiniz yol sol tarafta gösterilmiştir. Çizdiğiniz yolun uzay-zamandaki diyagramını elde etmek için üç boyutlu bir grafik çizmemiz gerekir. Birinci ekseninde kuzey-güney doğrultusunda ne kadar yol aldığımızı gösteriyoruz. İkinci ekseninde doğu-batı doğrultusunda ne kadar yol aldığımız belirtiliyor. Üçüncü ekseninde ise ne kadar zaman geçtiğini gösteriyoruz. Çizdiğimiz yola ait ortaya çıkan diyagram sağ tarafta gösterilmiştir.

bunu yapmak, ışıktan daha hızlı yol alan bir sinyal alınmak veya göndermek anlamına gelir. Buna ek olarak, $x = 0$, $t = 0$ 'daki "burası" ve "şu an"a ulaşabilmek için gözlemcimiz, "geçmiş" olarak adlandırdığımız koninin içindeki bir noktadan gelmiş olmalıdır. Ne yapmaya çalışırsa çalışsın, gözlemcimizin bundan sonra ulaşacağı her zaman için "gelecek" adı verilen koninin içinde hapsedilmesi kaçınılmazdır.

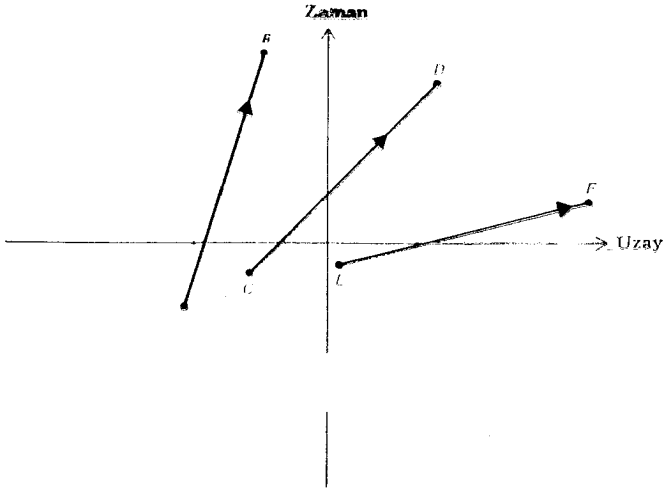
"Rölativite" deyiminin gerçek önemi, birbirine göre hareket eden iki gözlemcinin, aynı bir şeyi ölçmek istemeleri halinde ortaya çıkar. Daha uygun olması nedeni ile konuşmamızı, gene iki boyutlu bir uzay-zaman üzerine yoğunlaştıralım. Özel olarak, bir gözlemci tarafından ölçülen uzaklık ve zaman süresini x ve t ile, diğer gözlemcinin ölçtüğü uzaklık ve zaman süresini de x' ve t' ile gösterelim. Gözlemcilerin, birbirlerine göre ölçülen bağıl hızı da v olsun.



Sekil 9 — Bir bilim adamı iki boyutlu bir uzay-zamanı nasıl çizer: Bilindiği gibi zaman (t) dikey olarak ve uzaklık (x) yatay olarak gösterilir. Burada grafik, ışık ışınlarının 45° 'lik doğrular boyunca yol aldığı kabul edilerek çizilecektir. Bunu eksenleri uygun bir şekilde ölçekleyerek sağlayabiliriz. Buna göre t ekseninde 1 santimetrenin karşılığı bir saniye ise x eksenindeki 1 cm.'nin karşılığı da 300.000 km. olur. Eğer diyagramın merkezini ($x = 0$, $t = 0$) "burası" ve "şu an" diye tanımlarsak diyagram doğal olarak üç ayrı bölgeye bölünür.

Dr. Einstein 1905 yılında, büyük ölçüde birbirlerine göre hareket halinde bulunan iki gözlemcinin ölçümelerini ele alan Özel Rölativite Kuramını yayınladı. Böyle bir işlemin özünde, *Lorentz dönüşümleri* olarak adlandırılan, ve iki gözlemcinin ölçümelerini birbirlerine bağlayan birkaç basit matematik eşitlik yatmaktadır. Bu dönüşümler, aşağıdaki üç ana öge ile ilgilidir: Uzaklık, zaman ve kütle.

Kendimizi x , t sisteminde bulunan bir gözlemci yerine koyalım. Ve biz hareketsiz dururken ikinci gözlemcinin (x' ,



Şekil 10 — Neden “geriye kalan ortama” gidemeyiz: Bilim adamının çizdiği uzay-zaman içerisinde üç yol düşünelim. Kolaylıkla A noktasından B noktasına gidebilirsiniz. Çokça zaman geçer ama fazla yol alınmaz. C noktasından D noktasına gitmek için 45° ’lik doğru boyunca yol alınır. Bunu yapmak için ise ışık hızıyla hareket etmek gerekir. E noktasından F noktasına giderken çok kısa bir zaman süresinde çok fazla yol alınır. Bu durumda hızımızın ışık hızından fazla olması gerekir.

t' sistemi) bizi v hızı ile geçtiğini varsayalım:

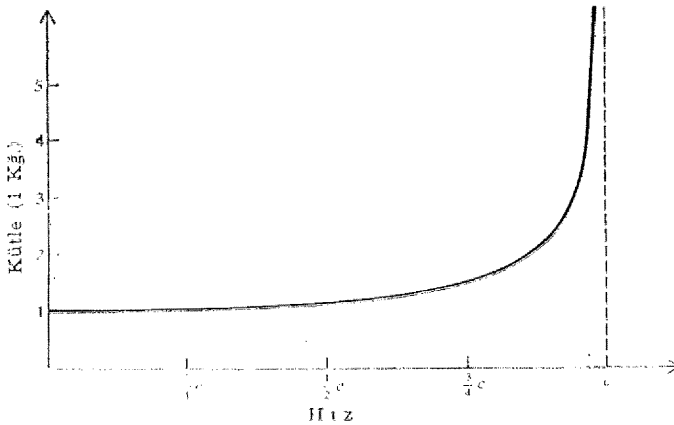
1. Hareketli gözlemcinin saatlerinin geri kaldığını söyleriz.
2. Hareketli gözlemcinin cetvellerinin kısalıldığını söyleriz.
3. Hareketli gözlemcinin kütlelerinin arttığını söyleriz.

Hareketli gözlemci ise keşin olarak bunların hiçbirinin farkına varmaz. O, kendisinin hareketsiz olduğunu ileri sürmekte ve her şeyin normal olduğunu söylemektedir. Ama, ona göre, biz hareket halindeyiz, bizim saatlerimiz geri kalmakta, bizim cetvellerimiz kısalmakta ve bizim kütlelerimiz artmaktadır.

Bu noktada, neden ışıktan daha hızlı gidilemediği, Lorentz dönüşümlerinden anlaşılmaktadır. Hareket eden

bir cisim gittikçe hızlanırsa, kütlesi sonsuz olarak artar. Gerçekten, ışık hızında bu kütle sonsuz olur. Bu nedenle, bir cismin hızını gittikçe artırmak istersek, ona gittikçe artan bir enerji vermemiz gerekecektir. Işık hızına erişebilmek için, bu enerjinin sonsuz olması gerekir ki, bu da olanaksızdır.

Hareket eden bir cismin kütesinin, o cismin hızına göre nasıl değiştiği şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 12 ve 13'te ise zamanın nasıl geri kaldığı ve cetvellerin nasıl

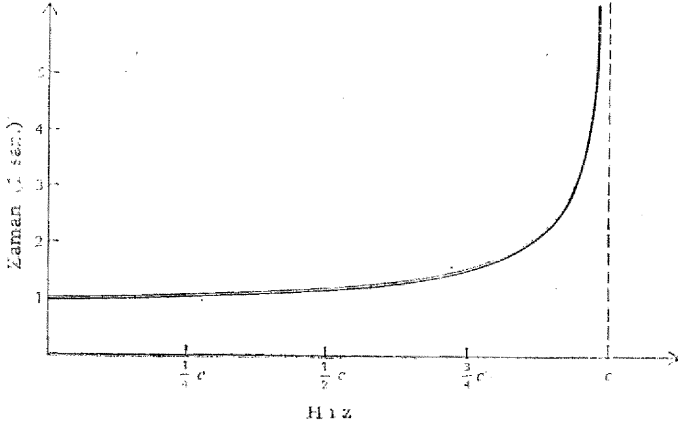


Şekil 11 — Artan hızla kütle de artar: Bu diyagram 1 kg'lık bir cismin kütesinin, cismin hızı ışık hızına yaklaştığında nasıl arttığını göstermektedir.

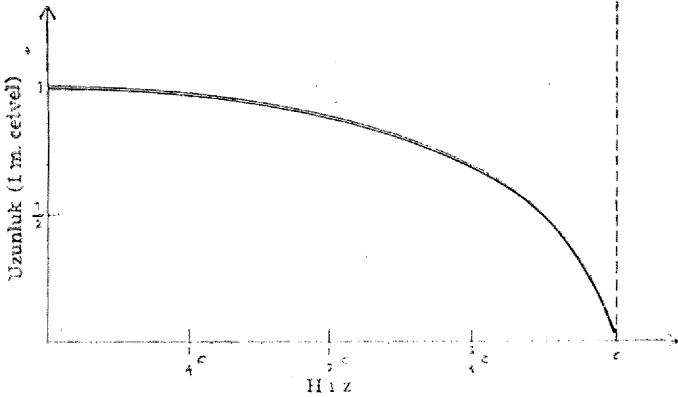
kısaldığı görülmektedir. Bu etkiler ancak, çok büyük hızlarda önemli olurlar. Gerçekte bu etkilerin önemli olduğu yerlerden biri, protonların, elektronların yer aldığı nükleer hızlandırıcılardır. Nükleer fizikçiler tarafından yapılan deneylerde, bu etkilerin varlığı büyük bir kesinlikle doğrulanmıştır.

Son olarak, Lorentz dönüşümlerinin, uzay-zaman diyagramlarımızı nasıl etkilediğini söylemek ilginç olacaktır. Eğer biz x , t sistemimizde hareketsiz olduğumuzu ve x' , t' , siste-

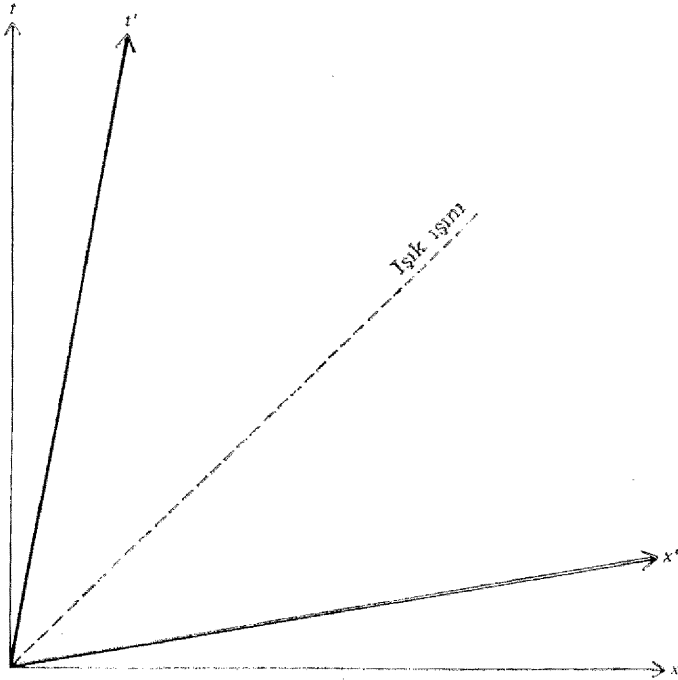
minin hareket ettiğini söylersek x', t' sisteminin şekil 9'a noktalanması halinde x', t' , eksenlerinin kaydığını görürüz. Bu, şekil 14'te gösterilmiştir. Ancak bu kayma yalnızca



Şekil 12 — Hız arttıkça zaman yavaşlar: Bu diyagram bir saniyenin uzunluğunun ya da süresinin, saniyeyi ölçen saatin hızı ışık hızına yaklaştığında nasıl arttığını göstermektedir.



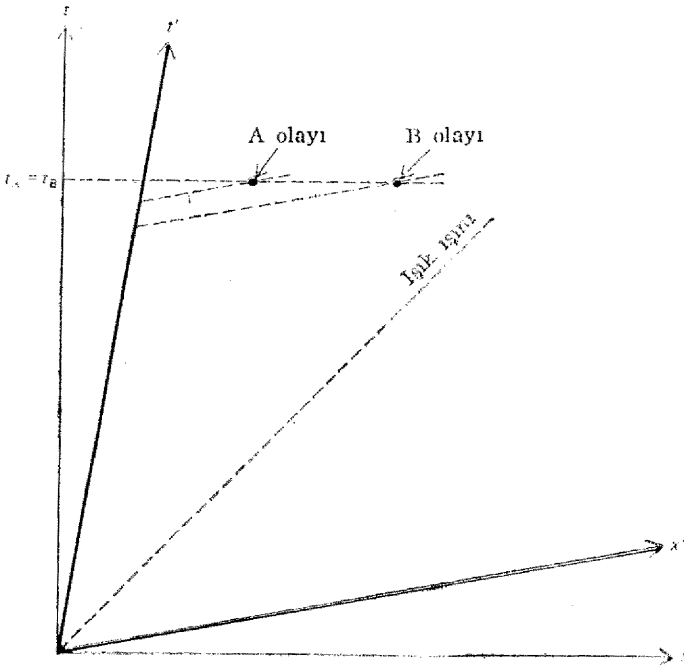
Şekil 13 — Hız arttıkça uzunluklar kısalır: Bu diyagram hareket doğrultusuna gevrilmiş bir metrelik bir cetvelin, hızı ışık hızına yaklaştıkça nasıl kısalacağını göstermektedir. Bu etki yalnız hareket doğrultusuna paralel olarak ölçülen uzunluklar için geçerlidir. Hareket doğrultusuna dik tutulan bir cetvelin uzunluğu hiç değişmez.



Şekil 14 — Uzay-zaman, hareketli bir gözlemciye göre nasıl değişir: x, t sisteminin hareketsiz olduğunu varsayalım. Bilindiği gibi t eksenini x eksenine diktir. Eğer x', t' sistemi hareket halinde ise eksenleri 45° 'lik ışık ışını doğrultusuna yaklaşmıştır.

ışık ışını çizgisi 45° 'de ise bu çizgiye göre simetrik olur.

Bu noktada, birbirlerine göre hareket eden iki gözlemci arasında, hangi nedenle, “eşzamanlık” gibi bir olayın gerçekleşmediği, açık olarak görünür. Bizim; x, t sisteminde bulunduğumuzu ve birbirlerinden çok uzakta ama aynı anda başlayan iki olayı izlediğimizi varsayalım. A olayının başladığı an, B olayının başladığı ana eşittir, veya bizim sistemimizde $t_A = t_B$ olur. Yani bu iki olay, bizim sistemimiz için “eşzaman”dır. Fakat, hareketli bir gözlemci (x', t' sistemi), bu iki olayın aynı anda başlamadığını söyleyecektir. Bunun nedeni, şekil 15'te açık olarak görülmektedir. x', t'



Şekil 15 — “Eş zamanlık” neden anlamsızdır: x, t sisteminin hareketsiz olduğunu varsayalım. Bu hareketsiz sistemde aynı anda meydana gelen ($t_A = t_B$) iki olayı gözleyelim (A olayı ve B olayı), x', t' sistemindeki hareketli gözlemci ise bu iki olayın aynı anda meydana gelmediğini söyleyecektir. Zira hareketli sistemin eksenleri, diyagramda görüldüğü gibi birbirlerine yaklaşırlar.

sisteminin eksenleri; x, t eksenlerine göre eğik bir duruma geçerler. Gözlemci geç olayı bu nedenle daha önce oluyormuş gibi izleyecektir.

Bu birkaç sayfa içerisinde, bizim uzay ve zaman hakkındaki düşüncelerimizde devrim yapan bir kuram, özel rölativite kuramının önemli ayırıcı niteliklerine kısaca değindik. Özel kuramından on yıl sonra yine, Dr. Einstein tarafından formüle edilen genel rölativite kuramı, göreceğimiz gibi, bizim evreni bir bütün olarak düşünüş tarzımıza, buna eş ölçüde, altüst edici bir etki yapacaktır.

ÜÇ GENEL RÖLATİVİTENİN TEMELLERİ

ALBERT Einstein 1905 yılında uzay, zaman ve madde-
nin yapısı ile ilgili birtakım yeni fikirler ortaya attı. Özel
rölativite kuramı adı altında toplanan bu fikirler dizisi,
ışık hızına çok yakın hızlarla hareket edildiğinde neler ola-
cağını bize açıklamaktadır. 1800'lerin sonuna doğru, bizim
geleneksel uzay ve zaman kavramlarımızla ilgili, önemli
bazı güçlüklerin bulunduğu ortaya çıkmıştı. Özellikle, James
Clerk Maxwell'in araştırmaları sonunda, doğanın ve ışığın
özellikleri hakkındaki kavramlarımız yetersiz kaldı ve bun-
ların düzeltilmesine gereksinme duyuldu. Dr. Einstein, ışık
hızının mutlak bir sabit olduğunu varsayarak bu düzelt-
meyi başarı ile gerçekleştirdi. Ayrıca, üç geleneksel uzay

boyutuna, dördüncü bir boyut olarak zamanı eklemenin, özellikle çok yararlı olacağını gördü. Özel rölativitenin bütün buluşları, ışık hızının sabitliğinin ve dört boyutlu uzay-zaman ortamının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Bununla birlikte, özel rölativite kuramında verilerden daha fazlası arzu edilebilir. Örneğin, çekimin doğada bulunan kuvvetlerin en önemlilerinden biri olduğu görülmektedir. Bu çekim nedeni ile gezegenler, güneş çevresindeki yörüngelerinde kalmaktadırlar. Güneşimizin ve galaksimizdeki yıldızların hareketlerini çekim kuvveti yönetmektedir. Galaksiler arasındaki karşılıklı etkiye ve belki de, evrenin bir bütün olarak gelişimine çekim kuvveti egemendir. Uzay-zamanın dört boyutlu kavramına çekimin eklenebilmesi, kesin olarak, soruna büyük bir aydınlık getirecektir.

Astronomların, evreni dört boyutlu bir uzay-zaman ortamı şeklinde açıklayan düşünce ile, neden büyük ölçüde ilgilendikleri açıktır. Aslında, uzaya baktığımızda, zamanı geriye doğru gözetlemekte olduğumuzu anlarız. Eğer 20 ışık yılı uzaklıkta bir yıldız görürsek, gözümüze şu anda gelen ışık, yıldızı 20 yıl önce terketmiş olan ışıktır. Bir başka deyimle, bundan 20 yıl önce yıldızın nasıl olduğunu şu anda görüyoruz. Bu nedenle, her ne zaman olursa olsun, bir astronomik cisim hakkında düşünürken, uzay ve zaman ile ilgili fikirlerimizin sıkıca birbirine bağlanmış olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle, astronomik cisimler arasındaki karşılıklı etkide, çekimin temel bir rol oynadığı hususu gözönünde tutulursa, özel rölativite kuramının, kendisine çekim katılmak suretiyle geliştirilmesi veya genişletilmesi konusunda çok gerçekçi bir nedenin ortaya çıktığı görülür.

Ama bu geliştirmeyi nasıl başarabiliriz? Belki de en verimli bir yaklaşım, çekim alanının katılması ile uzay-zamanın yapısının değiştiğini varsaymaktır. Diğer bir deyimle, çekimin bulunmadığı koşullarda, maddesel noktalar ve ışık ışınları bir doğru çizgi boyunca yol alırlar. Bir çe-

kim alanında ise, maddesel noktalar ve ışık ışınları, gene en uygun bir şekilde hareket ederler. Ama uzay-zaman değiştiğinden, bunların yörüngeleri artık doğru çizgiler değildir. Problemimiz, uzay-zamanın ne şekilde ve ne ölçüde değiştiğini bulmaktır.

Çekim'in bulunmadığı özel rölativite kuramında, uzay-zaman "düz"dür. Bir çekim alanının katılması ile, belki de, uzay-zaman "eğri"lecektir. Zayıf bir çekim alanı, uzay-zamanın hafifçe çarpılmasına neden olur ve maddesel noktaların veya ışık ışınlarının yörüngeleri, klasik doğru çizgilerden hafifçe sapar. Güçlü bir çekim alanı, uzay-zamanın şiddetle çarpılmasına yol açar ve bunun sonucu olarak, maddesel noktaların ve ışık ışınlarının yolu büyük ölçüde değişir.

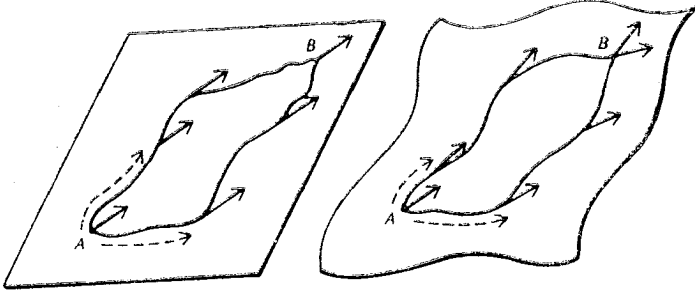
Çekim'e yapılan bu tür bir yaklaşımın önemini değerlendirebilmek için, "düz" ve "eğri" sözcüklerinin anlamı üzerinde anlaşılır bir fikre sahip olmamızın gerekeceği açıktır. Bunu, örneklerle açıklayabilmek için konuşmalarımızı yalnızca iki boyutlu yüzeyler üzerinde toplamak, özellikle yararlı olacaktır. Bu durumda fikirlerimizi en elverişli ve akla uygun bir şekilde ortaya koyabilirsek, kavramlarımızı üç-boyutlu, dört-boyutlu, hatta sonsuz boyutlu uzaylara genişletebiliriz.

İki boyutlu bir yüzeyin "eğri" mi yoksa "düz" mü olduğu hakkında, sezgiye dayanan çok açık bir fikirimiz vardır. Döşeme "düz"dür. Bir masanın üstü düzdür. Ama bir futbol veya basketbol topunun yüzü "eğri"dir. Bu sezgisel gözlemleri, kullanışlı bir şekilde formüle edebilmek için, *vektör* adı verilen bir büyüklük tanımlayacağız. Bir vektörün hem şiddeti hem de bir doğrultusu vardır. Hız, vektör için iyi bir örnektir; boş bir yolda, saatte 100 kilometrelik bir hızla, doğuya doğru yol alalım. Bir vektör, bir ok yardımı ile gösterilir. Bu okun uzunluğu, vektörün büyüklüğünü, yani şiddetini ve okun yönü ve vektörün doğrultusunu gösterir. Örneğin, belirli bir günde hava durumunu veren ve rüzgâ-

rın hızını gösteren küçük oklarla örtülü bir harita göz-önüne alalım. Okların boyu, rüzgârın hızını ve yönü ise rüzgârın esiş doğrultusunu yansıtacaktır. Bir gözatmakla, gün süresince rüzgârın nasıl seyredeceği, açık bir şekilde anlaşılmış olur.

Şimdi, iki boyutlu bir yüzey üzerinde bir vektör (bir ok ile gösteriliyor) düşünelim. Bu vektörü bu yüzey üzerinde, şiddeti ve doğrultusu değişmeyecek şekilde, hareket ettirelim. Bu işleme, *paralel kaydırma* adı verilir, ve bu işlem aşağıdaki şekilde başırlır. Vektörü; A noktasından başlayarak, özel bir yoldan B noktasına götürmek istediğimizi varsayalım. Yol boyunca sık sık durarak vektörü denetlemek ve her adımda vektörün şiddeti ve doğrultusunun değişmediğinden emin olmak gerekir.

Şimdi, şekil 16'da görüldüğü gibi, çok ilginç bir olaya tanık olunur. Düz bir yüzey üzerinde, bir A noktasından B noktasına giderken, bu yer değiştirmede hangi yolu izlediğinize bakmaksızın, yolculuğu daima aynı sonuçla bitirirsiniz. Buna karşılık, eğri bir yüzey üzerinde, B noktasına geldiğiniz zaman, geldiğiniz yola bağlı olan, farklı bir vektör



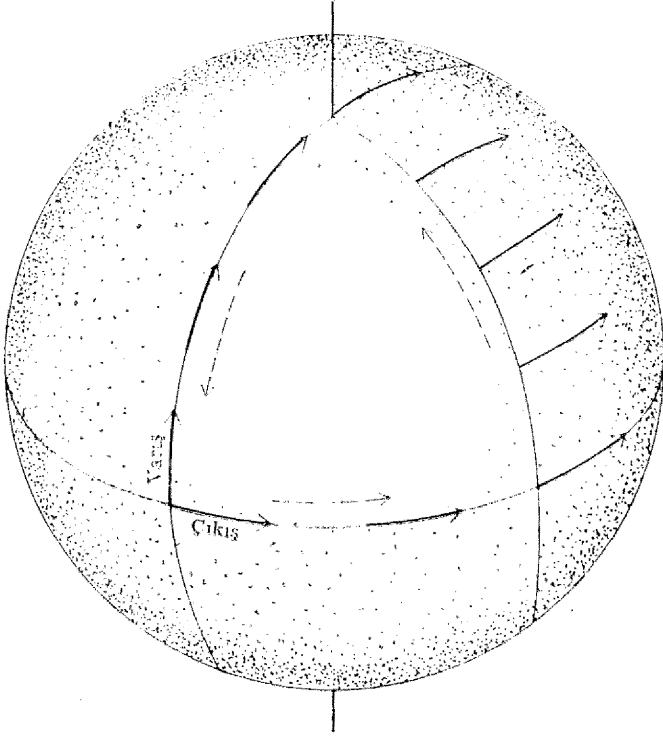
Şekil 16 — Düzlem ve eğri yüzeylerde vektörlerin paralel kaydırılması: Vektörlerin paralel kaydırılmalarında (oklarla gösterilmiştir) bir yol izlerken vektörün uzunluk ve doğrultusunun değişmemesini sağlamak için her adımda çaba gösteririz. Bir düzlem üzerindeki bir A noktasından B noktasına giderken gezinin sonunda her zaman aynı sonucu elde edersiniz. Çünkü bu, izlediğiniz yoldan bağımsızdır. Eğri bir yüzeyde ise seçilen doğrultuya göre varılan sonuç farklıdır.

elde edersiniz. Bir başka deyimle, düz bir uzayda bir vektörün paralel kaydırılmasından elde edilen sonuç, gidilmiş olan yoldan bağımsızdır. Buna karşılık eğri bir uzayda bir vektörün paralel kaydırılmasının sonucu, aşırı bir duyarlılıkla, izlenmiş olan yola bağlıdır. Bu tanıma ilkesi, uzayın eğri olup olmadığına bakılmaksızın her boyutlu bir uzaya uygulanabilir.

Birisi tarafından, yerkürenin yüzeyi üzerinde hareket ettirilen bir vektör; bu olaylara çok açık son bir örnek olarak verilebilir. Ekvator üzerinde, boyu keyfi ve tam tamina doğuya yönelmiş bir vektörü hareket ettirdiğimizi varsayalım. Vektörü, önce 90° 'ye karşı gelen bir uzunluk kadar kaydıralım ve sonra buradan kuzey kutbuna kadar götürelim. En sonunda, kuzey kutbundan tekrar, başladığımız noktaya, geri dönelim. Bütün bu gezi boyunca, vektörümüzü adım adım izleyerek onun doğrultusunu değiştirmemesine özen gösterelim. Şekil 17'de görüldüğü gibi, zamanla, ekvatordaki başlangıç noktasına dönüldüğünde, vektörümüzün, doğu yerine kuzey doğrultusuna yönelmiş olduğunu görürüz.

Vektörlerin paralel kaydırılmasının kullanılması, eğri bir uzayı betimlemekte çok kesin bir yöntem oluşturur. 19. yüzyılda, Georg F. B. Riemann, Elvin Bruno Christoffel ve Gregoria Ricci gibi matematikçiler her boyuttaki eğri uzaylar için gerekli kuramı geliştirmişlerdir. 1900'lerin başına kadar matematiğin bu dalı, akıllı bir oyundan başka bir şey değildi. Bu matematiğin yararlı bir uygulaması, ilk olarak Albert Einstein tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu matematiksel araçlar, sonuçları elde etmek bakımından çok elverişli idi. Bizim yapmamız gereken, soyut cebrik simgeleri fiziksel olarak doğru bir şekilde yorumlamaktan ibaretti.

Newton, klâsik mekaniği ilk geliştirdiğinde *analiz* (*calculus*) adı verilen yeni tür bir matematik kullandı. Nasıl



Şekil 17 — Bir küre üzerinde bir vektörün paralel kaydırılması: Yerkürenin ekvatorundan, doğuya yönelmiş bir vektörle geziye başladığımızı varsayalım ve bu vektörü 90°'lik boylama kadar kaydıralım. Sonra kuzey kutbuna çıkalım ve en sonunda başladığımız noktaya dönelim. Yol boyunca her adımda vektörün bir önceki adımın doğrultusunu korumasına dikkat edelim. Buna karşın gezinin sonunda ok doğuya değil kuzeye yönelik olur.

ki, Maxwell elektromanyetik kuramı geliştirmek için, *vektör analizi* adı verilen yeni bir matematik dalından yararlanmışsa, Einstein da genel rölativite kuramının formüllerle açıklamasını yaparken, yeni bulunmuş olan *tansör analizini* kullanmıştır. Tansör analizi, tansör adı verilen birtakım büyüklüklerle ilgili bir matematik dalıdır. 1900'lerin başlarında, Riemann, Gauss, Ricci ve Christoffel, eğri bir uza-

ym yapısını tanımlamada çok yararlı olan bazı tür tansörler buldular. Özellikle, *Ricci tansörü* olarak bilineni, eğri bir düzey üzerindeki paralel kaydırmada, vektörlerin nasıl döndüğünü bize açıklamaktadır. Bu, tastaman Einstein'ın aradığı şeydi. Ricci tansöründen hareketle Einstein *alan denklemlerini* kurdu. Çok önemli olan bu denklemler, bir çekim alanındaki uzay-zamanın, bilmeyi arzuladığımız tüm özelliklerini bize açıklamaktadır.

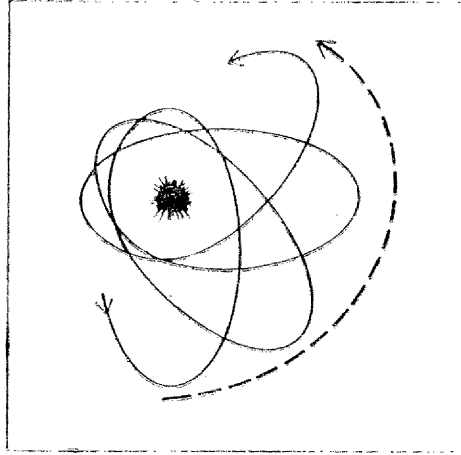
Ama bunun yeterli olmadığı açıktır. Einstein'ın alan denklemleri, bir çekim alanındaki uzay-zamanın nasıl çarpıldığını bize açıklar, ama cisimlerin, böyle eğri bir uzayda, nasıl yol aldıklarını açıklamaz. Bu sorunu çözmek için, madde parçacıkların ve ışık ışınlarının, uzay-zamanda en uygun bir şekilde yol aldıkları varsayılır. Bunu daha kesin bir şekilde şöyle açıklayabiliriz: Eğer bir cisim A noktasından B noktasına gitmek isterse, bunun izlediği yörünge, uzay-zamanda bu iki noktayı bağlayan en kısa yol olacaktır. Eğer uzay-zaman düz ise, bu yörüngelerin doğru çizgiler olacağı açıktır. Eğer uzay-zaman eğri ise, en sonunda ortaya çıkan en uygun yörüngeye, *jeodezik* adı verilir. Bir cismin veya bir ışık ışınının izlediği yolu bulmak amacıyla çözülmesi gereken denklemlere, *jeodezik denklemleri* adı verilir. Genel rölativite kuramındaki problemlerin çoğu, bu nedenle, alan denklemleri ile jeodezik denklemlerin eşzamanlı çözümlerinden oluşur. Bundan sonraki bölümlerde, bu tip hesapların büyüklü sonuçları ele alınacaktır.

DÖRT

RÖLATİVİTENİN DENEYSEL OLARAK SINANMASI

GEÇEN yüzyılın sonlarında, Merkür gezegeninin hareketlerinde bir uygunsuzluğun yer aldığı gittikçe artan bir kesinlikle ortaya çıktı. Newton mekaniğinden, bütün gezegenlerin yörüngelerini, büyük bir kesinlikle hesaplayabilmiş olmamız gerekir. Fakat bütün dış gezegenlerin uyguladığı bozucu etkilere karşı yapılan tüm düzeltmelerden sonra, hesap sonucu, Merkürün hareketleri gene istenilen kesinlikle bulunamamıştır. Özellikle, Merkürün eliptik yörüngesinin kendi çevresinde döndüğü, veya çok yavaş bir şekilde *presesyon* hareketi yaptığı anlaşıyordu. Dış gezegenlerin etki yapmaması halinde Merkürün yörüngesi, klâsik mekaniğe uygun olarak, tam bir elips olmalıdır. Fa-

kat gözlemler Merkür'ün, yörünge çevresinde dolarken bu yörünge'nin de yavaşça, aynı yönde döndüğünü ortaya koymuştur. Sonuç olarak, Merkür gezegeni, şekil 18'de görüldüğü gibi, gerçek bir elipsten çok, rozet şeklinde bir yörünge izlemektedir



Şekil 18 -- Merkür gezegeninin günberi noktasının presesyonu: Diğer gezegenlerin etkilerini gözönüne almadan, klasik kurama göre, Merkür'ün güneş çevresindeki yörüngesinin tam bir elips olması gerekir. Oysa ki, elipsin kendisi de yavaşça hareket ederek döner. Sonuçta Merkür bir rozet şekli çizer. (Diyagramda bu durum oldukça abartılmıştır.)

Etki, özellikle çok küçüktür. Merkür yörüngesinin günberi (perihel) noktası (yani, yörünge'nin, güneşe en yakın noktası) herbir yüzyılda, 43 saniyelik bir yay kadar hareket eder. Merkür'ün günberisinin presesyonu olarak bilinen bu olay, 1900'lerin başında astronomları büyük ölçüde etkilemişti. O devrin astronomu bu olayı açıklayabilmiş olabileceğini düşünüyordu.

1916 yılında Albert Einstein, *genel rölativite kuramı* olarak bilinen yeni ve devrimci bir çekim kuramı ortaya koy-

du. Burada temel fikir, bir çekim alanının, dört boyutlu bir uzay-zamanın bir eğrilmesi veya çarpılması ile kendini açıkça belli etmesiydi. *Alan denklemleri* adı verilen bağıntılar, uzay-zamanın ne ölçüde eğildiğini ve *jeodezik denklemler* ise cismin, bu çarpık uzayda nasıl hareket ettiğini bize söylemektedir. Einstein dikkatini, gezegenlerin güneş veya yoğun bir yıldız çevresindeki hareketine çevirdiğinde, ideal yörüngenin gerçekte, presesyon yapan bir elips olması gerektiğini buldu. Çekim alanının çok yoğun olduğu güneş veya yıldızın yakın çevresinde, presesyon hareketinin şiddetinin en fazla olması gerekiyordu. Alanın zayıf olduğu çekim merkezinin uzağında ise, Newton mekaniğinden olan sapmalar gerçekten çok önemsizdi. Einstein'ın hesaplarına göre Merkür günberisinin presesyonunun hızı, gerçekten bir yüzyılda 43 saniyelik bir yay kadar olmalıydı. Böylece, Merkür'ün esrarlı hareketi ilk kez açıklanmış ve bu açıklama çekim hakkındaki fikirlerimizin değişmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

1916'da bilimsel çevreden yayılan heyecanı bütün boyutları ile iletmeğe oldukça zordur. Newton'un klasik çekim kuramı, yüzyıllardan beri, fiziksel bilimlerin sarsılmaz bir anıtı gibi duruyordu. Ve şimdi birdenbire tam anlamıyla yeni ve farklı bir kuram, onun yerini alıyor ve daha iyi çalışır gibi görünüyordu.

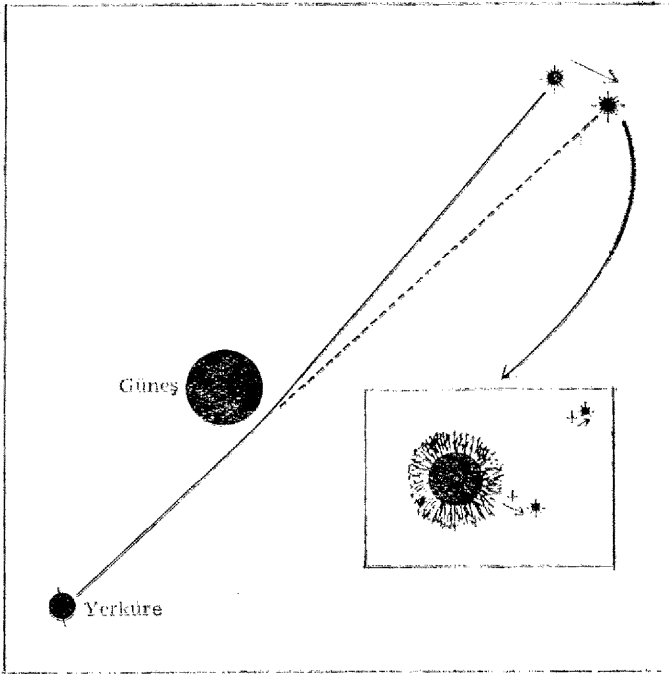
Bilim adamlarının o andaki görevi, bu yeni kuramı mümkün olduğu kadar denetlemektir. Ne yazık ki, zayıf çekim alanları için Einstein kuramı, Newton kuramının sonuçlarının hemen hemen aynısını veriyordu. Çok zayıf olmayan çekim alanları ise, ancak güneşin dış yüzeyine yakın yerlerde bulunabiliyordu. Bu nedenle, genel rölativiteyi denetlemek için deneyler tertiplemenin kolay bir iş olmadığı açıktır.

Merkür'ün günberi noktasının, 1800 yıllarında Leverrier çağından beri bilinen presesyon hareketi, genel rölativite ku-

ramının birinci “sımanma”sını veriyordu. Gerçekte, uzay-zamanın güneş yakınındaki eğriliği o kadar büyüktür ki, gezegenler artık daha fazla, basit elipsler boyunca dolanmazlar. Gerçekten bir gezegen, güneş veya bir yıldızın çevresinde, Newton’a göre eliptik bir yörünge boyunca dönmeye çabalarken, bu elips ayrıca presesyon hareketi yapar. Çekim alanı kuvvetlendikçe presesyonun hızı artar. Merkür örneğinde presesyonun hızı o kadar küçüktür ki, genel rölativite açısından güneşin çekim alanının oldukça zayıf olduğu anlaşılır.

Genel rölativitenin ikinci bir sımanması, güneşe çok yakın geçen ışık ışınları olayı ile sağlanır. Uzak yıldızlardan gelen ve güneş yüzeyinin yakınındaki eğri uzay-zaman içerisinde geçen ışık ışınları, şekil 19’da görüldüğü gibi, hafifçe eğilmeli, yani yolundan sapmalıdır. Işık ışınlarının bir çekim alanından etkilenmesi fikri, şu ana kadar, ciddi olarak gözönüne alınmamıştı. Ama, Einstein’ın hesapları, güneş yüzeyini yalayan bir ışık ışınının, 1,75 saniyelik bir yay kadar yolundan sapması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu olayın gözlenmesindeki güçlüğü, güneşin göz kamıştırıcı parlaklığı nedeni ile, normal koşullarda, güneş yakınının ve güneş arkasından geçen yıldızların hareketlerinin görülmemesinden doğduğu açıktır. 1919’daki tam güneş tutulması, bu problemin çözümü için tek bir olanak sağlamıştır. Güneşin yakın çevresinde görülen yıldızların, tam tutulmanın sürdüğü birkaç değerli dakika süresince fotoğrafları çekilir. Bu fotoğraflar, altı ay önce güneş başka bir yerde olduğu zaman, gökyüzünün aynı parçasının alınmış olan fotoğrafları ile karşılaştırılır. Bu gözlemlerin, son derece güç ve kusurlarla dolu olmasına karşın, Einstein’ın kuramı tekrar başarıya ulaşmıştır. 1919’a kadar olan hemen hemen bütün tam güneş tutulmalarında bu deneyler bazı araştırmacılar tarafından tekrarlanmış ve değişik ölçüde başarılar elde edilmiştir.



Şekil 19 — Işık ışınının güneş tarafından sapıtılması: Güneş yüzeyinin yakınından geçen bir ışık ışını hafifçe saptırılır. Bu durum ilk kez, bir tam güneş tutulması sırasında gözlenmiştir.

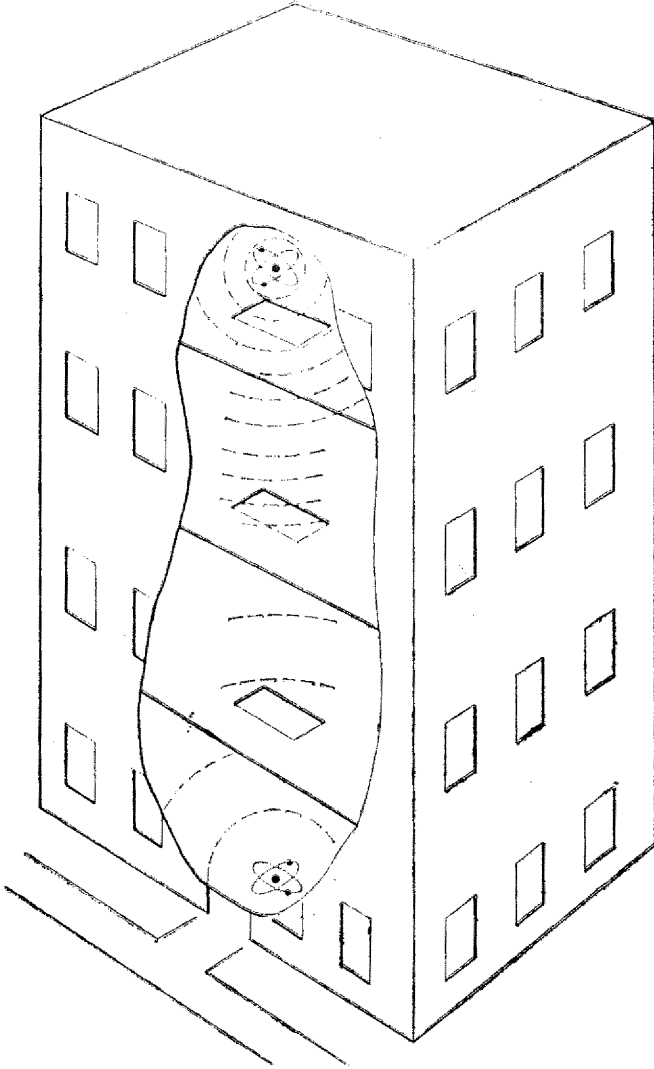
Bu nedenle, öyle bir kurama sahibiz ki, bundan önce açıklanamayan olayları doğru olarak hesapladığı gibi, o ana kadar bilinmeyen yeni olayları da önceden bildirmektedir.

Genel rölativite kuramının ileri sürdüğü üçüncü bir olay da, çekim alanında bulunan saatlerin özelliği ile ilgilidir. Güçlü bir çekim alanında bulunan bir saat, yoğun bir cisimden uzak bulunan bir başka saate göre geri kalır. Gerçekten, çekim alanında zaman yavaşlar. Çekimsel kırmızıya kayma olarak bilinen bu etki, çok yeni olarak doğrulanmıştır. 1960 başlarında, Harvard Üniversitesinden üç fi-

zikçi, Dr. Pound, Dr. Rebka ve Dr. Snyder, çekim alanında bulunan saatlerin yavaşlamasını doğrulamak için Mössbauer etkisinden yararlanmışlardır. Atomlar ve radyoaktif çekirdekler, gerçek anlamda saatlerdir. Mössbauer etkisi, bazı tür radyoaktif çekirdeklerin yayınladığı gamma ışınlarının frekansını, büyük bir doğrulukla sınaama olanağını verir. Deney çok yüksek bir binada yapılmıştır. Genel rölativiteye göre, binanın bodrumunda veya zemin katındaki saatler, çatıdaki saatlere göre daha yavaş “tik tak”lama hıdır. Zemin kat, yeryüzünün merkezine daha yakın olduğundan daha güçlü bir çekim alanı içerisindedir. Harvardlı fizikçiler, şekil 20’de şematik olarak görüldüğü gibi, zemin katta ve birkaç kat yukarda, Mössbauer etkisini kullanarak gamma ışınlarının frekanslarını karşılaştırma yolu ile zamanın yavaşladığını göstermeyi başardılar. Bunların bulunduğu sonuçlar, Einstein kuramının verdiği sonuçlarla, yüzde 1’den daha az bir hata ile çakışmıştır.

Bu üç etki (Merkür günberi noktasının presesyon hareketi, ışığın güneş yakınındaki sapması, ve çekimsel kırmızıya kayma), genel rölativitenin üç *klasik sınamasını* oluşturur. Belirli bir anlamda, evrenin genişlemesi dördüncü bir doğrulama olarak kabul edilebilirse de, üç klasik doğrulama, gerçekte Einstein kuramının üç deneysel sağlanmasını meydana getirmektedir.

Bu durum, yakın geçmişte büyük ölçüde önem kazanmıştır. Bazı fizikçiler, Einstein’ın çalışmasına benzemekle birlikte, ondan temelde farklı olan yeni bir çekim teorisi teklif ettiler. Örneğin, Dr. Brans ve Dr. Dicke çekimin etkisini gözönüne alırken Einstein’ın bilinen “tansör alanı”na ek olarak zayıf bir “skaler alanın” da önemli olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Brans-Dicke’in skaler-tansör kuramının sonuçları, geleneksel genel rölativiteninkilerle hemen hemen özdeştir. Einstein’ın genel rölativite kuramına uymayan kuramların en ünlüsü Brans-Dicke kuramı olmakla



Şekil 20 --- Çekimsel kırmızıya kayma: Genel rölativiteye göre bir çekim alanında saatler yavaşlar. Bu nedenle bir binanın alt katındaki saat, yerkiütrenin merkezinden daha uzakta bulunan çatı katındaki saate göre daha yavaş işler. Bu etki ilk kez Boston yakınlarında bir evde, radyoaktif çekirdeklerden çıkan **gamma ışınları** kullanılarak ölçülmüştür.

birlikte Einstein'ın çalışmasından temelde farklı olan daha başka formülasyonlar da bulunmaktadır. Fakat bunlar üç klâsik doğrulama için çok az farklı sonuçlar verir. Bu durumda sorun, genel rölativiteye ait çok kesin doğrulamalar elde etmek şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Laboratuvarlarda yapabileceğimiz tek doğrulama, Mössbauer etkisini kullanarak yapılan çekimsel kırmızıya kayma deneyidir. Bununla birlikte bu hiç işimize yaramaz. Einstein'ının dışındaki tüm kuramlar, şu veya bu nedenle, bu deney için aynı sonuçları verirler.

Güneşi yalayan ışınların, bir tam güneş tutulmasındaki sapmasının gözlenmesi çok güçtür. Tutulma, çokçası, bir bilimsel ekibin gidemeyeceği büyük denizlerden ve ormanlardan gözlenebilir. Genellikle tutulmanın hemen yakınında, o anda parlak bir yıldız bulunmaz. Ve tutulma süresinde herhangi bir hata yapılırsa deneyi tekrarlama olanağı yoktur. Sonuç olarak, güneşin yüzeyini yalayan bir ışık ışınının sapma açısının ölçülmesi çok kesin değildir. Ölçümde, çeşitli yanlışlıklar nedeni ile, yapılan hata en az yüzde 8'dir. Örneğin, 1952'deki tutulma süresinde ölçülen açı, eksi artı 0,1 saniyelik bir yay hatası ile, 1,70 saniyelik bir yaydır. Einstein ise, 1,75 saniyelik bir yay bildirmektedir.

Açıka, Einstein'ın bildirdiği sonuçlarla olan çakışma carpicıdır. Ama bu yeni kuramların çoğu, örneğin 1,60 veya 1,70 saniyelik yaylar bildirmektedirler. Doğal olarak, bu kuramları gözden çıkaramayız. Ne yazık ki, klâsik güneş tutulması gözlemlerini, büyük ölçüde düzeltme umudu çok azdır. Dikkatimizi başka bir şeye yöneltmek zorundayız.

Güneşin mikrodalga yayınının çok az miktarda olması yeni bir olanak verir gibi görünüyor. Buna karşılık ekliptik düzlemin yakınındaki başka kaynaklar, örneğin 3C273 ve 3C279 kuasarları, mikrodalga yayını bakımından çok zengindir. Her 8 Ekimde güneş 3C279'u örtmektedir. O zaman, alışılmış tam güneş tutulmasını beklemek zorunda olmak-

sızın ışığın (yani mikrodalgaların) sapmasını ölçmek mümkün olmalıdır. Hemen çözüm bekleyen sorun, mikrodalga teleskoplarının verdiği sonuçları düzeltmektir. O zaman, deneysel hatanın, eksi **artı** yüzde 1'den daha fazla azaltılabileceğini ümit edebiliriz.

Uzun yıllar boyunca, Merkür günberisinin presesyon hareketinin, Einstein'ın genel rölativite kuramının en kuvvetli doğrulaması olduğu düşünülmüştür. Teori, presesyon hızının, yüzyıl başına 43 saniyelik bir yay olduğunu söylemekte ve bu değer de, yüzde 1 hata ile, gözlem sonuçlarına uymaktadır. Daha yeni teorilerin çoğu, yüzyıl başına 38 veya 40 saniye gibi, oldukça küçük bir değer vermektedir. Her ne kadar Einstein'ın düşüncesinin doğrulanması demir bir elbise gibi görünüyorsa da, güneş sistemindeki yörüngeler kuramı ile ilgili tüm çalışmalar, güneşin tam bir küre şeklinde olduğunu varsaymaktadır.

Princeton üniversitesinden Dr. Dicke, ustaca yapılmış ve yeni tamamlamış olduğu ayrıntılı gözlemler sonunda güneşin, gerçekte yassı bir sferoid olduğunu ispatlamıştır. Güneş, ekvatorunda, kutuplarında olduğundan daha geniş gözüktür. Bu sanki, güneşin, ekvatorunda bir şişkinliğe sahip olduğunu bildirir gibidir ve olağan Newton mekaniği bize böylesine bir ekvator şişkinliğinin, rölativite ile hiçbir ilişkisi olmayan, küçük bir miktar presesyon hareketi meydana getireceğini söylemektedir. Bir başka deyişle, yüzyıl başına gözlenmiş olan 43 saniyelik bir yayın 4 veya 5 saniyelik bir kısmı, bilinen klâsik mekanik tarafından oluşturulmaktadır. Buna göre, rölativite hesaplarımız, yüzyıl başına 38 veya 40 saniyelik bir yay vermelidir.

Birincisi, güneşin kutup doğrultusundaki basıklığı ayrıntılı olarak incelenmelidir. Güneşin yüzü basık gözüktüğüne göre, bu, güneşin tüm çekim alanının da basık bir küre şeklinde olduğu anlamına gelmektedir. İkincisi: Merkürün kendisinin, konumu hakkında daha iyi bilgi sahibi

olmalıyız. Bu işi başarmamızın en iyi yolu, Merkür çevresinde bir yörüngeye bir yapay uydu yerleştirmektir. Bu iş, büyük bir olasılıkla, normal bir uzay programı içerisinde, ilerde yapılacaktır.

Uzay programının kendisi, genel rölativitenin sınanması bakımından büyük olanaklar sağlar. Örneğin, 1960'ın sonlarında, Mariner 6 ve 7, Marstaki görevlerini tamamladıktan sonra güneşin arkasından dolandı. Çekim alanının da zaman yavaşladığından, uzay aracının radyo yayını gecikti. Bu gecikmenin miktarı konusunda yapılan gözlemler Einstein kuramı ile, yüzde 3 yaklaşıklıkla, çakıştı. Güçlüklerin bir tanesi, güneş yakınındaki sıcak gazların güneş tacında radyo dalgalarını yavaşlatmasıdır. Eğer, yalnızca bir frekans üzerinden yayın yapıyorsamız, taçın etkisini çekimin etkisinden ayırmak kolay değildir. Eğer gelecekte bir uzay aracı, güneşin arkasından dolanmakla görevlendirilirse aracı iki farklı frekansta yayın yapabilecek şekilde donatmak, bu güçlüğü ortadan kaldıracaktır. Çekim, her frekanstan tüm ışığı aynı şekilde etkilemelidir. Aynı frekanslarda yapılan yayınlar arasındaki fark, bu nedenle tamamen güneş tacındaki gazlar tarafından oluşturulmaktadır. Böylece, koronanın etkileri ile çekimin etkileri arasındaki farkı açık olarak ayırabiliriz.

Rölativitenin bildirdiği ve uzay teknolojisi ile doğrulanabilen bir başka husus da, jiroskobun davranışları ile ilgilidir. Yerküre gibi bir cisim, küçük bir açı kadar döndüğünde, uzay zaman da dönen yerküre ile birlikte onun çevresinde sürüklenir. Eylemsizlik takımlarının sürüklenmesi adı verilen bu olay, yörünge üzerinde dönen bir uydudaki bir jiroskobun çok yavaş bir presesyon hareketi yapmasına neden olur. Presesyon hızı, genel rölativite için rahatlıkla bir doğrulama olarak kullanılabilir.

Özet olarak şunları söyleyebiliriz: rölativite teorisinin sınamalarının, deneysel hata oranlarını yüzde 1'den daha

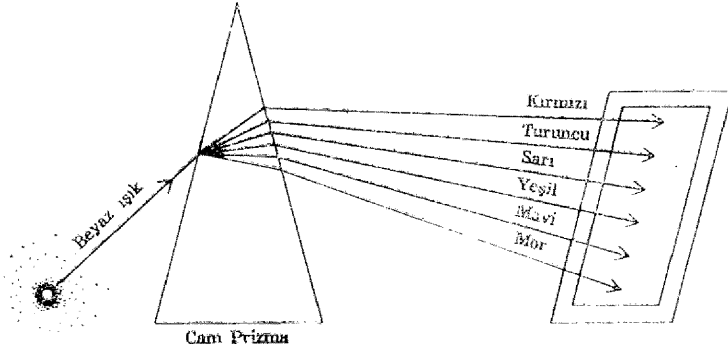
küçük bir düzeye indirebilecek biçimde geliştirilmesi gerektiğini görüyoruz. Ancak o zaman Einstein'ın düşüncelerinin gerçekten sağlam bir temel üzerinde olup olmadığını güvenle anlayabiliriz. Bu arada, açıkça belirtilmesi gerekir ki, Einstein'ın kuramının matematiksel olarak son derecede basit ve güzel olmasına karşılık, onunla çekişme halinde bulunan diğer kuramlar böyle değildir. Eğer, güzellik ve basitlik, herhangi bir biçimde, geçerlilik için bir ölçütler, Einstein'ın haklı olduğu varsayımımızı sürdürebiliriz. Buna karşın, çekişme halinde olan kuramların bir çoğu geleneksel rölativiteden farklı sonuçlar öngörmüyorlar. Her koşul altında, bütün bu hususlar 1970'lerin sonlarında aydınlığa kavuşacaktır.

BES

KIRMIZIYA KAYMANIN ANLAMT

YERKÜRE ve ay'ın dışında; evren hakkındaki tüm bilgilerimiz, ışığın incelenmesinden gelmektedir. Yerküre bölgesinin dışında kalan evren hakkında herhangi bir şey öğrenmenin biricik yolu, yıldızlar ve galaksiler tarafından yayımlanan elektromanyetik ısıma, görünen ışık, radyo dalgaları ya da X ışınlarıdır. Bu durumda, evrenin yapısını açıkça kavrayabilmek için, ışığın özelliklerini ve davranışlarını çok yakından tanımak gereklidir.

Çok iyi bilindiği gibi, beyaz bir ışık ışını bir prizmadan geçirilince bu ışık, şekil 21'de görüldüğü gibi, kırılarak gökkuşağının tüm renklerine ayrılır. Bu gökkuşağının veya tayfın incelenmesi ile, bu ışığın çıktığı ilk kaynak hakkın-



Şekil 21 — Prizma: Bir beyaz ışık ışını prizmadan geçirdiğinizde ışık gökkuşağı renklerine ayrılır. Eğer bir yıldızın ışığı prizmadan geçirilirse gökkuşağı renklerine ek olarak, bu renkler arasında birçok siyah çizgiler görürüz. Bu siyah çizgileri (tayf çizgileri) yıldızın atmosferindeki atomlar oluşturur.

da birçok bilgiler elde etmek mümkün olur. Örneğin, bu tayfın daha yakından incelenmesi, renkler arasına bir sürü çizgilerin serpiştirilmiş olduğunu göstermektedir. Tayf çizgileri adı verilen bu çizgiler, ışık kaynağında bulunan atomların tanınması için kullanılır. Bir kimyasal element bir dizi tayf çizgileri verirken başka bir elementin atomu, tamamen farklı, başka çizgiler dizisi verir. Gerçekten, bir anlamda tayf çizgileri ışık kaynağında bulunan farklı atomların veya kimyasal maddelerin parmak izleri veya imzaları olarak kabul edilebilir. Buna göre, yıldızların ve galaksilerin kimyasal yapısını, bu cisimlerin tayf çizgilerini tanımak suretiyle kesin olarak belirlemenin mümkün olabileceği açıktır. Farklı iki element hiçbir zaman aynı tayf çizgileri örneğini veremez. Bu örnekler, laboratuvar deneyleri ile basitçe saptanırlar ve bu çizgilerin tanımı, bu nedenle, prensip olarak tek anlamlıdır.

Tayf çizgilerini inceleyerek, astronomik cisimlerin yalnızca kimyasal bileşimlerini değil, çok daha fazlasını öğrenmek mümkün olur. Işık kaynağındaki çeşitli koşullar, tayf çizgilerinin özel bir şekilde çarpılmasına neden olurlar. Bu

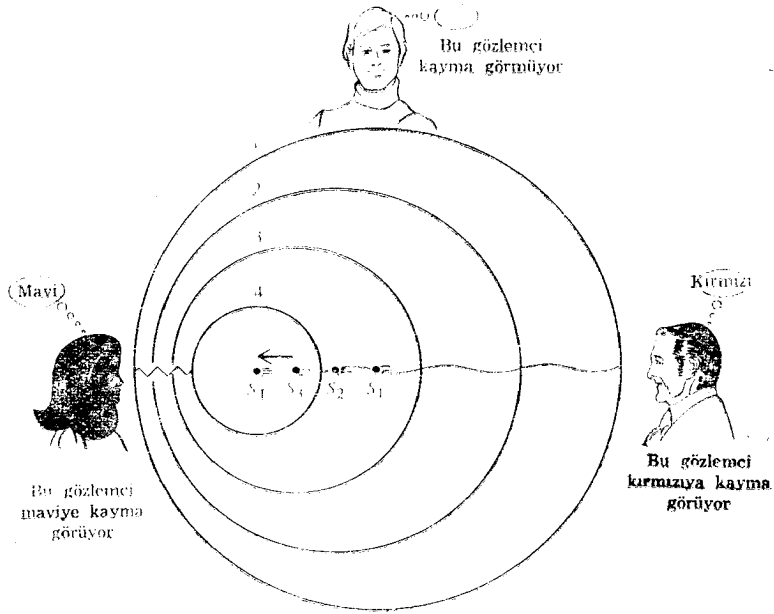
çarpılmanın (tayf çizgilerinin genişlemesi veya yarılması) ayrıntılı bir şekilde incelenmesiyle, örneğin, bir yıldızın dönme hızını veya yüzey sıcaklığını belirlemek mümkün olduğu gibi, yıldız atmosferinin basıncını veya yıldız manyetik alanının şiddetini de bulmak mümkündür. Bir yıldız ışığında, evrenle ilgili olarak saklanan bilgilerin zenginliği, gerçekten sınırsızdır. Biz yalnızca, kullandığımız araçların kalitesi ve gözlemlerimizin hüneri ile kısıtlanmaktayız.

19. yüzyılda, ışık kaynağının hareketinin de tayf çizgilerinin konumunu önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Sokaktan geçen bir ambulansın veya bir yangın söndürme aracının çıkardığı sesi işitmek, günlük deneyimlerimizdendir. Bize yaklaşırken ambulansın siren sesinin tizliği yükselmiş gibi gelir. Eğer bizden uzaklaşıyorsa aynı siren sesinin tizliğinin, farkedilir bir şekilde azaldığı duyulur. Diğer bir deyimle bize yaklaşan bir kaynağın yaydığı bir ses tonunun tizliğinin frekansı yükselir gibi görünürken, uzaklaşan bir kaynaktan yayılan aynı sesin tonundaki tizliğin frekansı azalır gibi gelir. *Doppler etkisi* olarak bilinen bu etki şekil 22'de şematik olarak gösterilmiştir.

Aynı olay ışıktaki da meydana gelir. Bir ışık kaynağı bize yaklaşırsa onun tayfında yer alan çizgilerin dalga boyları kısalmır. Tayfın tümü maviye doğru kayar. Eğer ışık kaynağı bizden uzaklaşıyorsa, tayf çizgilerinin dalga boyları uzar ve tayf, tüm olarak, kırmızıya doğru kayar. Hız artınca kayma da artar. Tayf çizgilerinin yer değiştirme miktarları ölçülerek, ışık kaynağının hangi hızla yol aldığı kolaylıkla belirlenebilir.

Doppler etkisinin, astronomide önemli uygulamaları vardır. Bir yıldız tayfındaki çizgilerin yer değiştirmelerini ölçerek, yıldızın bizden uzaklaşmakta veya bize yaklaşmakta olduğunu söylemek ve hızını belirlemek böylece mümkün olmaktadır. Nova şeklinde patlayan bir yıldızdan yayılan küresel bir gaz tabakasının, ne kadar hızla yayıldığını

bu şekilde ölçebiliriz. Bir çift yıldızın yörüngesini belirleme konusunda oldukça ileri gidebiliriz; çünkü Doppler kaymasından, yıldızların ortak kütle merkezi çevresindeki hareketlerinin hızını bilebiliyoruz. Hidrojen gazı (II II bölgeleri) bulutlarının tayflarındaki çizgilerin kaymalarından bunların nasıl hareket ettiklerini belirleyebiliriz. Bu ise, yörünge teorisi ile birlikte kullanılırsa, bize, bir bütün olarak galaksilerin yapısının görünümünü verir.

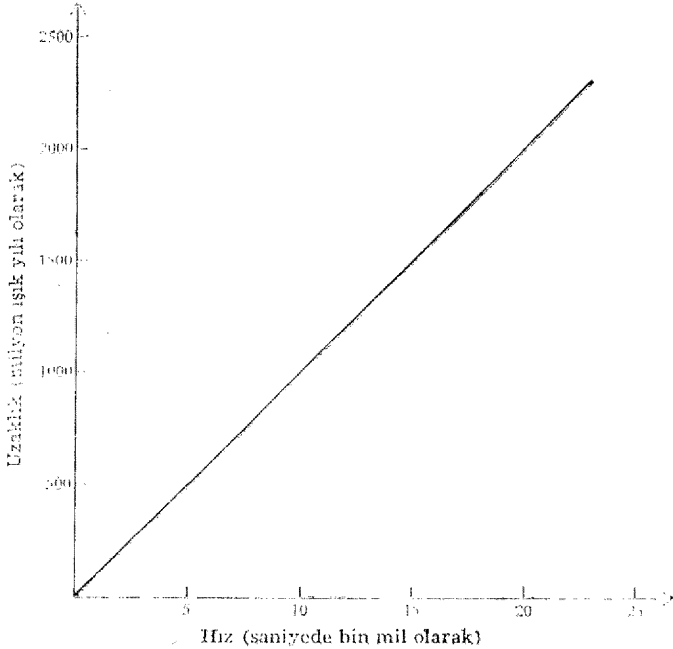


Şekil 22 --- Doppler etkisi: Eğer bir ışık kaynağı size doğru geliyorsa ışığın dalga boyu kısalmış gibi görünür. Sonuçta ışık, tayfın mavi ucuna kaymış gibi gözükür. Eğer ışık kaynağı sizden uzaklaşırsa dalgalar uzamış gibi görünür. Bu da ışığın, tayfın kırmızı ucuna doğru kaymış gibi görünmesi sonucunu verir.

Belki de, Doppler etkisinin kullanılması ile ortaya çıkarılan en şaşırtıcı buluşlardan biri evrenin bir bütün olarak yapısı ile ilgilidir. 1930'larda, Amerikalı astronom Edwin

Hubble, çok sayıda galaksilerin tayflarını inceledi. En yakın galaksilerinkinin dışında, diğer bütün tayfların çizgilerinin, kırmızıya doğru kaydığını saptadı. Özellikle, donuk görüntülerinden dolayı bizden çok uzaklarda olduğu anlaşılan galaksilerin kırmızıya kaymalarını çok fazla olduğunu gördü. Öte yandan, görece daha yakın görünen galaksilerin kırmızıya kaymaları çok küçük olmakta ve galaksilerin bizden uzaklaşma hızları, bizden ölçülen uzaklıkları ile artmaktadır.

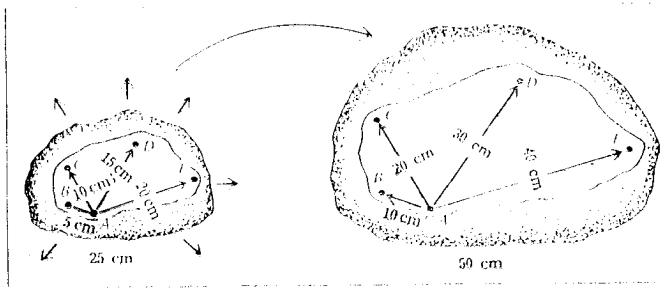
Belirli bir galaksinin uzaklığını saptamakta çok daha kesin olabilmek için, çeşitli teknikleri birarada kullanabiliriz. Bu galaksinin tayfını da ele alarak, onun kırmızıya



Şekil 23 — Hubble pasüsü: Dr. Hubble, bir galaksinin, ne kadar uzakta ise bizden o derecede cabuk uzaklaştığını bulmuştur. Bu grafik, farklı uzaklıklardaki galaksilerin bizden ne denli cabuk uzaklaştığını göstermektedir.

kaymasını belirler ve uzaklaşma hızını bulabiliriz. Bunu, birçok galaksiler için yaparsak, şekil 23'te görüldüğü gibi hızın uzaklığa göre değişimini veren bir grafik elde ederiz. Çok yakın galaksiler (bizim içinde bulunduğumuz "yerel grup") bir yana bırakılırsa, bu gözlemlerin sonuçları bir doğru çizgi üzerine yatar. Buna göre, eğer galaksi uzaklığı iki katına çıkarsa, uzaklaşma hızı da iki kat artar.

Bu temel buluşun değeri gereğinden fazla abartılmış değildir. Gerçekten, *Hubble yasası* adını alan ve çok uzak galaksilerin kaçma hızları ile uzaklıkları arasında kurulan bu doğru orantılı bağıntı, evrenin, baştanbaza her yerinde geçerli olan bir davranışını belirlemeye yarayan temel bir ipucudur. Bu buluşun anlamını görebilmek için, Dr. Abell'in, bir büyükannenin eski tip bir üzümlü keki pişirmesi ile ilgili bir benzetmesini gözönüne alacağız. Öğleden sonra saat birde büyükanne, biraz meyve ve üzümü bir miktar hamur ile yoğurarak bir somun hazırlıyor ve bunu mutfak masasının üstüne bırakıyor. Başlangıçta somun 25 cm. genişliğinde iken, mayanın etkisi ile iki saat sonra bu genişlik 50 santimetreye çıkar. Üzümlü kekimizin "başlangıç" ve "son" durumu şekil 24'te görülmektedir.



Şekil 24 -- Üzümlü kek: "Başlangıç" şeklinde kekin, mayası hemen katıldıktan sonraki halini görmekteyiz. "Son" şeklinde ise keki bir saat sonra kabarmış halde görmekteyiz. Akıllı böceğimiz A üzümünün üzerinde durmakta ve maya hamuru kabartmadan önce ve sonra diğer üzümlere son olan uzaklığını ölçmektedir.

Akıllı bir böceğin, büyükanne görmeden kekin *A* noktasına gizlendiğini ve saat birde *B*, *C*, *D* ve *E* noktalarının *A*'dan olan uzaklıklarını ölçtüğünü varsayalım. Ölçü sonunda elde ettiği değerler şekilde görülmektedir. Kısa bir dinlenmeden sonra, saat ikide, böcek gözlemlerini tekrarlamak istesin. *A* üzümünden *B*, *C*, *D* ve *E* üzümlerine olan uzaklıkların iki kat arttığını görür. Örneğin *A* üzümünün *B*'ye olan uzaklığı 5 santimetreden 10 santimetreye çıkmıştır. Buna göre *B* üzümünün saatteki hızı 5 santimetredir. Diğer taraftan *A* üzümünün *E*'ye uzaklığı 20 santimetreden 40 santimetreye çıkmıştır ve böylece *E* üzümünün, *A*'dan uzaklaşma hızı ise saatte 20 santimetre olur. Bu durumda böcek, kendine yakın olan üzümlerin yavaş, uzak olan üzümlerin ise daha hızlı uzaklaştığı sonucunu çıkarır. Bu şekilde üzümlü kek gençleşmesini, *A* üzümü üzerinde yer alan böceğe belirli kılar.

Bu durumun, gerçekte, yakın galaksiler bizden yavaş uzaklaşırken, daha ilerde bulunanların daha hızlı kaçtıklarını açıklayan, Hubble yasasını anımsatacağı kuşkusuzdur. Büyükannenin üzümlü keki ile olan benzerliği nedeniyle buradan *evrenin genişlediği* sonucunu çıkarabiliriz.

Şekil 23'teki çizginin doğrultusundan, uzaklaşma hızının uzaklığa nasıl bağlı olduğunu belirleyebiliriz. *Hubble sabiti* adı verilen bu büyüklük belirli bir uzaklaşma hızına sahip olmanız için, uzaklığınızın ne kadar olması gerektiğini bize belirtir. Yeni gözlem kayıtları Hubble sabitinin değerinin, her megaparsek için saniyede 50 kilometre civarında veya her bir milyon ışık yılı için saniyede 10 mil civarında olduğunu göstermiştir. Bir başka deyimle, yeryüzünden bir milyon ışık yılı uzaklığındaki bir cisim, saniyede 10 millik bir hızla yeryüzünden uzaklaşacaktır. İki milyon ışık yılı uzaklığında ise bu hız, saniyede 20 mil olacaktır vb. gibi.

Hubble yasası ile birlikte Hubble sabiti bize, astrono-

mide çok önemli bir araç sağlar. Eğer, kırmızıya kaymasını ölçebileceğimiz çok uzak bir galaksiyi gözleyebilirsek, bunun yerküreye olan uzaklığını kolayca çıkarabiliriz. Örneğin, kırmızıya kayma miktarından, uzaklaşma hızı için, saniyede 10.000 mil bulursak, cismin uzaklığının, bir milyar ışık yılı olduğunu söyleyebiliriz.

Uzaklıkları belirlemekte kullanılan bu yöntemin, demirden bir zırh anlamına gelmediğine işaret etmek gerekir. Birincisi Hubble sabitinin kesin değeri belirsizdir. Hubble sabitinin ölçülmesi, modern astronominin en güç sorunlarından biridir. 1970'ten önce yazılan astronomi kitaplarında ve makalelerinde, Hubble sabitinin değerleri, burada verilen değerlerin iki katı olarak gözükmektedir. Bununla birlikte, bana göre, 1970'lerde verilerin miktarı arttıkça, kabul edilen değer her bir milyon ışık yılı için her saniye başına 10 mile daha yakın olacaktır. Bu, fiziksel olarak evrenin, bizim düşündüğümüzden iki kat daha büyük ve iki kat daha yaşlı olduğu anlamına gelir.

Hubble yasası ile ilgili olan kırmızıya kayma, *evrensel kırmızıya kayma* adını alır. Daha önce gördüğümüz gibi, bunun çıkış noktası evrenin tüm olarak genişlemesindedir. Ancak, bu görünüşü karmakarışık hale koyan yerel etkiler vardır. Örneğin, Virgo galaksiler kümesini ele alalım. Virgo burcundaki bu küme, ortak kütle merkezi çevresinde, çeşitli yönlerde hareket eden yüzlerce galaksiden oluşmaktadır. Bunlardan bazıları bize yaklaşır, bazıları ise uzaklaşır, ama ortalama olarak, kümenin kütle merkezi, Hubble yasasına uyarak uzaklaşır. Eğer, küme içerisinde belirli bir galaksiye bakarsak, onun kırmızıya kaymasının ne kadarının evrensel etkiden, ne kadarının da kümenin ortak kütle merkezi etrafındaki hareketi ile ilgili, basit Doppler etkisinden geldiğini, hiç düşünmeden bilmek olanaksızdır.

Son olarak, işleri karıştıran bir başka etken daha söz

konusudur. Einstein'ın genel rölativite teorisinin en tanınmış bildirilerinden biri, saatlerin çekim alanında yavaşlamalarıdır. Atomlar, ışık yayınladıklarından küçük saatler gibi d   n lebilirler. Bu halde atom, bir çekim alanında, daha alçak frekanslı ışık yayınlar ve sonunda bu ışığın tayfı kırmızıya doğru kaydırılmış olur. Sonuç olarak bu olay * ekimsel kırmızıya kayma* adını alır.

Böylece, astronomik bir cisim için üç farklı türde kırmızıya kayma olasılığı ortaya çıkar.

1. *Doppler etkisi,*
2. *Evrensel kırmızıya kayma,*
3. *Çekimsel kırmızıya kayma.*

Bunları birbirinden ayırmak, genellikle, oldukça güçtür. Örneğin, belki de astronomideki en önemli gelişme, 1960'ta kuasarların bulunması ile ortaya çıkmıştır. İlk bakışta kuasarlar mavimsi renkte yıldızlardır, ama bunların kırmızıya kaymaları çok fazladır. Eğer evrensel yorum doğru ise, kuasarlar şimdiye kadar gözlenebilmiş en uzak gök cisimleridir. Gerçekten onlar 10 milyar ışık yılı kadar uzakta olabilirler. Bu uzaklık, astrofizikçiler için çok g   sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, bir cismin milyarlarca ışık yılı uzaklıktan bu kadar parlak bir şekilde ı ıyabilmesini sağlayacak bir fiziksel olay bilmiyoruz. Bu güçlüğü yenebilmek için, kuasarların bu kadar uzak olmadıkları varsayılarak, açıklanamayacak ölçüde b   k enerji oluşumunu kabul etme sıkıntısından böylece kurtulmaya çalışılmıştır. Belki de kuasarlar, son derece b   k katı cisimlerdir ve aşırı kırmızıya kayma, bu cisimlerin yoğun çekim alanından meydana gelmektedir. Bir sonraki b l nde göreceğimiz gibi yapılan hesaplar böyle bir cismin son derece kararsız olduğunu ve bunun, çabucak çöküntüye uğrayarak, bir "kara delik"  ekline d n  ebileceğini göstermiştir.

   nc  bir olanak da, Caltech'den Dr. Halton Arp'ın

varsayımdır. Buna göre kuasarlar yakındır, ama çok büyük hızlarla hareket ederler. Galaksilerin merkezinde çok şiddetli faaliyetin olduğunu gösteren bazı etkilileyici kanıtlar vardır. Belki de kuasarlar etkin galaktik çekirdeklerden yüksek hızla fırlatılmışlardır.

Her ne kadar kuasarlar hakkındaki tartışmalar ve bunların bilinmeyen yönleri henüz çözümlenmekten çok uzak ise de, yaklaşım ne olursa olsun, burada Einstein'ın genel rölativite kuramının bütün uygulama alanlarının ortaya çıkarılması için güçlü bir eğilim vardır. Kozmolojik yaklaşımı alırsak o zaman evrenin tüm niteliği, şekli, büyüklüğü ve yaşı gibi önemli sorular ortaya çıkar. Eğer, çekimsel kırmızıya kaymadan yola çıkarsak o zaman da kara delikler sorunu ile karşılaşmış oluruz; ya da etkin galaktik çekirdekleri, şiddetli bir madde ve enerji kaynağı olarak düşünürsek, "ak delikleri" gözönüne almanız gerektiği sonucuna varırız. Ak delikler, kara deliklerin zaman bakımından zıtlarıdır.

Her durumda, kuasarların bulunuşu, genel rölativite ile ilgilenen astrofizikçiler arasında, büyük çapta çaba harcanmasına yol açmıştır. Bundan sonraki bölümlerde, rölativite kuramında, yeni teorik hesapların bazı sonuç ve uygulamalarını inceleyeceğiz.

ALTI
KARA DELİK

HİDROJEN bombası için geçerli olan fiziksel işlemlerin, güneşin enerjisi için de aynı derecede geçerli olduğu bilinmektedir. Bu termonükleer tepkimelerde dört hidrojen çekirdeği (4 proton), bir miktar enerjiyi açığa çıkararak, bir helyum çekirdeğine dönüşür (2 proton + 2 nötron). Özet olarak, tepkimeyi başlatan maddeleri ve meydana gelen ürünleri tartacak olursak, küçük bir miktarın kayba uğradığını farkederiz. Dört hidrojen atomu bir helyum atomundan biraz daha ağırdır. Eksilen kütle Einstein'ın bilinen $E = mc^2$ denklemine göre enerjiye dönüşmüştür. Gökyüzünde gördüğümüz birçok yıldızın ve güneşin dev enerji ürününü işte bu yolla açıklıyoruz. Aslında

güneşin merkezinde, her saniye, 600 milyon ton hidrojen helyuma dönüşmektedir.

Yaklaşık olarak beş milyar yıl sonra güneşin merkezindeki başlıca yakıt olan hidrojen birikimleri sona erecektir. Evrimlerinde bu devreye girmiş olan diğer bütün yıldızlarda olduğu gibi burada da farklı çekirdek işlemleri, bundan önceki işlemlerin yerini alır. Helyum, karbon ve oksijene dönüşmeye başlar. Daha sonraki dönemlerde karbon, daha ağır elementlere dönüşür. Ağır elementler arasındaki çekirdek tepkimeleri, enerji üretimi bakımından, hafif elementler arasındaki tepkimelerden çok daha az verimlidir. Böylece yıldızın yaşamının son devrelerinde varolan bütün çekirdeksel yakıt kullanılmış olacaktır. Yanmış yıldızın niteliği birdenbire ve dehşet verici bir şekilde değişir, ve yıldızın kalıntıları, mümkün olan üç kuramsal koşuldan birine uymak zorunda kalır.

Nükleer yakıt bittikten sonra yıldız büzülmeye başlar. Artık yıldız hayatta tutabilecek hiçbir kaynak kalmamıştır ve yıldız hızla büyüklüğünden kaybeder. Atomlar sıkışarak, gittikçe birbirlerine yaklaşır, ve elektronlar çekirdeklerden koparlar. Çökme sırasında yıldızın kütlesi, güneş kütlesinin $1\frac{1}{4}$ katından daha az ise, bir noktada, elektronlardan gelen basınç, büzülmeyi durduracak mertebeye erişir. Elektronlar garip bir davranış içerisinde yıldız ayakta tutmaya çalışırlar. Bu tür bir yıldız *ak cüce* denir. Ak cüceler astronomlar tarafından sık sık gözlenirler. Bu yıldızlar, yaklaşık olarak, yerküre büyüklüğündedir, ama bu denli çok maddenin bu kadar küçük bir hacme sıkışması nedeni ile, yoğunluk epey yüksektir. Ak bir cüceden alınabilecek bir çorba kaşığı madde bin ton ağırlığındadır.

Çökmekte olan yıldızın kütlesi, güneş kütlesinin $1\frac{1}{4}$ katından daha fazla ise, o zaman elektronların basıncı devam etmekte olan büzülmeyi durduracak direnci sağlayamaz. Yıldız, giderek sıkışmaya devam eder. Yıldızdaki ha-

smę arttıkça elektronlar, büyük bir hızla çekirdeğe çarp-maya başlarlar. Bu çarpışmalar sırasında negatif yüklü elektronlar, pozitif yüklü protonlarla birleşerek nötronları meydana getirirler. Yıldızın yüzde doksanı nötronlarla dol-duğu zaman bu parçacıklar arasında mevcut olan güçlü çekirdeksel kuvvetler daha fazla büzülmeyi durdurur ve bu kez bu kuvvetler, yıldızı desteklemeye başlarlar. Çapı yal-nızca 15 veya 20 mil olan bu tür bir cisme *nötron yıldızı* adı verilir. Bu denli fazla maddenin bu kadar küçük bir hac-me sıkışmış olması nedeni ile yoğunluklar akıl almaz de-ğerlere varır. Bir nötron yıldızından alınabilecek 1 çorba kaşığı madde 10 milyar ton ağırlığındadır. 1967 yılında Pul-sar'ların bulunuşu ile ilk kez olarak nötron yıldızlarını gördüğümüzü hissediyoruz. Zira bir pulsarın, çok büyük bir manyetik alan ile birlikte hızla dönen bir nötron yıl-dızından meydana geldiğini düşünmek için oldukça akla-yakın nedenler vardır.

Çökmekte olan yanmış yıldızın kütlesi güneş kütle-sinin iki katından fazla ise, büzülmeyi artık hiçbir şey dur-duramaz. Ne elektron basıncı, ne de nötronlar arasındaki çekirdeksel kuvvetler yeterli değildir. Yıldızın giderek kü-çülmesini önleyecek hiçbir fiziksel kuvvet henüz bilinme-mektedir. Yıldız, giderek sıkışıp, büyüklüğünden yitirmeye devam ettikçe, çekim alanının şiddeti de inanılmaz bir şe-kilde artar. Doğada, genellikle, en zayıf kuvvet olarak bilinen çekim kuvveti bu anda her şeyden daha güçlü du-ruma gelmiştir.

Genel rölativiteye göre çekim, uzay-zamanın eğrilmesi demek olduğundan, yıldızın çevresindeki uzay ciddi bir şekilde çarpılır. Yıldızlarda görülen bu çöküntü, önüne ge-çilmez sona doğru devam ettikçe, bu çarpılma öylesine bü-yür ki, uzay-zaman kendi üzerine doğru kıvrılır ve yıldız evrende kaybolur. Bu kalana *kara delik* adı verilir.

Birçok uzak yıldızlar, güneşten daha iridir. Kütlesi, gü-

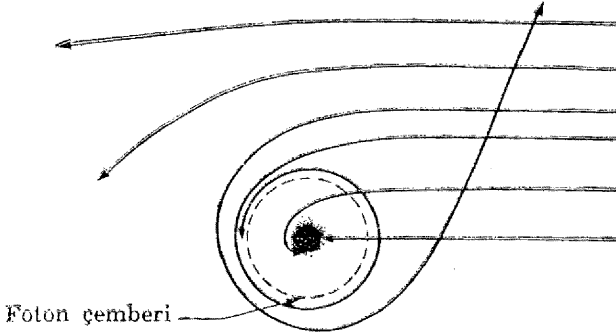
neş kütlesinin 20, 30 veya 40 katı olan yıldızlara sık sık rastlanır 1960 yıllarının ortalarına kadar; bu tür yıldızların, nükleer yakıtlarını tüketmeleri ile birlikte kütlelerinin büyük bir kısmını da yitirdiklerini varsaymak, tamamiyle yaygın olan bir inanıştı. Bu şekilde bunlar, yıldız evriminin son aşaması kabul edilen, ak cüceler şekline girmiş olacaktı. Nötron yıldızları ve kara delikler, Dr. Oppenheimer'ın 1939'daki kuramsal çalışmalarına kadar, "kâğıt üzerinde" kalmışlardı. Ama pulsarların bulunuşundan sonra birkaç astrofizikçi bu olanakları, çok ciddi bir şekilde ele aldılar.

1960'ta kuasarlar ile pulsarların bulunuşu, bu durumu altüst edercesine değiştirdi. Bugün nötron yıldızlarının varlığından şüphe eden pek az sayıda astronom kalmıştır. 1970 yıllarının en fazla heyecan verici ilerlemelerinden biri de, galaksimizde veya bunun dışındaki evrende yer alan çok sayıda kara deliklerin keşfedilmesi olmuştur. Ne olursa olsun, güneşten defalarca büyük olan yıldızlar gelişimlerini güneşin gelişiminden çok daha çabuk tamamlamalıdır. Bu tür yıldızlar, nükleer yakıtlarını bitirdikten sonra, kütlelerinin büyük bir kısmını yokedememişler ise, geride kalan kütleye ne olmuştur?

Böylece, kuramsal olarak, kara deliklere çok sık rastlanabileceğini söylemek akla-yakındır. Bundan sonraki gerçek problem şu tür soruların karşılığını bulmaktır: bir kara delik nasıl bir şeydir? Bir kara delik görülecek olursa nasıl tanımacaktır? Kara delikler için yapılacak bir gözlemsel araştırmada neyi aramalıyız? Buna benzer soruların cevaplandırılmasında yardımcı olacak temel ipucu, bir kara deliğin çok büyük ölçüde yoğun bir çekim alanına sahip olması gerçeğinde yatmaktadır. Bu nedenle 1960 yıllarında, çok sayıda astrofizikçi bir kara deliğin yakınında bulunan ve aşırı derecede çarpılmış olan uzay-zaman içinden geçen ışık ışınlarının (fotonların) davranışlarını belir-

lemek için çok büyük çabalar harcamışlardır.

Önümüzde, bu tür kara deliklerden bir tanesinin bulunduğunu varsayalım. Bu kara delikten çeşitli uzaklıklarda ışık ışınları geçirmeyi deneyelim. Kara deliğin güçlü çekim alanı nedeniyle, uzay-zaman büyük ölçüde eğrilmiş olduğundan bu ışık ışınlarının, geleneksel doğru-çizgi şeklinde olan yörüngeleri hafifçe sapacaklardır. Kara deliklere daha yakın geçen ışık ışınlarının sapmaları daha fazla olacaktır. Gerçekten, bu kara deliğe öyle bir ışık ışını göndermek mümkündür ki bu ışın, delik çevresinde çembersel bir yörüngeye girsin. Bu durum şekil 25'te görülmektedir. Bu çembersel yörüngeye *foton çemberi* veya *foton kü-*



Şekil 25 — Kara deliğin ışığı saptırması: Bir kara deliğin yakınından geçen ışık ışınları büyük açılarla saptırılır. Bir kara deliğe uygun uzaklıkta yaklaşan bir ışık ışını "foton çemberine" yakalanır. Doğrudan doğruya kara deliğe yönelmiş olan ışık ışınları da kara delik tarafından emilir.

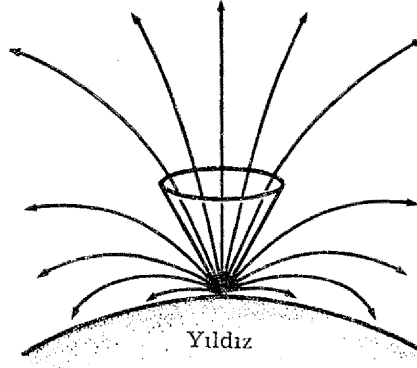
resi adı verilir. Görünen evrende her yıldız, çökmüş iri bir yıldız çevresindeki foton küresine ışık yollar. Bununla birlikte, bu çembersel yörünge büyük ölçüde kararsızdır. Eğer bir foton, kesin olan bu foton küresinden çok hafif bir şekilde saparsa, ışık çabucak çembersel yörüngeden ayrılır ve spiral bir yol izleyerek içeriye veya dışarıya doğru kıvrılır.

Dolaysız olarak doğrudan doğruya kara deliğe yöneltilmiş olan ışık demetleri, sonunda kara delik tarafından yutulacaklardır. Gerçekten de, kara deliğe foton küresinden daha yakın gelen bütün fotonlar, bir spiral çizerek içeri girmeye ve kara deliğe çarpmaya zorlanırlar. Bu açıdan bakılırsa bir fotonlar demetinin veya bir ışık ışınının, bir doğru tanımladığına dikkat çekilmelidir. Örneğin, bir laserden çıkan demetten daha doğru bir çizgi çizmek olanaksızdır. Bu nedenle, fotonların izlediği çemberler veya spirallerden söz ettiğimizde, biz gerçekte, çarpılmış bir dört boyutlu uzay-zaman içindeki doğru çizgilerden söz etmiş oluyoruz.

Kara deliklerin yapısını daha iyi anlayabilmek için kendimizin, yakıtı bitmiş, iri ve çökmüş bir yıldız üzerinde bulunduğumuzu varsayalım. Boyutlarının çabucak küçülmesine karşın, yıldızın çekim alanı gittikçe güçlenir. (Gerçekte, rölativitenin yarattığı alışılmamış etkilerin oluşuracağı koşullara girmeden çok önce, çekim gerilmeleri o kadar büyür ki, insan yaşamı tümünden olanaksızlaşır. Bu tartışmamızda, bu ikinci derece sorunu gözönüne almıyoruz.) Her şey, beklendiği gibi gelişir ve bu gelişme, çöken yıldızın kendi foton küresi içine büzülmesine kadar böylece sürer. Yıldız, foton küresinin boyutlarından daha küçük boyutlara sıkıştığı anda alışılmamış olaylar gelişmeye başlar. Beraberimizde, yıldızın yüzeyinde son derece güçlü bir projektör bulunduğunu kabul edelim. Eğer, projektörü, doğrudan doğruya yukarıya yöneltirsek, ışık demeti yıldızdan kurtulur ve derhal uzayın içine gider. Eğer, projektör düşey doğrultudan biraz saptırılacak olursa, ışık demeti, uzayın eğriliği nedeni ile, hafifçe eğilir. Projektörün eğimi artırılırsa, ışığın eğilmesi daha çok artar. En sonunda, belirli bir açıda bu sapma o kadar fazlalaşır ki, bu durumda ışık demeti artık yıldızdan kaçamaz. Işık yükselir, fakat o kadar fazla eğilir ki, aşağıya tekrar geri döner ve yıldızın yüze-

yine çarpar.

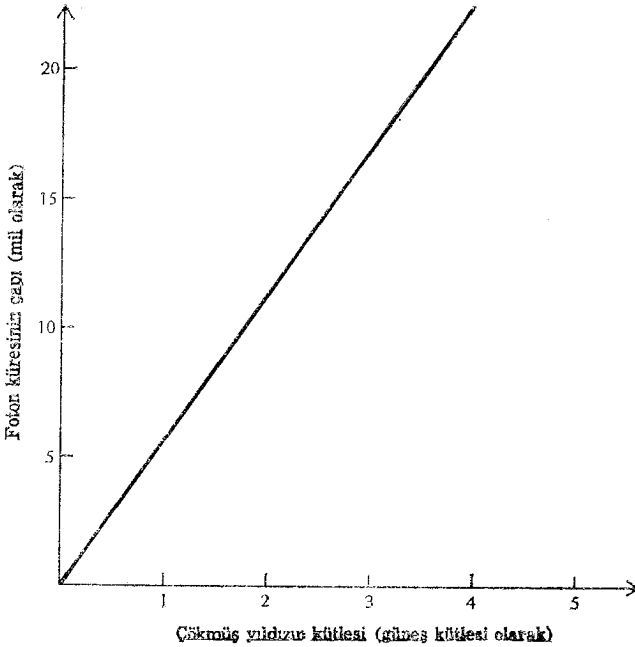
Bu durumda, hayalî bir koni tanımlayabiliriz. Ekseni düşey doğrultuda olan ve *çıkış konisi* adını alan bu koni, şekil 26'da görülmektedir. Yıldız yüzeyinden yayınlanan ve bu koni içinde kalan bütün ışık demetleri, yıldızdan kaçmayı başarır. Yıldız tarafından yayılan ve bu koninin dışın-



Şekil 26 ~ *Çıkış konisi*: Çöken bir yıldızın yüzeyinde bir "çıkış konisi" olduğunu hayal edelim. Şimdi, yıldızı, bu koninin içinde kalan açılarla terkeden tüm ışık ışınları yıldızdan kaçacaklardır. Çıkış konisinin dışında kalan açılarla yayılan ışık ışınları ise yıldızdan kaçamazlar. Bu tür ışınlar öyle bir şiddette eğilmişlerdir ki yukarı çıkıp aşağıya geri dönerler.

da kalan ışık demetlerinin tümü ise kaçamaz; fotonlar aşağı yukarı gelir gider. Düşey doğrultu ile, koninin tepe açısının yarısına eşit bir doğrultuda yayınlanan fotonlar ise ne kaçabilirler ve ne de geriye dönebilirler; bunlar yıldız çevresinde, foton küresi içinde, çembersel bir yörüngede dolanırlar.

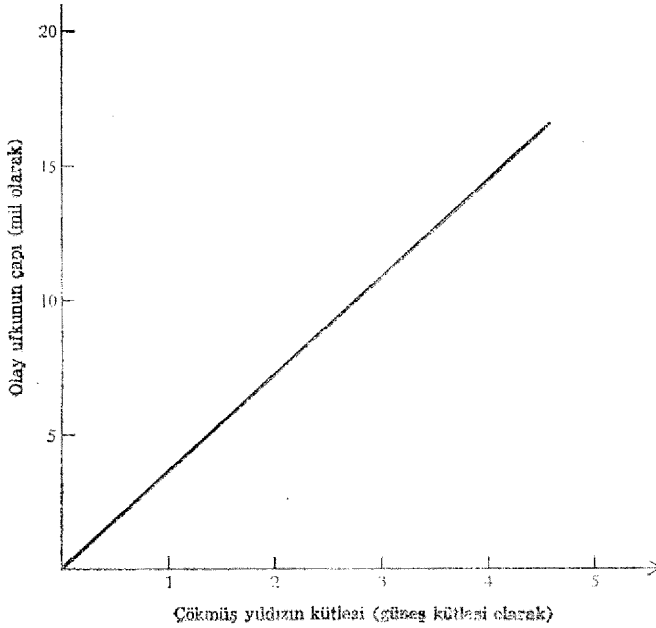
Yıldızdaki çöküntü devam ettiği sürece, uzay-zamanın çarpılması da gittikçe şiddetlenir. Yıldızın yüzeyinde bulunan bir gözlemciye göre, çıkış konisi de giderek darlaşır. Çöküntünün artması halinde, ışığın yıldızdan kurtulabilmesi için, projektör doğrultusunun düşey doğrultuya daha



Şekil 27 — Foton küresinin çapı: Bu grafik foton küresinin çapının, kara deliğin kütlesinin fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini gösteriyor (Schwarzschild çözümü). Örneğin güneşten üç kez daha yoğun olan bir çökmüş yıldızın kara deliği, çapı 17 mil dolayında olan bir foton küresi ile çevrilmiştir.

kol saatine bakar ve olağanüstü hiçbir şey gözlemez (kalp atışının, düşünce süreçlerinin ve diğer her şeyin kesinlikle aynı ölçüde yavaşladığı açıktır). Ve gerçekten bilim adamı, kol saatine göre, olay ufkunu sonlu bir zaman içinde aştığını görür.

Gözleme dayanarak diyebiliriz ki, çöken bir yıldızın yüzeyinde izlediğimiz ışığın, ayrı ama aynı anda oluşan iki etkisini görürüz. İlk yıldız gittikçe solar, çünkü ışığın yıldızdan kaçması giderek zorlaşır. Fotonlar ya çıkış konisi içinde kalan açılarla yayılırlar veya hiç kaçamazlar. İkinci olarak atomlar, küçük saatlere benzediğinden ve ılık



Şekil 28 — Olay ufkunun çapı: Bu grafik, olay ufkunun çapının kara deliğin kütlesinin bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini gösteriyor. Örneğin, güneşten üç kez daha yoğun olan bir çökmüş yıldızın kara deliği, çapı 11 mil dolayında olan bir olay ufkü ile çevrilmiştir.

yıldızın atomları tarafından yaymlandığından çöküş ilerledikçe yayının frekansı azalır. Tüm tayf, giderek kırmızıya doğru kayar. Başka bir deyişle, çöken bir yıldız gözlediğimizde, zaman ilerledikçe yıldız giderek solar ve kırmızılaşır.

Kara deliğin bu yorumlamasının çok idealleştirildiğini belirtmemiz gerekir. Bu yorum ancak tam küre şeklinde olan ve dönmeyen bir yıldız için geçerlidir. Duran, küresel ve simetrik bir kara delik için Einstein'ın verdiği alan denklemlerinin çözümü, ilk kez 1916'da Karl Schwarzschild

tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çözüme de böylece *Schwarzschild çözümü* adı verilmiştir. Bütün yıldızların kendi eksenleri etrafında döndüğü açıktır. Çöküntü sırasında yıldızların dönme hızı, tek ayağının burnu üzerinde dönen bir buz patencisinin kollarını kapatmasında olduğu gibi artar. Ayrıca, yıldızlar tam küresel formda değildir ve çöküntü ilerledikçe kolaylıkla birtakım garip şekiller alabilirler. 1970'lerde kuramsal astrofiziğin temel atılımlarından biri, bu sapmaların, kara deliklerin oluşumunu nasıl etkilediklerini görmek olacaktır. Bu araştırmalarda, sorunu çözümlemek için, birçok yeni, güçlü matematiksel araç kullanılacaktır. Bu alanın öncülerinden biri Londra üniversitesinden Dr. Roger Penrose'dur. Dr. Pensore, bir yıldız, kendi olay ufğunun içinde çöktüğünde, hiçbir şekil değiştirmenin, tekilliğin oluşumunu önleyemeyeceğini göstermiştir.

Gelecek bölümde kara delikler incelenirken yıldızın eksenini çevresinde dönmesini gözönüne aldığımızda olay ufkunu aşmamıza karşın tekillikle uğraşmak zorunda *kalmayacağımızı* göreceğiz. Diğer evrenlere yapılacak uzay gezileri açısından, bunun başdöndürücü etkileri olacaktır.

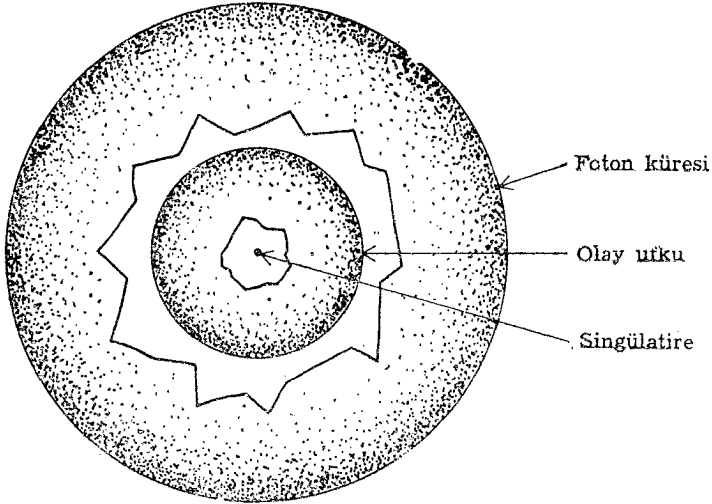
YEDİ

AK DELİKLER VE KURTDELİKLERİ

1916 yılında Dr. Einstein'ın kendi genel rölativite kuramını yayınlamasından birkaç ay sonra, Alman astronomu Karl Schwarzschild, alan denklemlerine ilk “kesin” çözümü getirmiştir. Bu çok bilinen, ama basit olan çözüm, uzay-zamanın, yoğun bir çökmüş yıldızın veya kara deliğin çekim alanı tarafından nasıl çarpıtıldığını ortaya koymaktadır. Schwarzschild çözümü, çökmüş yıldızın, tam bir küre şeklinde olduğunu ve kendi eksenini çevresinde dönmediğini varsayar. Yıldızdan uzakta çekim alanı, Newton'un, ters-karesel çekim yasası ile tamamen aynıdır. Yıldızın yakınında ise, geleneksel rölativite öncesi kuramlara tamamen yabancı olan birtakım garip şeylerin meydana geldiği görülür.

Şekil 29'da şematik olarak gösterilen Schwarzschild çözümündeki kara deliğe yaklaştığımızda karşımıza ilk çıkan *foton küresidir*. Bu küre, çökmüş yıldızın çevresinde dolanan fotonlar veya ince bir ışık ışınları tabakasından oluşmuştur. Yıldıza doğru, daha fazla yaklaşırsak, *olay ufku*nu geçeriz ve bunu bir kez geçtiğimizde, dış evrenle bütün ilişkilerimiz kesilir. Gerçekte, evrenden yokolduğumuzu söyleyebiliriz. En sonunda, tam merkezde *tekilliğe* ulaşırız. Burada, kavranamayacak kadar şiddetli bir çekim alanı nedeni ile, sonsuz bir basınçla karşılaşılır. Bunun çok zevkli bir uzay uçuşu olmayacağı açıktır; hatta uzay gemimizi oluşturan çekirdeksel parçacıklar, tanınmayacak derecede ufalanarak ezilmiş olacaktır.

Schwarzschild çözümü, Einstein'ın alan denklemlerini gerçekleyen hareketsiz, küresel simetrik ve dönmeyen çözümler içinde, matematiksel olarak en basit çözüm olduğun-

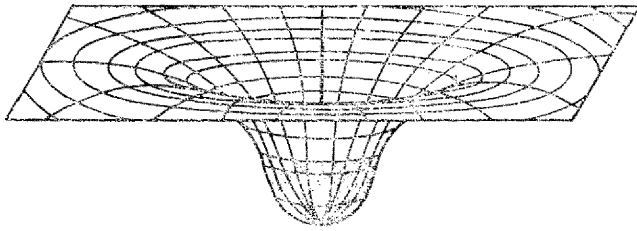


Şekil 29 — Kara delik: Bir kara deliğin foton küresini, olay ufku ve tekilliğini gösteren şematik diyagram.

dan, günümüze değin ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. 1930'ların ortalarında Dr. Einstein ve Rosen, Schwarzschild çözümünü iyice incelemişler ve gerçekten göze çarpan bir özelliğini bulmuşlardır.

Einstein'ın ve Rosen'in çalışmasını değerlendirmek için, bir yıldız sürekli olarak çekimsel bir çöküntü içerisinde olduğunu düşünelim. Tüm çekirdek yakıtı kullanılmış olup yıldız gittikçe ufalmaktadır. Yıldız yoğunlaştıktan sonra çekim alanının gücü artar ve uzay-zaman büyük ölçüde çarpılır. Bu eğri uzay-zamanın fotoğrafını alabilseydik şekil 30'dakine benzer bir görüntüyü elde edecektik. Yıldızdan uzakta uzay-zaman düz olup yıldız yakınında oldukça eğridir. Yıldızın gövdesi şekilde gölgeli olarak gösterilmiştir.

Şekil 30 ile bir bilardo masası arasındaki benzerliği şöyle kurabiliriz: Şimdi üstü keçe yerine bir lastik tabakası ile kaplanmış bir bilardo masası düşünelim ve bu masanın ortasına tuğlaya benzer büyük bir ağırlık koyduğumuzu varsayalım. Bilardo masasının üstünün tuğlanın ağır-

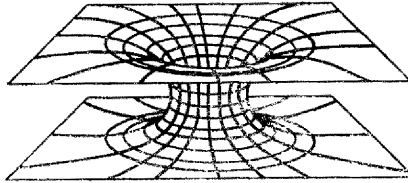


Şekil 30 — Çarpıtılmış uzay-zaman: Çöken bir yıldız yakınındaki uzay, üzerine bir tuğla ya da herhangi ağır bir cisim konulan bir kauçuk tabakanın sıkışması gibi, yıldızın çekim alanı tarafından eğritilir. Şimdi, aslında düz olarak varsayılabilen evrenin geri kalan kısmı çöken yıldızın uzağındadır.

lığı altında içeri çökeceği ve yüzeyinin de şekil 30'a benzeyeceği açıktır. Eğer bu masada bir oyun oynamaya kalkarsak, tuğlanın yakınından geçen bilardo topları, masanın eğri yüzeyi tarafından sapıtılacaktır. Bu durum, çöken bir

yıldızın yakınındaki uzay-zamanın eğriliğinin saptırdığı ışık ışınlarının ve parçacıkların durumuna benzetilebilir.

Eğer yıldızın çöküşünü sürekli olarak izlersek şekil 30'daki uzay-zamanın eğriliğinin giderek arttığı görülür. Bu eğri uzayın son kaderi ilkin Einstein ve Rosen tarafından tanımlanmıştır. Einstein ve Rosen, uzay-zamanın giderek en sonunda ikinci bir evrene açıldığını şaşırarak bulmuşlardır. Olay ufku aşıldıktan sonra uzay-zamanın eğriliği azalır ve ikinci asimtotik düz evrene geçilir. Daha sonra bu tür bir uzay uçuşunun gerçekten mümkün olamayacağını göreceğiz. Çünkü, bu tür bir gezinin gerçekleşmesi için ışıktan daha hızlı yol almak gerekmektedir, bu ise olanak dışıdır. Burada sözkonusu olan, uzayın kara delik civarındaki geometrisidir. Aslında Einstein ve Rosen, Schwarzschild çözümünün, alan denklemlerine sırt sırta iki çözüm getirdiğini bulmuşlardır. Tüm çözümün yarısı evrenimizi olay ufkuna bağlarken ikinci yarısı da başka bir evrenin içine doğru devam eder. Bu geometri şekil 31'de gösterilmiştir. Ortaya çıkan geometrik şekle *kurtdeliği* veya *Einstein-Rosen köprüsü* adını vermekteyiz.

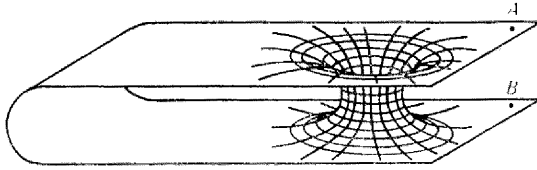


Şekil 31 — Kurtdeliği: Bu şekil, dönmeyen bir kara deliğin çevresindeki uzay-zamanın geometrisini göstermektedir. Kurtdeliği ya da Einstein-Rosen köprüsü iki ayrı düz evreni birbirine bağlar. Olay ufku kurtdeliğinin merkezindedir.

Bu noktada, şekil 31'in anlatmak istediği şeyi iyice kavramamız gerekir. Bu, dört boyutlu bir sürecin iki boyuta indirgenmiş bir görüntüsüdür. Bir dış gözlemcinin gör-

düğü gibi, ideal olarak, küresel ve dönmeyen bir yıldızın çöküşünü düşünelim. Zaman geçtikçe yıldızın küresel yüzeyi giderek küçülür. Yıldızı bir kurtdeliğinin içerisine sıkıştırılmış bir top gibi düşünelim. Top ufaldıkça Einstein-Rosen köprüsünün boğazından içeri iyice kayabilir. Küçülen top kurtdeliğinin içine daha iyi oturur. Ama genel rölativite kuramına göre çekim alanının gücü arttıkça zaman yavaşlar, yani dış gözlemcinin gördüğü gibi küçülme hızı da yavaşlar. Çünkü gözlemciye göre olay ufkunda zaman tamamen durur ve küçülen yıldız Einstein-Rosen köprüsünün ortasındaki olay ufkuna hiç ulaşmaz.

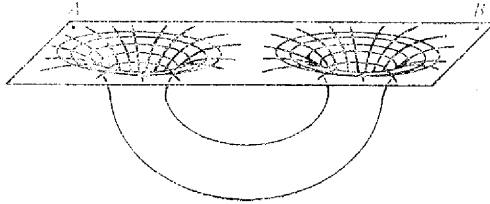
Einstein-Rosen köprüsünün akla gelen ilk yorumu iki ayrı belirgin evreni birbirine bağlamasıdır. Ama bu yorum tek değildir. Einstein-Rosen köprüsü, bizim evrenimizde çok uzak iki noktayı da birbirine bağlıyor olabilir. Bunun nasıl oluşacağı şekil 32'de gösterilmiştir. Bu şeklin bütün gösterdiği, üst tabakanın alt tabakaya bağlanabileceğidir: Eğer evrenin aslında düz olduğunu düşünmek isterseniz şekil 33'ü elde etmek üzere Şekil 32'yi açabilirsiniz. Bu iki şekil de tastamam birbirinin aynısıdır.



Şekil 32 — Kurtdeliği: Bu şekil bizim evrenimizde iki uzak noktayı (A ve B) birleştiren Einstein-Rosen köprüsünü göstermektedir.

Dikkatli bir okur, Einstein-Rosen köprüsünün, sorunun tümünü açıklamadığına dikkat etmiştir. Belirli bir uzaklıkta, yıldızın çekimsel çöküşünü izleyen birinin bakış açısına göre, yıldız olay ufkuna hiç ulaşamaz. Böyle bir süreç sonsuz bir zamanı gerektirecektir. Ama, çöken yıldızın yüze-

yinde duran bir bilginin saatine göre olay ufku, görece, kısa bir zamanda geçilir. Bu durumda yıldız küçülmeye devam eder ve sonuçta tekillığe ulaşır. Einstein-Rosen köprüsünün tekillliği kapsamadığı açıktır. Bu köprü bize, kara deliğin geometrisini, dışardan gözüktüğü gibi açıklar. Bir dış gözlemci aslında tekillliği göremez ve bu yüzden tekillik bizim şekillerimizin dışında kalmaktadır.

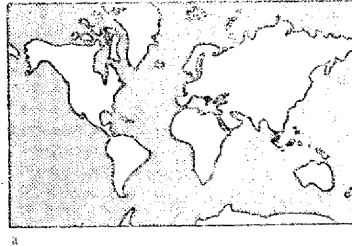


Şekil 33 — Kurtdeliği: Bu, bir önceki şeklin katlanmamış halidir. Şeklin görünüşte yarattığı izlenimin tersine, A noktası ile B noktası arasındaki en kısa uzaklık, bu iki noktayı kurtdeliğinin içinden birbirine bağlayan uzaklıktan çok daha fazla olabilir.

Bu bizi olay ufku ile tekillik arasındaki uzay-zamanın niteliğini araştırmaktan alıkoymaz. Kara deliğin beklenmedik çift-evren niteliği Schwarzschild çözümünde saklı olduğundan, belki bütün yapmamız gereken, işi biraz daha kurcalamaktır. Belki de Schwarzschild çözümünden öğreneceğimiz çok şey vardır.

1960'ta Dr. M. D. Kruskal, Schwarzschild ölçümünün maksimal uzantısı adı verilen ve uzay-zamanın niteliğini, tekillığe kadar iyice açıklayan buluşunu yayınladı. Dr. Kruskal, ustaca bir dizi koordinat dönüşümleri kullanarak Schwarzschild çözümünün içerdiği birçok gizli hazineyi matematiksel olarak çözümleyebilmiştir. Einstein-Rosen köprüsünde yaptığımız gibi, Dr. Kruskal'ın çalışmasının sonuçlarını bir diyagram şeklinde sunacağız. Bu diyagramı hazırlamak için ilkin *tasvir* adı ile bilinen matematiksel işlemin niteliğini iyice anlayıp değerlendirmemiz gerekir.

Şekil 34.'ya bakalım. Bu şekilde ne görüyorsunuz soru-



Şekil 34 — Yeryüzünün haritası: Burada yerkürenin küresel yüzeyinin, bir düzlem üzerine nasıl tasvir edildiğini görmekteyiz. Bir düzlem haritanın daha kullanışlı olmasına karşın, burada bir sürü beklenilmeyen geometrik çarpıklıklar yer alır.

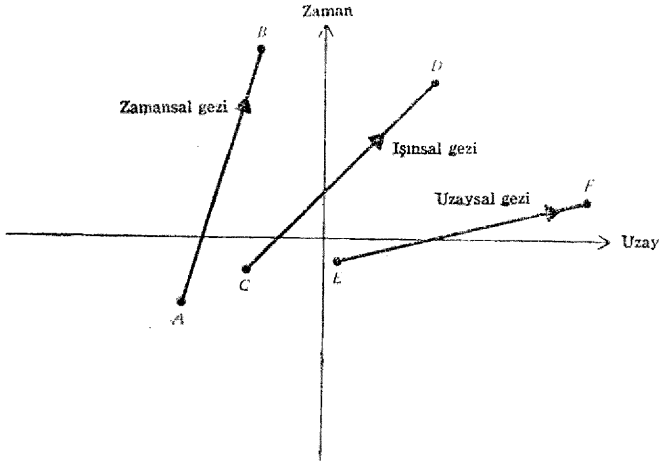
sunu birçok insan hemen “yeryüzü” diye tanımlayacaktır. Bunlar açıkça yanılmaktadırlar. Şekil 34_a yeryüzüne kesinlikle benzemiyor. Şu şeklin düz olmasına karşın yeryüzü düz değildir. Şeklin dört keskin köşesi olmasına karşılık yeryüzünün böyle köşeleri yoktur ve bunun altında ve üstündeki kuzey ve güney kutupları düz çizgiler halinde gösterilirken, birçok kıtanın şekli de iyice çarpıtılmıştır. Öyleyse nasıl olur da akıllı bir kişi şekil 34_a’da gözüken garip çizimi yeryüzü ile karıştırır.

Bu çıkmazı çözmek için iki yol vardır. Birincisi, çocukluğunuzdan beri insanlar size şekil 34_a’nın yeryüzünün bir haritası olduğunu söylemişlerdir. Ama bundan, daha önemli olarak, tasvir işlemini anlamaktasınız. Bu şekli, gerçekten yeryüzüne benzetmek için, şekil 34_b’de gözüktüğü gibi bir makasla kesmeli ve top şekline sokarak yapıştırmalıdır. Yeryüzünün bir haritası veya resmi gerektiğinde, her kez yanımızda bir küre taşımak kolay değildir. Harita yapma sürecini anladığınızdan katlayıp cebinize koyabileceğiniz bir düz kâğıt parçası olması için gerçeği bir

ölçüde saptırmayı göze alabilirsiniz. Bu kolaylığın bedeli, gerçeği bir ölçüde saptırmak ve değiştirmektir. Örneğin, asıl yerkürede nokta ile gösterilen kuzey ve güney kutupları haritanın altında ve üstünde düz çizgilere dönüşür. Aslında bir çember olan ekvator da bir düz çizgi şeklini alır. Başka bir deyişle alışılmadık geometrik şeyler olmaktadır, ama işin özünü anladığımız için bu bizi rahatsız etmemektedir.

Dr. Kruskal'ın çalışmasını sunmanın en iyi yolu *Kruskal diyagramı* adı verilen çok özel bir haritayı kullanmaktır. Yeryüzünün haritalarında olduğu gibi, kara deliğe ilişkin uzay-zaman diyagramında da birçok garip çarpıklıklar bekleyebiliriz. Ama hem işin özünü anladığımızdan hem de kara deliğin niteliği hakkında çok sayıda bilgiye kavuşacağımız için bu çarpıklıklar bizi fazla rahatsız etmeyecektir.

Kruskal diyagramını en iyi şekilde, zamanın düşey, uzaklığın ise yatay olarak gösterildiği bir grafikten anlayabiliriz. Bu yaklaşım şekil 35'te şematik olarak gösterilmiştir. Bu tür bir diyagramda aynı zamanda ışık ışınlarının 45 derecelik açılarla yol aldığı varsayılacaktır. Bunu gerçekleştirebilmek için zaman ve uzaklık eksenlerinde buna uygun bir ölçek kullanmak gerekir, şöyle ki: düşey doğrultudaki her saniye, yatay doğrultudaki 300.000 kilometre ile eşit olarak işaret edilmelidir. Bu uzay-zaman diyagramında yol alan bir astronot düşünürsek, bu astronotun bazı doğrultularda hareket edebildiğini bazılarında da edemediğini görürüz. Örneğin, *A* noktasından *B* noktasına kolaylıkla gidebilir. Böyle bir gezinin çok zaman almasına karşın fazla yol alınmamaktadır. Bu tür bir yol *zamansal* adını alır. Öte yandan eğer astronot *C* noktasından *D* noktasına gitmek isterse ışık hızı ile yol alması gerekir. *C* ve *D* noktalarını birleştiren doğru yatayla 45 derecelik açı yapar ve bu tür bir yol *ışmsal* adını alır. *E* noktasından *F* noktasına ise hiç gidemez. Kısa bir zaman süresinde çok fazla yol al-

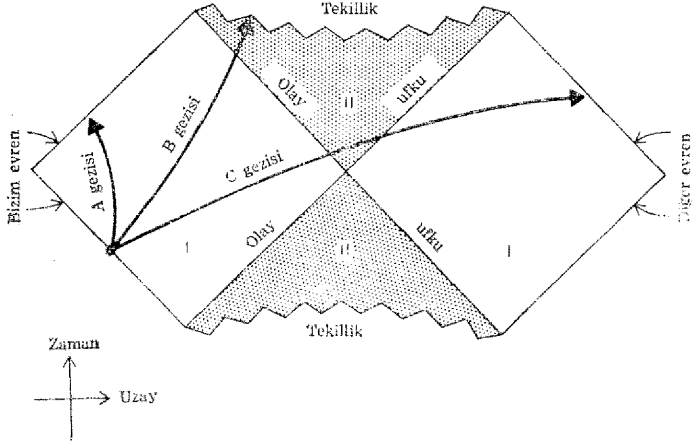


Şekil 35 — Uzay-zamanda izlenen yollar: A ve B noktalarını birleştiren yol zamansal, C ve D noktalarını birleştiren yol ışınsal, E ve F noktalarını birleştiren yol ise uzaysaldır. Hiçbir zaman ışıktan daha hızlı yol alamayacağımıza göre ancak zamansal geziler gerçekleştirilebilir.

ması gerekir ve hızı da ışık hızını geçmelidir; bu tür bir yol ise *uzaysal* adını alır. Bu yüzden (bir astronot, çöken bir yıldızın yüzeyi vb.) bütün cisimlerin ancak zamansal doğrultularda yol alabileceğini kavramak önemlidir. Bu sözkonusu doğrultular, bu diyagramda düşey eksenle 45 dereceden daha az açılar yapmaktadırlar. Düşey ile 45 dereceden fazla açılar yapan doğrultularda yol almak kesinlikle olanaksızdır.

Şimdi, Kruskal'ın dönmeyen, küresel bir kara delik diyagramını şekil 36 üzerinde inceleyebiliriz. Bu diyagram, ışık ışınları 45 derecelik açılarla yol alacak şekilde düzenlenmiştir. Dikkatimizi çeken ilk çarpıklık tüm evrenimizin şeklinin sol tarafına uzanmış olmasıdır. Aynı zamanda Einstein-Rosen köprüsünün ikinci tabakası olan “diğer evren” ise şeklin sağ tarafına uzanır. Kırık çizgilerle gösterilen teklik diyagramın alt ve üstünü sınırlar. Son olarak şeklin merkezinde birbirini kesen iki doğru olarak göste-

tilen olay ufku, tüm uzay-zamanı iki belirgin bölgeye ayırır. Bölgelerin biri olan (I), olay ufkunun dışında kalan herşeyi kapsar. Bu tür iki alan vardır: biri bizimle olay ufku arasında kalan, diğeri ise olay ufku ile diğer evren arasında kalan alandır. Olay ufku ile tekillik arasında kalan ve ikinci tür bölgeyi oluşturan (II) de iki parçalıdır.



Şekil 36 — Schwarzschild çözümünün Kruskal diyagramı: Evrenimiz diyagramın sol tarafında bulunmaktadır. Diğer evren ise (Einstein-Rosen köprüsünün alt tabakası) diyagramın sağ tarafındadır. Olay ufku merkezi keserken tekillik diyagramın alt ve üst kısımların sınırları. Bölge I olay ufku ile dış evrenler arasında kalan alanlardan oluşmaktadır. Bölge II ise olay ufku ile tekillik arasındaki alanları kapsamaktadır. A ve B gezileri gerçekleşebilir. C gezisi ile uzaysaldır ve bu nedenle fizik yasalarına aykırıdır.

Astronotların (veya herhangi bir fiziksel cismin) zamansal doğrultular boyunca yol alması gerektiğini anımsarsak, bu ve bundan önceki bölümlerde belirtilen durumların gerisindeki nedenleri şimdi açıkça anlayabiliriz. Bir astronotun yapmak isteyebileceği çeşitli mümkün gezileri düşünelim. A gezisinde astronot kara deliğin önünden uçar. Bu, emniyetle yapılabilen tamamen zamansal bir uçuştur. B gezisi de yapılabilir fakat, bu gezide astronot aptalca olay ufku-

nun içinden geçer. Kruskal diyagramının hemen açıkladığı iki şey vardır: ilkin bu diyagramda olay ufku 45 derecelik bir açı yaptığından bir kez ikinci bölgeye giren astronot için geri dönmek artık mümkün değildir. Geriye dönebilmesi için kaçış yolu uzaysal olmalıdır. Bu ise onun ışıktan daha hızlı yol alması gerektiği anlamına gelir. Bu mümkün olmadığından astronotun tekilliğe çarptığında parçalanması kaçınılmaz kaderidir. Aynı zamanda olay ufku ile tekillik arasındaki ikinci bölgede astronotun dış alem ile haberleşmesi mümkün değildir. Astronotun gönderdiği tüm ışık ışınları veya radyo dalgaları ışınsal yörüngeler boyunca yol almaktadır. Bu türden olan tüm yörüngelerin, sonunda tekilliğe çarpacağı ve ikinci bölgeden hiç kaçamayacağı açıktır. Son olarak, *C* gezisi tümünden olanak-dışıdır. Bu doğrultu boyunca çeşitli noktalarda yörüngelerin düşeyle yaptığı açı 45 dereceden fazladır. Yani gezinin uzaysal kısımları vardır, ve astronot ışıktan daha hızlı yol almak zorundadır. Bizim evrenimizle “diğer evren” arasında düşünebileceğimiz bütün gezilerin uzaysal bir kısmı olmak gerekir. Bu yüzden kurt deliğini, diğer evrenlere yapılan uzay gezileri aracısı olarak kullanmamız tamamen olanaksızdır.

Schwarzschild çözümünü yorumlarken çoğu kez kara deliğin dönmediğini vurgulamıştık. Bu durum fiziksel gerçekler bakımından büyük bir güçlük yaratır. Çünkü çevremizde her şeyin, gezegenlerin, yıldızların, galaksilerin ve belki de bütün evrenin döndüğünü gözlemekteyiz. Bu dönüşü gözönüne almamak, ne yazık ki ciddi bir kısıtlamadır. Ama çok yakın zamana kadar gerçekten dönmeyi hesaplarımızı nasıl katabileceğimizi bilemiyorduk, Einstein’ın alan denklemlerinin verdiği çözümlerin hiçbirisi dönmeyi ciddi olarak hesaba katmıyordu.

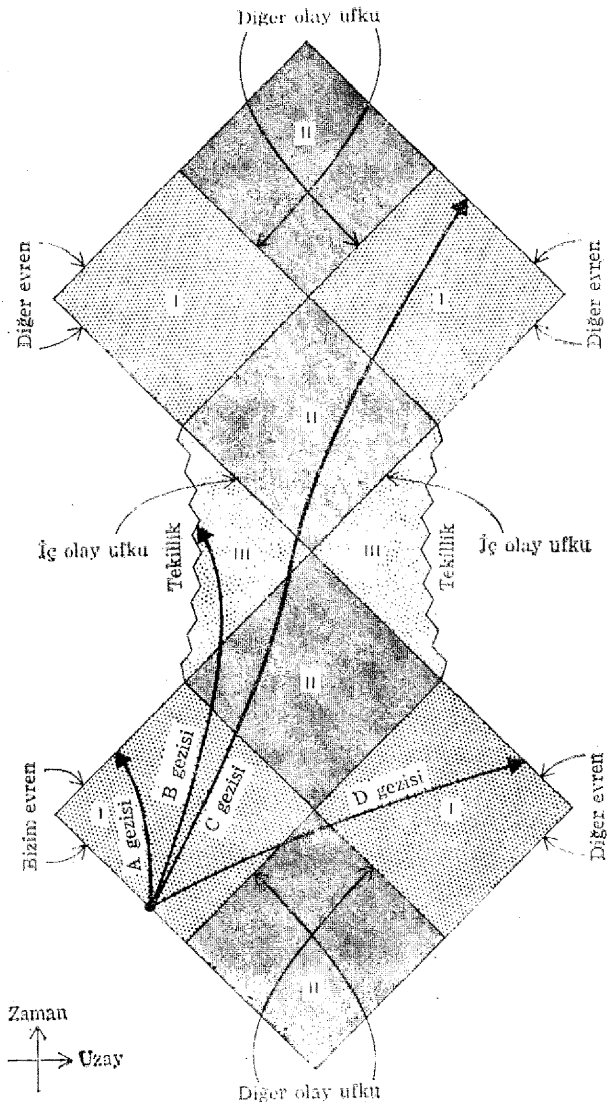
1963’te Dr. R. P. Kerr, alan denklemlerine dönmeyi de içeren bir çözüm bulup yayınladığında rölativite kuramında büyük bir hamle gerçekleşmiş oldu. Bu *Kerr çözümü*,

eski dönmeyen hale ait Schwarzschild çözümünün getirdiğinden çok daha fazla sürprizler getirmektedir. İlk bu çözümde, bir yerine *iki* tane olay ufku olduğunu görüyoruz. Esas olarak Schwarzschild çözümünü döndürmeye başladığımız anda olay ufku ikiye ayrılır. Ayrıca tekilliğin tüm niteliği ve özellikleri ciddi şekilde değişir.

Sizin de bekleyebileceğiniz gibi, Dr. Kerr'in buluşunu açıklamanın en uygun yolu *Kerr çözümünün Kruskal diyagramını* kullanmaktır. Böyle bir diyagram ilk kez 1967'de Dr. Boyer ve Dr. Lindquist tarafından sunulmuştur ve şekil 37'de verilmektedir. Diğerlerinde olduğu gibi, burada da ışık ışınları 45 derecelik doğrular boyunca yolalmaktadır. Bu diyagramın, inanılmayacak kadar karışık görünmesine karşın, içinde bizi bekleyen birkaç sürpriz bulunmaktadır.

Diyagramdan da görülebileceği gibi, şeklin merkezinde çaprazlama kesişen iki olay ufku bütün uzay-zamanı üç belirgin bölgeye ayırmaktadır. Birinci tür bölge olan (I) dış evrenlerle (bizimkisi veya başkaları) birinci olay ufku arasındaki bütün alanları kapsar. İkinci tür bölgede, yani (II)'de birinci ve ikinci olay ufku arasında yer alan alanlar yer almaktadır. Son olarak üçüncü tür olan (III.) bölgede ise ikinci olay ufku ile tekillik arasında kalan alanlar bulunmaktadır.

Kerr çözümünün Kruskal diyagramına baktığımızda ilk göze çarpan şey, birçok değişik evrenlerin var oluşudur. Şekil 37'de yalnız dört evrenin (bizimki ve diğer üç evren) gösterilmesine karşın bu diyagram kendi kendini, düşey doğrultuda, belirsiz sayıda tekrarlar. Öyleyse şekil 37, aynı modelin sürekli olarak tekrar edildiği, sonsuza giden diyagram serisinin yalnızca ufak bir kısmını göstermektedir. Böylece, bir dönen kara deliğin, sonsuz sayıda ayrı evrenleri birleştiren bir köprü oluşturduğunu düşünebiliriz. Şekilde dikkatimizi çeken ikinci husus kırık çizgilerle belirtilen tekilliğin, Schwarzschild çözümünde yatay olmasına karşın,



Şekil 37 — Kerr görüşünün Kruskal diyagramı: Dönen bir kara deliğin geometrisi birçok evreni birbirlerine bağlar. Bizim evrenimiz diyagramın sol alt kısmında bulunmaktadır. Diğer üç evren de şekilde gösterilmiştir. Bu durumda içte ve dışta iki olay ufku vardır. I. bölgenin alanları dış olay ufku ile dış evrenler arasında yer almaktadır. II. bölge iki olay ufku arasındaki alanları kapsar. III. bölge ise iç olay ufku ile tekillik arasındaki alanlardan oluşur. D gezisinin dışında A, B ve C gezileri gerçekleşebilir.

bu diyagramda düşey olarak yer almış olmasıdır. Bu, uzay-zaman kesiminin karakterinde önemli bir değışikliğı yansıtır. Schwarzschild çözümündeki *üç boyutlu uzaysal tekillik*'e karşılık Kerr çözümünde *iki boyutlu zamansal tekillikle* karşılaşırız. Bunun birçok önemli sonuçları ortaya çıkar.

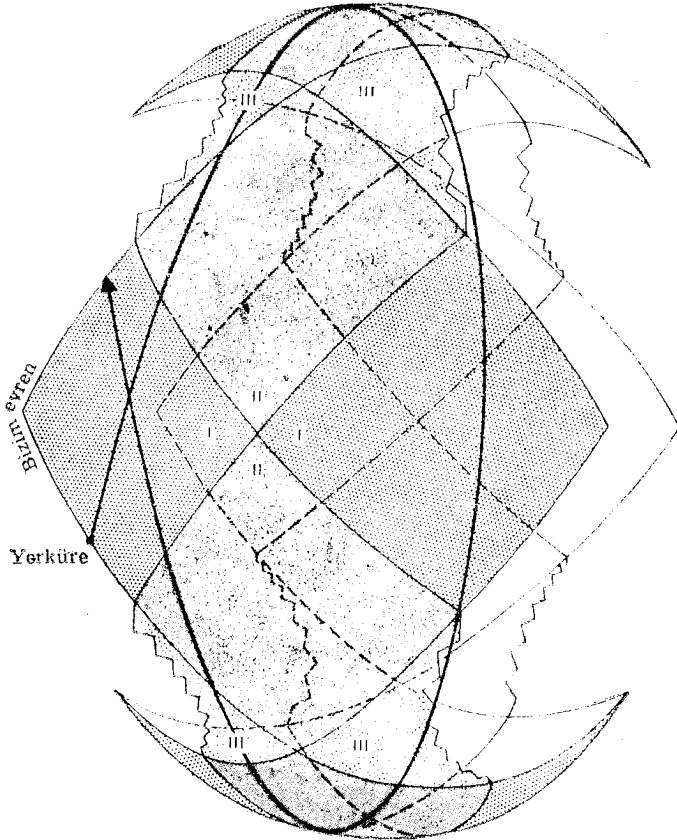
Dönen bir kara deliğın yakınında bazı uzay uçuşları yapan bir astronotu düşünelim. Anımsayacağımız gibi, yalnız zamansal yollar gerçekleşebilir. A yolunda astronot yerküreden ayrılır, ama kara deliğē çok yaklaşamaz. Sonunda kendini evrenimizin bir başka yerinde bulur. B yolunda ise astronot yerküreden gene ayrılır, ama bu kez doğrudan dönen kara deliğı hedef alır. İlk birinci olay ufkundan sonra da ikinci olay ufkundan geçer, ne yazık ki, bu astronot doğrudan tekillikē yönelmekle öldürücü bir hata yapar ve sonsuz basınçların etkisinde parçalanır.

Bu kadarı kötü astronotun acıklı sonu, aslında gereksizdi. Kerr çözümünün şaşırtıcı özelliklerinden biri, olay ufukları geçildiğinde tekillikle çarpışmak zorunda *olmayışımızdır*. Örneğın astronot C yolunu seçmiş olabilirdi. Bu durumda iki ve üç numaralı kesimleri geçtikten sonra olay ufuklarını geride bırakarak kendini başka bir evrende bulacaktır. C yoluna benzer sonsuz sayıda olanaklı uzay yolları olduğundan, Kerr çözümünün tanımladığı dönen kara delik bize, değışik evrenler arasında uzay gezileri yapma olanağını verir.

Tartışmanın bu aşamasında D yolundaki bir gezinin olanak dışı olduğunu belirtmemiz gerekmektedir. Bu yol düşey ile 45 dereceden fazla bir açı yaptığından uzaysal bir yoldur. Böyle bir gezi yapmak için bilinen birçok fizik yasalarını çiğneyerek ışıktan daha hızlı yol almak gerekecekti.

Şekil 37'deki diyagramın, aynı modelin sürekli olarak tekrarlandığı uzun bir şeridin, aslında bir bölümü olduğunu belirtmiştik. Bu yüzden ilk olanaklı yorum, dönen bir kara deliğın geometrisinin sonsuz sayıda evrenleri birbirine bağla-

masıdır. Ama, diğer olanaklı yorumlar için, yeryüzü haritasını şekil 34a gerçekten yeryüzüne benzetmek amacıyla ilk yaptığımız şey resmi kesmek, bir silindir şeklinde katlamak ve dik kenarlarını yapıştırmak olmuştur. Kerr çözümünün Kruskal diyagramını da şekil 38'de gösterildiği gibi, bir



Şekil 38 — Katlanmış Kerr çözümü: Kerr çözümünün Kruskal diyagramı, gösterildiği gibi, bir silindir şeklinde katlanabilir. Bu yorum bizim dönen bir kurt deliğinin içinden yol atarak, belki uzak geçmişte de olsa, tekrar evrenimize dönmemize izin verir! Bunun nedenselliğe aykırı olduğu açıktır.

silindir biçiminde katlayabiliriz. Bu farklı yorum, astronotun evrenimizden ayrılıp silindirin çevresinde zamansal bir yol boyunca gitmesi ve evrenimize geri dönmesi olanağını verir. Uzay gemisini uygun bir yöne doğrultarak astronot evrenimizde hemen hemen istediği herhangi bir uzay zaman noktasına dönebilir. Örneğin astronot yeryüzüne ya bir milyar yıl önce veya bir milyar yıl sonra gelecektir.

1960 yılının sonlarından bu yana, birçok değişik gözlemleri ve üniversitelerden, her tür dalga uzunluğunda, gökyüzüne ilişkin güvenilir gözlemler yapılmaktadır. İlk kez, X ışınlarından radyo dalgalarına kadar uzanan bilgileri birleştirmek olanağı elde edilmiştir. Bu tür gözlemlerin birçok ilginç soruyu yanıtlamasına karşın geleneksel bir yorumlamaya açıkça kafa tutan birçok ek bilgiler de elde edilmiştir. Örneğin çok sayıda galaksi ve kuasar, bilinen termonükleer tepkimelerde elde edilenden çok daha fazla enerji yayınlamalar. Etkin galaktik çekirdeklerin bu gözlemleri birçok astrofizikçiyi *ak deliklerin* varlığı olanağını düşünmeye itmiştir. Belki de, bu garip ve patlayan galaksilerin merkezinde, dönen bir kara deliğin “diğer ucu” bulunmaktadır. Belki de madde ve enerji, bizim evrenimizi diğer birçok evrene bağlayan, dönen kurt deliklerinin boğazlarından dışarı fıskırmaktadır. Bu olanakların ayrıntılı, kuramsal ve gözlemsel incelenmesi bize bu yüzyılım astronomide en başdöndüren ve heyecan veren atılımlarından birini sağlayabilecektir.

SEKİZ

GALAKSİLER VE KUASARLAR

BİRKAÇ yüzyıl önce gökyüzünde, yıldızlar ve gezegenlerin yanı sıra, gözlenecek bir yığın başka cisimlerin de var olduğu ortaya çıktı. 19. yüzyıl sonlarında astronomik teleskopların nitelikleri öylesine düzeldi ki birçok astronom “bulutsu” adı verilen “bulanık” cisimlerin kataloglarını ve yüksek düzeyde gözlemlerini yapmaya başladılar. Bu bulanık cisimlerin bir çoğunun kuyruklu yıldızlar, bir tanesinin ise yeni bir gezegen olduğu görüldü. Oysa bulutsuların büyük bir çoğunluğu sabit yıldızlara göre hareketsiz kalmaktaydılar. Bu ise, bu bulutsuların güneş sistemimizden çok uzaklarda olduğunu gösteriyordu.

Bulutsulara olan gerçek uzaklığın ne olduğu sorusu 20.

yüzyıl başlarına kadar bir sır olarak kalmaya mahkumdu. Bu yüzyılda Wilson dağındaki 250 cm'lik yeni teleskobun yanı sıra ileri fotoğraf tekniklerinin de kullanılmaya başlanması astronomlara, bu cisimler hakkında daha önce elde edilmiş olanların çok üstünde geniş bilgiler sağladı. Bundan sonra bütün bulutsuların bir veya iki kategoriye sokulacağı belli oldu. Her şeyden önce galaksimiz içinde gaz bulutları halinde olup şu ve bu nedenle parıldayan Yengeç Bulutsusu, Halka Bulutsusu ve Orion Bulutsusu gibi cisimler vardı. Bugün bu cisimlerin, H II bölümlerini ve olağan yıldızların doğum yeri ve mezarları olan nova kalıntıları içinde barındırdığını anlıyoruz. İkinci kategorideki cisimler biraz daha karışıktı. Bunların M31 (Andromeda bulutsusu), M87 ve M101'i kapsadığı ve arasına bir spiral veya fırlıdak görünümü aldığı gözlemlendi.

Birinci kategoride yer alan bulutsuların yaklaşık konumları hakkında fazla bir anlaşmazlık yok gibi görünüyordu. Buna karşılık fırlıdak şeklindeki cisimlere olan uzaklık konusunda büyük tartışmalar çıkmaya başladı. Bazıları bunların galaksimiz içerisinde olduklarını söylerken bir kısmı da galaksimizden çok uzaklarda bulunduklarını ileri sürdüler. Gerçekten de çok yıl önce Laplace tarafından önerildiği gibi bunların "evren adaları" veya ayrı galaksiler olduklarını düşünmek mümkündü. Bu nedenle astronomlar, yeni uzaklık saptama yöntemleri geliştirme sorunu ile karşı karşıya kaldılar.

Eğer bir kimse 200 wattlık bir ampul alıp gece vakti sizden bilinmeyen bir uzaklıkta durursa, bu uzaklığı görece bir kolaylıkla saptayabileceğiniz açıktır. Gerçekten, arka daşınızın ışığının gözünüze ne denli parlak geldiğini gözleyebiliyor ve bu parlaklığı 200 wattlık lambanın gerçek ve mutlak parlaklığı ile karşılaştırabiliyorsanız, sizinle arka daşınız arasında olanaklı, bir ve yalnızca bir uzaklık olduğuna derhal karar verebilirsiniz. Yani lambanın görünen

parlaklığı ile mutlak parlaklığını karşılaştırarak lambaya olan kesin uzaklık saptanabilir. Eğer şu veya bu nedenle gerçek veya mutlak parlaklıklarını saptayabileceğimiz bir miktar yıldız bulabilirsek, gökyüzündeki cisimlerin görünen parlaklıklarını gözleyerek, bunların uzaklıklarını kolayca hesaplayabiliriz.

Biraz da şansın yardımı ile, bulunduğumuz yüzyılın ortalarından biraz sonra, Cepheid değişkenlerinin periyotları ile mutlak şiddetleri arasında tek bir ilişki olduğu bulundu. Cepheid değişkenleri, çok özel bir şekilde, zaman zaman parlayan ve kararan yıldızlardır. Çabuk parlayıp, yıldıza bağlı olarak, bir gün ve bir ay arasında değişen düzenli bir periyot ile yavaşça kararırılar. Magellan bulutlarındaki Cepheid değişkenlerini inceleyerek çabuk değişen Cepheid'lerin gerçek parlaklıklarının düşük olduğu, yavaş değişen Cepheid'lerin ise çok daha yüksek bir gerçek parlaklığa sahip oldukları görüldü. Cepheid değişkenlerinin mutlak şiddetleri ile periyotları arasındaki bu kesin ilişki, aranmakta olan *periyot-aydınlattırma gücü* yasasını verir. Daha sonra astronomlar sarmal bulutsularda Cepheid aramaya başladılar. Cepheid'ler "ışık eğrileri" veya parlaklıklarının ayırdedici değişim şekli ile kolayca tanınırlar. Bir teleskop ve saatle yapılan gözlemlerden sonra bir Cepheid'in periyodu kolaylıkla ölçülür. Daha sonra periyot-aydınlattırma gücü yasasını kullanarak sözü edilen yıldızın gerçek parlaklığını buluruz. Bu mutlak şiddeti, yıldızın görülen parlaklığı ile karşılaştırarak uzaklık derhal saptanabilir. Bu ve buna benzer gözlemler sonunda sarmal bulutsuların gerçekten çok büyük uzaklıklarda, galaksimizin oldukça ötesinde olduğu ortaya çıktı.

O halde *galaksi* veya sarmal bulutsu adını verdiğimiz bu cisimler tamamen yeni bir astronomik sınıfa giriyorlardı. Artık, eskiden yapılan tahminlerden çok daha derinlemesine evreni görebiliyorduk. Bu durumda birçok astronom dik-

katlerini bu cisimlerin üzerinde topladılar. Bu araştırmacılar arasında özellikle D. Edwin Hubble, bütün galaksilerin dört kategoriden birine sokulabileceğini gösterdi: Eliptikler, sarmaller, çubuklu sarmaller ve düzensiz galaksiler. Eliptik galaksiler, gözle görülen belirli bir biçimi olmayan şekilsiz gölgeleri anımsatır. Çembersel olabildikleri gibi büyük ölçüde yassı da olabilirler. Sarmal galaksiler, galaksinin çekirdeğinden başlayıp dışarı doğru fırlatıldığı bilinen spiral kollardan oluşur. Çubuklu sarmaller, sarmal galaksilere çok benzerler, yalnızca burada spiral kollar çekirdekte değil, galaksinin merkezinden geçen bir çubuğun uçlarında başlar. En son olarak bu üç kategorinin hiçbirine girmeyenler, çok düzensiz ve dağınık bir görünümde olup düzensiz galaksi adını alırlar.

Galaksi tayflarını inceleyerek, Dr. Hubble ayrıca yakın galaksilerin bizden daha yavaş uzaklaşmasına karşılık daha uzaktakilerin ise çok daha büyük bir hızla kaçtıklarını buldu. Hubble yasası adı verilen bu yasa, daha önce de söylediğimiz gibi, evrenin bir bütün olarak genişlemekte olduğunu ilk kanıtı vermekte idi. Buna ek olarak, bu Hubble yasası, önemli olan bir başka uzaklık göstergesini de sağlıyordu. Örneğin belirli bir galaksiye olan uzaklığı bulmak istediğinizde tayfta yer alan çizgilerin kırmızıya kaymasını ölçersiniz. Bu kırmızıya kayma, Hubble yasasına göre, belirli bir uzaklığa karşı gelen bir uzaklaşma hızını verir. Bu yolla galaksilerin kırmızıya kaymalarını, evrenin genişlemesini yansıtan bir evrenbilimsel etki olarak yorumlamaya başlamış oluyorduk. İşte 1960 sıralarında bu konuda bildiğimiz bu kadardı ve her şey anlamlı görülüyordu. Ama birden kuasarlar ortaya çıktı.

1930'larda uzaydan birtakım radyo dalgalarının yeryüzüne geldiği algılanmaya başlandı. Bu buluşun sonuçlarına, İkinci Dünya Savaşının araya girmesi nedeni ile, bir on yıl kadar hiç değinilmedi. 1940 sonları ve 1950 başlarında

astronomlar, savaş yıllarında elektrik ve elektronik mühendisliğindeki ilerlemelerin radyo teleskoplarının yapımına dolaysız olarak uygulanabileceğini buldular. İlk kez olarak olağan ışığın dalga boylarından çok uzak dalga boylarında, evrenin nasıl bir görünüm aldığını görmek fırsatına sahip olduk. Gerçekten de bu, çok değişik bir görünümdü. Radyo-astronomlar, düzenli olarak buldukları kaynakların durum ve şiddetlerini bildiren kataloglar yapmaya başladılar. Bu tür çabalar sonunda ortaya çıkan en önemli yapıt üçüncü Cambridge Kataloğu oldu. (Bu katalogtaki bütün girişler 3C simgesi ile başlar, Messier katalogundaki girişler M ile, Yeni Genel Katalogtakiler ise NGC ile başlar.)

Örneğin 3C kataloguna göre verilen radyo kaynaklarının konumlarına bakarak optik astronomlar birtakım alışılmamış görülebilir cisimler bulma umudu ile teleskoplarını gökyüzünün uygun kesimlerine çevirdiler. Birçok kez çabaları oldukça başarılı oldu ve çoğu radyo kaynakları, yüksek düzeyde manyetik alana sahip, dağılabilen gaz şeklinde cisimler ile üstüste düştüler. Bu, akla yatıkındı. İyonize olmuş bir gazda veya plazmadaki yüklü parçacıklar, yaygın bir manyetik alan çevresinde dolaşırken, Synchrotrone* yayını nedeniyle radyo dalgaları yayımlar. Buna ek olarak radyo dalgalarını yayımlayan bu bölgeler, yerküreye hissedilebilir yeterlikte enerji verebilmek için çok büyük olmalıdırlar. Gerçekten de 1960 yılına kadar optik yöntemlerle bulunan bütün radyo kaynaklarının, süpernova kalıntılarından tüm galaksilere kadar uzayan büyük, yayılabilir gaz niteliğindeki cisimlerle ilişkili olduğu anlaşıldı.

1960 yılında ise astronomlar Cambridge katalogundaki birkaç kaynağa dikkatlerini çevirdiler; bunlar 2C48 ve 3C273 gibi gökyüzünde büyük bir bölgeye yayılmamış olan

* *Synchrotrone*, yüksek frekanslı bir elektrik alanı ile düşük frekanslı bir manyetik alanın birleştirilmesi yolu ile yüklü parçacıklara çok büyük hızlar kazandıran bir araçtır. —ç.

kaynaklardı. Özellikle 3C273 cismi ekliptiğin çok yakınında Virgo'da bulunur ve zaman zaman ay tarafından karartılır. Bu tür bir karartma 1960'ta oldu ve ay 3C273 konumunun üzerinden geçerken radyo yayınları, girişim bandlarını ürettikten sonra herkesi şaşırtırcasına, hemen hemen durdu. Bu, 3C273'ün, radyo gürültüsünün bir nokta kaynağı olduğunun kanıtı idi. Karartma sırasında ayın kesin durumunu bilerek 3C273'ün kesin konumunu noktalamak kolaydı. Bu konumda 12,6 şiddetinde mavimsi bir (yıldız) yer almakta idi. Bundan da şaşırtıcı olay 3C273'ün optik tayfları elde edildiği zaman tayf çizgilerinin niteliklerini kimsenin belirleyememesi oldu. En basitinden, böyle bir tayfa daha önce hiç rastlanmamıştı. 1963'lerde durum dört kez daha kötüleşmişti, çünkü radyo gürültüsü yayımlayan bu mavimsi yıldızimsı cisimlerden üç tane daha bulunmuştu. Hepsinde de tayfların görünümü tam bir sır olarak kaldı. Bu zamana kadar bu kaynaklar "yıldızimsı cisimler" ya da kısaca "kuasarlar" olarak adlandırılmıştır.

Kuasarların anlaşılması konusundaki ilk gerçek ilerleme Caltech'de Hollandalı genç astronom M. Schmidt tarafından gerçekleştirildi. Schmidt, bu yıldızimsı kaynakların kırmızıya kaymalarının gerçekten çok büyük oldukları varsayılırsa, tayf çizgilerinin maviden hatta tayfın morötesi bölgelerinden uzaklaşmasının rahatlıkla açıklanabileceğini gösterdi.

Kuasar tayflarının bizi şaşırtması, daha önce bu denli büyük bir kırmızıya kayma görmemiş olmamızdandır. Bugün astronomlar için, tayf çizgilerinin tümünün görünmeyen morötesinden gelmesini gerektirecek kadar, kırmızıya kaymaları büyük olan kuasarları gözlemek gayet doğal olmuştur. Bu kırmızıya kaymalara karşı gelen hızlar hesaplandığında kuasarların ışık hızının yüzde-seksenine varan bir hızla bizden uzaklaştığı sonucuna varırız. Hatta Hubble yasasını uygulayarak bu hızların bilinen tüm galaksilerden de öteye milyarlarca

ışık yılı uzaklıklara karşı geldiği bulunabilir.

1960 başlarından beri tüm astronomik çevreler birbiri ardınca ortaya çıkan akıl durdurucu gözlemlerin saldırısı altında bunalmışlardı. Gerçekte, şimdiye kadar konulmuş herhangi akla-uygun bir standarda göre, kuasarların mevcut olmaması gerekli gibi görünüyordu. Her şeyden önce bu astronomik radyo kaynakları yaygın büyük cisimler olmalıdır. Kuramcılar, yoğun bir yıldız benzer bu cismin, yerkürede hissedilebilecek nitelikte bir radyo gürültüsünü nasıl yayınladığını açıklamada tamamen çaresiz kalmışlardır. Bundan da öteye, kırmızıya kaymalarını evrensel türden olarak açıklarsak, kuasarlara öylesine uzakta kabul etmek gerekir ki, ne radyo teleskopları ne 500 cm.'lik teleskoplar ne de herhangi bir şey ile yerlerini saptamak tamamen olanaksızdır. Oysa onlar vardır ve 1970 yıllarında kuasarlara listesi yüzlere ulaşmış ve halen de genişlemektedir.

1972'ye kadar kuasarlara açıklanmasındaki tüm çabalar birtakım başarısızlıklarla sonuçlandı. Evrensel bir kırmızıya kaymanın söz konusu olduğunu varsayarsanız kuasarlara öylesine uzakta yer alırlar ki, bunların bu denli parlamalarını açıklamak için, günümüz insanınca tamamen bilinmeyen ve inanılmayacak derecede muazzam olan enerji kaynaklarının varlığını kabullenmek gerekir. Kırmızıya kaymaları, genel relativitede oluşan bir çekimsel kırmızıya kayma türünden olduğunu varsayarsak, kuasarlara kara delikler halinde evrende hızla kaybolduğunu kabul etmek gerekir. Eğer kuasarlara çok yüksek hızlarla hareket eden, gerçekten yakın cisimler olduklarını varsayarsak bu durumda, hissedilebilir maviye kaymalarını neden ortaya çıkmadığını açıklayamayız; çünkü bize doğru gelmekte olan kuasarlara da bulunması pekâlâ mümkündür.

1960 sonlarında gözlemlerde ilginç bir eğilim gözükmeye başladı. Yavaş yavaş kuasarlara özellikle tuhaf veya patlamakta olan galaksilere yakın oldukları iyice açıklık kazandı.

Örneğin üçüncü Cambridge katalogunda yaklaşık elli kuasar bulunmaktadır. Şaşırtıcı olarak bunların yaklaşık yarım düzinesi Yeni Genel Katalogta dizilenmiş olan galaksilere son derece yakındırlar (örneğin NGC 4651 ve 3C275, 1; NGC 3067 ve 3C232, NGC 4138 ve 3C268, 4; NGC 5832 ve 3C309, 1; ve NGC 7413 ve 3C455). NGC ve 3C kataloglarının sayıları arasında böyle bir yakın ilişkinin raslantı sonucu olarak bulunması olasılığı yaklaşık olarak 10.000'de 1'dir. Bu ise kolaylıkla ihmal edilemez.

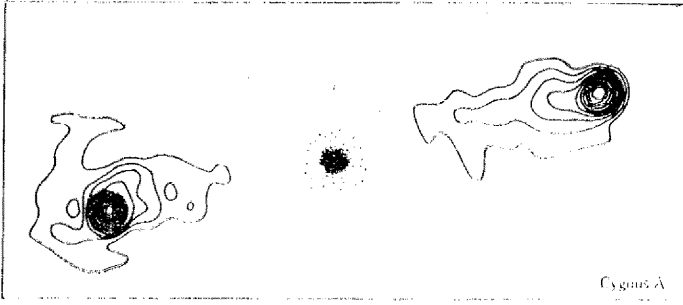
Bu sırada, birçok astronom ilgilerini birtakım garip galaksilere çevirmeye başladılar. Örneğin 1940'larda C. Seyfert, belli belirsiz sarmal kolları olup yüksek düzeyde parlak görülen birtakım galaksiler buldu. Bu Seyfert galaksileri ile N-tipi ve Zwicky'nin yoğun galaksileri gibi cisimler, kuasarlar ile olağan galaksilerin ortasına düşen birçok özelliklere sahiptirler. Örneğin, Seyfert'in, N-tiplerinin ve yoğun galaksilerin kırmızıya kaymaları, kuasarların yüksek kırmızıya kaymaları ile olağan galaksilerin daha normal kırmızıya kaymalarının hemen hemen ortasında bir yerdedir. Burada acaba evrimsel bir etki mi izlemekteyiz? Kuasarlar, sonradan olağan galaksilere dönüşen Seyfert'lerini oluşturmaktadırlar? Kuasarların etkin veya patlamakta olan galaksilerin çekirdeklerinden fırlamış olmaları fikri birçok astronom tarafından dikkate alınmamıştı, çünkü maviye kayan herhangi bir kuasarın gözleminde başarısızlık. Her şeye karşın evrende herhangi bir ayrıcalıklı yere sahip değiliz ve bu kuasarların bir kısmının bize doğru gelmekte olması gerekir. Bundan daha da ilginç veriler devamlı olarak alınmaktadır.

Bir an için kuasar sorununu bir yana bırakırsak etkin galaksilerin gerçekten de, patlayarak büyük miktarda madde fırlattıkları son derece açık olarak görülmektedir. Patlayan galaksileri gösteren çok etkileyici fotoğraflar vardır, örneğin M82, NGC 1275 ve M87 gibi. M82'de çok şekilsiz bir cisim

görmekle kalmıyoruz, ayrıca yakın olan M81 galaksinin, patlamakta olan komşusunun etkisinde kaldığını görüyoruz. M81'in daha yakından izlenmesi, muhtemelen, patlama durumundaki M82'den gelen şok dalgalarının sonucu olan bir seri kırışıklar ortaya koymaktadır. R. Lynds NGC 1275 ile hidrojen atomu ışığında kayda değer fotoğraflar üretti. Bu fotoğraflar, bir galaksiden çok, Yengeç Bulutsusunu anımsatan cisimleri gösteriyordu. Virgo bulut kümelerindeki M87, kısa pozlu fotoğrafını çekene kadar, olağan dev eliptik galaksilere benziyordu. Bu tür bir fotoğraf galaksinin yalnızca parlak merkezi kısmını ve Çekirdekten çıkan çok büyük bir gaz jetini göstermektedir. Palomar da 500 cm.'lik teleskopla Halton Arp tarafından çekilen daha kaliteli ve ayrıntılı fotoğraflar bu jetin maddenin yoğunlaşmasından veya damlacıklarından meydana geldiğini ve ayrıca ters doğrultuda bir jeti de içerdiğini gösteriyor.

Optik astronomlardan geri kalmamak için radyoastromlar da 1960'ların ortalarında, çok şiddetli kozmik olayların meydana geldiğine işaret eden, çok sayıda veriler kaydettiler. Örneğin gökyüzündeki en kuvvetli radyo kaynaklarından biri olan Cygnus A (3C405 olarak da bilinir), şiddetli değişiklik doğuran olaylarda rastlanan radyo cisimlerinin karakteristik biçimi olan halterci güllesi şeklini gösterir. Cygnus A'nın bir radyo haritası şekil 39'da görülmektedir. Bu tür radyo gözlemleri, patlamakta olan bir galaksiden iki büyük kütlelerin aynı anda zıt yönlerde fırlamasının kanıtları olarak düşünüldü. Hesaplar fırlayan parçaların kütlelerinin yüz milyon güneş kütlesi mertebesinde olabileceğini ve gözlediğimiz radyo dalgalarını ışınlayan çok yüksek hızlı (rölativistik) elektronlarla dolu olduğunu göstermektedir.

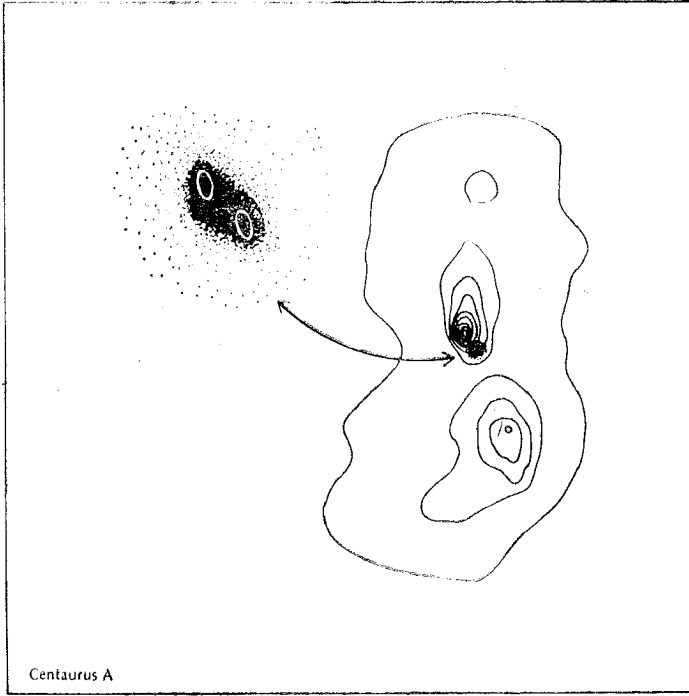
Tek patlamayı belirleyen basit bir halterci güllesi yerine sık sık bir veya birkaç patlamaya işaret eden daha karışık şekiller ortaya çıkmaktadır. Gerçekte güllesel kaynakların yaklaşık olarak yüzde-onu dört güllelidir. Bu olaya



Şekil 39 — *Cygnus A*'nın radyo haritası: *Cygnus A* (aynı anda 3C405 olarak da bilinir), kuzey gökyüzündeki en parlak radyo kaynaklarından biridir. Radyo astronomu verilerini, işaret yoğunluğu sabit olan çizgiler çizerek gösterir. Ortaya çıkan kroki bir topografin çizdiği haritaya benzer. Bu cismin büyük radyo teleskoplarla yapılan gözlemi bu kaynağın çift olduğunu ortaya çıkarmıştır. Radyo parazitlerinin çoğu burada gösterilen garip bir galaksinin iki tarafındaki iki merkezden gelmektedir.

iyi bir örnek, güney gökyüzünde yer alan tanınmış Centaurus A cismidir. İlk bakışta Cen. A, olağan bir halterci güllesi kaynağı görünümündedir. Optik teleskopların yardımıyla sonunda ve kesin olarak Cen. A, NGC 5128 olarak belirlenmiştir. Bu cisim, merkezinden muazzam bir toz şeridinin geçtiği bir eliptik galaksi görünümündedir. Bir radyo-teleskopla yapılan daha ayrıntılı incelemeler, şekil 40'ta görüldüğü gibi, optik görüntü bölgesinin içinde esas iki damlacıkla hemen hemen aynı doğrultuda ve dışarı doğru hareket eder gibi görünen iki başka damlacığın daha bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultu NGC 5128'in fotoğraflarında görülen toz şeridine hemen hemen diktir.

1970'lere gelindikçe astronomlar etkin galaksilerin büyük bir şiddetle çok büyük madde miktarlarını fırlatabildikleri fikrini daha kolaylıkla kabul etmeye başladılar. Fakat büyük ölçüde kırmızıya kayma gösteren kuasarların fırlatıldığı fikri, yukarıda esasları açıklanan nedenler dolayısıyla, benzer şekilde çelişkili sonuçlar vermeye devam ediyordu. Bütün bunlara karşın çoğunlukla Hale gözlemevinde Halton Arp'ın sürekli çabaları sonucu etkileyici gözlemlerin

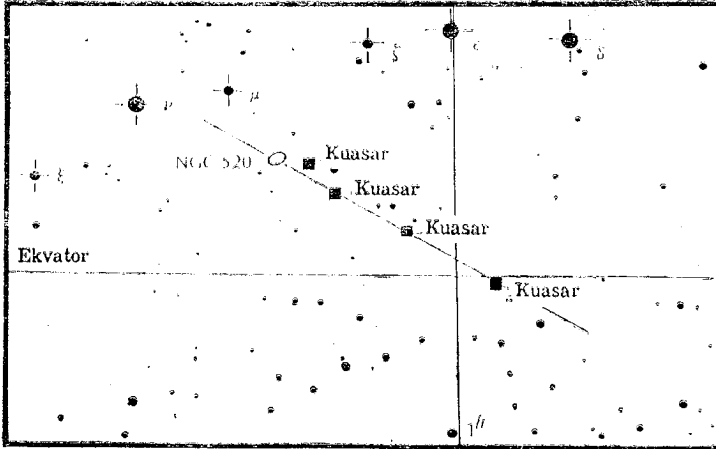
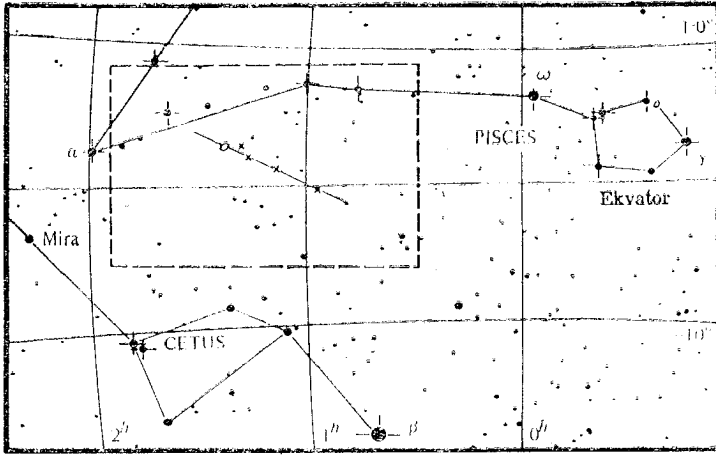


Şekil 40 — Centaurus A'nın iki radyo haritası: Centaurus A, güney gökyüzünde çok parlak bir radyo kaynağıdır ve patlayan NGC 5128 galaksisi ile ilişkilidir. Sağ tarafta, kaynağın tümünü kapsayan bir harita görülmektedir. Radyo parazitlerinin çoğu galaksinin iki tarafında bulunan iki merkezden gelmektedir. Merkez bölgenin (solda görülen) yakından incelenmesi, NGC 5128 içinde yer alan iki merkezi daha ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle Centaurus A'ya bir dörtlü kaynak gözü ile bakılır.

sayısı artmaya devam ediyordu. Özellikle, Dr. Arp yalnızca şansa dayanması olanaksız olan sayısız patlayan galaksi ve kuasarlara ortaya çıkardı. Örneğin, patlamakta olan NGC 520 galaksisinden güney-batıya doğru uzanan, hemen hemen mükemmel bir doğru üzerinde olan dört tane kuasar vardır. Bu bölgenin haritası şekil 41'de gösterilmiştir.

Kuasarlara ve patlayan galaksilere hakkındaki en etkili kanıtlar, 1971'de Dr. Arp'ın 500 cm.'lik teleskop yardımıyla NGC

4319 galaksisi ile Markarian 205 olarak bilinen kuasarı birleştiren bir gaz köprüsünün fotoğrafını çekme başarısı ile



Şekil 41 — Gökyüzünün NGC 520 yakınındaki haritaları: Yukardaki kroki gökyüzünün Pisces ve Cetus'un bölümlerini içeren büyük bir kesimini göstermektedir. Aşağıdaki kroki gökyüzünün, patlayan NGC 520 galaksisi çevresinin daha ayrıntılı bir haritasıdır. Bu krokide gösterildiği gibi, bu galaksinin güney-batısında, hemen hemen bir doğru üzerine raslayan dört kuasar yer almaktadır.

ortaya çıkmıştır. NGC 4319'un tayfındaki kırmızıya kayma saniyede 1.050 millik uzaklaşma hızı gösterir; Markarian 205'in kırmızıya kayması saniyede 13.000 millik bir uzaklaşma hızına karşı gelir. Bu iki cismin fotoğrafta yanyana gözükmeleri ve bir gaz köprüsü ile birleşmiş olmaları gerçeğinin ışığında, Hubble yasasının hem kuasara hem galaksiye aynı anda uygulanamayacağı ortaya çıkar.

Açıkça, ortada yanlış olan bir şey vardır. Hubble yasası kuasarlara uygulanamamakta ve kırmızıya kayma olaylarını açıklayan ve bilinen tüm fiziksel olaylar ya tamamen çökmekte ya da tuhaf ve son derece yapay durumlar önermektedir. Bu zorluklar 1971'de Fin astronomu T. Jaakkola'nun çalışmaları ile daha da fazla yoğunlaştı. Dr. Jaakkola, olağan galaksilerin bilinen kümelerini, ayrıntılı olarak gözden geçirdi ve herkesi hayretler içinde bırakan şu sonuca vardı: iyi gelişmiş spiral kolları olan olağan sarmal galaksiler genellikle, aynı kümede bulunan eliptik veya spiral kollara sıkıca sarılı galaksilerden hafifçe daha fazla kırmızıya kayma göstermektedir. Olağan dışı galaksileri de, gözönüne alırsak, bu kırmızıya kaymadaki farklılaşma olayı daha da önem kazanır. Örneğin VV172 (Sovyet astronomu Voronstov-Velyaminov tarafından hazırlanan katologtaki 172'ci cisim) hemen hemen mükemmel bir doğru üzerinde beş galaksi gösterir. Bu beş galaksiden bir tanesi diğer dördünden çok daha şiddetli bir kırmızıya kayma göstermektedir. Buna ek olarak, bilinen Stephans-Quintet (NGC 7319, 7318A, 7318B, 7317, 7320 sayıları) buna benzer bir kırmızıya kayma eşitsizliği gösterir. NGC 7320'deki bir üye diğer beş galaksinin kırmızıya kaymalarının sekizde-biri büyüklüğünde bir kırmızıya kaymaya sahiptir. Bir başka deyimle galaksilerin kırmızıya kaymasını açıklayabilmek için Hubble yasasından başka bir şeyler daha olmalıdır. Bu nedenle, gevşek dolanmış sarmallerin kırmızıya kaymalarındaki hafif fazlalığı, kuasarlarda çok daha fazla olan kırmızıya kaymalarını ve ni-

hayet olağan-dışı galaksi kümelerinde farklılık gösteren kırmızıya kaymaların anormalliğini açıklayacak yeni fiziksel yasaları araştırmamız gerekiyor.

Eski model, dönebilir bir piyano taburesinde oturduğunuzu düşünelim. Ayağınızı yerden kaldırarak yakın bir cismi uygun bir şekilde iterseniz devamlı olarak döneceğinizi görürsünüz. Döndüğünüzü, görebildiğiniz cisimlerin gözlerinizin önünden sürekli bir şekilde geçmesi ile farkedersiniz. Gözlerinizi kapalı tutsanız döndüğünüzü anlardınız, çünkü kollarınızı havada gezdirirseniz, merkezci ve Corialis kuvvetlerinin kaslarınız üzerindeki etkisini hissedecektiniz, aslında bu sıkıcı deneye bir süre devam ettiğinizde kendinizi yorgun ve bulantılı hissetmeniz oldukça doğaldır. Kısaca, dönüp dönmediğiniz hakkında kafanızda hiç kuşku yoktur. Bir piyano taburesinde, bir atlıkarıncada veya yerkürenin yüzeyinde olmanız dönmeyi hissetme bakımından farksızdır. Ama bu neden böyledir? Dönüp dönmediğinizi anlamak niye bu denli kolaydır? Piyano taburesi çevresinde döndüğünüz sırada evrenin geri kalan kısmının tamamen yokolduğunu düşünün. Halâ dönmekte olduğunuz hissi kahr mı idi? Merkezkaç kuvvetlerini halâ duyar mıydınız?

Bu tip sorunların gözönüne alınması 19. yüzyılda Ernst Mach ile başlamış ve sonuç olarak fizikçileri, maddenin eylemsizlik özelliklerinin, evrende geri kalan diğer bütün madde tarafından belirlendiği fikrine ulaştırmıştır. Evrenin uzak kısımlarındaki madde, bedeninizdeki atomların varlığı ile herhangi bir şekilde ilişki halindedir. Bedeninizdeki madde evrenin geri kalan parçasından bu şekilde bilgi sahibi olunca, örneğin sizin döndüğünüzü ve dönmediğinizi yansıtacak şekilde bir tepki göstermeye başlar.

Bu kesin olmayan ve Mach ilkesi olarak bilinen fikirler, 1970 yıllarına kadar fizikçiler tarafından büyük ölçüde ihmal edildi. Bunun başlıca nedeni kimsenin ne yapacağını bilmemesindendi. Evrendeki uzak bir maddenin laboratu-

vardaki bir madde ile ne şekilde ilişki kurduğu ne anlaşılabilmiş ne hissedilebilmiş ve ne de ölçülebilmisti. Dönme durumunda olduğu gibi maddenin iç yapısını düşündüğümüz zaman bu tür bir etkiye inanılır gözle bakabiliriz.

1970 başlarında Cambridge üniversitesi teorik astronomi enstitüsünden F. Hoyle ve J. V. Narlikar, genel rölativitenin, Mach ilkesi ile yakından ilişkili olan yeni ve tamamen düzeltilmiş bir şeklini geliştirmeyi başardılar. Bu kuram, atomların yalnızca eylemsizlik özelliklerini değil, aynı zamanda, bunların gerçek kütlelerinin de kaynağını evrenin en uzak noktalarının yapısından aldığı görüşünü benimsemektedir. Bir başka deyimle, örneğin, bir protonun belirli bir kütleye sahip olması evrenin geri kalan kısmında maddenin belirli bir dağılım göstermesine bağlıdır. Evrendeki madde değiştiğinde atomik parçacıkların kütlelerinin de değişme olasılığı vardır. Açıkça bu kuramın, eğer doğruysa, tüm fizik bilimleri üzerinde çok büyük etkisi olacaktır.

Hoyle-Narlikar kuramı kuasarların esrarı ve galaksilerin kırmızıya kaymaları ile ilgili sorunlarda çok ümit verici gözükmektedir. Maddenin, patlayan galaksilerin çekirdeklerinde yaratılmakta olduğunu varsayalım. Yeni yaratılmış maddeler galaktik çekirdeklerden fırladıkça, evrenin geri kalan kısmının yalnızca göreceli bir küçük kesimini "görebilirler". Evrenin çok uzak noktalarındaki maddeler, yeni doğmuş bu atomlarla henüz ilişki kurma fırsatını bulamamışlardır. O halde bu atomlar bildiğimiz çok daha yaşlı atomlardan daha az kütleye sahiptirler. Bu atomdaki elektronlar her zamankinden daha az bir kütleye sahipselektron yörüngeleri her zamankinden daha geniş bir uzaya yayılmış olacaklar ve elektron geçişlerinden doğan tüm tayf çizgileri de büyük ölçüde kırmızıya kayacaktır. Bu yeni atomlar yaşlandıkça kütleleri yavaş yavaş artar, çünkü, dış evrenin gittikçe büyüyen bir kısmı varlığını yeni maddeye bildirmektedir. Etkin galaksilerden fırlatılan madde yaşlanınca bu galaksilerdeki

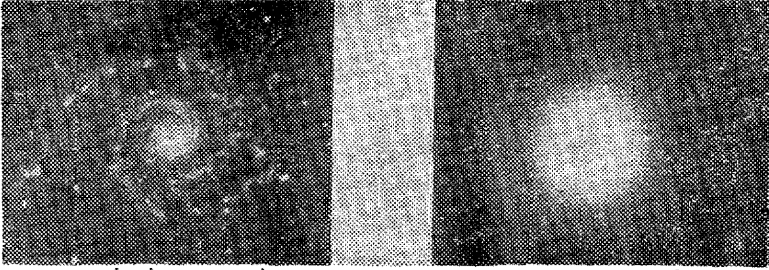
parçacıkların kütle değerleri, yeryüzündeki laboratuvarlarımızda eski madde üzerinde yaptığımız deneylerde bulunan değerlere asimtotik olarak yaklaşır ve bu nedenle maddenin kırmızıya kaymaları da yavaş yavaş azalır.

Patlayan bir galaksinin merkezinde bulunan bir ak delikten evrenimize maddenin fışkırmakta olduğunu düşünün. Birçok bakımdan uzayın bu bölgesinde madde fışkırması, maddenin yaratılışına paraleldir. Bu fırlayan madde, son dış olay ufkundan geçince, ilk kez olarak, evrenin geri kalan kısmı varlığını duyurmaya başlar. Bu maddenin meydana getirdiği atomik parçacıkların kütleleri küçüktür. Bu da son derece büyük kırmızıya kaymalara neden olur. Yaşlanma sonucu kütlelerin zamanla artması ile kırmızıya kayma azalacaktır.

Belki de bu yüzden astronomlara bu denli şaşırtıcı gelen o anormal kırmızıya kaymalar bize maddenin tarihçesi hakkında bilgi vermeye çalışmaktadır. Yeni yaratılmış veya bir başka evrenin kurt deliklerinden fışkırmakta olan madde, önce şiddetli kırmızıya kaymalı yoğun kuasarlar halinde oluşur. Kuasarlar yaşlanarak sarmal kollar geliştirirler. Bu noktada bunlar Seyfert'e, N tipine ve kırmızıya kaymaları orta şiddette olan yoğun galaksilere benzerler. Bundan da sonra daha gelişmiş sarmal kollarla, zamanla eliptik galaksilere evrimleşen, tamamen olgun sarmal galaksilere dönüşürler.

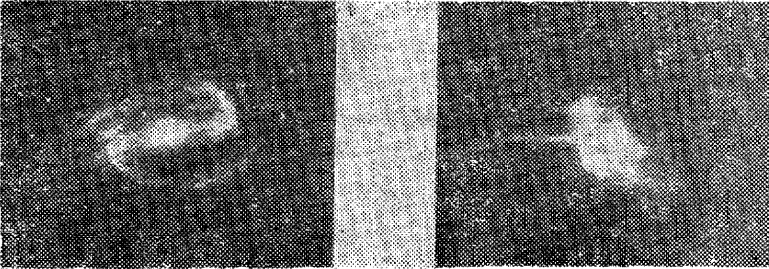
Bu ilginç fikirlerin derinleştirilmesi için daha yapılacak çok şey vardır. Sonuç olarak evren hakkındaki düşüncelerimizin geçirdiği olağanüstü evrim, fizik bilimlerinin hiçbir kavramına değmeden kalmayacaktır.

RESİM -- 1



ELİPTİK GALAKSİ
(M 87, NGC 4486 olarak da bilinir)

SARMAL GALAKSİ
(M 74, NGC 628 olarak da bilinir)



ÇUBUKLU SARMAL GALAKSİ
(NGC 1300)

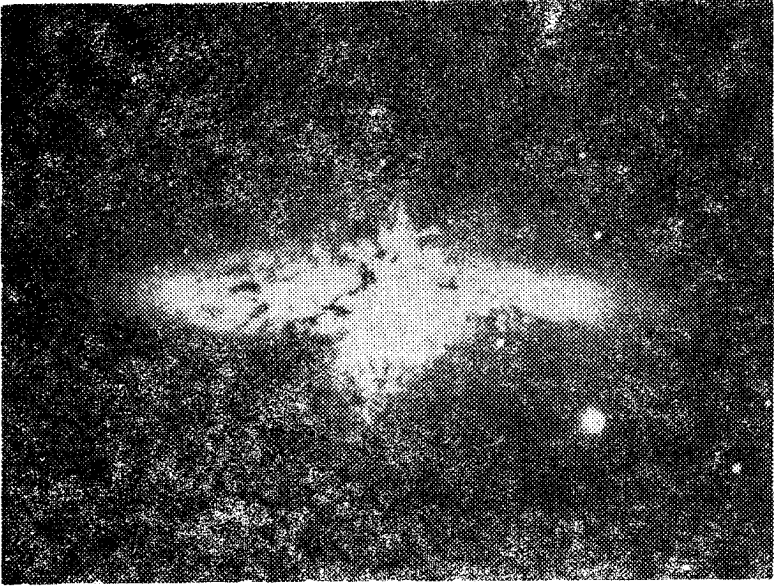
GARİP ya da DÜZENSİZ
GALAKSİ
(NGC 2623)

Dört galaksi tipi: Yukarda temel galaksi türlerine örnek dört tipik fotoğraf görülmektedir. M87, Virgo bulutunda yer alan eliptik bir galaksidir. M74 ise Pisces'deki sarmal bir galaksiyi gösteriyor. NGC 1300, Eridanus'de bulunan çubuklu sarmal bir galaksiyi ve NGC 2623 ise Cancer'de yer alan garip şekilli bir galaksiyi göstermektedir. (Hale gözlem evleri fotoğrafı.)



M87'deki jet: M87'nin kısa pozlu bir fotoğrafı. Galaksinin çekirdeğinden fıskıran muazzam bir jeti göstermektedir. (Lick gözlemevi fotoğrafı.)

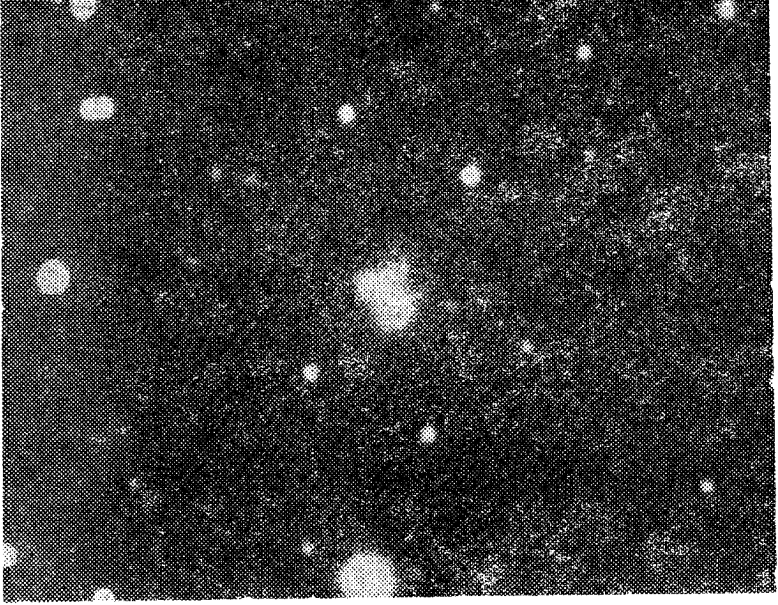
Ursa Major'daki iki galaksi: M82 (sağda) patlayan bir galaksidir. Onun yanında görülen M81 bir sarmal galaksidir. Patlamanın şok dalgaları şimdi M81'in içinden geçmektedir. (Hale gözlemevleri fotoğrafı.)



Patlayan M82 galaksisi: M82'nin bu fotoğrafı hidrojen atomları tarafından yayılan ışık yardımıyla alınmıştır. (H-alpha). Galaksinin merkezinden 10.000 ışık yılı uzaklığına kadar yayılan gaz bfi gör÷lmektedir. (Hale göz lemevleri fotoğrafı.)



Patlayan NGC 1275: Perseus'de yer alan NGC 1275'in bu fotoğrafı hidrojen atomları (H-alpha) tarafından yayılan ışık yardımıyla alınmıştır. Patlayan bu galaksi kuvvetli radyo parazitleri ve X ışınları yayımlayan bir kaynaktır. (Kitt Peak gözlemci, Dr. Lynds'in fotoğrafı.)



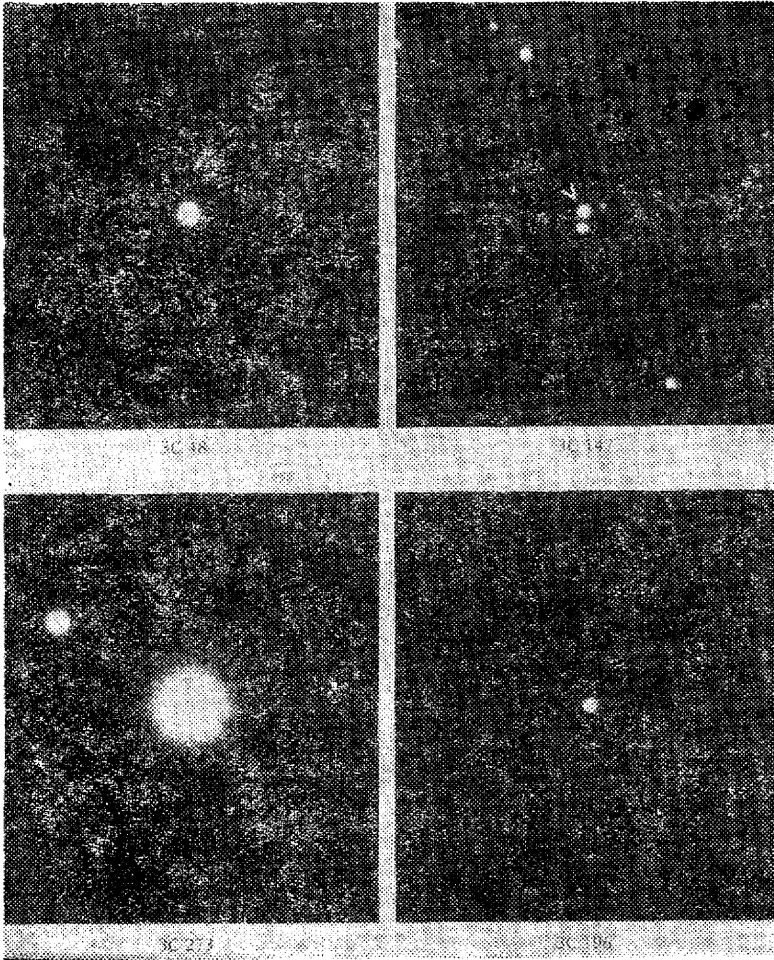
Cygnus A: Bu fotoğrafta, kuzey gökyüzünde yer alan ve radyo parazitleri yayımlayan en kuvvetli kaynaklardan biri görülmektedir. Radyo gözlemleri bu cismin bir "halterci güllesi" olduğunu göstermektedir. (Gökyüzünün bu kesiminin radyo haritası için şekil 39'a bakınız.) (Hale gözlemevleri fotoğrafı.)



Centaurus A (NGC 5128): Bu fotoğrafta güney gökyüzünde yer alan ve radyo parazitleri yayımlayan en kuvvetli kaynaklardan biri görülmektedir. Radyo gözlemleri bu cismin bir "dörtlü kaynak" olduğunu göstermektedir. (Gök yüzünün bu kesiminin radyo haritası için şekil 40'a bakınız.) (Hale gözlem evleri fotoğrafı.)



M77 Seyfert galaksisi: M77 (aynı zamanda NGC 1068 olarak da bilinir), Cetus'da bulunan bir galaksidir. Galaksinin çekirdeği çok parlak olup bunun tayfında geniş yayın çizgileri yer almaktadır. Galaksi, radyo kaynağı olduğu kadar kuvvetli bir kızılötesi yayını yapmaktadır. (Lick gözlemevi fotoğrafı.)

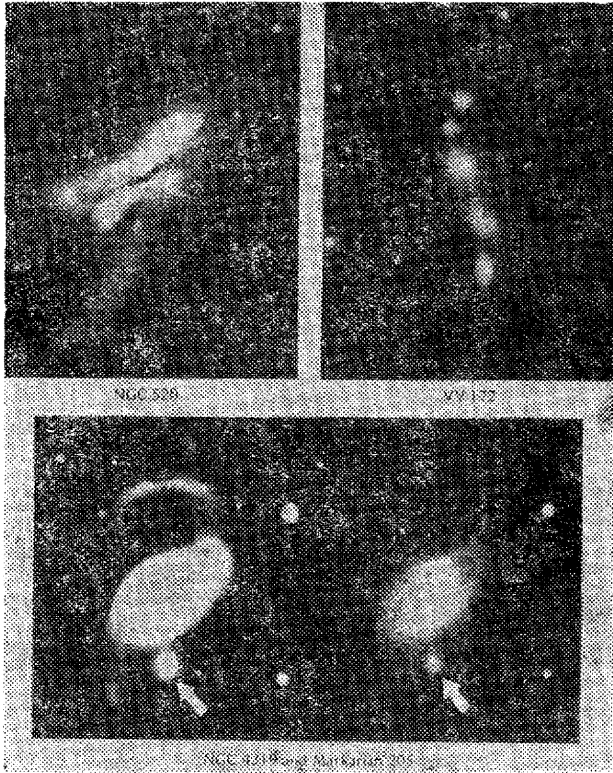


Dört kuasar: Bu resimler, bilinen ilk dört kuasarin fotoğraflarıdır. Triangulum'daki 3C48 (16. şiddette $z = 0,367$) Auriga'daki 3C147 (17. şiddette $z = 0,545$). Virgo'daki 3C273 doğrultusu boyunca bilinen "jet" görülmektedir (13. şiddette, $z = 0,150$). Lynx'de yer alan 3C196, bu dört kuasar arasında kırmızıya kayması en fazla olanıdır. (18. şiddette $z = 0,871$). (Hale gözlemvleri fotoğrafı.)



NGC 3561 ve Kuasar

NGC 3561 ve bir kuasar: Patlayan NGC 3561 galaksisinin bu fotoğrafı fışkıran ışıklı maddeleri açıkça göstermektedir. Küresel galaksinin batısında, aşırı derecede kırmızıya kayması olan bir kuasar (okla gösterilmiş) bulunmaktadır. ($z = 2,19$). (Hale gözlemleri, Dr. Arp'ın fotoğrafı.)



Patlayan NGC 520 galaksisi: Galaksinin güney batısına doğru uzanan bir doğruya çok yakın dört kuasar bulunmaktadır. (Gökyüzünün bu kesiminin yıldız krokisi için şekil 41'e bakınız) (Hale gözlemeleri, Dr. Arp'in fotoğrafı.)

VV172 galaksiler zinciri: Beş galaksiden oluşan bu zincir Draco ile Camelopardus arasında yer almaktadır. Bu grubun en yoğun galaksisi üstten ikinci sırada bulunmakta olup diğerlerinden daha fazla bir kırmızıya kaymaya sahiptir. (Hale gözlemeleri, Dr. Arp'in fotoğrafı.)

Bir galaksi ile bir kuasar arasındaki köprü: Bu iki fotoğraf NGC 4319 galaksisi ile Markarian 205 kuasarı arasındaki gerçek fiziksel ilişkiyi göstermektedir. (Beyaz ok ile gösterilmiştir). Soldaki fotoğraf dört saatlik bir poz süresi ile arkası kaplanmış bir fotoğraf camına alınmıştır. Sağdaki fotoğraf ise H-alpha içerisinde resim kuvvetlendirici ile 30 dakikalık poz süresi sonunda alınmıştır. (Hale gözlemeleri, Dr. Arp'in fotoğrafı.)

DOKUZ

ÇEKİM DALGALARI

EINSTEİN'İN genel rölativite kuramı, çekim alanını, dört boyutlu bir uzay-zamanın bir e rili i olarak kabul ederek birtakım değişik olayları önceden bildirmektedir. Örneğin, kütlesi olan her cisim, çevresindeki uzay-zamanın çarpılmasına neden olur. Cismin her hareketinde, uzay-zamanın bu e rili i kendisini, çarpıtan maddenin son konumuna yeniden uydurmalıdır. Uzay-zamanın kendinde yapt ı bu düzenlemeye * ekim dalgaları* adı verilir ve bunlar uzay içinde ışık hızı ile hareket ederler. Bu nedenle hareket eden her cisim çekimsel bir "ışıma" yayınlar. G ne  çevresindeki yörüngesinde dönen yerküre, yerde zıplayan bir top, kollarını sallayan bir adam, bütün bu tür hareketler çekim

dalgaları yayınlar.

Elektromanyetik ışıma ile karşılaştırıldığında (hareket eden elektrik yükleri tarafından yayınlanan ışık, X ışınları, radyo dalgaları ve benzeri ışımlar), çekim dalgaları inanılmayacak derecede zayıftır. Bunun nedenlerinden biri, çekim kuvvetlerinin, elektromanyetik kuvvetlerden çok daha zayıf oluşudur. Bu iki tip kuvvetin göreceli güçlerini karşılaştırmak için iki elektronu gözönüne getirelim. Bir santimetrenin ikiyüzellide-biri kadar bir aralıkla ayrılmış olan iki elektron arasındaki çekim kuvvetinin gücü, elli ışık yılı (yaklaşık 500 milyar kilometre) aralıklı aynı iki elektron arasındaki elektrik kuvvetinin gücüne eşittir. Sonuç olarak çekim dalgaları, elektromanyetik dalgalardan bir trilyon kere trilyon kere trilyon kat daha zayıftır. Açıkçası, çekimsel dalgaların hissedilmesi ve ölçülmesi, çağdaş fizikçi için çok zor, önemli ve ciddi bir problemdir.

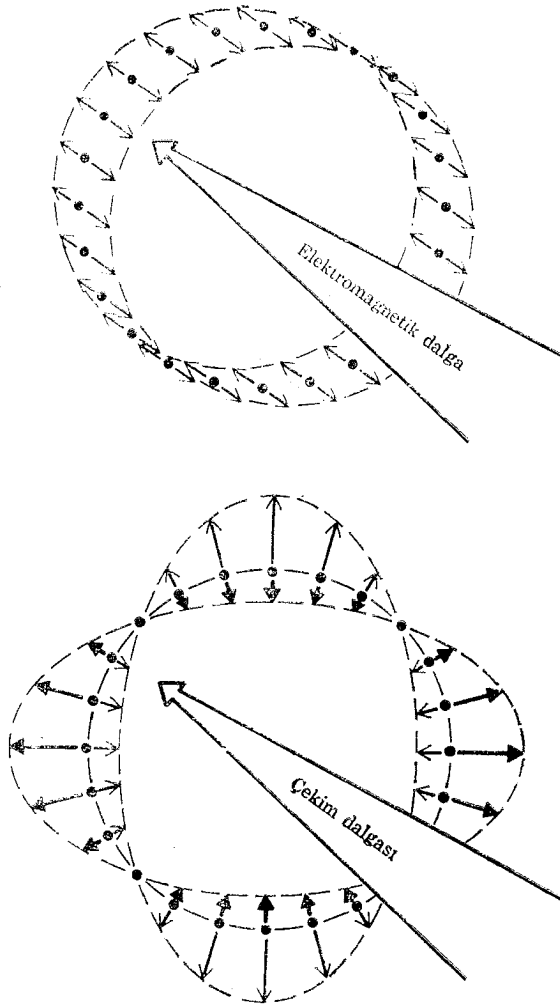
Elektromanyetik dalgalar maddeye çarptığı zaman yalnızca yüklü parçacıkları (protonları ve elektronları) sarsarlar. Eğer, çekim dalgaları maddeye çarparsa bütün parçacıklar sarsılır. Ortaya çıkan titreşimlerin boyutları, büyük farklılıklar gösterir. Elektromanyetik dalgalar parçacıkları, çekim dalgalarından bir trilyon kere trilyon kere trilyon kat daha şiddetli sarsarlar. Buna ek olarak titreşimin şekli, her iki durumda da farklıdır. Yüklü parçacıkların boşlukta meydana getirdiği bir bulut gözönüne alalım. Bir elektromanyetik dalga bu bulutun içinden geçince bütün yükler öne ve arkaya aynı doğrultuda düzgün olarak titreşim yapmaya başlarlar. Titreşimin doğrultusu elektromanyetik dalgaların ilerlediği doğrultuya diktir. Şimdi de buna benzer bir bulutun boşlukta çekim dalgaları tarafından titreştirildiğini düşünelim. Daha önce olduğu gibi, gene titreşim doğrultusu dalganın yayılma doğrultusuna diktir. Ama elektromanyetik dalgalarda olduğunun tersine, her parçacık şimdi birbirine göre hareket haline girmiştir. Eğer bu parçacıkların herhangi

birinin üstüne oturuyor olsaydınız bir an parçacıkların solu-
nuza ve sağınıza doğru sizden uzaklaşmakta olduklarını far-
kedeceksiniz. Bir an sonra durum tersine- $\eta\pi\sigma\sigma\alpha\pi\alpha\sigma\sigma\alpha\pi\alpha\sigma$
nuzda ve sağınızdaki parçacıklar size yaklaşmaya başlaya-
caklar, üstünüzde ve altınızdakiler ise, aynı anda sizden uzak-
laşacaklardı. Bu çelişkili iki durum şekil 42'de gösterilmiştir.

Bu titreşim şekli, çekim dalgalarının hissedilmesi ve
saptanması için, çok çeşitli yollar önermektedir. Parçacık-
lardan meydana gelmiş olan bir bulut yerine, örneğin, bir
metal silindire benzeyen büyük bir cisminizin olduğunu dü-
şünelim. Bir çekim dalgasının silindirin içinden geçtiği her
kez, silindir, dalganın etkisiyle şekil değiştirecektir. Bura-
da tek sorun, silindirin biçimindeki ani değişiklikleri saptay-
abilecek teknolojiyi geliştirmektir.

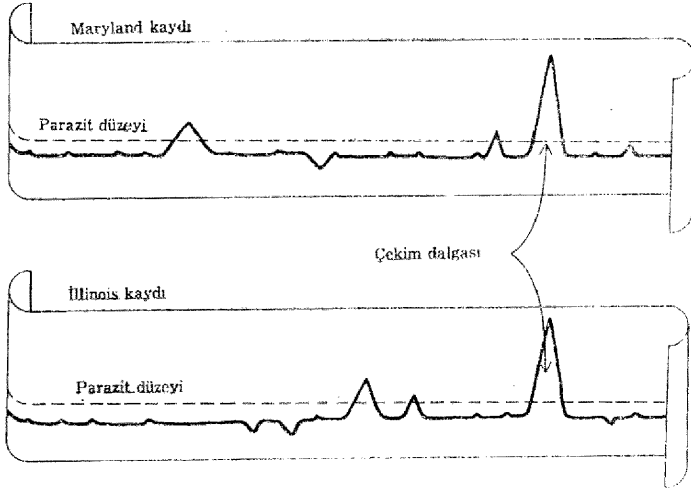
Çekim dalgalarının saptanması için yapılan antenlerle
ilgili birçok yapısal sorun 1960'larda Maryland üniversite-
sinden Dr. Joseph Weber tarafından çözülmüştür. Dr. We-
ber'in antenleri 30,48 çapında 151,2 cm. uzunluğunda ve
bir tondan biraz daha hafif gelen büyük alüminyum silindir-
lerden meydana gelmişti. Bu tür bir silindir, ortasından do-
lanan bir tel ile havasız bir odaya asılmıştır. Bu oda ayrıca,
düzgün darbe yutucu bir sistemle dış dünyadan tamamen
soyutlanmıştır. Bir çekim dalgası silindirin içinden geçtiği
zaman gerilemeler meydana gelir. Ortaya çıkan titreşimleri
saptamak için Dr. Weber silindirin yüzeyine piezo elekt-
rik kristaller yerleştirmiştir. Bu kristaller titreşimleri kü-
çük elektrik akımlarına dönüştürür. Bu akımlar da kuvvet-
lendirilerek kaydedilir.

Ne yazık ki, bu tür bir alüminyum silindir sıcaklık etkileri
nedeni ile de devamlı olarak titreşir. Bu zorluğu önlemek
için, en büyük titreşimler dışında kalan tüm titreşimleri
ihmal etmek amacı ile, sisteme elektronik süzgeçler yer-
leştirilmiştir. Buna ek olarak Dr. Weber, biri Washington
D. C. yakınlarında olan Maryland üniversitesinde, diğeri



Şekil 42 — Elektromanyetik dalgalar ve çekim dalgaları: Boşlukta duran bir elektron çemberi düşünelim. Eğer bir elektromanyetik dalgı (ışık, radyodalgası vb.) bu elektron çemberine çarparsa elektronlar hep birlikte ileriye ve geriye titreşirler. Eğer bu aynı parçacıklar çemberine bir çekim dalgası çarparsa elektronlar birbirlerine göre harekete geçerler.

de Illinois de Chicago dışında Argone National laboratuvarında olmak üzere iki anten kurmuştur. Bu antenler telefon hatları ile birbirlerine öylesine bağlanmıştır ki, şekil 43'te gösterildiği gibi, her iki istasyonda aynı anda meydana gelen büyük titreşimler derhal kaydedilmektedir.



Şekil 43 — Çekim dalgalarını saptama kayıtları: Weber'in kullandığı alüminyum silindirler çeşitli nedenlerle devamlı olarak titreşirler. Parazit düzeyinin altındaki tüm titreşimler önemsizdir. Eğer, aynı zamanda, iki farklı alıcı istasyonda iki kuvvetli kayda raslanırsa, o zaman bir çekim dalgası gözlediğimizi ileri sürebiliriz.

1969'da Dr. Weber, çekim dalgalarını başarı ile saptayabildiğini haber vererek tüm bilim dünyasını şaşırttı. Onun hesaplarına göre büyük titreşimlerin her iki istasyonda, aynı anda meydana gelme olanağı son derece küçüktü. Oysa, her gün bir defa olmak üzere bu tür eşzaman bir titreşim kaydedilmekte, bu da bir çekim dalgasının yer yüzüne çarptığını göstermektedir.

Dr. Weber'in deneylerinin sonuçlarının, yanıtsız kalmış birçok soruya çözüm olacağını beklemek normaldi. Her şeyden önce, Einstein kuramının önceden haber verdiği çekim

dalgaları en sonunda gözlenebilmişti. Ne yazık ki, durum bunun tam tersidir. Dr. Weber'in araçları son derece karışık olmasına karşın aslında yeterince gelişmemiştir. Bu araçların, herhangi bir olağan astronomik olaya dayanan çekim dalgalarını saptaması olanaksızdır. Olağanüstü şaşırtıcı olayların her gün sık olarak meydana gelmesi beklenemez. Dr. Weber'in ölçüleri güvenilebilir ise —bazi bilim adamları bundan şüphe etmektedir— ne gözlüyor olabiliriz?

Weber'in araçları yaklaşık, yerküreden yirmibin ışık yılı uzaklıkta, galaksimizin merkezinden gelmekte olan çekim dalgaları önermektedir. Eğer bu doğru ise Weber tarafından gözlenen her patlama son derece şiddetli bir olayın sonucu olmalıdır. Hesaplar bu olayların herbirindeki enerjinin, güneş kütesinin onda-birine eşdeğer olduğunu gösterir. Bir başka deyimle, genellikle Weber'in gözlediği çekim ıslamasının her patlamasını meydana getirmek için, büyüklüğü güneşininkin birkaç katı olan bir yıldızın, bütün kütesinin hemen hemen anı olarak enerjiye dönüşmesi gerekir.

Bu enerji miktarını üretebilen iki tip açıklama düşünülebilir. Bu açıklamalardan birincisi yoğun bir yıldızın bir kara delik oluşturmak üzere çöküşü ile ilgilidir. Daha önceki bölümlerde tanımlandığı gibi, yoğun bir yıldız tüm çekirdeksel yakıtını tükettiği zaman, yıldız destekleyecek hiçbir enerji kaynağı kalmamıştır. Yıldız o zaman kendi ağırlığının etkisinde çökmeye başlar. Zamanla yoğun yıldızın tümü, çapı yalnızca birkaç kilometreye düşünceye kadar büzüldüğünde çekimsel alan öylesine büyür ki uzay-zaman kendi üzerine kapanır ve yıldız evrenden kaybolur. Kalana bir kara delik denir. Bir kara deliğin meydana gelmesi çok sayıda güneş kütesine eşit maddeyi içeren dehşet verici bir olaydır. Açıkça, bu tür bir olay güçlü bir çekim dalgası kaynağıdır. Ne yazık ki, en iyi tahminlerimiz bile, bu tür olayların yılda bir kezden daha sık tekrarlanmasının beklen-

memesi gerektiğini bildirmektedir. Weber ise çekimsel ısıma patlamalarını her gün gözlemektedir.

Dr. Weber'in rapor ettiği dalga kaynakları için bir başka açıklama kara deliklerin çarpışması ile ilgilidir. Eğer iki kara delik biraz daha büyük bir kara delik oluşturmak üzere çarpışırsa, birbirlerini yutarlar. Bu tür bir olay son derecede dehşet verici olduğu gibi büyük bir olasılıkla son derecede de seyrek. Bizimkisi kadar yaşlı bir galakside yıldızlar arası çarpışmaların meydana gelmesi çok zordur. Aslında eğer iki galaksi çarpışsa idi, bunlar birbirlerinin içinden hiçbir yıldızsal çarpışma olmaksızın geçebilirlerdi. O halde kara deliklerin çarpışması Weber sonuçlarını açıklamada pek umut verici gözükmemektedir.

Ama sırası gelmişken, galaksimizin merkezinde gerçekten neler olduğu hakkında hemen hemen hiç fikrimiz olmadığını burada belirtmeliyiz. Çok yakın zamana kadar, galaksimizde herhangi bir şeyin aksadığına ilişkin bir kuşkuyla bulunmak için hiçbir neden yoktu. Galaktik çekirdeğin çok sayıda olağan yıldızdan meydana geldiğini düşünüyorduk. Son zamanlarda yapılan gözlemler bu düşünceleri tamamen değiştirdi. Örneğin Arizona üniversitesinden Dr. Frank Low, galaksimizin merkezi doğrultusunda Sagittarius burcunda üç tane son derece parlak kızılötesi cisim buldu. Kızılötesi teleskoplar ile yapılan gözlemlerden önce henüz bilinmeyen bu cisimler, tüm galaksimizin toplam enerji üretiminin yaklaşık olarak yüzde-onunu meydana getirirler. Buna ek olarak galaksimizin patlama süreci içinde olduğuna ilişkin inandırıcı kanıtlar vardır. Bu patlama M82 veya NGC 1275'e göre oldukça sakin, oysa buna karşın kendi galaksimiz hakkında bile ne kadar az şey bildiğimizi anlamaya başlıyoruz.

En yeni verilere ve en iyi tahminlere göre, Dr. Weber'in her gün çekim dalgalarını gözlemesini açıklamamıza olanak yoktur. Bu, birçok bilim adamını Weber'in ölçülerin-

den kuşkulananmaya itmiştir; oysa ki, kimse Weber'in sonuçlarının basit olarak yanlış olabileceğini göstermeyi başaramamıştır. Belki de galaksimizin merkezinde neler olup bittiğinin farkında değiliz. Şu an için, hayalimizin bile ötesinde olan olaylar ve süreçlerin heyecan verici bulunuşlarını beklememiz gerekiyor.

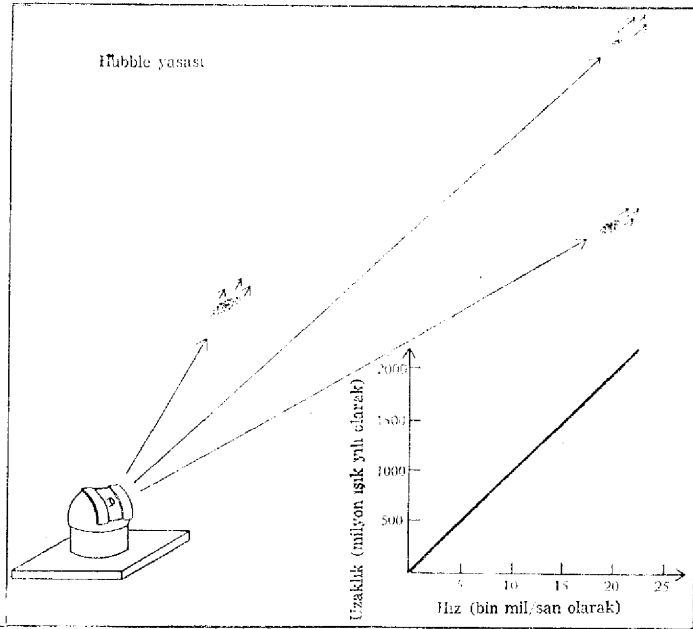
Çekimsel ısıma alanındaki çok önemli bir ilerleme bağımsız bir gurup bilim adamı tarafından Weber'in sonuçlarının doğrulanması olurdu. Weber'in çalışmasını, benzer deneylerle yineleyebilirler veya tamamen farklı yöntemler kullanabilirlerdi. Örneğin bir çekim dalgası güneş sistemimizin içinden geçerse ayın yeryüzüne göre ileri geri bir miktar "salınım" yapması beklenir. Ayın yüzeyine aynalar yerleştirilerek ve Yerküre-Ay uzaklığını çok kesin olarak ölçmek için laser ışınları kullanarak bu tür çekimsel dalgaları saptayabilmemiz gerekir. Ayrıca, gezegenler arası uzay araçlarına olan uzaklıkların kesin ölçümü, aynı amaca hizmet eder. Benim görüşüme göre, Mössbauer etkisi dahil olmak üzere, çekim dalgalarının değişik yollarla saptanmasında kullanılabilecek sayısız yöntemler önerilebilir. Burada tek gerçek engel, bütün bu tür deneylerden, çok yüksek derecede doğruluk ve kesinlik istenmesidir. Oysa ki, en son hesaplarımız, büyük bir olasılıkla hiçbir şey gözleyemeyeceğimizi bildirmektedir.

Her şeye karşın 1970'lerde, çekimsel ısımanın doğrulanmış saptanmasının bu yüzyılın en dehşet verici astronomik ilerlemesi olarak kabul edileceğini rahatlıkla tahmin edebiliriz. Bu tür bir buluş, Herz'in 1888'de elektromanyetik ısımayı saptaması ile karşılaştırılabilir ve bizim için evreni taramamız açısından yeni ve önemli bir araç olabilir.

ON EVRENİN ŞEKLİ

ASTRONOMİNİN en ilgi çekici konularından biri, evrenin özellikleri ve onun evriminin tüm olarak incelenmesidir. Beşinci bölümde gördüğümüz gibi bu konuda önemli bir araç, uzak galaksilerin tayflarında gözlenen kırmızıya kaymalardır. Yakın galaksilerin tayf çizgileri tayfın kırmızı ucuna hafifçe kayarken daha uzak galaksilerin tayf çizgilerindeki kırmızıya kayma daha fazladır. Bu verilerden, yakın galaksilerin bizden yavaşça uzaklaşmalarına karşılık, daha uzak galaksilerin daha hızlı uzaklaştığı sonucuna varırız. Eğer galaksilerin, uzaklaşma hızlarına göre uzaklıklarını bir grafik ile gösterirsek şekil 44'teki diyagramı elde ederiz.

Hubble yasasını, gözle görünür bir şekilde ortaya ko-



Şekil 44—Hubble yasası: Bir galaksi ne kadar uzakta ise, bizden o kadar hızla kaçır. Galaksilerin uzaklıkları ile kaçır hızları arasındaki bağıntı doğrusaldır.

yan bu diyagram, belki de astronomideki en önemli buluşlardan biridir. Galaksilerin uzaklık ve hızlarının, böyle basit ve doğrusal bir ilişkide oldukları gözleminden hemen, evrenin tüm olarak genişlediği sonucuna varırız. Gerçekten, şekil 44'teki doğrunun eğimi, genişlemenin hızını belirtmektedir.

Bu bakımdan, Dr. Einstein'ın, ilk olarak evrenin yapısı sorununu genel rölativite açısından irdelediğinde, evrenin gerçekten genişlemesi gerektiğini bulması ilginçtir. Ne yazık ki, o zamanlar Hubble yasası bilinmiyordu ve Einstein hesaplarından kuşkululu idi. Evrensel genişlemeyi dışarda bırakmak için Einstein, alan denklemlerine evrensel sabiti

eklenmiş ve bu yüzden, bu yüzyılın en önemli astronomik buluşlarından birini önceden haber verme fırsatını kaçırmıştır.

Evrenin genişlemesi kanıtlandığı ve kabul edildiğinde astronomların karşısına birçok yeni ve ilgi çekici sorular çıktı. Şekil 44'ün dayandığı veriler, temel olarak, çok uzakta olmayan galaksilerin gözlemlerine dayanmaktadır. Ama pek çok uzaktaki galaksilerden elde edilen verileri gözönüne alırsak ne olur? Bu veriler de acaba bir doğru çizgi boyunca sıralanırlar mı? Bu tür sorular çok önemlidir. Yanıtlar bize bütün evrenin geleceği ve son şekli hakkında ayrıntılı bilgi verecektir.

Evrenin galaksi, kuasar, ışık, radyo dalgaları ve benzeri biçimde çok miktarda madde ve enerji barındığı kuşkusuzdur. Bu maddenin varlığı nedeniyle evrenin uzay-zamanı hafifçe çarpılır. Eğrilmiş bir evrenin ne demek olduğunu anlayabilmek için geometriyi biraz gözden geçirmek yararlıdır.

Lisede geometri okuyan herhangi bir kişi bir üçgenin tüm iç açıları toplamının 180 dereceye eşit olduğunu bildiren çok tanınmış kuramı anımsayacaktır. Bu kuram tanıtlanırken, Euclid geometrisinin paralel doğrulara ilişkin postulatlarını kullanmak zorunludur. Euclid'in çağından bu yana matematikçiler, paralel doğrular kavramıyla çok uğraşmışlardır. Euclid geometrisine göre, eğer aralarındaki uzaklık her yerde sabit ise, sonsuza uzanan iki doğru paraleldir. Ne yazık ki, böyle bir tanım, büyük uzaklıkları kapsayan uzayı da çok iyi bildiğimizi varsayar. Euclid geometrisinin bizim kişisel deneylerimize uymasına karşın, deneylerimiz tüm olarak, evrenin yalnız küçük bir kesimi ile ilgilidir. Bu yüzden çok büyük uzaklıklarda, Euclid geometrisi açısından, mükemmel paralel doğruların mevcut olacağı kuşkuludur.

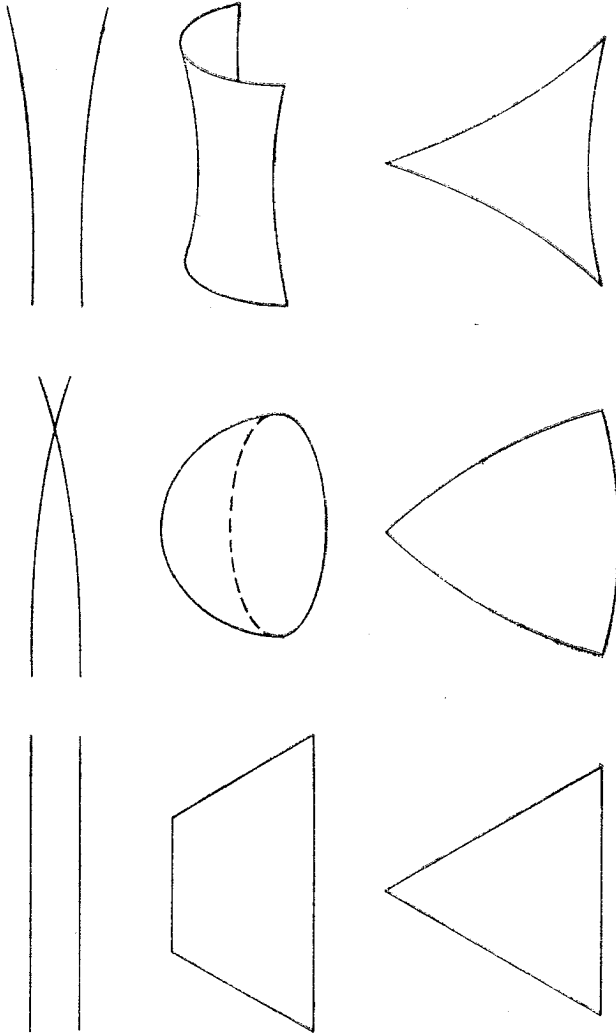
Öyleyse burada üç olanak sözkonusudur. Birincisi: Euclid geometrisi doğru olabilir. Belki de uzağa, örneğin, güneş sisteminden milyarlarca ışık yılı uzaklığa, aynı doğrul-

tuda ve birbirlerinden belirli aralıkta ideal iki ışık ışını gönderilse idi bunlar başlangıçta olduğu gibi birbirlerine paralel kalmaya devam edeceklerdi. Böyle bir durumda, uzayın düz ve geometrisinin de Euclid tipinde olduğunu söyleyecektik. Gene bu halde, bir köşesinde bizim güneş sistemi-miz ve diğer köşelerinde iki uzak galaksi olan dev bir üçgen çizseydik ve bu devasa üçgenin köşe açılarını ölçebilseydik, bu üç açının toplamının tamamiyen 180 derece olduğunu görecektik.

İkinci olanakta ise uzay geometrisinde “paralel” başlayan tüm doğruların bir yerde kesinlikle kesişeceği varsayılır. Bir başka deyişle, gene deneyimizi, aynı doğrultuda uzanan iki güçlü projektörle yineleysek, bu iki ışının güneş sistemimizden uzak bir yerde birbirlerini kestiklerini görecektik. Aynı şey, ışınların başlangıçta paralel olması için projektörleri büyük bir dikkatle yerleştirseydik de olacaktı. Böyle bir durumda uzay Euclid türünde olmayıp eğri bir uzaydır. Gerçekten uzayın, bir kürenin yüzeyi gibi *pozitif eğrilik*e sahip olduğunu söyleyecektik. Böyle bir durumda bir köşesinde bizim güneş sistemimiz ve diğer köşelerinde iki uzak galaksi olan bir dev üçgen çizseydik ve bu kocaman üçgenin köşe açılarını ölçseydik bu üç açının toplamının 180 dereceden büyük olduğunu görecektik.

Son olarak üçüncü olanak, “paralel” başlayan iki ışık ışınının birbirlerinden daima uzaklaşacağını varsayar. Başka bir deyişle deneyimizi ne denli dikkatle yaparsak yapalım projektörlerimizin çıkardığı iki ışık ışını güneş sistemimizden uzaklaştıkça birbirlerinden de sürekli olarak uzaklaşırlar. O zaman, uzayın, bir semer yüzeyi şeklinde *negatif eğrilikli* olduğunu söyleyecektik. Dev üçgenimizi düşünecek olursak bunun veya herhangi bir başka üçgeninin tepe açılarının toplamının 180 dereceden az olduğunu görecektik. Bu üç farklı durum şekil 45'te şematik olarak gösterilmiştir.

Sorabileceğimiz en önemli sorulardan birisi şudur: ev-

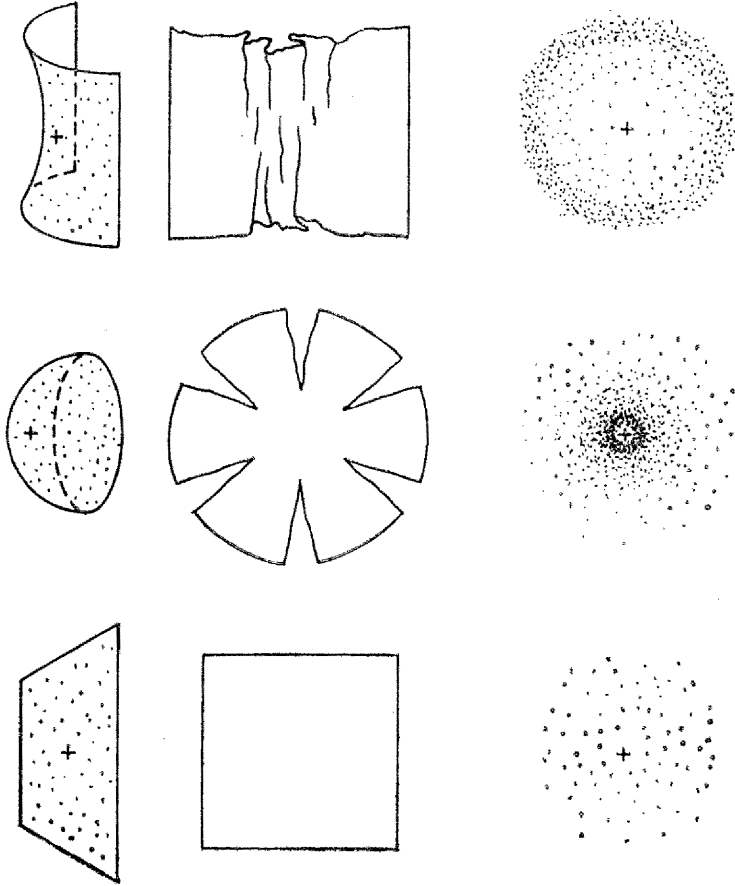


*Sekil 45 — Uzayın olanağı üç geometrisi: Eğer uzay düz ise, paralel çıkan ışık ışınları sonsuza dek paralel kalacaktır. Bir dev üçgenin iç açıları toplamı tam 180 derecedir. Eğer uzay pozitif eğriliği ise, paralel çıkan ışık ışınları sonu-
 nuçta kesişirler. Bir dev üçgenin iç açıları toplamı bu durumda 180 dereceden fazladır. Eğer uzay negatif eğriliği
 ise, paralel çıkan ışık ışınları sonuçta birbirlerinden uzaklaşırlar. Bu son durumda ise dev üçgenin iç açıları toplamı
 180 dereceden azdır.*

renimiz için bu üç olanaklı geometriden hangisi doğrudur? Bu sorunu incelemek için ilkin önemli bir varsayımda bulunmalıyız. Uzayın derinliklerine baktığımızda çok sayıda galaksiler görünür. Bu galaksilerin çoğu, hemen hemen, rastgele dağılmış kümeler halindedir. Evrenin eğriliğini belirlemek için böylece uzayda *galaksilerin rastgele dağıldığını* varsayacağız. Bir başka deyişle ortalama olarak bir kesimdeki galaksilerin sayısının evrenin diğer kesimlerindeki galaksi sayısına eşit olduğunu kabul edeceğiz. Bu durumun, evrenin çok geniş bölgeleri için geçerli olduğu açıktır.

Uzayın gerçek eğriliğini saptayacak bir yöntem elde etmek için, içinde galaksilerin rastgele dağıldığı üç olanaklı geometriye karşı gelen, üç evren düşünelim. Bunu görüntülemek için biri düz, bir pozitif eğrilikli ve bir diğeri de negatif eğrilikli, üç yüzey ele alalım. Bu yüzeylerin herbirini ya pışkanla sıvayıp üzerlerine tuz ekelim. Her tuz tanesi de, bu olanaklı evrenlerin herbirinde bir galaksiyi veya galaksiler kümesini gösterebilir. Bu üç durum şekil 46'nın üstünde şematik olarak gösterilmiştir.

Eğer bu üç evrenin herbirine birer astronom yerleştiresek, astronom düşünmeden içinde bulunduğu evrenin ne tip bir eğriliğe sahip olduğunu kestiremez. En çok yapabileceği şey uzaya bakmak ve çeşitli galaksi veya galaksi kümelerine olan uzaklıkları ölçmektir. Ama bu noktada çok özel bir durum dikkati çeker. Eğer evren düz ise astronom, gözlediği nesnelerin yerlerini düz kağıda noktaladığında bunların rastgele dağıldığını görecektir. Eğer evren pozitif eğrilikli ise gözlemlerinin sonuçlarını bir kağıt üzerine noktaladıktan sonra yakındaki galaksilerin uzaktakilerden daha fazla olduğunu görecektir. En sonunda, evrenin eğriliği negatif ise, sonuçları bir kağıda geçirdikten sonra çok uzaktaki galaksilerin yakınındakilerden daha fazla sayıda olduğunu görecektir. Bunun nedeni, astronomun, haritayı düz bir kağıt üzerine yazarak verileri düz bir yüzey üzerinde göstermeye zorlamış



Şekil 46 — Galaksi sayıları ve uzayın eğriliği: Galaksiler uzayda rasgele dağılmışlardır. Eğer uzay düz ise, galaksilerin yerlerini bir kâğıt üzerine noktaladığımızda noktaların kâğıt üzerinde düzgün olarak dağıldıkları görülür. Eğer uzay pozitif eğrilikli ise, galaksilerin yerlerini noktaladığımızda bunların daha çok merkezde toplandığını görürüz. Buna karşılık uzay eğer negatif eğrilikli ise, noktalar, büyük uzaklıklarda çok sayıda galaksi olduğunu gösterecek şekilde, dışa doğru sıklaşır.

olmasındadır.

Başka bir deyişle eğer uzay düz ise, birim hacimde bu-

lunan galaksi sayısı uzaklıktan bağımsızdır. Eğer uzay, bir küre yüzeyinde olduğu gibi, pozitif eğrilikli ise, birim hacimdeki galaksilerin sayısı, uzaklığın artması ile fazlalaşır.

Ne yazık ki, bu etki son derece küçük olup, ancak çok büyük uzaklıklarda daha belirgin bir hal alır. Eğer uzay eğri ise, bizim galaksimizin yakınında düz gözüktüğünden, bu eğriliğin çok zayıf olması gerekir. Bu nedenle güneş sistemimizden çok uzaklarda, birim hacimde yer alan astronomik cisimlerin sayısını bilmek istiyoruz. Ama cisim uzaklaştıkça sönükleşir. Optik teleskoplar uzayın çok derinliklerini göremezler ve bu yüzden Mt. Palomardaki 500 cm.'lik teleskop ile yapılan gözlemlerin bile, evrenin eğriliğini saptamamıza büyük bir yararı yoktur. Çok uzaklardaki radyo kaynaklarını bulacak kadar duyarlılığa sahip radyo-teleskoplar ise ancak son zamanlarda yapılabilmektedir. 1970'lerin başında Ohio eyalet üniversitesinde radyo astronomlar, gökyüzündeki radyo dalgalarına ilişkin büyük bir çalışmayı tamamladılar. Bu üniversitedeki araştırmacılar gözlemlerinde 260×70 ayak büyüklüğünde ve 1.415 megahertz (21,2 santimetre) şiddetinde bir radyo-teleskop kullandılar. Araştırma, +37 ile -36 derece yükselimleri (*declination*) ile 0 ve 24 saat bahar açıları (*right ascension*) arasını içererek, gökyüzünün büyük bir kısmını kapsamaktadır. 8.100 kadar şaşırtıcı sayıda radyo kaynağının gözlendiği bu *Ohio araştırması* beş yıl sürdü. Bu araştırma yalnızca yeni ışıma kaynaklarını bulduğu için değil, aynı zamanda elde edilen sonuçların uzayın eğriliğine değin kesin bir bildiri sağladığı için de önemlidir.

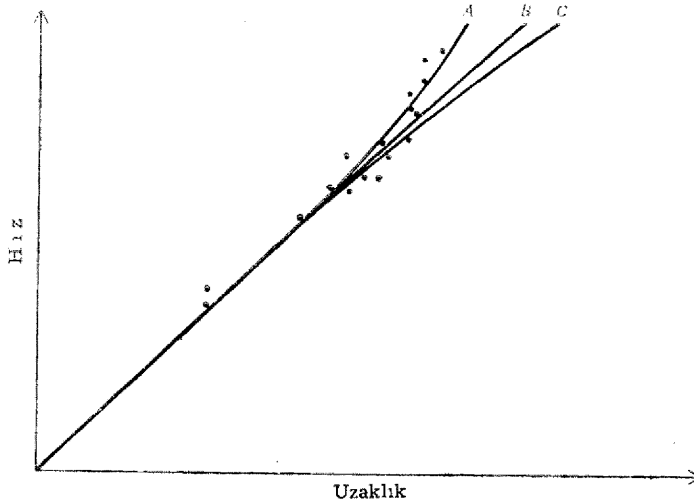
Ohio araştırmasındaki verileri yorumlamak için ilkin bu 8.100 kaynağın tümünün, aynı gerçek ve mutlak parlaklıkta olduğunu varsayalım. Yani tüm kaynakların aynı miktarda enerji yayınladığını varsayıyoruz. Bu varsayımın ciddi kısıtlamaları olacağı açıktır. Gerçekte kaynakların bazıları ortalama kaynaktan daha zayıf olabileceği gibi bazıları da daha parlak olabilir. İstatistik açısından, çok sayıda

kaynağı ele aldığımızda, tüm kaynakların eşit mutlak parlaklıkta olduğunu varsaymak mantık-dışı görünmüyor. Bu varsayımın sınırları içinde, ortalama olarak, kaynağın uzaklaştıkça zayıfladığını söyleyebiliriz. Başka bir deyişle bir kaynağın gözükme şiddeti, onun doğrudan, doğruya yerküreden uzaklığının ölçüsüdür. 1970'te Ohio araştırmasında elde edilen veriler, yalnızca bu etki gözönünde tutularak incelenmişti. Beklenildiği gibi en parlak kaynaklar (bunlar en yakın kaynaklar olabilir) rasgele dağılmış gözükmetedirler. Ama bununla birlikte daha zayıf veya daha uzak kaynakların sayısal yoğunluğunda belirgin bir azalma gözlenmiştir. Dikkatimizi, gittikçe zayıflayan kaynaklara çevirdiğimizde onların görece azaldıkları saptanmıştır. Böylece çok büyük uzaklıklarda uzayın düz olması halinde bekleyebileceğimizden daha az sayıda kaynak olduğu sonucuna varırız. Bu, tam olarak, şekil 46'da şematik olarak gösterilen ve küre yüzeyinde olduğu gibi *pozitif eğrilikli bir uzaydan beklediğimiz sonuçtur*. Ohio araştırmasında elde edilen veriler daha önceki yıllarda, daha kısıtlı olarak yapılan araştırmaların benzer verilerini destekler ve genişletir.

Ohio araştırmasının, pozitif eğrilikli uzaya ilişkin olarak getirdiği tanıtılar etkili olmakla birlikte, sorunun tamamen çözümlenmemiş olduğu belirtilmelidir. Anımsanacağı gibi, uzayın derinliklerine baktığımızda gerçekte geçmiş bir zamanı gözlemekteyiz. On milyon ışık yılı uzaklığında ki bir galaksiye baktığımızda gözümüze gelen veya fotoğraf filmini etkileyen ışık, gerçekte, bu galaksiyi 10 milyon yıl önce terketmiştir. Sonuç olarak, şu anda bu galaksinin uzak geçmişte nasıl olduğunu görmekteyiz. Ohio araştırması açısından, çok uzak kaynakların gözlemlerinin, aslında, bu kaynakların uzak geçmişteki durumlarını ortaya çıkardığı açıktır. Diyelim ki geçmişte radyo kaynakları bugün olduğundan daha zayıftırlar. Böyle bir sonuç, büyük uzaklıklarda daha az sayıda kaynağın var olduğu anlamına

gelir. Benzer gözlem sonuçları pozitif eğrilikli uzay olgusundan da elde edilmektedir.

Böyle bir evrimsel etkinin, yani radyo kaynaklarının parlaklığının zamanla değişmesinin, Ohio verilerini doğru yorumlamakta çok önemli olmasına karşın, kanımca, pozitif eğrilikli bir evrenin varlığının kesin olduğu sonucuna varmak mantıklıdır. Gerçekten de eğer evrimsel etkiler gözönünde bulundurulursa, uzayın Ohio araştırmasının belirttiğinden daha az değil, tersine daha çok eğrilikte olduğu sonucu çıkacaktır. Kuasarları ve Seyfert galaksilerini incelediğimizde kaynakların gençken daha parlak oldukları ve bunun tersinin sözkonusu olmadığı ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak belki de Ohio araştırması büyük uzaklıklarda gereğinden daha çok sayıda radyo kaynağı ölçmüştür.



Şekil 47 — Hubble yasasının büyük uzaklıklara genelleştirilmesi: Çok uzaktaki galaksilere ait kayıtları da gözönüne aldığımızda evrenin şekli, Hubble yasasının görünüşünü etkiler. A eğrisi pozitif eğrilikli evreni, B eğrisi düz evreni C eğrisi de negatif eğrilikli evreni göstermektedir. Kayıtlar A eğrisine daha çok uymaktadır.

Belki de son incelemelerde, ancak çok sayıda değişik yaklaşımın sonuçlarını aynı anda gözönüne alarak kesin bir sonuca ulaşılabilir. Bu açıdan Hubble yasasına ilişkin en son verilerin, pozitif eğrilikli bir evreni desteklediğini görmek umut vericidir. Şekil 47'de Hubble yasasının aşırı uzaklıklardaki cisimleri de kapsayan üç olanaklı uzantısı gösterilmiştir. *A* eğrisi pozitif eğrilikli uzaya, *B* eğrisi düz bir evrene karşı gelir. *C* eğriside, evrenin negatif eğrilikli olması halinde, verilerin hangi doğrultuda uzanacağını belirler. Elimizdeki en iyimser bilgilere göre, Ohio araştırması sonuçlarıyla da denk düşen *A* eğrisinin tercih edildiği gözükmektedir. Son bölümümüzde de göreceğimiz gibi, bunun, evrenimizin son kaderine ilişkin önemli etkileri olacaktır.

ÖNBİR EVRENİN YARADILIŞI

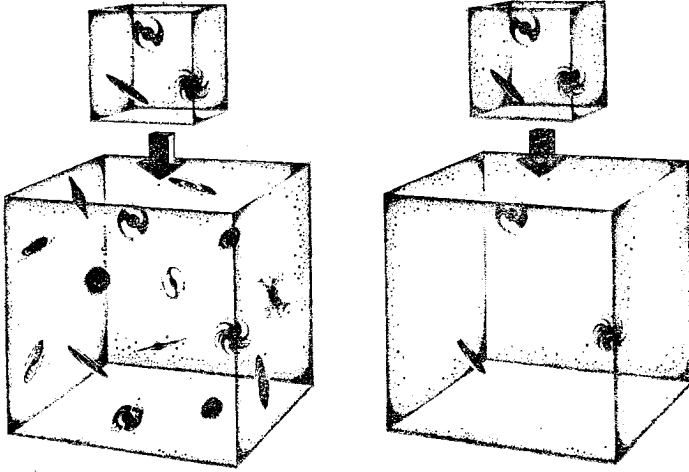
GEÇEN yüzyılda yapılan en önemli astronomi buluşlarından biri evrenin genişlemekte olduğunun anlaşılması olmuştur. Daha önce gördüğümüz gibi bu varsayım, galaksilere olan uzaklıkların, bunların tayflarında görülen kırmızıya kayma ile ilişkili olduğu gerçeğinin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Galaksi ne kadar uzaksa, bizden o kadar hızlı uzaklaşır. Kozmoloji bilginlerinin karşılaştıkları sorun, bu bilgilerin, uzak geçmiş ve uzak gelecek hakkındaki fikirlerin formüle edilmesinde nasıl kullanılacağıdır. Bu sorunla ilgili olarak şimdi nicel bir şekilde ele alacağımız birtakım kuramlar ortaya çıkmıştır.

Evren genişlemekte olduğundan, gökyüzünde gözledi-

ğımız galaksi kümelerinin giderek birbirlerinden uzaklaştıkları çok açıktır. Akla gelen en basit ve sade fikre göre, birçok yıl önce evrenin nasıl olduğunu görebilseydik, galaksileri birbirlerine daha yakın kümeler halinde bulmuş olacaktık. Gerçekten de çok uzak geçmişin herhangi bir zamanında evrendeki bütün madde son derece küçük bir hacmin içine sıkışmış olmalı idi. Bu tür bir durum maddenin bir kara delik içinde tekillik koşulunu anımsatıyor. O halde belki de, uzak geçmişte o anda, evrenin genişlemeye başlamasına neden olan bir “büyük patlama” (*big-bang*) gerçekleşmiş olmalıdır. En eski bir patlamadan söz eden kurama, bu nedenle, *big-bang kuramı* denmiştir.

Birkaç on yıl önce, H. Bondi ve F. Hoyle tarafından bir başka kuram ortaya atıldı. Buna göre evren gerçekten genişlemektedir, fakat, belki, galaksi kümeleri arasındaki uzaklıklar arttıkça meydana gelen boşlukları doldurmak üzere yeni galaksiler yaratılmaktadır. Başka bir deyimle, uzak geleceğe doğru hareket edebilseydik, evrenin kabaca bugünkü görünümüne sahip olacağını görebilecektik. Birçok ayrıntının oldukça farklı olacağı doğal sayılmalıdır. Çevrede yürüyen yeni insanlara rastlanacağı gibi gökyüzünde de yeni yıldızlara rastlanacaktır. Ama bir milyar ışık yılı kübündeki galaksi sayısı hemen hemen bugünkünün aynı olacaktır.

Buna göre uzak geçmişte de bugün evrende bulunan madde ve galaksi yoğunluğu yaklaşık olarak aynı olacaktı. Galaksilerin, *big-bang* kuramının ilk dönemlerinde olduğu gibi, birbirleri üstüne kümelenmeleri bu durumda gerekli değildir, çünkü bugün gördüğümüz galaksilerin bir çoğu o zaman henüz yaratılmamıştı. Sonuç olarak evreni *durağan bir durumda* görmekteyiz. Maddenin “sürekli yaratılışı”ndan sözeden kurama (birtakım esrarlı ve bilinmeyen süreçler tarafından) bu nedenle *durağan evren kuramı* denir. Bu iki kuram, şekil 48’de birbirlerine zıt bir biçimde, şe-



Şekil 48 — Big-bang kuramına karşı durağan evren kuramı: Bu şematik diyagram, değişik zamanlarda evrenimizin bir kesitinin görüntüsünü vermektedir. Eğer big-bang kuramı doğru ise galaksiler gittikçe uzaklaşmaktadır. Tersine, durağan evren kuramı doğru ise, eski galaksiler birbirlerinden uzaklaştıkça ortaya çıkan boşluğu doldurmak için yeni galaksiler yaratılmaktadır.

matik olarak gösterilmiştir.

1960'larda, durağan evren kuramını büyük ölçüde sarıyan çok sayıda kanıt ortaya çıktı. Her şeyden önce, Hubble yasasına göre, big-bang'ın en azından on milyar yıl önce meydana gelmiş olması gerektiğini görüyoruz. Bu süre, bütün galaksilerin biraraya toplanmış olacakları bir zamana kadar olayları geriye doğru götürerek, basitçe elde edilir. İkinci olarak, görülen evrendeki en yaşlı yıldız kümelerinin de yaklaşık olarak on milyar yaşında olduğunu anlıyoruz. Son olarak, izotop çalışmalarından (örneğin uranyum-kurşun karışımı) gene on milyar yıllık ömür saptanmıştır. Bu yaşların yaklaşık uyuşmaları son derece şaşırtıcıdır.

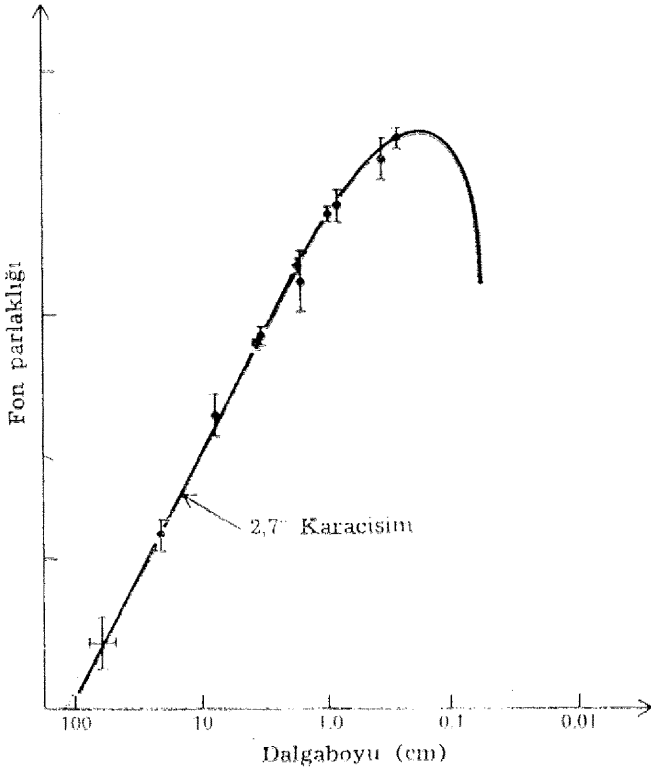
Durağan evren kuramını etkileyen bir başka büyük buluş, A. A. Penzias ve R. W. Wilson'un 1965'te New-Jersey'de Bell laboratuvarlarında yaptıkları ve mikrodalgalı

kara cisim fon ışıması adı verilen bir buluşla başlamıştır. Penzias ve Wilson, özellikle haberleşme uydularında kullanılacak olan duyarlı bir boynuz anteninin yapımı ile uğraşmakta idiler. Başlangıçta araçlarını gökyüzüne yönelttikleri her kez sabit, sürekli bir fon gürültüsü veya parazit algılamaktan çok rahatsız oluyorlardı. Bu sırada Princeton üniversitesinde Dr. Robert H. Dicke, kuramsal olarak, big-bang kuramının doğru olması halinde, ilk patlamadan veya *ilk atestopundan* geriye kalan ışımının bir kısmını saptamanın mümkün olacağını ileri sürdü. Ayrıntılı rölativistik hesaplar sonucu, evrenin yaradılışından bir saniye sonraki sıcaklık için akla-yakın bir sayı, 15 milyar kelvin derecesi buluyoruz. Evren genişledikçe aynı zamanda da soğur, bu nedenle bugün ortalama sıcaklığın mutlak sıfırdan, yaklaşık olarak, 3 Kelvin derecesi daha yüksek olması gerekmektedir. 3 K derecesinde bir cismin, dalga boyları bir milimetreden biraz fazla olan mikrodalgalar halinde, az miktarda ışıma yayınlaması gerekmektedir. Bu ise Bell laboratuvarlarındaki duyarlı antenleri rahatsız eden fon mikrodalga gürültüsüne karşı gelmektedir. Bir başka deyimle, eğer kuram doğru ise, aslında evreni yaratan en ilkel ateştopunun kalıntılarını “görmekteyiz”.

Mikrodalga fon ışımalarının tek bir ölçümünün, kuramı açıklığa kavuşturmak için yeterli olmayacağını belirtmek uygundur. Kuramsal olarak, şekil 49’da görüldüğü gibi fon ışımasının parlaklığının, dalga boyu ile çok özel bir şekilde değişmesi gerekir. Bunu kanıtlamak için 100 santimetreden $\frac{1}{2}$ milimetreye kadar değişen dalga boylarında, bir dizi gözlem yapılmalıdır. $\frac{1}{2}$ santimetreye kadar inen güvenilir veriler halen elimizde olup 2,7 K derecesi fon sıcaklığı ile iyi bir uyuşma sağlamaktadır. Ne yazık ki kuramsal eğrinin hızla şekil değiştirdiği noktada, yani özellikle 2 milimetrenin altında, daha başka veriye gereksinime duymaktayız. Yeryüzünün atmosferi bu tür bir ışı-

mayı geçirmez, bu nedenle roketlerden veya uydulardan gözlem yapmak gerekir. Bu ölçüler 1970'lerin en kritik gözlemleri arasında olacaktır. Elde edilen veriler şekil 49'daki kuramsal eğri üzerinde kalmazsa astronominin büyük bir kısmının başı derde girecektir.*

Big-bang kuramını destekleyen bir başka önemli göz-



Şekil 49 — Mikrodalga fon ışıması: Eğer mikrodalga teleskoplarının yakaladığı ışıma gerçekten ilk ateştopunun soğumuş artıkları ise, bütün verilerin bu diyagramda görülen eğri üzerine düşmesi gerekir. Yerden yapılan gözlemler ışımanın 2,7 mutlak sıcaklığında olduğu kanısını vermektedir. Dalga boyu bir milimetre civarında olan daha çok sayıda verilere gereksinmemiz olduğu açıktır.

lemeler dizisi, kuasarların bulunuşudur. Sekizinci bölümde belirttiğimiz gibi, 1960'a kadar radyoastronomların gözledikleri cisimlerin çoğu büyük, yaygın kaynaklardır. Radyoteleskopların duyarlılıkları ve güçleri arttıkça, astronomlar, açılal çapları az rastlanır derecede küçük olan bir takım kaynaklara ilgi göstermeye başladılar. Özellikle 3C48, 3C286, 3C196 ve 3C147 olarak bilinen kaynaklar dikkatle gözlemlendi. 1960 Ekiminde Dr. Alan Sandage, 500 cm.'lik Palomar teleskobunu radyoastronomlarca 3C48 için saptanan konuma çevirdi. Bu konumun yakınında görülen tek cisim, mavimsi bir yıldız anımsatıyordu. Gözlemci, bu yıldızla benzer cismin tayfını aldığı zaman, hiç kimsenin anlam vermediği çizgiler gördü. Bu tür kuasarların tayfını örten esrar perdesi, kuasarların çok büyük kırmızıya kaymaları olduğunu ilk olarak bulan M. Schmidt tarafından 1963 yılında kaldırılmıştı. Gerçekten de bazı kuasarların, ışık hızının yüzde-seksenine karşı gelen kırmızıya kaymaları olduğu görülmüştür.

Kuasarların, insanoğlu tarafından yapılan en esrarlı buluşlardan biri olduğunu söylemek pek abartma sayılmaz. Çok büyük kırmızıya kaymaları nedeni ile astronomların ve astrofizikçilerin ilerlemelerine on yıldan uzun bir süre engel oldu ve bugün gözüme, on yıl öncesinden daha yakın değiliz. Daha önce gördüğümüz gibi kırmızıya kaymaların açıklanmasında esas olarak dört olanaklı yaklaşım vardır:

1. *Çekimsel kırmızıya kayma*
2. *Doppler kayması*
3. *Evrensel kırmızıya kayma*
4. *Bilinmeyen fiziksel kurallar*

* 1972 sonlarında henüz bu kitap basılırken bazı astronom grupları roket uçuşlarında fon ısıması ile ilgili olarak yaptıkları gözlemleri rapor ettiler. Milimetre dalgalarını kapsayan bu gözlemler 2.7 K derecesindeki fon sıcaklığı ile tamamen uyusmaktadır.

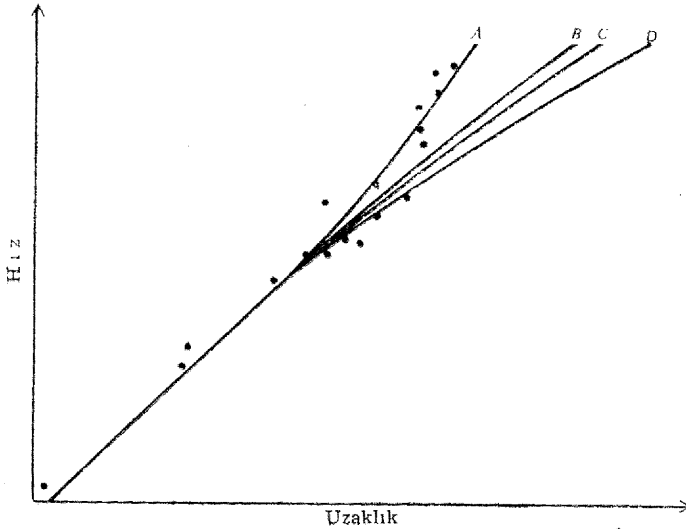
İlk olasılık 1960 başlarında oldukça yaygındı. Aslında bu olasılık r lativit ye yeniden bir ilgi duyulmasına neden oldu. İkinci açıklama, California Teknoloji Enstitüsünde Dr. Arp tarafından ileri sürdürülen bir düşünce ekolünün temelini oluşturuyordu. Kuasarlar, galaksilerin merkezlerinden, belki çok de etli hızlarla fırlatılmakta idiler ve kırmızıya kaymaları bunların yolalı  hızlarının b y kl  n n bir yansıması idi.

Evrenbilimsel bir yorum olan üçüncü varsayım hepsinden daha yaygındır. Bir başka deyimle Hubble yasasına dönüyor ve kuasarların çok uzaklarda olduğuna, kırmızıya kaymalarının ise evrenin geni lemesinden olu tu una karar veriyoruz. Eğer bu böyle ise kuasarların çok derin kozmolojik anlamları olmalıdır. Örneğin kuasarların kırmızıya kaymaları çok büyük olup, kırmızıya kayması küçük kuasar yoktur. Uzaya baktığımızda aslında zamana geri bakılmaktadır, işte bu da eskiden çok sayıda kuasarm varoluşunu, bugün ise hiç bulunmayı ını ifade etmektedir. Eğer evrenbilimsel yorum doğru ise, bu veriler durağan evren kuramına çok ciddi bir darbe meydana getirmektedir.  evresi kuasarlarla dolu olan evrenin birkaç milyar yıl önce çok farklı bir görünümü olmalıydı. Bu, evrenin durağan olmayıp evrim halinde olduğunu gösterir.

1970 başlarında, evrenbilimsel yorumla çelişen birtakım gözlemler yapıldı. Erken olmasına karşın bazı astrofizikçilerin, kuasarlara ilişkin sorunların çok karışık olması nedeniyle, henüz bulunmamış olan yeni fiziksel yasaların ve etkilerin olasılıklarını göze almamız gerektiğini söylediklerini belirtiriz. Yeni fiziksel yasalar arasında bazıları F. Boyle ve J. V. Narlikar'ın, Cambridge'de ileri sürdükleri kuramlardır. Bir cismin cylemsizlik özellikleri, evrenin geri kalan kısmındaki maddenin yayılı ına bağlıdır. Sonuç olarak, fizikteki bazı temel sabitlerin uzak geçmişteki değerleri bug nk lerden farklı olacaktır. Bu nedenle

cisimler eskiden bugünkünden çok daha farklı görüneceklerdi.

Uzak cisimlerin tayflarında kırmızıya kaymaların kesin yorumu bazı zorluklar getirdiyse de, Hubble yasası, evrenin geleceği hakkında çok şey söylemesi bakımından yararlıdır. Yakın galaksiler için uzaklık ile uzaklaşma hızı arasında basit bir doğrusal ilişki olduğunu görmüştük. Galaksiye olan uzaklığın iki katına çıkması, sizden uzaklaşma hızını da iki katı yapar. Ama, bu basit ilişki, bütün uzaklıklardaki tüm galaksiler için acaba geçerli midir? Belki, çok aşırı uzaklıklarda galaksiler, hızlanıp yavaşlama eğilimi gösterirler. Bu ise, Hubble yasasının bilinen grafiği gözönüne alınırsa, doğrunun uçlarda yukarı veya aşağı doğru eğilmesi anlamına gelir. Bu husus şekil 50'de gösterilmiştir.

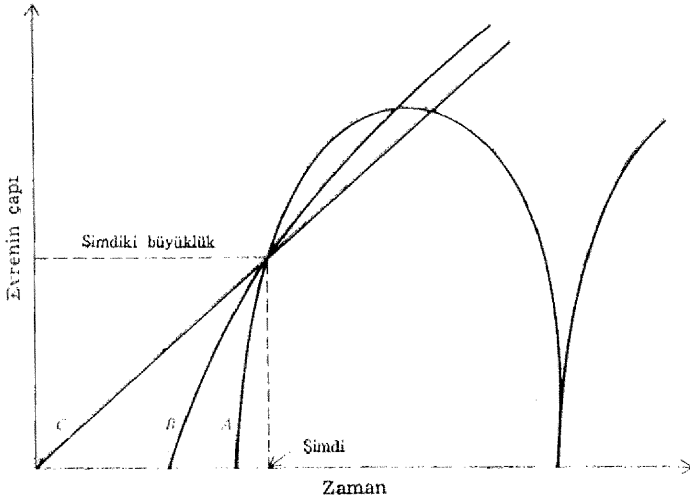


Şekil 50 — Hubble yasasının büyük uzaklıklardaki davranışı: Uzak cisimlerin Hubble bağıntısına ilişkin kuramsal grafiği, evren için hangi modelin kullanıldığına bağlıdır. A, B ve C eğrileri big-bang kuramını desteklerken D eğrisi durağan evren kuramını desteklemektedir.

Yerkürede durup havaya bir kaya parçası atsam, üç şey olabilir: kaya yukarı çıkıp basitçe aşağı gelebilir. Eğer kayayı çok büyük bir güçle fırlatarsam (örneğin bir roket yardımı ile), o zaman kaya yerkürenin çekim kuvvetinden kurtulup boşluğa uçar ve yerküreden aşırı derecede büyük bir uzaklıkta kaya en sonunda durur.⁴ Üçüncü olasılık, bu kayayı yerküreden sonsuz bir uzaklığa fırlatmak için harcanan bu denli fazla güce karşın, kayanın gene de ölçülebilir bir hızla uzaklaşmasıdır.

Eğer big-bang kuramı doğru ise evrende de buna benzer olasılıklar vardır. Big-bang zamanında, görece az bir enerji harcanmışsa, galaksiler basit olarak yukarı gidip sonra da aşağı döneceklerdir. Daha kesin olarak sürekli gözlemlerin, tüm galaksilerin bizden uzaklaştıklarını belirtmelerine karşın, uzak geleceğin herhangi bir anında bu uzaklaşma duracak ve evrenin kendi üzerine büzölmeye başlaması gibi, onlar da bize doğru geri gelmeye başlayacaklardır. İkinci olasılık, ilk ateştopunda yeterince enerji olduğu, yani galaksilerin sonsuz uzaklıkta oldukları zaman duracaklarıdır. Üçüncü olasılık durumunda, big-bang'de öylesine çok enerji vardır ki, galaksiler sonsuza dek birbirlerinden uzaklaşacaklardır. Uzak cisimlerin davranışları ile ilgili olan bu üç olasılık Hubble yasasında gözükmektedir. Şekil 50'de gösterildiği gibi A, B ve C doğruları big-bang kuranının doğru olduğu durumda verilerin nelerinde olduğunu göstermektedir. A eğrisinde, ilk ateştopunun, galaksileri sonsuz bir uzaklığa götürmeye yetecek kadar enerjisi yoktur ve geleceğin belirli bir zamanında evren kendi üzerine çökecektir. B eğrisi, galaksilerin sonsuz uzaklığa geldikleri zaman, en sonunda duracaklarını gösterir. C eğrisi ise, galaksileri sonsuza dek birbirlerinden uzaklaştıracak güçteki ilk ateştopunu belirtmektedir. Şekil 51'de Hubble yasasının davranışının, zamanın bir fonksiyonu olarak, evrenin büyüklüğüne nasıl bağlı olduğu

görülmektedir. Daha önceki grafikte görüldüğü gibi, veriler salınım yapmakta olan bir evrene karşı gelen A eğrisini desteklemektedir. Son derece zor olan gözlem koşulları-



Şekil 51—Hubble yasası ve evrenin büyüklüğü: Evrene ilişkin belirli kuramsal modellerde, evrenin nasıl davranacağı önceden bilinir. Eğer big-bang kuramına göre az miktarda enerji harcanmışsa salınan bir evren söz konusudur. (A eğrisi). B eğrisi de evrenin yeniden gökmemesini sağlamak için gereken yeterli enerjiyi içeren big-bang kuramını göstermektedir. Eğer big-bang çok şiddetli ise evren sonsuza dek genişleyecektir (C eğrisi).

na bağlı olarak bu verilerin çok miktarda yanlışlarla dolu olduğunu belirtmemiz gerekiyor. Bu verilerin geliştirilmesi 1970 sonraları astronomların en önemli görevleri arasında olacaktır.

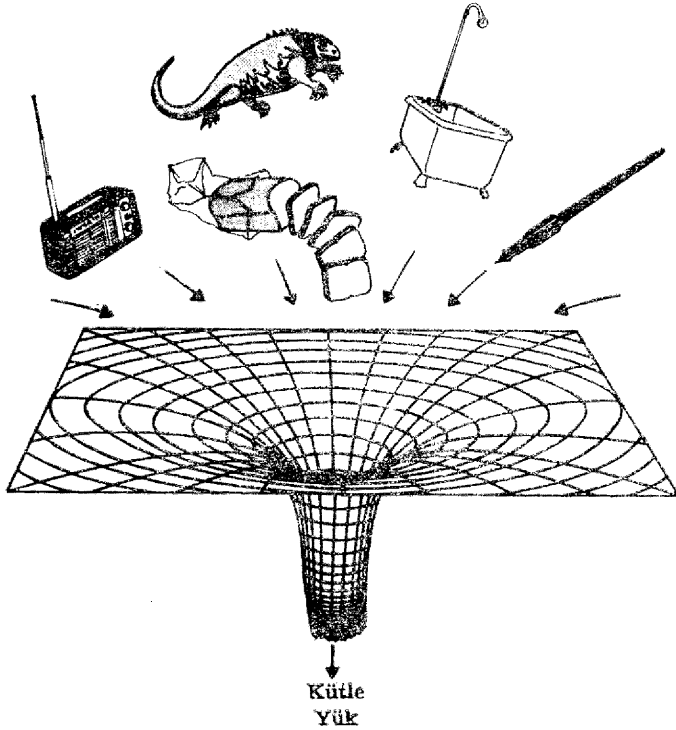
Maddenin uzayda dağılımı uzay-zaman eğrisini saptadığından, evrenin, genişlemesi ile şekli arasında çok yakın bir bağ olduğunu düşünebiliriz. Bu gerçekten de doğrudur. Daha önceki bölümlerde de gördüğümüz gibi, uzay için üç olası geometri söz konusudur: hiperbolik, düz ve kü-

resel. Evrenin en enerjik genişlemesini ifade eden C eğrisi, eğriliği negatif olan bir hiperbolik uzaya karşı gelir. A eğrisinin salınım yapan evreni ise, pozitif eğriliikli bir küresel uzaya karşı gelir. Bu nedenle, A eğrisini destekleyen kırmızıya kayma üzerindeki verilerin geçen bölümde sözü edilen Ohio araştırması gibi çalışmalar ile bir uyuşma sağladığı saptanmıştır. İstisnasız, bütün yeni radyo ölçümleri evrenin gerçekten de pozitif bir eğriliğe sahip olduğunu göstermektedir.

1970'lere doğru gidince, genişleme ve büzüleme süreçleri arasında salınan pozitif olarak eğrilmiş bir evrenin portresini görmekteyiz. Evrenin genişlemesini başlatan bir big-bang'in, sanki on milyar yıl önce oluştuğunu düşünüyoruz (oysa bu, bir olasılıkla, yirmi milyar yıldan fazla değildir). Uzak gelecekteki bir zamanda bu genişleme durarak evren çökmeye başlayacaktır. Belki de bu çöküntü bir başka big-bang'de sona erecek bu ise, bizimkinin küllerinden yeni bir evren yaratacaktır. Astrofizikçilerin karşılaştıkları heyecan verici problemlerden biri de, en son big-bang'den önce ve ondan sonraki big-bang'i izleyen olayların yapısına değinen sorulardır. Bu sorularla uğraşabilmek için kısaca kara delik konusuna yeniden gözatalım.

Madde, bir ölü yıldızdan artakalan bir kara deliğe düştüğü zaman bütün karakterlerini yitirir. Şekil 52'de şematik olarak gösterildiği gibi, bir çamaşır makinesini veya bir televizyonu bir kara deliğe bıraktığınızda sonuç aynıdır. Açık olmak gerekiyorsa maddenin kara deliğe düşmesinden sonra geriye kalan tek şey cismin taşıdığı kütle, yük ve momentumdur. Maddenin kimyasal bileşimi, cismin rengi veya büyüklüğü gibi nitelikler tamamen yokolmuştur. Princeton üniversitesinden Dr. John Wheeler, bu durumu sembolik olarak şöyle açıklamıştır: "kara deliklerin hiç saçı yoktur". Buna karşın bir kara deliğe düşen cismin, kara deliğin evrenin geri kalan kısmına bağlı olması nedeniyle kütesini, elektrik yükünü ve momentumunu yeniden kazandığını düşü-

nür. Şekil 52'de yukarda sözü edilen durum, uzayın tekillikten çok uzaklarda asimtotik bir düzlüğe sahip olduğu gerçeği ile açıklanmaktadır. Ama, evrenin tümü kendi kara de



Şekil 52 — Bir kara delikle karşılaşan maddeler: Eğer ölü ve yoğun bir yıldızdan artakalan herhangi bir kara deliğin içine birtakım cisimler atarsak sonuç her zaman aynıdır. Ancak cismin kütlesi, elektrik yükü ve momentumu değişmez. Eğer tüm evren kendi kara deliğinin içine düşerse o zaman bu temel niceliklerde kaybolur.

liğine düşerse, temel büyüklüklerin (kütle, yük, momentum) yokolması gerekir. Bunun nedeni, çözümlerimizi alan denklemlerimize bağlayabileceğimiz düz bir uzayın olmamasıdır.

Kendi kara deliğine çökmüş olan evrenin koşullarını incelerken Dr. Wheeler, maddenin fiziksel özelliklerinin bü-

yük bir kısmının belirsizleştiğini görmüştür. Örneğin evrenimizde maddenin belirli ayırıcı nitelikleri olduğunu görüyoruz. Madde, foton, elektron ve nötrondan oluşan atomlardan meydana gelmiştir. Proton ve elektronlar eşit ama zıt elektrik yüküne sahiptirler, oysa protonun kütlesi elektronunkinin 1.836 katıdır. Demek ki fiziksel gerçeğin yapısını açıklayan herhangi tam bir kuram bu acayip durumu ve bu 1.836 sayısının gerisindeki garipliği açıklayabilmelidir. Buna ek olarak gözönüne alınması gereken buna benzer daha birçok boyutsuz sabit vardır. Evrenin tümü kendi tekilliğine çöktüğü zaman bu önemli büyüklerin değerlerinin belirsizleşeceği şimdi açıktır. Bir başka deyimle, en yakın big-bang'den önce varolan evren bugünkü evrenimizden temelde farklıdır. Buna benzer olarak, bundan sonraki big bang'de yaratılacak olan evren, çekirdekssel parçacıkların rölatif kütleleri, taşıdıkları elektrik yükü ve diğer nicelikleri şu anda evrenimizde bulunanlardan büyük ölçüde farklı olacaklardır. Bir başka deyimle, evrensel çöküntü sırasında temel boyutsuz sabitleri uygulanabilen bir belirsizlik ilkesi geçerlidir.

YENİ evren hakkında geçmiş birkaç yıl boyunca ortaya çıkan bazı temel bilgileri, şu birkaç sayfa içerisinde vermeye çalıştık. Özel olarak kuramsal araştırmalar ve buluşlarımızın, gözlemlerimizi nasıl açıklayacağı konusuna ayrıca önem verdik. Akla gelen en önemli sorulardan biri, bu kitapta verilenlerin ne kadarının gerçekten doğru olduğudur. Şu anda bu konuda hiçbir şey söylemek mümkün değildir. 1970 ve 80 sonraları için planlanan ayrıntılı astronomik deneylerin umut verici gözüktükleri noktalarda, daha önceki fikirlerin nasıl değişebileceğini belirtmeye çalıştık. Ama buna karşın elli veya yüz yıl sonra kuramlarımızın nasıl değişeceğini merak etmekten kendimizi alamıyoruz. Bin yıldan uzun bir süre, bir fiziksel gerçeğin

modeli olarak kabul edilen Ptoleme sistemi gibi, kozmoloji hakkında bazı çok eski fikirler aklımıza gelmektedir. Bugün, Ptoleme sisteminin kabul edilmesinin, ilkçağ insanının genel felsefî yapısının ve sınırlı verilerin üzerine kurulmuş olduğunu anlıyoruz. İki bin yıl önce Yunanistan'da yaşamış olsaydınız Aristarchus gibi bilginlerin, bütün gezegenlerin güneş çevresinde döndüklerini önermelerine karşın, belki siz de episikl'ler düzeyinde düşünmeyi tercih edecektiniz. Çağdaş fikirlerimizin eldeki bütün verilerle ve gözlemlerle iyi bir uyum sağlaması gerektiğini hemen anlıyoruz. Ama, acaba bu kitapta önerilen kavramların ortaya çıkmasında, psikolojik yapımızın ne denli rolü olmuştur? Tüm çağdaş fiziksel bilimlerin genel yaklaşımı bugün tamamen mekaniktir. Bu yaklaşım kaba anlamda vitesleri, kaldıraçları ve palangaları kapsayan bir mekanik anlayışı değildir. Bu görüş, bütün gerçeklerin spektrograflar, galvanometreler ve fotoğraf filimleri gibi araçlarla ölçülebilir, önemli nicelikleri kapsayan, somut fiziksel yasalara indirgeme çabasıdır. İlkçağ insanı, gezegenlere tanrı gibi bakıp gökyüzünde gördüklerine manevî anlamlar vermeye çalışmıştır. Çağdaş bilim adamı ise bu tür fikirlerin, bizim anlayışımıza hiçbir değer katmadığını, hatta bizi ters yöne çektiğini iddia etmektedir. Ama, bu aynı bilim adamı, teleskop veya siklotronuna çıktığı zaman, zigguratının tepesine tırmanan Babilli astronomun kafasındaki yargısız kabul edilmiş kavramlar gibi, bir aksiyonlar cümlesini ruhunun bir parçası olarak beraberinde taşır. Bu nedenle, kendimizi daha iyi tanıyabildiğimiz ölçüde evreni de daha derin anlayabileceğimiz açıktır.

SÖZLÜK

Ak cüce. Küçük, yoğun bir yıldız; yıldızsal evrimin olanaklı bir sonu.

Ak delik. Bir kara deliğin zaman bakımından tersi; madde ve enerjinin fışkırdığı yer.

Alan denklemleri. Genel rölativitede uzay-zamanın eğriliğini tanımlayan denklemler dizisi.

Analiz. Sonsuz küçük miktarlarla uğraşan matematik dalı.

Astronomik birim. Dünyanın yörüngesinin büyük yarım eksenini olarak tanımlanan bir uzaklık birimi; güneş ve dünya arasındaki ortalama uzaklık (yaklaşık 149.000.000 km.).

Atom. Bir kimyasal elementin, ayırıcı niteliklerini henüz kaybetmemiş olan en küçük parçacığı.

“Big-bang” kuramı. Evrenin, çok eski bir patlama sonucunda başladığını varsayan bir kozmoloji kuramı.

Bulutsu. Yıldızlar arası gaz veya tozdan meydana gelen bir bulut.

cD galaksisi. Süper büyüklükte eliptik bir galaksi.

Cepheid değişken. Süper büyüklükte sarı, nabız gibi atan özel bir yıldız tipi.

Çekim dalgası. Değişken bir çekim alanı; uzay-zamanın eğriliğindeki salınımlar.

- Çekimsel kırmızıya kayma.* Çekimsel alanın neden olduğu kırmızıya kayma; saatlerin bir çekimsel alanda yavaşlaması.
- Çekirdek (atomun).* Büyük ölçüde proton ve nötronlardan meydana gelen, atomun en ağır parçası olan ve elektronların çevresinde döndükleri kısım.
- Çekirdek (galaksinin).* Bir galaksinin merkezindeki yıldız ve gaz yoğunlaşması.
- Çift yıldız.* Birbirinin çevresinde dönen iki yıldız.
- Çıkış konisi.* Şiddetli bir çekim alanından kaçabilen ve kaçamayan ışık ışınları arasındaki farkı bulmaya yarayan hayali bir koni.
- Çubuklu sarmal galaksi.* Sarmal kolları, galaksinin merkezinden geçen bir “çubuğun” uçlarından başlayan bir spiral galaksi.
- Deferent.* Ptoleme sisteminde, episikl’lerin, üzerinde hareket ettikleri sabit çember.
- Doppler etkisi. (Doppler kayması)* Kaynak ve gözlemci arasındaki göreceli harekete bağlı olan, ışıma dalga boyundaki görünen değişim.
- Durağan evren kuramı.* Evrenin genel özelliklerinin zaman veya konum ile değişmediğini varsayan kozmoloji kuramı.
- Düzensiz galaksi.* Asimetrik bir galaksi; ne eliptik ve ne de sarmal olmayan bir galaksi.
- Elektromanyetik ışıma.* Salınım yapan elektrik ve manyetik alanların dalgalarından oluşan herhangi bir ışıma tipi; görünen ışığı, radyo yayınlarını, kızıl-ötesi ve morötesi ışımasını ve X ile gamma ışınlarını kapsar.
- Elektromanyetik kuramı.* Elektromanyetik ışımayı olduğu kadar elektrik ve manyetik alanları da içeren bir fizik dalı.
- Elektromanyetik tayf.* Elektromanyetik dalgaların tüm yayılma alanı.
- Elektron.* Bir atomun çekirdeğinin çevresindeki yörüngede bulunan negatif yüklü, atom altı bir parçacık.
- Elips.* Bir dairesel koninin bir düzlem tarafından tamamen kesilmesi ile elde edilen bir konik kesit.
- Eliptik galaksi.* Eliptik bir şekil olup, hiç sarmal kolu olmayan, bir galaksi.

Episikl. Ptoleme sisteminde, bir gezegenin, bir deferent üzerinde hareket eden bir çemberden oluşan yörüngesi.

Evren. Madde, ışıma, uzay ve zamanın bütünleşmesi.

Evrensel kırmızıya kayma. Evrenin genel genişlemesine karşı gelen kırmızıya kayma.

Foton. Elektromanyetik enerjinin ayrık bir birimi.

Foton çemberi (foton küresi). Işığın bir kara delik çevresindeki kararsız çembersel yörüngesi.

Galaksi. Genellikle yüzlerce milyar yıldızdan meydana gelen büyük bir yıldız topluluğu.

Galaksiler kümesi. Sayısı birkaç taneden binlerceye kadar değişen galaksilerin topluluğu.

Gamma ışını. Elektromanyetik ışımalı, yüksek enerjili bir foton.

Gök mekaniği. Gezegenlerin ve güneş sistemimizdeki diğer cisimlerin hareketlerini içeren astronomi dalı.

Görünen şiddet. Bir yıldızın gökyüzünde ne denli parlak görüldüğünün ölçüsü.

Günberi. Güneş çevresinde dönmekte olan bir cismin yörüngesindeki güneşe en yakın olan nokta.

Güneş sistemi. Güneşten, gezegenlerden, uydularından, asteroidlerden, kuyruklu yıldızlardan vb. meydana gelmiş olan sistem.

Günöte. Bir gezegenin yörüngesinde güneşe en uzak olan nokta.

Hiperbol. Bir dairesel koninin bir düzlem tarafından kesilmesinden meydana gelen bir konik kesit.

Hubble sınıflandırması. Galaksileri görünümlerine göre sınıflandırma yöntemi.

Hubble yasası. Uzak galaksilerin uzaklaşma hızları ve uzaklıkları arasındaki ilişki.

Işık. İnsan gözü ile görülebilen elektromanyetik ışıma.

Işık eğrisi. Bir yıldızın parlaklığındaki değişimleri gösteren bir grafik.

Işık yılı. Işığın bir yılda aldığı yol, yaklaşık olarak $9,4605 \times 10^{12}$ km.

İlk ateştopu. Big-bang zamanında evrenin tüm kütlesine sahip olduğu sanılan son derece sıcak ve yoğun gaz.

Jeodezik denklemler. Genel rölativitede, eğrilmiş uzay-zamandaki foton ve parçacıkların izledikleri yolları tanımlayan denklemler dizisi.

Kara cisim. Kendisine değen bütün ışımayı soğuran ve yeniden yayınlayan bir ideal cisim.

Kara delik. Işığın bile kendisinden kaçamayacağı şiddette bir çekim alanına sahip olan bir cisim.

Kepler yasaları. Kepler tarafından bulunan ve gezegenlerin hareketlerini tanımlayan üç yasa.

Kerr çözümü. Dönmekte olan bir kara deliği tanımlayan alan denklemlerinin tam çözümü.

Kırmızı dev. Çok yüksek parlaklığı olan, büyük, soğuk ve kırmızı bir yıldız.

Kırmızıya kayma. Dalga boylarında, tayfın sonuna doğru görülen bir kayma.

Kızıl-ötesi ışıması. Dalga boyu, insan gözü ile görülebilen kırmızı ışığın dalga boyundan biraz daha uzun olan elektromanyetik ışıma.

Klasik mekanik. Fiziksel cisimlerin davranışlarını içeren bir fizik dalı.

Konik kesit. Dairesel bir koninin bir düzlem tarafından kesilmesiyle elde edilen eğri.

Kozmoloji. Evrenin evrimi ve organizasyonunu içeren bir astronomi dalı.

Kozmolojik model. Evrenin evrimi ve organizasyonu ile ilgili özel bir kuram.

Kruskal diyagramı. Bir kara deliğin özel bir çizim şekli.

Kuasar. Kırmızıya kayması büyük olan, yıldız benzeyen bir cisim.

Kurtdeliği. Uzay-zamanda, iki evren arasında veya aynı evrenin iki uzak noktası arasında yer alan bir bağlantı.

Magellan bulutları. Güney enlemlerinden çıplak gözle görülebilen iki yakın galaksi.

Messier kataloğu. 18. yüzyılda Charles Messier tarafından toplanan ve yıldız olmayan gök cisimlerinin bir kataloğu.

Morötesi ışıma. Dalga boyları, çıplak gözle görülebilen mor ışığından, biraz daha kısa olan elektromanyetik ışıma.

Mutlak sıfır. Kuramsal olarak, mümkün olan en düşük sıcaklık; $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ sıcaklık.

Mutlak şiddet. Bir yıldızın gerçek parlaklığının ölçüsü; bir yıldızın 10 parsek uzaklıkta iken görünen şiddeti.

N galaksisi. Bulanık bir gölge ile çevrelenmiş ve yıldız benzer bir çekirdeği olan bir galaksi.

Negatif olarak eğrilmiş uzay. Paralel doğruların gittikçe birbirlerinden uzaklaştıkları bir uzay.

Newton yasaları. Sir Isac Newton tarafından formüle edilen çekim ve mekanik yasaları.

Nova. Ani bir ışıma enerjisi patlamasına sahip bir yıldız.

Nötron. Elektrik yükü olmayan ve kütlesi hemen hemen proton kütlesine eşit olan atom altı bir parçacık.

Nötron yıldızı. Hemen hemen yalnızca nötronlardan meydana gelmiş bir yıldız.

Olay ufku. Daha ötesinde haberleşmenin olanaksız olduğu yer.

Parabol. Bir dairesel koninin bir düzlem tarafından, eksenine paralel olarak kesilmesiyle elde edilen konik kesit.

Paralel kaydırma (vektörlerin). Bir vektörü, bir konumdan bir başka konuma götürmenin özel bir yöntemi.

Parsek. Bir uzaklığın ölçüsü ($1 \text{ Pc} = 3,26$ ışık yılı).

Pozitif olarak eğrilmiş uzay. Paralel doğruların giderek birbirlerine yaklaştıkları bir uzay.

Prizma. Beyaz ışığı gök kuşağı renklerine dağıtmak için kullanılan kama şeklinde bir cam parçası.

Proton. Pozitif elektrik yükü olan atom altı bir parçacık; atomik çekirdeğin kapsadığı başlıca iki elemandan biri.

Pulsar. Parlaklığı periyodik olarak çok hızlı değişen bir radyo kaynağı.

Radyo astronomisi. Uzaydan gelen radyo dalgalarını içeren astronomi dalı.

Radyo teleskobu. Radyo dalgalarının saptanması için yapılmış olan bir teleskop.

Sarmal galaksi. Fırıladağa benzer kolları olan ve çekirdeğinden genç yıldızlar fırlayan ve dönen bir galaksi.

Schwarschild çözümü. Alan denklemlerine K. Schwarschild tarafından bulunan en kesin çözüm.

Seyfert galaksisi. İlk kez C. Seyfert tarafından tanımlanan, parlak çekirdeğe sahip bir galaksi (genellikle bir radyo kaynağı).

Şiddet. Yıldız veya galaksi gibi bir cismin parlaklığının ölçüsü.

Tansör. Belirli bir matematiksel büyüklük tipi.

Tayf. Bir prizmanın içinden, beyaz bir ışık demeti geçirildiğinde elde edilen gökkuşağı renkleri.

Tayf çizgileri. Bir tayfta gözüken karanlık veya aydınlık çizgiler.

Tekillik. Çekim alanının şiddetinin sonsuz olduğu yer.

Termonükleer enerji. Termonükleer tepkimelerin açığa çıkardıkları enerji.

Termonükleer tepkime. Çekirdek parçacıklarının çok yüksek hızlarda çarpışmalarından meydana gelen bir çekirdek içi tepkimesi.

Tutulan çift yıldız. Görüş doğrultusu üzerinde, sürekli olarak birbirinin önünden geçecek şekilde yönlenmiş dönen bir çift yıldız.

Üçüncü Cambridge kataloğu. Radyo kaynaklarının bir kataloğu.

Vektör. Hem yönü hem de şiddeti olan bir büyüklük.

X ışını. Dalga boyları, morötesi ışımasının ve gamma ışınlarının arasında olan, bir elektromanyetik ışıma tipi.

Yarı büyük eksen. Bir elipsin içinde kalan en uzun doğrunun yarısı.

Yeni genel katalog. (NGC) Yıldız kümelerinin, bulutsuların ve galaksilerin bir kataloğu; 19. yüzyıl sonlarında J. I. E. Dreyer tarafından toplanmıştır.

Yerel grup. Galaksimizin de içinde bulunduğu galaksiler kümesi.

Yıldız. Kendi kendine ışık verebilen bir gaz küresi.

Yıldızsal evrim. Yıldızların yapılarının yaşlanma ile uğradıkları değişimler.

Yoğun galaksi. Yüksek yüzey parlaklığına sahip ufak bir galaksi.

Yörünge. Bir cismin, bir başka cisim veya nokta çevresinde dolunırken izlediği yol.

Ziggurat. Eski Babil'de bir astronomik gözlem evi ve tapınak.

