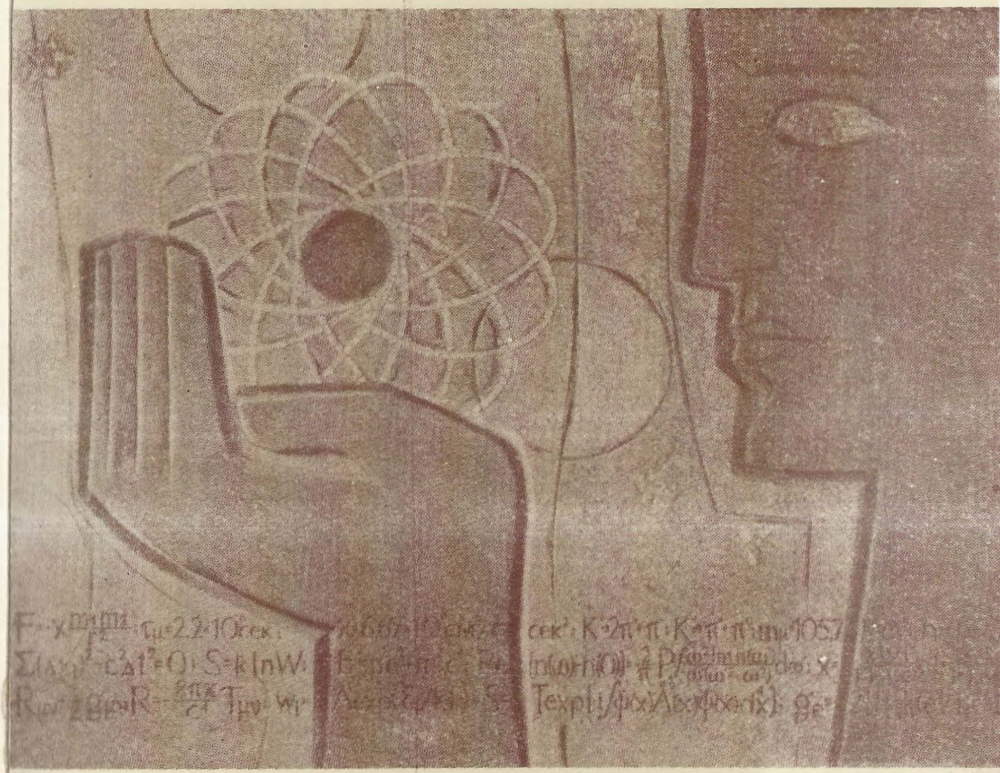
MADDE VE İNSAN

M. Vasilyev K. Stanyukoviç



ONUR YAYINLARI

VASİLYEV, STANYUKOVİÇ ■ MADDE VE İNSAN

MADDE VE İNSAN

M. VASİLYEV, K. STANYUKOVİC

İKİNCİ BASKI

MADDE VE İNSAN

M. VASİLYEV, K. STANYUKOVİÇ

ÇEVİREN
FERİT PEHLİVAN

M. Vasilyev ve K. Stanyukoviç'in *Matter and Man* (Peace Publishers, Moscow) adlı yapıtını, İngilizcesinden, Ferit Pehlivan dilimize çevirmiş ve kitap, *Madde ve İnsan* adı ile, *Onur Yayınları* tarafından, Eylül 1989 (Birinci Baskı: Mayıs 1976) tarihinde Ankara'da *Şahin Matbaası*'nda dizdirilip bastırılmıştır.

İÇİNDEKİLER

7 Yüzyüze (Bir Önsöz Yerine)

[BİR]

EVRENİN MADDESİ

11

11 Boşluk Üzerine Bir İnceleme
23 Maddenin Halleri ve Alanlar
29 İnsan Egemendir
34 Katılar, Sıvılar ve Gazlar

[İKİ]

PLAZMA

40

40 Maddenin Dördüncü Hali
46 Kendi Kendine Daralan Boşalma
50 Yıldızsal Yakıt

[ÜÇ]

ALAN

58

58 Dokunulamaz Madde
64 Her Yerde Her Zaman Var Olan Kuvvet
68 Dr. Einstein'ın Devrimi
74 Genleşen Evren
79 Gravite Parçacıkları
84 Atomun Kalbinde
86 Madde Fabrikaları
90 Kıtalar Colomb'larını Bekliyor

[DÖRT]

IŞIN VE PÜSKÜRME MAKİNELERİ

93

93 Öbürgün İçine Bir Gezi
103 Küçük Gezegen (*Asteroid*) Pallas'tan Havalanış
109 Yıldızlara Yolculuk
114 Zaman Paradoksu

[BEŞ]

PATLAMA

125

125 Gaz Dinamiği
130 Boşluğa Gaz Akışı

134 Sarsıntı Dalgaları
139 Patlayan Yıldızlar
144 Kozmik Bulutlar
148 Patlayıcı Olarak Hız
151 İş'te Patlamalar

[ALTI]
EVRENİN BİYOGRAFİSİ
159

159 Yaradılış Günü
166 Gezegenler Ailesi
171 Sarmalın (*Spiral*) Bir Dönüşü

[YEDİ]
EVRENİN EFENDİLERİ
(SONUÇ YERİNE)
184

YÜZYÜZE
(BİR ÖNSÖZ YERİNE)

Dünya, hareket halindeki maddeden başka bir şey değildir.
LENİN

Milyonlarca insan büyük olayı televizyon ekranlarından izledi: yeryüzünün karşısında süzülen bir uzay gemisi, ve birdenbire, uzay elbisesi içinde, metal teknedeki kapaktan dışarı çıkmaya çalışan bir adam. Bir kelebeğin duvara yapışması gibi, birkaç dakika için tekneye sıkı sıkıya sarıldıktan sonra adam, kendini itti, ve kendini çevreleyen garip, tekinsiz dünyada kaybolmasını önlemek için göbek bağı gibi bir ipten başka hiç bir şey olmaksızın, dipsiz boşluk içine doğru sürüklendi. Uzay gemisindeki barınağını ilk olarak terkeden ve evrenle yüzyüze gelen ilk astronot, Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği yurttaşı, Aleksi Leonov idi. Olay 18 Mart 1965'te meydana geldi. Leonov'un elbisesine

düğümlenmiş cankurtaran halatının diğer ucunda sürüklenen, insan beyninin ve ellerinin dikkate değer yaratığı *Voskhod* 2 uzay aracı idi. Ama ne yazık ki, *Voskhod* 2 de, yaklaşık elli yıl içinde, tıpkı 20. yüzyılın başlarındaki bambuve-yelken uçaklarının bugünkü durumu gibi, modası geçmiş ve hantal olacak.

Leonov, bütün görkemiyle önünde bulunan evrene sahipti. Yer, atmosferinin mavimsi halesi içinde, tıpkı kocaman bir coğrafya küresi gibi kıta ve okyanuslarını sunuyor. Tüm öfkesiyle, atmosferden özgür kör edici ışıması ile, güneşin iri saçaklı küresi. Takım yıldızların bilinen desenleri içinde göz kırpıştırmayan parlak yıldızlar, ve karanlık kadifemsi gökyüzünde güneşle birlikte parıldıyorlar.

Leonov, on dakikalık ürpertici serüvenden sonra, bağlayıcı halatla kendini uzay gemisine doğru çekti, kapaktan içeri girdi, hava kaçırmasını önleyen kapılı duvarlar arasından geçti ve arkadaşı, komutanı, yoldaşı astronot Pavel Belyaev'in kolları arasına düştü.

İlk adım atılmıştı. Uzay ve zaman bakımından sonsuz ve eşsiz olan evrenle, ne başlangıcı ne de sonu bilinmeyen büyük evrenle daha çok sayıda insanın yüzyüze geleceği zaman uzak değildi artık. Evrenle yüzyüze gelmesinin arifesinde, insan, evren hakkında bugünden ne kadar bilebilir? O, Samanyolu adını verdiğimiz galaksinin parlak ve yoğunca toplanmış çekirdeğinden uzakta, bir köşe bucakta, küçükçe yıldızlardan birine bağlı bir gezegen sisteminde yaşıyor. O, ufacık bir toz taneciğini saran galaktik adamızdaki oldukça yoğun gaz okyanusunun dibinde, milyonlarca gezegenden biri üzerinde yaşıyor. O, kendi galaktik balta girmemiş ormanından, evreni öğrenmek için ne bekleyebilir?

Kısa geçmişi içinde, o, yakın çevresini değerlendirmek için yeter zamanı zor bulmuştur. O, ancak kendini bilmeye ve anlamaya başlayabilmiştir. İnsan uygarlığının on bin yılı, maddenin evrensel ölçekteki evrimden geçiş zaman dönem-

leri ile karşılaştırıldığında, ölümcül bir an kadardır. İnsanın yelkenli ile dolaşarak kendi gezegeninin bir küre olduğunu saptamasından bu yana, 450 yıldan daha az zaman geçmiştir. Onun, uzayı, zamanı ve hareketi ilişkileyen bazı yasaları ortaya çıkarmasından —başlangıçta salt kurgusal uslamlama ile— bu yana, yarım yüzyıldan birazcık fazla bir zaman geçmiştir. Ve madde yapısının gizleri içine sokulmaya yeni başlamıştır. İnsanın evren üzerine bilgisi gerçekten önemsizdir ve onun, henüz daha çok öğrenmeye gereksinmesi vardır. Ama o meraklıdır ve evrenin tüm gizemlerini adım adım çözecektir.

Ozanlar, yıldızları, evrenin, yeryüzüne doğru çevirdiği kırpışan gözlerine benzetmişlerdir. İnsan onlara binlerce yıldır bakmaktadır. Aylak müneccimlikle başlayarak, daha sonra, ilkin pek basit aletlerle, bugün birkaç ayak (*feet*) çapında mercekleri olan dev teleskoplar ve diğer özenli araçlarla, sistemli gözlemlere döndü. O, gezegenlerle sabit yıldızlar arasındaki farklılığı görmüş, en uzak bulutsulara (*nebulae*) uzaklıkları ölçmüş ve seyrelmiş yıldızlararası gaz bulutlarının radyodaki seslerini dinlemeyi öğrenmiştir. Onun günümüze kadarki gözlemleri, elektromanyetik tayfın atmosferin saydam olduğu anahtar deliği gibi dar aralığından bakma ile sınırlanmıştır.

İnsan şimdi dış uzay içlerine mekanik gözcüler göndermeye başlamıştır. O, ilk yapma yer uydularını ve yapma gezegenleri yaratmış ve başka bir göksel cisme ilk madde kütlelerini bırakmıştır.

İnsan merakının ardında bir hesap vardır. Yeni bir doğa yasasını ortaya çıkarır çıkarmaz, onu kendi erekleri için uygulamaya sokmaya çalışır. Şimşek çakmasının gizemini ortaya çıkarınca, onu, elektrik ışığı üretmekte kullanıyor. Irmak akış yasalarını öğrenmiş olarak, sulama kanalları kazıyor ve bütün bölgeleri aynı iklime yaklaştıran yapma göller çeviriyor. O, uranyum çekirdeğinin bölünmesindeki (*fission*)

gücü elektrik üretimi için kullanmıştır ve sonra, güneşin kendi kendisini ısıttığı termonükleer tepkimeleri (*reaction*) uysallaştırmasını öğrenecektir. O, evrenin yasalarını ortaya çıkardıkça, onları, elbette işe koşacak ve kendi hizmetine sokacaktır. O, gezegen sistemlerini yeniden kuracak, yıldızları dolaşacak ve onların parlaklıklarını ayarlayacaktır. İnsan, evrenin gerçekten efendisi olacak ve bugün nasıl ki yeryüzüne ilişkin yasalar ve olaylar ona hizmet ediyorsa, evren de onun hizmetine girecektir.

[BİR]

EVRENİN MADDESİ

BOŞLUK ÜZERİNE BİR İNCELEME

Ortaçağ bilginleri, suyun bir boru içindeki pistonu yukarıya doğru izlediğini görünce, her ne kadar inanılması zorca ise de, olayın basit bir açıklamasını buldular: ürpertici boşluk (*horror vacui*). Onların bildirdiklerine göre, doğa, boşlukla kolay geçinemez. Sonraları, İtalyan bilim adamı Evangelista Torricelli, borunun içinde suyun yükselmesi nedeninin atmosfer basıncı olduğunu deneyle kanıtladı. Atmosfer basıncını ölçtü, ve 10 metrelik (33 *foot*) su sütunu ile ya da 760 milimetrelik (30 *inch*) bir civa sütunu ile dengelendiğini buldu. Torricelli, bir metre kadar uzunlukta, bir ucu kapatılmış bir cam tüp aldı, civa ile doldurdu, açık ucunu bir civa kabı içine dikkatlice daldırdı ve tüpü dik olarak tuttu. Civa-

nın bir kısmı kabın içerisine doğru aktı ve tüpün yukarı ucunda serbest bir uzay ortaya çıktı.

Torricelli, "tüpün üst ucu atmosfere karşı kapalıdır ve cam çeperler veya civa arasından bu uca hiç hava geçemez. Bu nedenle, tüpün üst ucu tam bir boşluğu kapsamalıdır." sonucuna vardı.

Yıl 1643 idi ve o zamandan beri civalı barometrelerdeki civa sütununun üstünde kalan uzay, "Torricelli boşluğu" (*Torricellian vacuum*) olarak adlandırılmaktadır.

Herhangi bir fizikçi, bugün, bize, Torricelli boşluğunun gerçek, salt bir boşluk olmadığını söyleyecektir. Torricelli boşluğu, birinci olarak civa buharlarını içermektedir. İkinci olarak, azot, oksijen ve hatta karbondioksit moleküllerinden oluşan azıcık bir serpinti vardır. Bunlar, herhangi bir diğer sıvı gibi, gazları çözen civadan ileri gelmektedirler. Bu gazlar, civadan, sütun üstündeki yüksek boşluğa doğru kolaylıkla salınırlar. Fizikçi size, bilim adamlarının yüksek bir boşluk (*high vacuum*) elde etme, ve dahası, bu boşluğu koruyup sürdürme girişimlerinde karşılaşacakları zorlukları da anlatabilirdi. Bilim adamları, atmosferin üst tabakaları içinden hava örnekleri almak için yukarıya doğru yüksek-irtifa (*high-altitute*) roketleri göndermeye başlayınca, insan-yapısı boşluğun kusurluluğu özellikle belirgin hale geldi. İlk bakışta işin oldukça kolay olacağı sanılıyordu. Hava geçirmez supapları olan uygun büyüklükte bir metal silindir alınmalı, içerisindeki havanın tümü dışarıya pompalanmalı, bir roket içerisine yerleştirilerek iki veya üç yüz kilometre* yukarıya, iyonosfer** içlerine doğru fırlatılmalıydı ki, orada otomatik düzenekler supapları açacak, dışardaki havanın silindir içerisine girmesine izin verecek ve supapları yeniden kapata-

* Bir kilometre (km) yaklaşık olarak 0,62 mile eşittir, tersine, 1 mil 1.61 km'dir.

** Yeri çevreleyen atmosfer, içten dışa doğru, yapısal ve işlevsel ayrılıkları olan, *troposfer*, *stratosfer* ve *iyonosfer* adı verilen üç ana tabakadan oluşur. —ç.

caktı. Bir paraşüt, hava örneğini dikkatlice yere geri getirecekti.

Bunun la birlikte, bunun söylenmesi yapılmasından daha kolaydır. Bilim adamlarının, 300 kilometre yükseklikteki atmosferin yoğunluğunda bir "boşluk" oluşturabilecekleri ve bunu koruyabilecekleri de bir gerçektir. Yeryüzündeki her madde, metal, cam, tahta ya da plastik ne olursa olsun, yüksek boşluk (*high vacuum*) içerisine kolayca yayılabilen bazı gazları içinde bulundurur. Bu süreç, bir maden suyu şişesindeki gazın kabarcıklanmasına benzer. Şişe kapalı kaldığı sürece, iç basınç normalin üstündedir, gaz su içerisinde çözülmüştür ve onun varlığını hiç bir şey ortaya çıkaramaz. Şişeyi açtığınızda basınç düşer ve gaz kabarcıkları yüzeyden kaçarak çıkar. Su, kaynıyormuş gibi gözükür.

Her ne kadar böyle şiddetli olmasa da, benzer bir "kaynama", zamanla 250-300 kilometrelik yüksekliklere ulaştığında, roketin yapıldığı maddeler içinde de oluşur. Hatta, cam veya metal bir silindir içerisinde aşırı yüksek bir boşluk (*ultrahigh vacuum*) oluşturmak için planlanan sonu gelmez incelikli düzeneklerle, bir laboratuvarda, silindir duvarlarından gaz saçılmaya başlayınca boşluğu uzun süre sürdürmek olanaksızlaşır, ve hatta duvarların arasından dışardaki hava sızmaya başlar. Görüldüğü gibi, çok yüksek bir irtifadan hava örneği alıp getirmek pek de kolay değildir.

Sovyet bilim adamları üst atmosferi incelemeye başladıklarında, bir rokete, fırlatılabilir kapsüller bağladılar. Kapsüller (iki metre* uzunluğunda ve 40 santimetre** yarıçapında), yeterli yükseklikte, roket tarafından dışarı verilen gaz "bulutu"nun dışına fırlatıldılar. Roket kadar fazla olmamakla birlikte, kuşkusuz ki kapsüllerin kendileri de "solunum yaptılar".

* Bir metre (m) $\approx$ 1,1 yarda $\approx$ 3,3 *feet*; 1 *foot* $\approx$ 0,3 m = 30,5 cm.
** Bir santimetre (cm) = 0,39 *inch*; 1 *inch* = 2,54 cm = 25,4 milimetre (mm).

760 milimetrelik civayı dengeleyen hava tabakasının üstünde, evrenin herhangi bir yerinde tam boşluk bulunabilir mi? Anlamak için atmosfer ötelerinde bir gezinti gerekir ve böyle bir yolculuk için de binebileceğimiz bir taşıta gerek duyarız. Bunu, balonun başaramayacağı açıktır, çünkü stratosfer balonu (veya stratostat da denilir) bile bizi ancak 20 kilometre ya da o dolaylarda bir yüksekliğe götürebilir. Kuşkusuz ki, havanın solunumu olanaksız kılacak kadar seyrelddiği deniz düzeyinden sekiz veya on kilometreden daha yükseklerde, gondolanın hava geçirmez olması gerekir. Balon, tıpkı bir mantarın su üzerine yüzerek çıkışı gibi, hava içinde yüzerek yükseliyorsa, balonun bulunduğu yükseklikte boşluktan sözetmenin gülünçlüğü açıktır. Meteorolojik ve *radiosonde** balonları 35-40 kilometreye kadar çıkabilirler ki, bu yüksekliklerde atmosfer henüz oldukça yoğundur.

Atmosferin varlığının gerçek ve görünür bir diğer belirtisi bulutlardır. En yüksekteki, *noctilucent*** adı verilen bulutlar, genellikle 80 kilometre kadar yüksekliklerde gözlenmişlerdir. Biraz daha yükseklerde, 100 ve 120 kilometreler arasında, akan yıldızlar gibi göktaşları ortaya çıkar. Uçan bir göktaşı, elektrik yükü taşıyan ve çok hızlı hareket eden bir cisim ile çevresindeki havanın etkileşimini içeren karmaşık bir olaydır ve bu, yerin yüzeyinden 120 kilometre yükseklikte atmosferin hâlâ yeterince kendini gösterdiğinin kanıtıdır. Atmosferin en yüksek tabakaları içinde oluşan *aurora polaris* (kuzey ve güney ışıkları) 1.200 kilometre kadar yüksekliklerde gözlenmiştir.

Ne havadan-hafif balonların ne de havadan-ağır uçakların, dış uzay hakkında hiç bir şey söyleyemeyecekleri bir yana, atmosferin kıyısını araştırmada bile kullanılamayacakları söz götürmez. Böyle uzaklıklara gezintiler için biricik uy-

* *Radiosonde*, meteoroloji araçlarını atmosfere taşıyan küçük balon. Bu araçların sıcaklık, basınç vb. ölçümleri, yere, radyo dalgaları ile gönderilir. —ç.

** *Noctilucent bulutlar*, mavimsi renkte, kozmik tozlardan oluştukları sanılan, seyrek raslanan görüngülerdir. —ç.

gun taşıt roketlerdir ve yüksek-irtifa roketleri ve yapma uydular üst atmosfer hakkında oldukça değerli bilgi toplamaktadırlar. Atmosferin keskince belirlenmiş bir sınırının olmadığı ve 2.000-3.000 kilometreler arasındaki bir yükseklikte, gezegenlerarası gaz içine doğru yavaş yavaş seyreldiği saptanmıştır.

Tam boşluk üzerine serüvenli araştırmamız, bu kitabın okurları için yazarlarının planladıkları birçok uzak yolculuktan ilkidir. Eğer meraklı bir yaradılışta değilseniz, koltuğunuzdaki yolculukla fazla sıkılmayınız, kitabı daha şimdiden kapayabilirsiniz. Eğer bizim çağrımıza katılmak istiyorsanız, bizi evrenin herhangi bir kesimine birdenbire götürme yetisinde büyülü bir taşıt, bir düş gemisi hazırladık. Düşlerle güçlendirilmiş, fırlatma rampası bilimin ve tekniğin başarıları üzerine kurulmuş, yakıtı bilimsel teori ve öngörülerden yapılmış, araştırmalarımız için elverişli durumda her türlü ölçü araçları ile donatılmış bir gemi. Şimdi, bizim ilk gezi kurulumuza katılan herkes gemiye binsin.

İlk durağımız, yerin yüzeyinden 3.000 kilometre kadar yüksekte, atmosfer sınırının tam dışında. Bir yüklü-parçacık sayacı (*counter*), 100 milyon elektron-volt (*Mev*)* kadar enerjili çok sayıda protonun** varlığını kaydedince, buraların hiç de boşluk olmadığını söylüyor. Bu elemansal parçacıklar yerin manyetik alanı tarafından tuzağa düşürülürler. Bu parçacıklar, yer çevresinde üç ışıma (*radiation*) kuşağı oluşturacak şekilde manyetik alanın kuvvet çizgileri boyunca sarmallar çizerler (en dış kuşak henüz yeni bulunmuştur ve şimdilik hakkında fazla şey bilinmemektedir). Orta kuşak, enerjileri onbinlerce elektron-volt (*Kev*) dolaylarında olan parçacıklardan oluşmuştur. Onlar, belki de güneşin yüzeyinden ve dış uzayın uzak kaynaklarından gelmektedirler.

* *Elektron-volt* (*electron-volt*), genellikle çekirdek fiziğinde kullanılan bir enerji birimidir ve 1 ev = $1{,}6 \times 10^{-19}$ *joule*'dür. —ç.

** *Proton*, atom çekirdeğinin temel yapı taşlarından biridir, pozitif yüklüdür. —ç.

Bilim adamlarının kanılarına göre, içteki kuşak farklı kökenlidir. Kozmik ışın* akıntıları atmosferin alt tabakalarını bombardıman ederler. Dış uzaydan gelen korkunç hızlardaki parçacıklarla atmosferdeki gaz atomlarının çarpışmaları, çoğu kez atom çekirdeğinin ayrılmasına neden olur. Böyle parçalanmaların ürünlerinden biri, genellikle, nötron olarak anılan bir elemansal parçacıktır. Bu nötronların çoğu, diğer parçacıklarla karşılaşmaksızın üstteki seyrek atmosfer içinden geçerler ve yerin manyetik alanı içine girerler. Nötron, adının içerdiği gibi, elektrikçe nötr bir parçacıktır. Nötron, elektrik alanları ile etkileşemez, manyetik alanlarla çok zayıf etkileşir ve yerin manyetik alanından uzay içlerine doğru kolaylıkla geçer. Bununla birlikte, nötron, kararsız bir parçacıktır; ve her bir bozunma sonucunda bir proton, bir elektron ve bir nötrino** vererek, bir nötron topluluğunun, her 11,7 dakikada, yarısı bozunmaya uğrar. Eğer bu olay, yerin manyetik alanı içinde oluşursa, proton, bir pozitif yük taşıdığı ve alanla etkileştiği için, tuzağa düşer. İçteki kuşağa biçim verenler, işte bu protonlardır. İçteki kuşak, üst atmosferde veya komşu uzay içinde nükleer bombalar patlatıldığında büyültülebilir. Atomsal patlama, yeni protonlara kaynaklık eden çok büyük sayıda nötron salar. Nükleer patlamaların radyoaktif artıkları içindeki diğer yüklü parçacıklar da manyetik alan tarafından tuzağa düşürülürler.

Pek eski değil, bilim adamları gezegenlerarası uzaydaki kozmik ışınların gerçek şiddetinden daha habersizlerken, bu şiddetin, uzay uçuşunu olanaksız kılacak derecede büyük olabileceğinden korkulmaktaydı. Bugün, ortalama kozmik ışı-

* *Kozmik ışınlar* (*cosmic rays*), dış uzaydan yere doğru gelen, çoğunluğunu yüklü parçacıkların oluşturduğu, büyük enerjili ışınımlardır. —ç.

** Atomun yapısında bulunan üç temel elemansal parçacık (proton, nötron ve elektron) dışında çok sayıda elemansal parçacık vardır. Elektrik yüküne ve durgun kütleye sahip olmayan *nötrino* buplardan biridir. Başlangıçta, enerjinin ve momentumun korunumu ilkelerini bazı olaylarda geçerli kılmak için postulatlanmış varlığı, daha sonra, deneysel olarak saptanmıştır. —ç.

manın çok şiddetli olmadığını ve uzay uçuşu için büyük tehlikeler göstermediğini biliyoruz. Bununla birlikte, yüksek şiddetleri ile yerin ışıma kuşakları bir başka konudur ve uzay yolcuları bu kuşaklar arasından elden geldiğince çabuk geçmeli, ya da en iyisi, onların kıyısından geçmelidirler.

Bilim adamları bir zamanlar, yeri, ince bir gaz kabuğu ile çevrilmiş büyük bir cevizle karşılaştırırlardı. Bugün, atmosferin, gaz dolu gezegenlerarası uzay içine ulaşmadan önce, birkaç yüz değil, iyi bir yaklaşımla 2.000 kilometre yukarılara kadar uzandığını biliyoruz. Bundan başka yer, 50.000 kilometre kadar yarıçapta ve manyetik kuvvet çizgileri dolaylarında dönerek dolaşan elemansal yüklü parçacıklar içeren büyük bir ışıma halesi ile çevrilidir. Ve, son olarak, yıllarca önce, Sovyet bilim adamı İ. S. Astapoviç, yer ile güneş arasında uzanan bir gaz katarı bulmuştur. Bu gaz katarı, varlığını, üst atmosferin dışındaki ufacık toz ve gaz parçacıklarına kuvvet uygulayan ışığın basıncına borçludur.

Açıkçası, salt boşluk için başka yere bakmamız gerekir. Düş roketimizin motorlarını çalıştırıyor ve yeri çevreleyen ışıma bulutunu terkediyoruz. Her ne kadar manyetik alanının olmadığını ve ışıma kuşakları ile çevrilmediğini biliyorsak da, düpedüz aya doğru uçuyoruz. Ama, Eylül 1959'da aya ulaşan Sovyet roketine yüklenmiş araçların, yer'in doğal uydusunun 10.000 kilometre uzağında, iyonlaşmış* parçacıkların sayısında bir artış saptadığını anımsıyoruz. Bu, aya ilişkin bir çeşit iyonosfer ya da ayı çevreleyen on elektronvolttan daha büyük enerjilerdeki elemansal parçacıkların yüksek yığışma (*concentration*) bölgelerinden biri olabilir. O, ne olursa olsun, en iyisi, kozmik cisimlerden daha uzakta salt bir boşluk aramaktır.

Bununla birlikte, dış uzayın boş olması, Torricelli boş-

* Herhangi bir nedenle, bir ya da birkaç elektron almış ya da vermiş ve bu yüzden pozitif ya da negatif yüke sahip olmuş bir atom ya da atom grubuna *iyon* denir. —ç.

luğunun boş olması kadar gerçek-dışıdır, çünkü, bir kez bizim araçlarımız, dış uzayın, herbir santimetre küpü içerisinde yüzden çok molekül bulunan seyrek bir gazla donanmış olduğunu söyler. Bu bir boşluk değildir! Hatta, gaz molekülleri olmasa bile, dış uzayın salt boş olduğunu söyleyebilir miyiz? Yanıt hayırdır, çünkü dış uzay, uzaklıkla önemli ölçüde zayıflasalar da varlıkları kolaylıkla saptanabilen, güneşin ve yıldızların, azgın ışıması tarafından delinip geçilmektedir. Işık ışınları, x-ışınları, kızılötesi ve morötesi ışınlarının —elektromanyetik ışımanın tüm genişliğinin— maddî nitelikte olduklarını ve kütle, hız ve enerjiye sahip ufacık parçacıkların, fotonların akıntıları gibi davranabildiklerini biliyoruz. İçerisinden sonu olmayan parçacık akıntılarının geçtiği bir yere boş uzay olarak bakamayız. Buna uzayda etkili olan kütlesel çekim (*gravitational*) alanlarını ekleyiniz. Doğanın bu gizemli kuvveti üzerinde ilerde konuşacağız. Ayrıntılarına girmeksizin, kütlesel çekim alanlarının her yerde her zaman var olduğunu burada belirtebiliriz. İster ufacık bir molekül ister dev bir yıldız olsun, her maddesel parçacık bir kütlesel çekim alanı meydana getirir, diğer maddesel cisimleri çeker ve onlar tarafından çekilir.

MATEMATİK DİLİYLE

Meraklı ve matematiksel-kafalı okurların yararına, birçok bölüme, ilgili ek bilgiler, dipnot şeklinde verilmiştir. Bazı temel doğa yasaları, birkaç cebirsel formül ve bağıntı yardımı ile sunulmuştur. Formülleri büyük ayrıntıları ile açıklamak ve ilgili bölümün tümünden derlenebilecek fiziksel yorumlar için girişimde bulunulmamıştır. Ama, okur, bunları kendi hesaplamalarıyla uğraşırken kullanabilir. Örneğin, okur, bir foton roketi içinde, verilen bir hıza ulaşmak için "yakılması" gerekli hareketi sürdürücü madde kütlesini, ya da bir patlamadaki gazın basıncında ve hızındaki değişikliği, ya da göksel cisimlerin birbirlerini ne kadar çektiklerini hesaplayabilir.

Düş gemimiz boşlukta asılı gibi görünüyor. Gerçekte ise, o, güneş çevresinde eliptik bir yörünge üzerinde yolculuk yapmaktadır. Düş gemimize, yerçekiminin pençelerinden kurtulmasına yetecek hızı motorları vermiştir. Taşıtımız, güneşin, yerin ve gezegenlerin kütlesel çekimleri etkisinde olmasaydı, bir doğru çizgi üzerinde sonsuza doğru yolculuk edecekti. Ama, güneşin güçlü çekimi yörüngeyi kapalı bir eğriye çevirir.

Bereket versin ki, güneşin kütlesel çekiminden kurtulacak kadar sınırsız yakıt yedeğimiz var. Kütlesel çekim konu edilince, bir kuvvetin, ancak iki cismin etkileşimi sonucu ortaya çıkabileceğini biliyoruz. Boşluk, herhangi bir kuvvet-aktarımı mekanizması içerisinde aracılık yapamaz. Böylece, gezegenlerarası uzayın maddesel bir ortamla kaplanmış olması gerektiği açık olmaktadır ki, bu maddesel ortama gravitasyonal alan diyoruz.

Gezegenlerarası uzayın dışında, araçlarımız şuraya buraya göçen çok çeşitli parçacıkları kaydederler. Bağımsız olarak incelendiklerinde, her ne kadar Mendelyef'in peryodik sistemindeki bilinen elementlerin çekirdekleri oldukları anlaşılsa bile, onlara madde demek zordur. Nikel ve demi-

---

Ana konuya yapılan bu matematiksel ekler, okurun madde dünyasının içinde daha derinlere inmesine yardım edebilir ve aynı zamanda, çeşitli problemlerin daha ayrıntılı olarak ele alındığı daha karmaşık popüler bilim ve bilimsel kitaplara susuzluğu geliştirebilir.

KOZMİK IŞINLAR NERDEN GELİR?

Bir ortam içinde elektriksel boşalmalar oluştuğunda, yüklü parçacıklar ortaya çıkar ve ortam plazmik olur. Plazma içinde, elektromanyetik alan ortaya çıkar. Plazma durgun durumda ve iletkenliği çok büyükse, yalnızca bir manyetik alan oluşur.

Hareketli ortam elektriksel bir alan oluşturur.

Manyetik alan, bir ortam üzerine basınç uygular. Bu (iç) ba-

rin ağır çekirdekleri ile birlikte, genellikle bol olanlar hidrojen ve helyum çekirdekleridir. Bu parçacıklar, ışık hızına yaklaşan hızlarda yolculuk ederler ve alışılageldiği şekilde kozmik ışınlar olarak adlandırılırlar. Kozmik ışınlar gezegenlerarası uzayın "boşluğu"nda bulunurlar.

Gezegenlerarası gaz, foton akıntıları, kozmik ışınlar, kütlesel çekim alanları — bu, boşluk olmaktan uzaktır. Daha da dışarılara, yerden ve güneşten uzaklara, en uzak Neptün ve Plüton gezegenlerinin yörüngelerinin ötelerine, yıldızlararası uzaya gidiyoruz. Motorlar gürlüyor ve güneşin kütlesel çekiminin kösteklemeleri uzakta kalıyor. Sınırsız yıldızlı boşluk içinde, açık, küçük bir yıldıza yönelince, sarı disk hızla ufalıyor. Ve araçlarımızın kaydedicileri ve ibreleri bulgularını bildirirken oynuyorlar, sıçramalar yapıyorlar:

— gezegenlerarası uzaydakinden daha az miktarlarda olmasına karşın, gaz molekülleri. Ayrıca, çok sayıda serbest elektronlar;

— uzay, farklı dalga boylarında elektromanyetik dalgalarla, yani farklı enerjilerde fotonlarla kaplanmıştır;

— yakın yıldızların ve Samanyolu çekirdeği çevresindeki yıldız salkımlarının kütlesel çekiminin sezilebilir gravitasyo-

---

sıncın büyüklüğü,

$$P = \frac{H^2}{8\pi}$$

formülü ile verilir ki, burada, H manyetik alan şiddeti ya da yoğunluğudur ve alan enerjisinin bir ölçüsüdür.

Birim hacim içinde bu enerji,

$$\varepsilon = \frac{H^2}{8\pi}$$ 'dir.

Elektromanyetik bir alanın enerjisi,

$$\varepsilon = \frac{E^2 + H^2}{8\pi}$$ 'dir

ki, burada, E, elektriksel alan şiddeti ya da yoğunluğudur.

Manyetik basınç ve ivme etkisinde kalan bir ortamın parçacıkları uzayda (ya da yerde, laboratuvar koşullarında) ışık hızına yaklaşan oldukça yüksek hızlar kazanabilirler.

nal alanları;

— gezegenlerarası uzaydakine göre birazcık az, önemli şiddette kozmik ışınlar.

Samanyolunun dışına doğru gene yolalıyoruz. Güneş, bizim galaksimizin en yakın kıyısından 30.000 ışık-yılı —yani, güneşten çıkan bir ışık ışınının Samanyolunu terketmesi için geçen zaman— uzaktadır. Ama bizim düş gemimiz ışıktan daha hızlı yolculuk etmektedir (ki bunu ancak düş gemileri yapabilir), ve işte galaksilerarası uzaydayız. Uzakta, iki belirgin kolu ile parıldayan sarmal (*spiral*) bulut, Samanyoludur. Evren içerisine saçılmış çok sayıda diğer bulutsu-galaksiler öylesine uzaktalar ki, parlak noktalar gibi gözükmekteler. Seyrek raslanan ıssız bir yıldızı geçiyoruz, ama evrendeki yıldızların çoğu galaksiler içinde toplanmışlardır ve görülmeyecek kadar uzaktadırlar.

Araçlarımızı yeniden çalıştırmanın zamanıdır, ama şimdi onları maksimum duyarlıklarında çalıştırmalıyız. Her ne kadar ibreler sıfır dolaylarındaki işaretlerle kıpırdıyorlarsa da, mesajlarının şöyle olacağından kuşku yoktur:

— çeşitli tözlerin ve elementlerin seyrek raslanan molekülleri, atomları ve iyonları;

— uzak galaksilerden elektromanyetik dalgalar;

— gene galaksilerden kozmik ışınlar;

— uzaklıkla önemli ölçüde zayıflayan, galaksilerin farkedilebilir çekimi.

Araçlarımızın, şimdiye kadar bilinmeyen bazı kuvvetlerin varlığını gösterme olasılığı da vardır. Galaksiler ve onların uzaydaki konumlarına ilişkin en son araştırmalar, onların garip şekillerinin, yalnızca kütlesel çekim kuvvetleri ile açıklanamayacağını göstermektedir. Üstün durumdaki konumumuzdan ötürü, yeni keşfedilmiş bazı astronomik özellikleri görebiliriz: bazı galaksilerin, görünüşe göre yıldızlardan oluşan parlak "zincirler"le birleştikleri görülmektedir; diğer galaksiler sıralar halinde yayılmışlar; bazıları kar-

şıt doğrultularda uzayan garip lifler gösteriyorlar. İzlenim odur ki, galaksilerarası uzayda itme kuvvetleri çekim kuvvetlerine üstün gelmektedir.

Elemanter parçacıkların varolduğu, atom çekirdeğinin bozunum ve bireşim tepkilemelerinin oluştuğu mikroevrende (*microcosm*), egemen kuvvetler çekirdekseldir. Moleküler ve kristal ölçeğine gelince, elektromanyetik alanların belirleyici önem kazandığını görürüz; ölçeğin büyümesi ile, giderek, kütlesel çekim alanları kendini daha fazla gösterir. Yıldızlar çevresinde gezegenlerin, ve gezegenler çevresinde uyduların dönmelerini kütlesel çekim alanları yönetir. Bu nedenle, galaksiler arasındaki etkileşmeleri içeren daha büyük ölçeklerde, yeni bir nitel sıçramanın ortaya çıkabileceği düşüncesini olanaksız görerek bir yana itmek pek doğru olmayacaktır. Galaksilerarası uzayda, gereken çok büyük uzaklıklara uygun düşecek, bilinmeyen türlerde madde ve alanların varlığını kabul etmekte hiç bir aşırılık yoktur. Gerçekten, galaksi lifleri, küresel-simetrideki kütlesel çekim alanlarına benzemeyen, silindirik simetri ile belirlenen (bir mıknatısın daima iki kutbu vardır) güçlü elektromanyetik alanların varlığı ile açıklanabilmektedir. Ne olursa olsun, galaksilerarası uzayın bile mutlak boş olmadığı gerçeği ortadır. İtiraf etmeliyiz ki, gerçek bir tam boşluğun araştırılması, umutsuz bir iştir. Evren içinde hiç bir galaksinin görünmeyeceği bir yer var mıdır, bilmiyoruz. Evren türdeş (*homogen*) değildir ve bazı doğrultulardaki galaksilerin sayısı diğer doğrultulardakilerden daha fazla gözükür. Bununla birlikte, evrenin maddeden tamamen yoksun bir bölgesini aramanın yararsızlığını kesin bir kanı olarak belirtebiliriz. Uzayın kendisi ise, maddenin varoluş biçimlerinden biridir. Uzay, ancak madde var oldukça vardır, ve madde yokluğunda "uzay"dan sözetmek anlamsızdır.

Maddenin görünümleri oldukça çeşitlidir. Madde, katılar, sıvılar, gazlar ve plazma (daha sonra sözedeceğiz) gi-

bi, fiziksel olarak "sezilebilir" şekiller alır. O, elektromanyetik, gravitasyonal ve çekirdek alanları şeklinde gözükür. O, hem bir alan, hem de fiziksel madde olarak sayılabilen, kozmik ışınlar şeklini alır. Maddenin ve onun çeşitli şekilleri arasındaki değişim ve dönüşümlerin birçok gizleri henüz bizce bilinmemektedir. Ama çok fazlası şimdiden bilinmektedir. Öyle ise geliniz, düş gemimizi yere geri döndürelim. Tam bir boşluk üzerine araştırmadaki başarısızlığımızdan sonra, gelin, şu soru üzerinde duralım ve yanıt bulalım: evrenin yapısı nedir, onun sınırsız genişliğini ne doldurmaktadır?

MADDENİN HALLERİ VE ALANLAR

Dağda oturan birinden, yerin en belirgin görünümlerini anlatması istenirse, büyük bir olasılıkla şöyle söyleyecektir:

"Dağlar. Bulutların üstüne yükselen buz-kaplı doruklar, yemyeşil dağ çayırları, aralarından taştan taşa sıçrayarak şamatayla akan dağ sularının geçtiği dar, nemli boğazlar."

Ormanlarda yaşayan biri ise farklı bir betimleme öne sürecektir:

"Yer", diyecektir, "ufuktaki dar şeride uzanan geniş bir ovadır. Yeryüzüne ilişkin görünümler, rüzgârda dalgalanan kuştüyü-çimenleri ve düşük engebeler arasından durgunca akan ırmaklardır."

Dış uzaydan gezegenimize yaklaşan bir astronot pek öyle ozanca olmayacaktır.

"Yaklaştığımız gezegenin", diye bildirecektir anayurt üssüne, "yüzeyinin yüzde 70'ten fazlası kalın bir su tabakası ile kaplanmıştır. Kuru topraklar ancak yüzde 29'dan birazcık fazla yer tutmaktadır. Tepeler ve ovalar, onun fiziksel görünümlerindeki seyrek raslanan istisnalardır."

Bizim şimdiki amacımız, evrenin neden ibaret olduğunu

saptamaktır. Böylece, yeri ne tamamen dağlar ne de ovalar olarak gören insanların durumunda olmadığımızdan, evren hakkında elden geldiğince geniş bir görüş kazanmalıyız. Bilim adamları, çoktan beri, güneş sisteminin diğer gezegenlerinin, güneşin, uzak yıldızların ve galaksiler-dışı bulutsuların, yeryüzünde karşılaştığımız aynı kimyasal elementlerden yapılıp yapılmadığından şüphelidirler. Yer insanlarının başka gezegenlere ayak basacağı gün düşünülerek, bu soruyu yanıtlamak için araştırmalar iki ana doğrultuda sürdürülmektedir. İlk olarak, kimyacılar, göktaşları şeklinde yere ulaşan yeryüzü dışındaki maddenin bileşimini incelemektedirler. İkinci olarak, astronomlar teleskoplarına giren ışığın tayflarını (*spectra*) çözümlemek için özel araçlar kullanmaktadırlar, ki bu çözümlemeler ışığı salan cisimlerin bileşimleri hakkında bir şeyler söyleyebilir.

Göktaşları ve tayflar, evrenin tümünün, bizim gezegenimizdekilerin tamamen aynı olan elementlerden yapıldığını söylemektedir. Yalnızca farklı elementlerin bağıl bollukları değişmektedir. Yıldızlar ve yıldızlararası gaz, başlıca hidrojen ve helyumdan oluşmaktadır. Evrende, bu iki elementin atomları diğer tüm elementlerin toplamından binlerce kez fazladır. Ama yerde, hidrojen çok bol değildir ve hidrojenin çoğu su içerisinde, oksijenle bileşik halindedir. Helyum da yeryüzünde oldukça seyrektir, ve gerçekte ilk olarak, adının geldiği yer olan güneşte bulunmuştur.

Diğer elementler için, elementlerin yıldızlardaki bağıl bollukları yerdeki ve göktaşı maddelerindekilerle hemen hemen aynıdır, bununla birlikte, bazı yıldızların bağıl olarak az raslanan belirli elementler bakımından fazlalıkları vardır. Böyle yıldızların tayfları, olağanüstü miktarlarda lityum, baryum, titan ve zirkonyumun varlığını ortaya çıkarır. Bununla birlikte, bu yıldızların sayısı tüm yıldız topluluğunun yüzde-birinden fazla değildir ve kural dışı istisnalardır.

Amerikan bilim adamları Suess ve Urey, evrendeki kim-

yasal elementlerin bolluklarının bir diyagramını çizdiler. Bilinen elementleri, atom ağırlıklarının artma yönünde yatay eksende ve mevcut atomların bağıl sayılarını düşey eksende gösterdiler. İlginç bir eğri ortaya çıktı. Umulduğu gibi, hidrojen ve helyum en bol olanlardır. Bolluk yüzdesi diyagramının başlangıç noktası olarak alınan silisyumun her bir atomu için 40.000 hidrojen atomu ve bundan birazcık az da helyum atomu vardır. Hidrojen ve helyum doruklarını dik bir düşüş izlemektedir, hafif elementlerden lityum, berilyum ve borun bollukları, her 100 milyon hidrojen atomuna karşılık bir atomdan fazla değildir. Bunlar, hemen hemen silisyumla aynı bolluktaki bir grup element tarafından izlenmektedir, ki bunlar, karbon, oksijen, neon, magnezyum ve silisyumdan kalsiyuma kadar olan elementlerdir. Sonra, skandiyum, titan, vanadyum ve kromun bolluklarındaki bir diğer keskin düşüş gelir. Bunları izleyen demir maksimumu adı verilen bir yükselmedir: demirin bolluğu silisyumunkine hemen hemen denktir. Demirin ötesinde, bir elementin atom ağırlığı büyükse, bolluğu azdır. Eğri, bollukları demirinkinden yüzbinlerce kez az olan elementlerle biter.

Evrende kimyasal elementler hangi hallerde bulunurlar ve evrenin yapısı içine nasıl uyarlar?

Peryodik tablodaki elementleri, burada, yerde, sayısız farklı bileşim içinde buluruz. Onlar bütün katı cisimleri meydana getirirler: odanızdaki masa, üzerinde oturduğunuz sandalye, eviniz, tepeler ve dağlar, yerküresi.

Yerde maddeyi sıvı halde de buluruz: su ve petrol, alkol ve civa. Sıvı hal oldukça kararsızdır. 100°C'ın* üzerinde su kaynar ve buhara dönüşür. Sıfırın altında donar ve katılaşır. Eğer yeteri kadar soğutulursa, bir termometre içinde-

* Sıcaklık, santigrat derecesi cinsinden (ya da *Celsius* da denir), °C olarak gösterilir, Fahrenhayt (*Fahrenheit*) derecesine F = 9/5 C + 32 formülü ile dönüştürülebilir.

Suyun donma noktası, sıfır derece santigrat, 32°F'a eşittir; suyun kaynama noktası 100°C = 212°F'dir.

ki civa bile donabilir ve diğer herhangi bir metal kadar katılaşabilir. Ama demirin ya da altının, granitin ya da bazaltın ya da kürenin yapısında bulunan herhangi bir diğer tözün katı durumu hiç de kararlı değildir. Bir dökümcü, ağzı açık fırınını 1.700° santigratın biraz üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtınca demir yumuşar ve sıvılaşır. Dökümcü onu bir maşrapa ile kepçeleyebilir ya da su gibi dökebilir. Daha yüksek sıcaklıklarda çelik kaynar ve buharlaşır. Göreneğe göre, bilinen hiç bir tözün ne katı ne de sıvı halde var olmadığı 5.000°C, pek yüksek sıcaklıktır. Bununla birlikte, evrende, çok daha yüksek sıcaklıklar olağandır. Güneş yüzeyinin sıcaklığı 6.000°, iç kısımlarının ise milyonlarca derecedir. Yıldızların on binlerce ve yüz binlerce dereceye ulaşan sıcaklıkları vardır.

Maddenin hallerinden biri gazdır. Yerin atmosferi birçok gazın bir karışımıdır. Kimyacılar, soluduğumuz havanın azot, oksijen, hidrojen, karbondioksit ve diğer gazlardan ibaret olduğunu söylerler.

Sıcaklık yükselince bu moleküller kolaylıkla atomlarına ayrılır.

Kuşkusuz ki seyrek, ve daha başka sıcaklıkları da içermesine karşın, üst atmosferin kimyasal bileşimi yeryüzününki ile hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte, esas şey, onun iyonlardan oluşmasıdır. Yerde olduğu gibi moleküller yerine, elektrik yükleri taşıyan molekül parçacıkları vardır.

Şimdiye kadar, gezegenlerarası ve yıldızlararası gazın bileşimini incelemek için, gezegenlerarası ve yıldızlararası uzay içine doğru bir yolculuk yaptık. Araçlarımız, bu uzayın genellikle bol miktarda pozitif yüklü iyonları ve serbest elektronları içerdiğini söyledi. Yalnızca gezegenlerarası uzayda, farklı tözlerin bütün atom ve moleküllerini bulabildik. Ama bizim gezintimizin amacı bir boşluk bulmaktı ve bu yüzden bulutsulardan, gaz ve toz bulutlarından ve yıldız-

lardan kaçındık. Evrendeki yıldızların sayısı sonsuzdur. Yalnızca Samanyolunun 100.000 milyon yıldız kapsadığı tahmin ediliyor. Kaba, yoğun toz ve gaz bulutları, galaksi çekirdeğini görmemizi engelledi. Toplam kütlesi gram cinsinden 45 rakamlı bir sayı ile ifade edilebilen Samanyolunun maddesi, kuşkusuz ki, aynı zamanda evrenin bir parçasıdır. Madde, hiç olmazsa bizim galaksimizde, acaba hangi halde hüküm sürmektedir?

Birincisi, gezegenlerarası ve yıldızlararası gaz vardır. Gaz, yersel koşullara göre sıfır yoğunlukta sayılacak kadar seyrektir. İyonlaşmış parçacıkları içermekte olan gaz, değişik şiddetlerdeki her çeşit ışınımlarla delik deşik edilmektedir. Kuşkusuz ki, bu gazın kütleleri, yersel gazlara alıştığımız şekilde uyguladıklarımızdan farklı yasalara bağlı olmalıdırlar.

İkincisi, yıldız maddesi vardır. Yüzeyin altına, derinlere, tasarlayamayacağımız basınçlara kadar sıkıştırılmıştır ve insanın, saniyenin ancak sonsuz küçük kesirleri için laboratuvarda elde etmesini yakınlarda öğrendiği sıcaklıklarla karşılaştırılabilecek kadar ısınmıştır. Yıldızların içindeki madde, yersel ölçülere göre, ne katı, ne sıvı, ne de gazdır. Hakkında henüz çok az bildiğimiz özel bir haldedir.

Bununla birlikte, yıldızlararası gaz ve yıldız tözlerinin çok sayıda ortak yanı vardır, her ikisi de plazma adı verilen bir haldedir. Aslında plazma, pozitif ve negatif yüklü serbest parçacıklardan oluşan çok yüksek-sıcaklık maddesi, yani iyonlaşmış maddedir. Çok yüksek sıcaklıklarda kimyasal tepkimeler olanaksızdır ve bileşik madde moleküllerinden hiç biri var olamaz. Plazmalar içinde, çoğu atomlar, elektronlarından ve elektron kılıflarından soyulmuşlardır. Yıldızları, yoğun plazmanın kaba kümeleri oluşturur. Seyrek plazma ise, gezegenlerarası ve yıldızlararası gaz şeklinde bütün uzaya yayılır.

Evrensel ölçekte, maddenin alışageldiğimiz katı, sıvı

ve gaz hallerine gerçekten çok seyrek raslanır. Katı madde, Samanyolu içinde gözlenen toz bulutları içinde bulunabilir. Güneş sistemindeki bazı gezegenlerin esas olarak gazdan meydana geldiklerine inanılmakla birlikte, birçok yıldıza eşlik eden gezegenlerin, yer gibi, katı olabilme olasılığı vardır. Uygun büyüklükteki katı bir çekirdeğe sahip olan sıvı gezegenler de olabilir. Ama gezegenlerin kütlesi, yıldızlarınki ile karşılaştırıldığında sonsuz küçüktür, ve toz bulutlarının kütlesi, dış uzayı kaplayan plazmanın kütlesi karşısında aynı şekilde küçük kalır.

Katı, sıvı, gaz ve plazma gibi "tartılabilir" hallerin dışında, madde, farklı türlerdeki alanlar şeklinde de bulunabilir: elektromanyetik, gravitasyonal ve elemansal parçacıklar dünyasında çekirdeksel (*nuclear*) alanlar. Sonsuz evrenin tümünde çok olanaklı değilse bile, evrenin geniş bölgeleri birbirleriyle karşılıklı kesişen gravitasyonal ve elektromanyetik alanlarla donanmıştır. Uzayın elektriksel iletkenliğinin büyük olması yüzünden, elektriksel alanların enerjileri manyetik alanlarınkinden çok düşüktür.

Alan, belki de plazmadan daha az bildiğimiz maddesel bir haldir. Alanlar gözle görülemez, kulakla işitilemezler. Örneğin, görünür ışığın ufacık bir bölgesini işgal ettiği elektromanyetik tayfın çoğunu, duyu organlarımız algılamakta yetersiz kalır. Bununla birlikte, alanlar maddeseldir ve onların varlıkları ortaya çıkartılabilir. Böylece, bir manyetik alan, pusula iğnesini kuvvet çizgileri boyunca yönelterek, kendini gösterir. Gravitasyonal alanlar "tartılabilir" maddenin çekim kuvvetlerini taşırlar. Çekirdek alanları, atom çekirdeğinin elemansal parçacıklarını birarada tutar.

Toparlayalım. Gezegenlerarası, yıldızlararası ve galaksilerarası uzayı ziyaret ettik. Evrenin, Mendelyef'in peryodik tablosundaki herkesçe bilinen elementlerden oluştuğunu bulduk. Daha kesin olarak, evren, maddenin çoğunu alışkın olmadığımız plazma halinde içerirse de, evrenin, yersel töz-

lerle aynı elemansal parçacıklardan —protonlar, nötronlar, elektronlar, ve diğerleri— oluştuğunu söyleyebiliriz. Şurada burada maddeyi alışılmış katı, sıvı ve gaz halinde buluruz. Bununla birlikte, bu haller kararsızdırlar, ancak, evrensel ölçekte gerçekten seyrek raslanan, çok özel koşullarda var olabilirler.

Eski filozoflar, fiziksel evrenin dört temel öğeden (element) ya da tözden oluştuğuna inanıyorlardı: toprak, su, hava ve ateş. Bilim geliştikçe, doğanın temel öğeleri kavramları da değişti, ve, modern görüşlere göre, evren, madde ve alan adı verilen iki temel biçimde var olabilir. Madde, katı, sıvı, gaz ve plazma gibi dört halde var olabilir; bilinen alanlar ise, gravitasyonal, elektromanyetik ve çekirdeksel alanlardır. Bunlar doğanın yedi temel öğesidir ki, gözlenebilir evrenin sonsuz çeşitliliği, bu öğelerin karşılıklı düzenlenim (*combination*) ve etkileşimlerine (*interaction*) bağlıdır. İnsan, doğanın öğelerini kendi hizmetine nasıl sokmuştur?

İNSAN EGEMENDİR

Boşluğu araştırmakta kullandığımız düş roketi, aynı zamanda bir zaman makinesidir ve bizi, bin milyonlarca yıl gerilere, büyük karışıklık (kaos) ve yaradılış çağına, güneş sisteminin ve bugün bildiğimiz şekliyle doğanın kendisini yapmakta olduğu çağa götürebilir. O, aynı zamanda bizi, güneşin solgunlaştığı ve gezegenlerin yörüngelerindeki hareketlerin yavaşladığı bin milyonlarca yıl geleceğe de götürebilir. Bununla birlikte, bizim şimdiki amacımızda böyle büyük tutkular yok, ve biz yalnızca birkaç bin yıl gerilere, insan kültürünün başlangıcına yolculuk yapacağız.

Güneşin sıcak ışınları, tepede, bunaltıcı bir biçimde parıldıyor. Görkemli bir ırmak, denize doğru ağır ağır akıyor. Kıyılar boyunca, işlenmiş tarlaların ve meyve bahçelerinin

dar şeritleri uzanıyor. Bunların ötesinde güneş-kavruğu çöllerin sonsuz genişlikleri uzanıyor. Burası, insanlığın beşiklerinden biri, eski Mısır'dır. Piramitlerin en büyüğü olan, Keops piramidinin yapıldığı bölgedeyiz. Yıllar boyu, yüz binlerce insan, her biri 2,5 ton ağırlığındaki 2.300.000 tane kaba yassı taşı yığmaya zorlandı. Taşlar öylesine incelikle yerleştirildiler ki, en keskin bir bıçağın ağzı bile aralarından geçemezdi. Zorla yaptırılan Faruh türbesine, geçen binlerce yıl etki edememiştir. Yapımcıları o türbeyi yükseltmek için ne dev makinelere gerek duymuş olmalılar! Ama, iri, yassı taşları kireçtaşı (kalker) yataklarından ayırmak için kullanılan bakır ve taştan yapılma en basit araçların dışında, sözü edilecek makine bulamayız. Taşçılar, bakır ve taştan testerelerle, matkaplarla ve kalemlerle bu taşların yanlarını yonttular. Keten halatlara koşulmuş on kişilik takımlar, ağaçtan kaldıraçlar ve silindirler kullanarak, blokları taşıdılar, yüzlerce ayak (*feet*) yukarıya yükselttiler. Kuşkusuz, insan burada maddenin yalnız katı haline egemendi.

Çağlar arasından yolculuk ediyor, 2.500 yıl sonra, MS 1. yüzyılda duruyoruz. Yine Mısır'dayız, zamanın masal kenti, büyük kütüphanesi ile, ünlü bilginler, hatipler, bilgeler kenti İskenderiye'deyiz. İşte, değerli mühendis ve mekanikçi İskenderiyeli Heron'un "hava esnekliği (*pneumatics*)" üzerine bir kitabı. Kitap, birçok ustalıklı araç ve makinenin betimlemelerini içeriyor. Yazar, kuşkusuz ki, kendinden önceki birçok bilginin denemelerini derlemiştir. Yüzyıllar önce, Mısır tapınakları, belki de, mihrabında ateş tutuşturulduğunda açılan "büyülü" kapılar ve içine madenî para atıldığında kutsal suyu ilaç haline getirip veren "delikli makineler"le donatılmıştı. Heron'un zamanından bin yıl kadar önce, eski Asya'nın en gelişmiş ülkeleri olan Çin ve Hindistan'da bambu ağacından su çarkları yapılmaktaydı. Bununla birlikte, Heron'un *hava esnekliği* (*pneumatics*), işleyişleri için katılara ek olarak, sıvı ve gaz halindeki maddeleri de

gerektiren makinelerin ilk betimlemelerini sunuyordu. Elbette ki, Heron'un zekice araçları geniş kullanma alanı bulamadı. Onlar, makineden çok, insana işinde yardım eden oyuncaklardı ve sonradan unutuldular. Yalnızca su çarkı geniş uygulama alanı buldu. Ama, akıntı içindeki bir su çarkını döndüren su ve bir yelkenli kayığı ya da yel değirmenini harekete geçiren rüzgâr, insanın üretimde o zamandan beri herhangi bir şekilde değiştirmeden kullanmakta olduğu dış kuvvetlerdir. Bunlar makinenin "parçaları" olmaktan çok, makinenin içerisinde çalıştığı ortamlardır.

Fransız bilim adamı Blaise Pascal'ın sıvı içerisinde basıncın iletimi yasasını bulmasından sonradır ki, 1650 yılında, sıvı madde, çalışan makinenin bir "parça"sı oldu. Çeşitli tiplerde cenderelerin, yükseltme mekanizmalarının ve diğer makinelerin işleyişleri Pascal yasasına dayanır. Gaz ve buhar ise, İngiliz demircisi Thomas Newcomen tarafından "atmosferik" buhar makinesinin bulunuşundan sonra, çalışan makinenin bir "parça"sı oldu.

Ve şimdi geliniz zaman makinemizi bırakalım ve modern bir kentin caddesinde yürüyüşe çıkalım. Otomobiller, minibüsler ve troleybüsler caddenin ilerisine gerisine gidip geliyorlar, gecenin içinde neon ışıklar oynaşıyor, başımızın üstünde bir uçak uğulduyor. Durakta, park edilmiş bir araba duruyor. Gelin, madde ve alanların araba içinde nasıl işe koşulduğunu görelim. Katı haldeki madde, metal, kauçuk, plastik ve cam biçiminde, makinenin belkemiği olmakta devam ediyor, Mühendisler, aynı zamanda sıvı öğeleri de işin içine sokmuşlar. Sürücü, frene ve debriyaj pedallarına basıyor ve sıvı akışını başlatan ya da kesen supapları çalıştırıyor. Pistonlar, kuvveti fren balatalarına iletiyor ya da debriyaj diskine vites değiştirtiyor. Bazı otomobillerin hidrolik debriyajları vardır ki, bunlarda, dönme etkinliğini, motordan hareket şaftına yağ iletir. Eğer bir arabanın birleştirilmemiş motorunu incelerseniz, kaldıraç şaftını delip ge-

çen, çubukları ve diğer parçaları birleştiren sondaj delikleri göreceksiniz. Onların görevi işleyen parçaların yağlanmasını sağlamaktır. Motor şaftları, bir yağ zarı ile dolu ince bir aralıkla taşıyıcılarına yuvalanmışlardır. Mühendisler, sürtünmeleri azaltmak ve yüklü öğelerde açığa çıkacak ısıyı ortadan kaldırmak için yağı bir sıvı parça olarak kullanırlarken, bu zarın şeklini ve kalınlığını hesaplarlar. Görüyoruz ki bir otomobil motoru, gerçekten sıvı parçalar içermektedir.

Oldukça ısınmış gazın genleşmesiyle, otomobilin motorundaki pistonlar hareket ettirilirler. Her ne kadar işleyen her gaz "parça"sının ömrü ancak saniyenin bir kesri ise ve her devreden sonra egzoz borusundan dışarı atılıyorsa da, silindirler içinde genleşen sıcak gazlar, motorun pistonları kadar bir parçasıdır ve hareket için düzenlenmişlerdir. Ve şimdiye değin, böyle "parçalar", mühendislerin planladıkları gibi, tam olarak çalışmaktadırlar.

Otomobil içinde, plazma da iş görür. Yakıt karışımını tutuşturmak için, her dört devrede bir bujinin elektrotları arasında sıçrayan ince elektrik kıvılcımı, kısa-ömürlü bir plazma pıhtısıdır.

Kısaca, her otomobil sürücüsü, katı, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere, maddeyi tüm dört halinde de yönetiyor. Peki, ya alanı? Sürücü kontak anahtarını çevirir ve marş motorunu çalıştırır ki, o da, her ne kadar pistonu hareket ettirici gaz henüz şekillenmiş olsa bile, krank milini döndürür. Dönme, küçük bir elektrik motoru olan marş motoru döneci (*rotor*) tarafından sağlanır. İskenderiyeli Heron, belki de birkaç basit açıklamadan sonra, hidrolik debriyajın, hidrolik frenlerin ve hatta motorun işleyişinin ilkelerini çabucak kavrayacaktı. Ama, Heron, elektrik motoru dönecinin dönmesine neden olan kuvvetlerin tabiatını anlayamayacaktı. Heron, dönece uygulanan ne katı bir çubuk, ne sıvı akışı, ne de genleşen gaz gibi gözlenebilir bir kuvvet bulamayacaktı. Bugün

biliyoruz ki, bir sürücü, arabasının marş motorunu çalıştırdığı zaman, dönecin dönmesine neden olan elektromanyetik alanları karmaşık etkileşimlere sokmaktadır. Bu arada belirtelim ki karanlık bir yolda otomobilin önünden akan ışık demeti de elektromanyetik alana bir örnektir. Otomobilin radyosundaki müzik de uzaktaki bir verici istasyondan bir elektromanyetik alanla taşınmaktadır. Pavel Şilling'in, St. Petersburg'daki çarın kışlık sarayı ile ulaştırma bakanlığı arasına bir telgraf hattı çekerek elektriğin ilk pratik uygulamasını yapmış olmasından bu yana 150 yıldan az bir zaman geçmiş olmasına karşın, elektromanyetik alanlar bugün insanlığa güvenlikle hizmet etmektedir (kuşkusuz elektromanyetik alan kökenli olmalarına karşın, bir ateş ya da parafin lâmbası ışığını hesaba katmıyoruz). İnsanın makinelerinden ancak birkaçı, uysallaştırılmış çekirdek alanlarından yararlanmaktadır, ve kütlesel çekim alanlarından ise yeni yararlanılmaya başlandı.

İnsan doğanın gerçek efendisidir. Onun katı madde üzerindeki egemenliği, büyük piramitlerin yapıldığı günlerden bu yana, sınırsız artmıştır. O, gereksinmelerini karşılamak üzere yeni tözler yaratmıştır: çelik ve yapma kauçuk, plastikler, silikonlar ve diğer tözler. O, maddenin öylesine örtülü gizlerini bulmuş ve kullanma alanına sokmuştur ki, eski zaman bilgeleri bunları hiç bir zaman düşleyememişlerdi bile: elektrik alanı etkisi altındaki genleşme ve büzülme özelliklerinden dolayı "konuşan" ve "şarkı söyleyen" piezoelektrik kristaller; güneş ışığını elektriğe dönüştüren saf silikon; hiç bir etki olmadan ışık ve ısı oluşturan radyum. İnsan, sıvıların özelliklerini kullanmayı öğrenmiştir, ve içlerinde bulunan sıvılarla işleyen hidrolik presler, türbinler, taşıma aygıtları ve servomekanizmalar* kurmuşlardır. O, gazlar ve

* *Servomekanizma* (*servomechanism*), genellikle negatif geri besleme içeren sistemlerde, sistemin, küçük etkilere karşılık, büyük bir mekanik hareketle cevap vermesidir. —ç.

buhar için, buhar motorları ve türbinlerinde, hava birleştirme aygıtları ve frenlerinde, delme makineleri ve güç aletlerinde uygulama yerleri bulmuştur. Gaz püskürmelerinin (*jet*) kullanılması ile gaz-türbinli uçakların pervaneleri dönüyor ve roketler dış uzayın içlerine doğru taşınıyor.

Plazma uygulamaları şimdilik pek fazla değil: gazışıl (*luminescent*)* lâmbaların soğuk parlamaları, kıvılcımlı aşındırıcı torna makineleri, ark ışınları, civalı doğrultuculardaki elektrik kıvılcımları. Plazmanın gizleri ve yasaları ile ilgili bilgimiz bölük-pörçüktür ve bunun elverişli kılınması geleceğin bir işidir.

Kuvvet alanları yönünden işler daha da kötüdür. Yalnızca elektromanyetik alan gerçekten incelenmiş ve işe sokulmuştur. Çekirdeksel alanlar da atom-güçlü fabrikalarda, buzkıran (*icebreaker*) *Lenin* gibi nükleer-güçlü gemilerde, duyarlı araçların radyum-gazışıl göstergelerinde ve kötü huylu urların tedavisi için kullanılan kobalt tabancalarında işe sokulmuştur. Ve hemen hiç uygulanmaya sokulmamış olanlar, kütlesel çekim alanlarıdır. Kuvvet alanları gizlerini henüz insanın önüne sermemiştir.

KATILAR, SIVILAR VE GAZLAR

İnsan, katıları, sıvıları ve gazları yöneten yasaların içinde daha derinlere indikçe, onlar arasında daha çok ortak yanlar buldu. Maddenin bu üç hali arasındaki ana farklılıklar nelerdir?

Katılar, bazı hallerde çok büyük olması gereken kuvvet uygulandığında, ancak değiştirilebilen belirli hacim ve belirli biçime sahiptirler.

Sıvılar ancak belirli bir hacime sahiptirler, biçimleri

* *Gazışı* (*luminescence*), bir cisimin sıcaklıktan başka nedenlerle ışık salmasıdır. *Flüorışı* (*fluorescence*) ve *fosforışı* (*phosphorescence*), gazışının iki özel halidir. —ç.

yoktur. Yersel koşullarda sıvılar, genellikle, onları içeren kapların biçimini alırlar.

Gazlar ne hacime ne de biçime sahiptirler, ve içinde bulundukları kabın bütün hacmini doldururlar.

Farklar görünüşte büyüktür, ama bazı koşullarda, madde, bulunduğu hal ile uyuşmaz gözüken yollarda da hareket edebilir. Mermer, serttir ve kolay kırılır, ama birkaç yüzbin atmosferlik* basınç altında bir sıvı gibi akmaya başlar. Yüksek basınç altında atomların yer değiştirmesine neden olan kuvvetler, atomları kristal örgüsü içinde birarada tutan kuvvetlerden daha büyüktür. Kristal içindeki elektrostatik tabiatta olan bağlar çöker ve atomlar, akışkanlarda olduğu gibi, bağımsız hareket etmeye başlarlar.

Diğer yandan, bağıl olarak düşük sıcaklıklarda, bir gaz, atomik kohezyon kuvvetlerinin ortaya çıktığı bir dereceye kadar sıkıştırılabilir ve gaz, bir gaz olarak kalmasına karşın, bir katı gibi davranır.

İtfaiye hortumu ağzından çıkan bir su püskürmesi, bir damla saçılmaksızın, katı bir çubuk görünümünde dikey olarak yükselir. Eğer ona tahta bir değnekle vurursanız, birkaç damlayı ağızlığın dışına sürebilirsiniz, ama sanki

---

MATEMATİK DİLİYLE

BERNOULLİ DENKLEMİ

Bernoulli denklemi, bir akışkanın, zamandan bağımsız olan düzenli akışını betimler. Denklem, iç sürtünmeler ve akan sıvının farklı bölümleri arasındaki ısı alış-verişine bağlı enerji kayıpları önemsenmediğinde, akışın her kesiti için toplam enerjinin aynı olduğu düşüncesinden çıkar. Enerji bir şekilden başka bir şekle dönüşür, ama toplamı değişmez.

Örneğin, bir boru boyunca gaz akışında, enerji hangi şekillerde var olabilir? İlk olarak, E_k şeklinde gösterilen, hareketin

* Bir atmosfer (atm), deniz düzeyinde havanın normal basıncıdır; 1 atm = 1 kg/cm² = 14,7 lb/in².

demir bir çubuğa çarpmışçasına değneği kırabilirsiniz de. Hidrolik ekskavatörlerde güçlü su püskürmeleri kullanılmaktadır. Elektrikle işleyen bir pompa, 6 ile 20 atmosfer arasındaki bir basınçta suyu ekskavatörün ağzına getirir. Kaba görünüşlü su püskürmesi, yağ içerisinde bir bıçak gibi, yumuşak kayaları keser. Usta bir işçi, iri kaya parçalarını biçer, dilimlere ayırır ve dilimleri suyla uzaklaştırır. Hidrolik ekskavatörler maden kömürü ocaklarını kazmakta bile kullanılırlar. Bununla birlikte, böyle bir "katı" püskürme içindeki su moleküllerinin, katılar içindekilere benzer bağlarla birleştiği düşünülmemelidir. Burada sıvı, bir sıvı olarak kalmakta, onun dikkate değer özellikleri yüksek hızlı çarpmalardan ileri gelmektedir.

Bazı koşullarda katılar ve gazlar benzer özellikler gösterirlerse de, gazlar ve sıvılar arasındaki benzerlikler, açık olarak daha fazladır. Bu benzerlikler, aynı yasalara uyan sıvıların ve gazların çoğunlukla ortak akışkan başlığı altında toparlanmaları ve pek çok ortak yanları bulunan sıvı ve gazların özelliklerinden yararlanmak için yapılan düzenlemelerde görülebilir. Bir denizaltı ile, yönetilebilen bir balon arasında büyük bir farklılık olduğu açıktır. Ama, her ikisi de,

---

kinetik enerjisi. Birim kütle için,

$$E_k = \frac{u^2}{2} \text{ 'dir}$$

ki burada u, akış hızıdır.

İkinci olarak, potansiyel enerji. Eğer bir gaz basınç altında ise, genleşmesi sırasında iş yapabilir. Potansiyel enerjiyi E_p ile simgeleyerek, gazın birim kütlesi için,

$$E_p = \frac{k}{k-1} \frac{p}{\rho}$$

yazılır ki burada p basınç, ve ρ gazın yoğunluğudur, ve

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

gazın sabit basınçtaki ve sabit hacimdeki ısı sığalarının oranıdır. Hava için $k = 7/5$'tir.

Üçüncü olarak, bir akışkan, yerçekimi potansiyel enerjisine

bir akışkan içerisine batırılan katı bir cismin, cisim tarafından yeri değiştirilen akışkanın ağırlığına eşit, yüzdürücü bir kuvvetin etkisinde kalacağını ifade eden Archimedes'in ünlü yasasına dayandırılmıştır.

Eğer bir cisim, yerini değiştirdiği sıvıdan daha hafifse, cismin ortam içinde yükselmesi apaçık bir sonuçtur. Denizaltılar, bu yoldan, denge depolarından suyu dışarıya pompalayarak, yüzeye yükselirler. Balonlar ve güdümlü balonlar (*dirigible*), bu yoldan, hava içinde önemli yüksekliklere kadar yüzerek yükselirler. Bu, dibine birleştirilmiş çelikten, küresel bir odası ile denizaltıya benzeyen bir denizdibi araştırma gemisinde, *bathyscaphe*'da da kullanılan ilkedir. Oda, çok büyük su basıncına dayanabilmektedir ve kuvarsla kaplı gözetleme pencereleri ile donatılmıştır. *Bathyscaphe*'ın safra depoları petrol ile doldurulmuş ve demir safra, güçlü elektromıknatıslarla dibe tutturulmuştur. Mürettebatı ve safra ağırlığı ile yer değiştirdiği sudan fazla gelen *Bathyscaphe*, okyanusun dibine doğru dalar. *Bathyscaphe*'ın eriştiği rekor derinlik 35.300 ayaktır (*feet*).

Bir uçak, bir okyanus yolcu gemisinden daha fazla yukarı kaldırılıyormuş gibi gözükür. Ama bir uçak pervanesi

---

de sahiptir. Eğer bir gaz bir tüp içinde yukarıya akıyorsa, yerçekimi potansiyel enerjisi yükseklikle artar. Birim kütlenin yerçekimi potansiyel enerjisini E_g ile gösterdiğimizde;

$$E_g = gh$$

elde ederiz, ki burada h, yükseklik, ve $g = 9{,}8$ m/sn^2 yer yüzeyindeki yerçekimi ivmesidir.

Bernoulli denklemi, verilen bir akışkanın akışı için, bu üç şekildeki enerjiler toplamının sabit, yani:

$$E_k + E_p + E_g = \text{sabit}$$

olduğunu belirtir. Birim kütle için bu anlatım,

$$\frac{u^2}{2} + \frac{k}{k-1}\frac{p}{\rho} + gh = \text{sabit}$$

şekline girer.

Bu denklemden birçok ilginç sonuç çıkartılabilir. Çapı değişen

ile gemi uskuru aynı ilkelere dayanır ve öte yandan dümenleri de aynı tür ustalığın ürünleridir. Eskiden su gemilerinin kanatları yoktu, şimdi su altı kanatları ya da hidrofoilleri bulunan gemiler yapılmaktadır. Hidrofoil gemi adı verilen böyle bir gemi, demir attığında diğer gemilere çok benzer. Ama hareket edince foilleri üstünde yükselir. Su boyunca foillerin hareketi, uçuş sırasında bir uçağa destek olan kuvvet ile aynı türden olan bir kaldırma kuvveti oluşturur. Bu kuvvet, geminin teknesini suyun dışına doğru yükseltir, bu nedenle direnci önemli ölçüde azaltır, ve bunun sonucu olarak, hızı artırır.

İnsanın güç üreten ana makinesi türbindir — hidrolik, buhar ve gaz türbinleri. İlk bakışta, onlar çok fazla benzer gözükmezler, ve mühendis olmayan biri, örneğin hidrolik ve buhar türbini arasındaki ortak görünümleri kolaylıkla ortaya çıkaramaz. Ama her ikisinin pervane kanatları aynı yasalara göre çalışır, yalnız momentum, hidrolik türbin durumunda sıkışmasız su tarafından sağlanırken, buhar türbini durumunda genleşen gaz tarafından sağlanır. Mühendis ve bilim adamları, birçok hesaplamalarda, havanın sıkışabilirliğini önemsemezler ve onu çok hafif bir sıvı gibi işleme so-

---

bir boru içinden bir gazın akışını düşünelim. Gazın kütlesi, apaçık olarak aynı kalmalıdır, buradan,

$$\rho us = \text{sabit}$$

olur ki, s, borunun kesit alanıdır. Eğer hareket adiyabatik bir şekilde yani ısı kazancı ya da kaybı olmaksızın oluyorsa, basınç ve yoğunluk arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^k$$

ki burada p_1 ve ρ_1, sıra ile, ilk basınç ve yoğunluktur. Bu, Poisson'un adiyabatik denklemidir. Bu denklem, verilen bir ortam içinde sesin a hızını tayin etmekte kullanılabilir:

$$a^2 = \frac{kp}{\rho}$$

Bir akışkanın yatay hareke-

karlar. Özet olarak, önemli farklılıklarına karşın, katıların, sıvıların ve gazların çok sayıda ortak yanları vardır.

Ya plazma? Plazmanın özellikleri, katıların, sıvıların ve ona en fazla benziyor gözüken gazların özelliklerini andırır mı?

---

tinde, h = sabittir, ve Bernoulli denklemi,

$$u^2 = \frac{2}{k-1}(a_0^2 - a^2)$$

basit şeklini alır ki burada a_0 durağan sıvı içinde sesin hızıdır.

Şimdi bir uçak kanadına gelip geçen gaz akışını gözönüne alalım. Akıntının, kanadın üstünden geçen kısmı altından geçen kısmından daha hızlı hareket etmelidir, öylesine ki baş taraftaki ucundan kuyruktaki ucuna kadar olan uzaklığı aynı zamanda alsın. Ama bir akışkan daha hızlı hareket ettiğinde, içindeki basınç daha düşüktür. Bu nedenle, kanadın üstünde, bir düşük basınç bölgesi gelişir ki bu bölge kanadı yukarı doğru "içine çeker". Havada madenî bir yüzeyin (*airfoil*) kaldırma kuvvetinin doğma nedenî budur.

Bernoulli denklemi, sıkışmalı ve sıkışmasız akışkanlar ($k \to \infty$ ve $E_p = \frac{p}{\rho_0}$ olduğunda) için değişir ve denklemin bileşenleri, farklı fiziksel nicelik terimleri ile ifade edilebilir.

[İKİ]

PLAZMA

MADDENİN DÖRDÜNCÜ HALİ

Biri plazmadan söz açınca, kafasındaki plazma türünü daima tanımlamalıdır. Önceden de belirtildiği gibi, plazma, iyonlaşmış atomlar (iyonlar) ve serbest elektronlarla, bütün atomların ve hatta bazan gaz moleküllerinin irili-ufaklı serpintilerinin bir karışımıdır.

Her ne kadar, soluduğumuz hava dahil, bütün gazlar daima bir miktar iyonlaşmış atom ve serbest elektron içerirlerse de, plazmaların özellikleri bu gazlarınkinden önemli ölçüde ayrılır. Plazmalarda atomlar uyarılmış durumdadırlar, aralarında sürekli bir elektron alışverişi olur ve iyonlar ve elektronlar gelişigüzel hareketleri sırasında sürekli olarak çarpışırlar. Bu süreçlere, plazmanın ışıldamasından sorum-

lu olan foton salınması eşlik eder. Kuşkusuz ki, gazlar, olağan koşullarda ışıldamazlar.

En basit tipte plazma, yalnızca bir kibrit çakılması ile oluşturulabilir. Küçük sarı alev plazmadır. Hava bir yalıtkandır, yani bu, normal olarak elektriği iletmez, demektir. Havanın bu özelliği, gelişigüzel bir örnek olarak, radyo alıcımızı bir radyo istasyonuna akortlamakta kullandığımız değişken sığalarda kullanılmaktadır. Öte yandan, plazma, elektrik için oldukça etkin bir iletkendir.

Plazmalar, yüksek sıcaklıklarla birlikte olmak zorunda değillerdir. Flüorışıl (*fluorescent*) bir tüp içindeki oldukça seyrek gazın ışıldaması, plazma nedeniyledir. Ama, tüp dokunulmayacak kadar sıcak değildir. Bununla birlikte, eğer sıcaklık, ortam parçacıklarının hızları ile belirli olan ortalama kinetik enerji olarak tanımlanırsa, flüorışıl (*fluorescent*) bir tüp içindeki plazmanın sıcaklığı yüksektir. Tüp içerisindeki elektronlar ve iyonlar binlerce derecelik sıcaklıklara karşılık gelen hızlarla yolculuk ederler (gerçekte, hafif olan elektronlar, daha ağır olan iyonlara göre, daha hızlı hareket ederler, iyonların büyük kütleleri ivmelenmeye daha büyük direnç gösterir). Öyle ise, böylesine yüksek sıcaklık içeren cam tüpün neden kaynamadığı sorulabilir. Nedeni, plazmanın seyrekliği içinde yatmaktadır. İyonların ve elektronların çeperlere çarpmaları, pek fazla enerji aktaramayacak kadar seyrek olur.

Roketler ve yapma uyduların yardımı ile yapılan üst atmosferin sıcaklık ölçümleri, 500, 800 ve daha yüksek santigrat derecelere kadar ısınmış hava tabakaları ortaya çıkarmıştır. Yer, içerisinden geçen uzay gemisini oldukça ısıtacak kadar, akkor halindeki bir gaz bulutu ile çevrilmiş gözüküyor. Halbuki durum öyle değildir, ve atmosfer yukarlarda öylesine seyrektir ki bir cismi mutlak sıfırın üstünde ancak birkaç dereceye kadar ısıtabilir. Üst atmosferde bir cismin sıcaklığı, büyük ölçüde, güneşin ve yerin ışınımları (*radiati-*

on) tarafından belirlenir.

Kibrit alevinin sıcaklığı, içten-yanmalı bir motor silindirinin içindeki yakıtın yanmasındaki, bir roket motorunun ağzındaki ya da dinamitin patlamasındaki gaz meşalesinin sıcaklığı ile karşılaştırıldığında pek fazla değildir. Bundan dolayı, plazmanın "saflığı" ve gazların iyonlaşma düzeylerinin daha yüksek olması gerekir.

Kimyasal tepkimelerin üst sıcaklık sınırı 6.000-8.000 derece dolaylarındadır. Bu sınırın ötesinde "gerçek" plazma durumu ortaya çıkar, ama bu durum henüz çok iyi incelenmemiştir, çünkü laboratuvar koşullarında biraz yüksek sıcaklıkları ancak çok kısa zaman dönemleri için elde edebilmekteyiz.

Yapılan bir deneyde, iki elektrodu birleştiren ince bir tel içinden güçlü bir akım geçirildi. Tel aniden buharlaştı, akımı iletmeye çok kısa bir süre için bile devam edecek kadar genleşmediğinden, buharın sıcaklığı daha yükseklere çıktı. Böylece, güneş yüzeyinin sıcaklığından 2.000 derece kadar daha yüksek, 8.000°C dolaylarında bir sıcaklığa sahip, ufacık plazma bulutu elde edildi.

On binlerce derece dolaylarında sıcaklıklar elde etmek için bir düzenek, sarsıntı (*shock*) tüpüdür. Seyreltilmiş gaz dolu bir tüp içinden, sesin yayılma hızının 10 katı hızla hareket eden bir sarsıntı dalgası, gazı 3.000° sıcaklığa kadar ısıtabilir. Daha yüksek hızlar, daha yüksek sıcaklıklar sağlar. Bunlar, hemen hemen 10.000 derece sınırının altındaki sıcaklıklarda plazmaları oluşturmak için bilinen yöntemlerdir. Hiç bir bilim adamının, henüz, bu nokta ile bir milyon derece dolayları arasında değişen dereceleri incelemeye gücü yetmemiştir. Sovyet Bilim Akademisi üyelerinden A. Saharov ve İgor Tam tarafından geliştirilen usta bir yöntemle, Sovyet bilim adamlarının başarmakta oldukları daha yüksek sıcaklıklardan daha sonra sözedeceğiz. Bu sıcaklıkların ötesinde bir başka uçsuz-bucaksız *terra incognita** uzanmak-

tadır. Bu ölçüdeki pek-yüksek sıcaklıklar, doğada, maddenin incelenmesini engelleyecek şekillerde, yeterince sık sık ortaya çıkar. Yıldız yüzeylerinin 6.000'den 20.000'e, hatta daha yüksek derecelere ulaşan sıcaklıkları vardır. Bir çekirdeksel (*nuclear*) patlamanın ortaya çıkardığı sıcaklık, bir milyon derece dolaylarındadır. Güneşin içinde de sıcaklık bir milyon dereceden fazladır, ve 10 milyona kadar olması mümkündür, ve en sıcak yıldızların içinde belki de bin milyonlarca derecedir. Bu sıcaklıklar, fizikçilerin düşüncelerine göre, demir, titan, manganez, kobalt, nikel, bakır ve çinko çekirdeklerinin oluşumunun gerçekleştiği sıcaklıklardır. Bununla birlikte, yıldızların içindeki pek-yüksek sıcaklıklar, böyle koşullar altındaki maddenin özelliklerini incelememize izin vermez.

Birçok bilim adamı, 10.000 ile on milyonlarca dereceler arasındaki yüksek-sıcaklık plazmalarının incelenmesi ile uğraşmaktadırlar. Plazma püskürmesini yapan düzeneklerden biri, bir uçta, ortasında oyuğu bulunan grafit bir fiş ve içinden diğer uca giden bir grafit elektrot ile, bir silindir görünümündedir. Elektrik kaynağının pozitif kutbu silindirik elektroda, negatif kutbu halka elektroda bağlanmıştır. Elektrik akımı verildiğinde silindir içerisinde bir elektrik arkı oluşur ve oyuktan 2 ayak (*feet*) uzunluğunda bir plazma püskürmesi yayılır. Plazmanın oluşma mekanizması aşağıdaki gibidir. İki elektroda bir gerilim (potansiyel) farkı uygulanması, bir elektrik alanı oluşturur. Aracın içinde varolabilen serbest elektronlar kısa sürede pozitif elektroda yöneltilirler. Böyle bir elektron, havadaki bir moleküle çarpınca, molekülü iki iyona ayırır ve birçok yeni elektron açığa çıkar ki, bu elektronlar da anoda doğru hareketleri sırasında havanın molekül ve atomları ile çarpışırlar. Silindir içindeki hava, çabucak, içinde elektronların anoda doğru hızla uçtuğu ve yavaş iyonların katoda doğru hareket ettiği bir plazma akıntısına

* Bilinmeyen topraklar. —ç.

dönüşür. Çarpışmalar daha sıklaşır, sıcaklık yükselir ve plazma parıldamaya başlar. Sıcaklık, pozitif iyonların anot yüzeyinden sökülüp atılacağı kadar çok yükseklere çıkarsa, alev sıcaklığı 4.000° dolaylarında olan bir elektrik arkı gelişir. Kuşkusuz ki, bu sıcaklık, silindir maddesinin dayanabileceğinden daha fazladır. Duvarlarını soğutmak için silindirin içerisine hava körüklenir ve körüklenme işlemi plazmayı, ince, oldukça iletken sütun halinde sıkıştırır, plazma darlığı (*pinch*) adı verilen bu sütun boyunca akım daha büyük oranda geçer. Plazma, kendi manyetik alanının daralma etkisi (*pinch effect*) ile daha fazla daraltılır ve sıcaklık daha yükseklere çıkar: görünmez manyetik halkalar plazmayı kauçuk bir set gibi sıkıştırır ve aracın ön duvarındaki oyuğundan göz kamaştırıcı, ince keskinlikte akkor haldeki iyonlaşmış gazların yoğun püskürmesi yayılır. Bu, gerçek bir plazmadır, pratik olarak içindeki bütün atomlar iyonlaşmıştır ve yapısı büyük ölçüde kendi elektriksel alanı tarafından belirlenir.

Betimlenmiş olan düzenek, sanayide birçok uygulama yeri buluyor. Metalurji, inşaat, madencilik ve diğer alanlarda kullanılabiliyor. Plazma püskürmesi, çeliği, sıcak bir bıçağın yağı kestiği gibi, kesebilir. Sert kayalar içinde en iyi elmas matkaplardan daha hızlı olarak oyuklar açabilir. Tungsten gibi kimsenin sıvı şekilde hiç görmediği erimez madenleri eritmekte ve dağıtmakta kullanılabilir.

Yukarda anlatılan ilkeye göre işleyen sınaî plazma meşaleleri, Moskova'da Baykov Metalurji Enstitüsü tarafından üretilmektedir. Yapılış ve işleyiş bakımından basittirler ve hiç bir özel yardımcı gereci gerektirmezler. Böyle bir meşale, oksijen-akısı ile kesmeye genellikle tam bir direnme gösteren, 15 mm'lik paslanmaz çelik levhasına 3 mm'lik çok düzgün, dikdörtgen bir delik açabilir. Plazma püskürmeleri, ince, paslanmaz çelik yapraklara kaynak yapmakta kullanılabilir. Kaynak yerinin mekanik özellikleri, metalin kendisinden

pek farklılık göstermez. Plazma meşalesi metalleri yontabilir, oldukça düzgün yivler açabilir. Plazma meşalesi, kaplama uygulamalarında kullanılabilir, bu durumda kaplama maddesi toz halinde gaz akıntısı içine sürülür ya da çubuk şeklindeki bayağı madde, püskürme içine tutulur. Plazma kesiciler, ticarî amaçlarla imal edilmişlerdir ve diğer metalkesici makineli araçlarla birlikte kullanılmaktadırlar.

İkinci Dünya Savaşı sırasında, Sovyet bilim adamı Profesör G. İ. Babat, plazma halkaları ile bir dizi deney yaptı, top güllesi fırlamasına benzer davrandıklarını buldu. Benzer deneyler, sonraları daha büyük bir ölçekte, Amerikan bilim adamlarınca sürdürüldü. Plazma halkası elde etme yöntemlerinden biri, biraz büyükçe yüksüğü andıran bir aygıt gerektirir. Hidrojenle doyurulmuş iki titan elektrot yüksüğün kapak ucundan geçirilir ve bir elektrik atımı (*pulse*) uygulanır. Elektrotlar arasında bir elektrik arkı oluşur. Ark, yarım daire içinde bir plazmaya genleşir ve sonradan ayrılır, bir halkaya dönüşür ve saniyede 200 kilometreye ulaşan bir hızla, ok gibi fırlar. Bu, dış uzaya atılan bir roketten 10 kez daha hızlıdır. Boşluk içindeki plazma halkaları bazı önemli özellikler gösterir: manyetik alanlar içinden pratik olarak etkilenmemiş gibi geçer, iki halka, çarpışmaları sonucu çoğu zaman lâstik toplar gibi geri sekerler; bir halka bozulduğunda yıkıntı dağılmaz ve ilk durumunu yeniden kurmaya çalışır; birçok halkanın etkileşimi sarmal (*spiral*) ve *S*-şeklinde galaksileri andıran karmaşık şekiller oluşturur. Bunların hepsi kararlı değildir ama bazı plazma şekillenimleri ardışık deneylerle, büyük zorluklarla da olsa, yeniden oluşturulabilir.

Bu bölümde anlatılan plazmalar, 10.000°C'a kadar olan daha "düşük-sıcaklık" bölgesine aittir. Bu alt sınırla bir milyon derece arasında, geniş, araştırılmamış bir bölge uzanmaktadır ki, bu bölgede incelemeler artan bir ölçüde sürdürülmektedir.

Bilimin gelişmesi, sık sık, ilk keşiflerden son saldırıya ve düşman ülkesini kuşatmaya kadar, bir askerî savaşın aşamaları ile karşılaştırılır. Bilimsel gelişimin cephesi yeteri kadar gerçektir ve laboratuvarlardan ve sanayilerden, pilot fabrikalar ve deneysel düzeneklerden geçer. Bir bilimsel savaş, katılanlar açısından, en az bir askerî savaşın erlerinin gerektirdiği kadar cesaret, yüreklilik, bağlılık ve çoğu kez fiziksel dayanıklılık ve yiğitlik gerektirir.

Antartika kıtası. Termometrenin genellikle sıfırın altında 90 derece santigrata düştüğü, dünyanın en soğuk yeri. Bizim gibi ılıman bölgede oturan kimselerin hiç bir zaman göremeyeceği, içe işleyen rüzgârlar. Orada, erişilmez kutuptaki plastik yapılarda, bilimin cephesindeki savaşçılar yaşıyor. Elektrikle ısıtılan elbiseler ve koruyucu maskeler giyerek, sıkı bir programa göre araç ölçümlerini almak için, plastik barakalarının sığınağından çıkıyorlar. Bu insanların, köklü bilgi edinmek için düşman hatlarını geçen ileri gözetleyici askerlerden daha az yürekli olduğunu kim söyleyebilir?

Pırıl pırıl temiz bir laboratuvar. Parlak gün ışığı geniş pencerelerinden içeri giriyor. Beyaz gömlekli insanlar, tüylü pamuk yumaklarla ağızları kapatılmış test tüpleri ile dolu bulunan bir masanın çevresinde toplanmışlar. Şimdiye kadar devasız olan bir hastalığa karşı yeni bir serum hazırlanmakta. İnsan üzerinde, dönüm noktası olabilecek bu test dışında her test uygulanmış. Bu yeni tıpla tedavi görecek ilk hasta kim olacaktır? Çok kez, bilimin hizmetine hayatını koyan kâşifin kendisidir ve adı anılan nice ünlü bilim adamı savaş alanındaki bir asker gibi hayatlarını kurban etmişlerdir.

Savaşta olduğu gibi, bilimde de her şey olabilir. Yalıtılmış kalelerin öylesine sürüncemeli kuşatmaları olabilir ki, doğa, bu kaleleri, ancak daha güçlü silahlar —daha büyük

bir teleskop ya da daha iyi bir mikroskop— eyleme sokulduğunda teslim eder. Bir yeni buluşun, bilimin birçok alanında birden hızlı bir gelişmenin kıvılcımlarını attığı ve doğanın, geniş cephenin gerilerine çekildiği büyük aşamalar vardır. Fizikte "izleyici" ("*tracer*") atomlar yönteminin bulunuşu, tıpta, yerbilimde, bitkibilimde ve diğer birçok bilimde büyük kazanımlara yolaçtı. Düşman gerilerinde, derindeki bir kaleyi öncüler takımı tutsak aldığında, bilim, geniş yandan çevirme hareketlerini de bilir. Sovyet bilim adamlarının pek yüksek sıcaklıklı plazmalar alanının içlerine girmesi böyle bir aşamadır.

Sıcaklık ölçeğinde yukarı doğru tırmanma, azar azar, derece derece, normal sıcaklıktan mutlak sıfıra kadar, aşağı inişte olduğu gibi aynı modeli izlemeliydi. Sıcaklıktaki bin-derecelik aralığın, onlar ve sonra yüz binlerce derecelerle milyon-derece noktasına kadar izlemesi doğal gözüküyordu. Ama, gerçekte meydana gelmiş olan ise, bilim adamlarının on ve yüz binlerce dereceleri geride bırakarak, milyonlarca derecelik sıcaklıkları elde etmeleri ve incelemeleridir. Böyle derin bir çevirme hareketini olanaklı kılan düşünce, zamanın genç mühendisi Saharov ve Tam tarafından geliştirilmiştir. Bunlar, pek yüksek sıcaklıklardaki plazmaları içinde tutma yetisinde bir havuz planladılar.

Su, camdan bir sürahinin, ağaçtan bir fıçının ya da demirden bir kovanın içinde tutulabilir. Birinin, kaya tuzundan bir kap yapması ise zor olacaktır. Kaya tuzundan yapılacak kabın içindeki su, her zaman tuzlu olacaktır ve sonunda yanları ve dibi çözerek dışarı akacaktır. Farklı türlerden sıvılar farklı türlerden kapları gerektirir. Hidroflorik asit, cam ve demiri çözer, ama platin ya da balmumundan bir kap içinde saklanabilir. Platin ise hidrojeni soğurduğundan, sıvı hidrojen için büsbütün elverişsiz olacaktır. Erimiş demir, erimez tuğla ile kaplanmış kocaman kaplarda muhafaza edilir. On ve yüz binlerce ve milyonlarca derecelik sıcaklığa

kadar ısıtılmış plazmayı, nasıl bir kap içinde tutabilir? Gereken sıcaklıklarda, katı olarak kalmaya yetenekli hiç bir maddenin olmadığı şüpheden uzaktır. Önemli sorun, plazmayı soğuk çeperlerle değmeye girmekten alıkoymaktır. Plazma, ısı iletkenliği herhangi bir diğer maddeninkinden milyonlarca kez yüksek olduğu için, birden soğuyacaktır. İki telefonu birleştiren, 100 kilometre uzunluğunda bir tel düşününüz. Eğer böyle bir tel, plazmanın ısı iletkenliğine sahip olsaydı, telin bir ucundaki ateş, yarım saat içinde, diğer ucunda bir ateşe neden olacaktı; eğer dış ortama hiç bir ışıma olmasaydı, sıcaklık, sıcak uçtakinden çok az küçük olurdu.

Saharov ve Tam, "çeperleri" manyetik alan olan bir kap tasarladılar. İlk deney, dokuzyüzellinin başlarında başarıldı. Kalın çeperli bir cam tüp aldılar ve tüpü çekirdeğinde bir nötron ve bir proton (bayağı hidrojenin çekirdeğidir, tek proton içerdiğinden böyle anılacaktır) bulunan ve hidrojenin bir izotopu olan, oldukça seyreltilmiş döteryumla doldurdular. Tüpün uçlarına iki elektrot tutturdular, bir kondansatör bataryasını güçlü elektrik yükü ile doldurdular ve elektrotlara uyguladılar. Birkaç milyon amperlik akım, sanki bir elektriksel Niagara gibi, döteryum içine püskürtüldü. Ancak kısa bir an süren akımın gücü, dünyanın en büyük hidroelektrik santrallarınkinden daha büyüktü.

Böyle bir akım, tüpün yüzeyinde güçlü bir elektromanyetik alan oluşturur. Döteryum, önceden anlatıldığı şekilde plazmaya dönüşür. Elektromanyetik alan, bilim adamlarının tam umdukları gibi, yüklü parçacıkların tüpün orta çizgisi boyunca ince bir sütun halinde toplanmasına neden olur. Hiç bir yüklü parçacık manyetik alan içinden kaçamaz. Plazmanın büzülmesi öylesine büyüktür ki, darlık (*pinch*) içerisindeki basınç milyon kat artar. Bilindiği gibi, bir gazın sıcaklığı basınçla artar. Eğer havası inmiş bir bisiklet lastiğini pompaladıysanız, pompa dibinin ısındığının farkına var-

mışsınızdır. Bu ısınma pistonun sürtünmelerinden değil, çünkü sürtünmeler [silindirin] tüm uzunluğu için aynıdır, havanın sıkışmasından ileri gelmektedir. Aynı şekilde darlığın (*pinch*) hızlı daralması, bir milyon dereceye bir sıcaklık sıçraması yaptırmaktadır.

Ne yazık ki, bu süreç oldukça kısa ömürlüdür, ancak saniyenin sonsuz küçük bir kesri içinde bitip gider. Plazma darlığının (*pinch*) iç basıncı, genleşmeye neden olur. Genleşme, plazmanın iç basıncı ile manyetik alanın sıkıştırma kuvveti arasındaki denge noktasından geçince, plazma tekrar büzülür: sütun, nabız gibi titreşir.

Deneyi ilk gözleyen bilim adamları bazı garip görünümlerle karşılaştılar. Plazma, on binlerce derecelik "soğuk" plazmadan tamamen ayrı idi. Renksizdi ve hemen hemen saydamdı ve, umulabileceği gibi, pek de göz kamaştırıcı bir ışıkla parlamıyordu. En büyük daralma sırasında darlık, aniden, x-ışınları ve nötronlar kusuyordu. Bir diğer garip özellik de, plazmanın ısınması sırasında tayftaki döteryum çizgisinin önemli ölçüde genişlemesiydi.

Bilim adamlarını, yalnızca elektrik boşalmalarının gücünü gittikçe artırma yolu ile daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktan alıkoyan nedir? Ne yazık ki, büyük bir engel vardır. Yüksek sıcaklıklarda ışıma (*radiation*) yoluyla enerji kayıplarının, sıcaklık artışına göre daha hızlı arttığı saptanmıştır. Yüklü parçacıklara karşı geçirmez olan manyetik çeperler, yük taşımayan nötronlara karşı saydamdır. Daha da önemlisi, çeperlerin, görünür ışığa, x-ışınlarına, radyo dalgalarına ve enerjiyi uzaklaştırarak sıcaklığı aşağılara düşüren diğer ışımalara karşı saydam olmasıdır. Sovyet laboratuvarlarında ulaşılan en büyük sıcaklık 40 milyon derece C (santigrat) dolaylarındadır.

Onlarca yıl önce, bazı bilim adamları, bilinen kömür ve petrol rezervlerini tahmin ettikleri ve yakıt tüketimindeki hızlı artma ile karşılaştırdıkları zaman, insanlığın, sonunda bir yakıt açığı felâketiyle karşılaşacağı sonucuna vardılar. Bu bilim adamları çirkin bir tablo çizdiler. İlk olarak, petrol rezervleri uzun yıllarda boşaltılacak gibi değildir. Yer insanlarının kara kanı üzerine yapacakları incelemelerinde, toplam petrolün şimdilik yarısının bile çıkarılmış olduğu şüpheli olan, eski, işlenmiş yataklarla karşılaşacaklardı. Kuyulara sıcak buhar gönderme ya da yatakları elektriksel olarak ısıtma gibi yeni yöntemler kullanarak, petrolü son damlasına kadar vicdansızca yok edeceklerdi. Bununla birlikte, bu, felâketi uzun süre önlemeyecekti. Otomobillerin ve dizel lokomotiflerin depolarında hiç yakıt kalmamış olarak yerinde sayacakları, uçakların yerde pinekleyecekleri, dizel motorlu gemilerin limanlarda pas tutacakları zaman gelecekti.

Kuşkusuz ki, kömürden bazı sıvı yakıtlar yapılabilecekti, ama kömür yatakları da sonunda bitirilecekti. İlk olarak çok alışılmış yataklardan en iyi cins kömür çıkarılacaktı, sonra işlenmesi zor olan ince yataklardan ve düşük-dereceli yataklardan dışarıya kömür akıtılacaktı. Boş maden ocaklarını sular basacaktı. Müzelerde, tıkıştırılmış mamut ve dinozor iskeletleri yanında, kömür parçaları sergilenecekti. Buharlı lokomotifler yan hatlarda paslanacak ve buhar türbinleri dönülerini durduracaklardı. Tortulu şist, yer kömürü ve diğer düşük nitelikli yakıtlar çağı başlayacaktı. Yanma yeteneğine sahip her şey, makinelerin ateş kazanlarını besleyecekti. Böylece rezervler bitirilecekti ve yer, belâlı bir yakıt açlığı ile yüzyüze gelecekti. Madensel yakıtlar üzerine kurulmuş uygarlık, mahkûm olmuş olacaktı.

Bu sıkıcı kehanetin ilk ortaya atılışından bu yana birçok

yıl geçti. Petrol ile ilgili öntahminler şimdiden yerine gelmiş olmalı ve kömür rezervleri bir sona yaklaşıyor olmalı. Ama, milyonlarca otomobil hâlâ caddeleri doldurmakta, uçaklar süzülerek göklerde yükselmekte ve lüks gemiler açık denizlerde gidip gelmektedir. Madensel yakıtların çıkarılması, öngörülenden daha hızlı artıyor. ama yeni bulunan rezervler daha hızlı artıyor ve yakıt rezervlerinin mukadder bitişi birçok yüzyıl ve hatta bin yıl ertelenmiştir. Bu, yerdeki madensel yakıt rezervlerinin sınırsız olduğunu ve güç yoksulluğu hayaletinin insan yiyen dev masalı kadar tehlikeli olmadığını mı anlatır? Sorgu, iki ayrı yanıt gerektiren, iki farklı soruyu içeriyor. İlk olarak, yerin madensel yakıt rezervleri sınırsız değildir. Kömür ve petrol rezervlerinin doğal süreçlerle doldurulması olanağının belki de yeniden ortaya çıkarılabileceğine ve rezervlerin genişliğine karşın, rezervler. bir gün kesin olarak bir sona gelmelidirler. Bununla birlikte, insan, güç açığı ile korkutulmamalıdır. İnsan toplumunun gelişiminin belirli bir aşamasında, madensel yakıtlar temel güç kaynağı olarak kullanıldı. Ama, insanın ayakları üzerinde yeni dikeldiği binlerce yıl önceleri kömürsüz ve petrolsüz geçindiği gibi, öyle bir zaman gelecektir ki, ne kömür ne de petrol artık önemli güç kaynakları olmayacaklardır. Görebileceğimiz gelecek içinde birincil güç kaynağının atom çekirdeği olması olasıdır.

Neden nükleer güç, rüzgârların ve gel-gitlerin enerjisinden, yer dibindeki ısısal enerji ya da güneşin sınırsız enerjisinden daha yukarlarda sıraya girmiştir?

Rüzgârla çalışan bir jenaratörün dönecinin (*rotor*) güç çıkışı, 12 m/sn hızla esen bir rüzgar için, metre kare başına 6,7 kilowatt'a çıkabilir.

Güneş enerjisi ile çalışan bir elektrik istasyonu, metrekare başına en fazla 1 kilowatt verebilir.

Bir kilogram petrolün ısıtıcı değeri 11.000 kilokaloridir. Şimdilik çoğunlukla kullanılan bir nükleer yakıt olan

uranyumun bir kilogramına geçilince, 22.300.000 kilowatt-saatlik bir enerji verebilir. Daha iyi bir nükleer yakıt, kilogram başına 117.500.000 kilowatt-saatlik gizil-enerjisi ile, hidrojendir.

Bu kitabın yazarlarından birinin de katılması ile, akademisyen Lev Artsimoviç, geleceğin bir termonükleer elektrik santralının nasıl olacağına dair bir taslak çıkardı ve birçok tahminleri kaydetti. Bu türden, bir-milyon-kilowatt'lık bir istasyonun güç donanımı, 12 metre yarıçaplı, bir katlı, dairesel yapının içine yerleştirilebilir. "Çalışma hacmi"nin metre küpü başına güç çıkışı, 200.000 kilowatt'a ulaşabilir. Bu, ne modern elektrik santrallerinin kocaman kazanları ve türbinlerinin yerleştirildikleri yapılarla, ne de hidrolik güç fabrikalarının uzunluğu milleri bulan barajları ve on kat yüksekliğindeki türbin-jeneratör üniteleri ile pek karşılaştırılabilir.

Dünyanın ilk atom-güçlü elektrik santralı, 1954'ten beri Sovyetler Birliği'nde işler durumdadır. 1958'de, 600.000 kw'lık bir atomik elektrik santralının ilk bölümü (100.000 kw) çalışmaya başlamıştır. Bugün, diğer ülkelerde de olduğu gibi, Sovyetler Birliği'nin birçok bölgesinde büyük atomik elektrik santralları kurulmakta ve işletilmektedir. Her ne kadar bir süre için dünyadaki güç üretiminde önemli bir rol oynayacaksa da, bununla birlikte, gelecek, bu tipte bir güç fabrikasına bağlı kalmayacaktır. 21. yüzyılda güç üretimi çoğunlukla termonükleer fabrikalara dayandırılacaktır.

Modern atomik elektrik santrallarının yakıtları olan uranyum ve toryumun rezervleri, ne kadar zengin olursa olsun, sınırsız değildir. Yerdeki ve evrendeki hidrojen stokları, fiilen tüketilemezdir. Her bir su molekülü iki hidrojen atomunu içermekte ve su, yeryüzünün yüzde 70'ini kaplamaktadır. Gerçekte, Saharov'un ve Tam'ın bir önceki bölümde anlatılan plazma darlığı, hidrojenden değil döteryumdan oluşuyordu. Ama hidrojenin bu izotopu, sanıldığı gibi çok seyrek değildir: yerde, "bayağı hidrojen"in her 6.000 atomu başına

bir atom düşecek oranda bulunur. Bu oran su için doğrudur, ve bildiğimiz suyun her 6.000 molekülüne karşılık bir molekül "ağır su", D_2O, vardır. Bir galon suyun kapsadığı döteryum enerjisi, 400 galon petrolünkine eşdeğerdir.

Ağır su henüz çok pahalıdır, ama sanayi bakımından "geleneksel" nükleer güç fabrikalarındaki nükleer yakıtların üretiminde ve diğer süreçlerde kullanılmaktadır. İnsan, döteryumu bir nükleer yakıt olarak kullanmayı öğrendiği zaman, döteryumla üretilen güç, ısısal ya da hidroelektrik santrallarının güç üretiminden daha ucuz olacaktır. Zamanı gelince, termonükleer elektriğin bir kilowatt-saatinin tutarının, ısısal elektrik tutarının ancak yüzde-biri olacağı tahmin edilmektedir.

Termonükleer güç üretiminin ilkesi oldukça basittir. Hidrojenin üç izotopu vardır: çekirdeği bir tek protondan oluşan bayağı hidrojen (protyum); çekirdeği bir nötron ve bir protondan oluşan döteryum; ve, iki nötronlu bir protonlu trityum. İki döteryum çekirdeğinin, ya da bir trityum ve bir protyum çekirdeğinin, ya da bir döteryum ve trityum çekirdeğinin (diğer bileşimler de mümkündür) kaynaşması (*fusion*), bir helyum çekirdeği ve büyük miktarda enerji verir. Ama iki döteryum atomu kaynaştırılabilir mi?

İçerisinde elemansal parçacıkları gözleyebileceğimiz, son derece yüksek-güçte bir mikroskobumuzun olduğunu varsayalım. Okülerden, aceleyle koşuşan, küçük lastik toplar gibi çarpışan ve geri sıçrayan gaz molekülleri görürüz. Büyütmeyi artırırız ve objektif merceğini, yüzlerce dereceden bin milyonlarca derecelik sıcaklıklara kadar bir alev oluşturma yeteneğindeki bir "kibritle" ısıtarak, sıcaklığı yükseltebiliriz. Bağıl olarak ağır-hareket eden gaz moleküllerinin arasında, bazı serbest elektronların seğirttiğini gözleriz. Bu elektronlardan biri, bir moleküle çarpınca, molekül, birçok yeni elektronun salınması ile, iki iyona ayrılır. "Kibrit"imizin sıcaklığını yükseltirsek, çarpışmalar çok daha sıklaşır. Hiç bir

molekül kalmayıncaya kadar, elektrikçe nötr moleküllerin sayısı hızla azalır ve gittikçe daha hızlı hareket eden iyonlar ve elektronlar görünür.

Dikkatli bir yoklama, ne kadar hızlı hareket ederlerse etsinler, hidrojen, döteryum ve trityum çekirdeklerinin birbirleri ile çarpışmadıklarını ortaya çıkarır. Bunlar, ustalıkla manevra yaparlar ve birbirlerine yol verirler. Bu türden davranış, atom çekirdeğinin pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlar içermesi ile kolaylıkla açıklanabilir. Aynı yükler birbirini ittiği için, bu itme kuvvetleri, çekirdeklerin çarpışmalarına izin vermez. Her çekirdek, görünmez ama gerçek olan bir elektriksel alan kılıfı ile çevrilmiştir. Bu kılıflar dokunmaları engeller ve çekirdekleri esnek yapar.

Geliniz, itişip kakışan çekirdeklerin artan kargaşalığı içinde, bir çarpışma şansının olabileceğini umarak, sıcaklığı daha yükseğe çıkaralım. Gerçekten, işte, kafa kafaya vuruşmaya koşan iki çekirdek. Onların momentumları öylesine büyük ki, çarpışma elektriksel alan kılıflarını bozuyor ve çekirdekleri birbirlerine oldukça yaklaştırıyor. Elektriksel itme kuvvetlerinin, gergin bir yay gibi, çekirdekleri geri iteceğini ve fırlatacağını umabiliriz. Ama ansızın, iki çekirdek de, tıpkı iki civa damlasının daha büyük bir damla içinde birleşmesi gibi, birbirlerine koşuyorlar ve tek bir yeni çekirdek içinde kaynaşıyorlar. Bu, çekirdek kuvvetlerinin kendini gösterdiğini anlatır. Kaynaşma, bir patlama gibidir. Farklı türlerdeki dalga kuantumları bütün doğrultularda sıçratılır ve yeni oluşan helyum çekirdeği çok büyük bir hız taşır.

Plazmanın sıcaklığı yükseldikçe çekirdekler arasındaki çarpışmalar daha sıklaşır ve karşılık olarak termonükleer tepkimenin enerji verimi artar. Sonunda öyle bir an gelir ki, tepkimenin kendi çıkış enerjisi plazmanın sıcaklığına katkıda bulunmaya başlar ve çarpışmaların sayısı hızla yükselir. Hidrojen patlamasının oluşacağı sırada mikroskobumuzun başından kaçıp kurtulmamız daha iyi değil mi? Gerçek-

ten de öyle yapmalıyız. Belirli bir sıcaklığın üstünde, döteryum plazması, çığ şeklinde enerji vermeye başlar. Hidrojen bombasına temel olan ilke budur.

Birçok termonükleer güç donanım planı ileri sürülmektedir. Birinde, plazma tüpü bir çörek —matematikçiler *torus* derler— şeklinde bükülür. İçerisindeki bir metre kalınlığında tüpü ile, böyle bir düzenek 10 metre yarıçaptan daha fazlasını gerektirmez. Çörek çevresine, tüpün havasını boşaltıcı pompalar, akım toplayıcıları (*collector*) ve güç santralının diğer donatımı dizilir. Termonükleer yakıt —döteryum ve trityum karışımı— manyetik alan yardımı ile tüpün içerisine sıkıştırılır. Telli birçok makara *torus* çevresini sarar: biri "manyetik şişe" oluşturmak için, biri plazma sütununu kontrol etmek için, biri elektrik akımı oluşturmak için.

Yapının, yalnızca buhar kazanlarının ve türbinlerinin değil, ama, aynı zamanda elektrik jeneratörlerinin de yerine geçtiğini gözleyeceksiniz. Gerçekten, bir termonükleer güç fabrikası özel bir jeneratör gerektirmez. Plazma, anımsanacağı gibi, iyi bir elektriksel iletkendir ve bir elektromanyetik alan oluşturur. Plazma sütunundaki düzensiz değişimler elektrik akımında ve bu nedenle elektromanyetik alanda düzensiz değişmelere neden olur. Ve değişken bir manyetik alan, kendisini kesen bir iletken içinde elektrik akımı oluşturur. Bir başka deyişle, bir termonükleer güç fabrikası herbiri ek donatım olarak düzenlenebilen türbin, jeneratör ve diğer geleneksel güç donatımını gerektirmez. Önceden belirtildiği gibi, plazma büyük niceliklerde enerji yayar. *Torus* çeperleri, doğal olarak çok sıcak olabilir ve su ile soğutulabilir. Bu suyun buharı termonükleer güç fabrikasının ek bölümlerinde kullanılabilir.

Profesör Artsimoviç'in defterine çizdiği fabrika taslağı, bu türden bir taslaktı. Profesör, aynı zamanda böyle bir taslağı gerçekleştirmedeki güçlüklere de işaret etti. Bugüne

kadar ana engel, plazmayı soğutmadan yeteri kadar uzun süre içinde tutma yeteneğine sahip bir "şişe"nin geliştirilmesidir. Halen iki tipte plazma tuzağı düşünülmektedir.

Bunlardan biri, kaba bir çörek şeklinde bükülmüş ve döteryum gazı ile doldurulmuş oyuk bir tüptür ki üzerinde henüz konuşuyoruz. Dışardan gelen bir elektrik yükü, gazı iyonlaştırır ve bir plazma halkası oluşturur. Plazmadan geçen akım plazmayı ısıtır ve aynı zamanda onu çeperlere dokunmaktan alıkoyan manyetik alanı ortaya çıkartır. *Torus* çevresini saran telli makaralar, plazmanın tabiatında var olan kararsızlığı "iyileştiren" ek bir manyetik alan ortaya çıkarır. Bu yöntemin, plazmada gereken yalıtılmayı sağlayıp sağlayamayacağını söylemek henüz çok erkendir.

Bir diğer yöntem, Sovyet bilim adamı G. Budker tarafından ileri sürülmektedir. O, Saharov ve Tam'ın tüpünün bir çörek şeklinde bükülmesine gerek olmadığını belirtmektedir. Bunun yerine, uçlar manyetik aynalarla kapatılabilir. Matematiksel hesaplamalar, böyle bir tüp —adiyabatik* tuzak diye adlandırılır— içerisindeki plazma parçacıklarının, belirli koşullarda ileri-geri yolculuk edeceklerini, manyetik aynalardan zıplayacaklarını doğrulamaktadır, tıpkı mermer döşemeden çelik bilyaların zıplamaları gibi. Sovyet termonükleer düzeneği *Ogra,* bu adiyabatik tuzak ilkesine dayandırılmıştır. Bu yöntem de tam yalıtma sağlayamaz, ve iyonlaşmış parçacıklar kaçarak enerji dağılır. Bilim adamları, adiyabatik tuzağın "fişleri" arasından enerji kaybını ve enerji çıkışının sıcaklığa bağlılığını hesapladılar ve eğriler çizdiler. Biliyoruz ki, sıcaklık yükseldikçe çekirdek çarpışmalarının sayısı artar ve enerji verimi yükselir. Aynı zamanda, sıcaklık yükseldikçe tuzak içindeki plazmanın enerji kaybının azaldığı anlaşılmaktadır. Bir grafik üzerinde bu iki eğrinin kesiştiği yer, ısısal dengenin kurulduğu ve plazma tara-

* *Adiyabatik* (*adiabatic*), bir süreçte konu olan sisteme ısı şeklinde enerji giriş-çıkışının olmaması anlamına gelir. —ç.

fından dağıtılan ısının helyum çekirdeğinin bireşimi tepkimesine (*reaction*) bağlı olarak verilen ısı tarafından tamamen karşılandığı sıcaklığı verir. Döteryum-trityum kaynaşması (*fusion*) için denge sıcaklığının 1.000 milyon derece C dolaylarında olduğu bulunmuştur. Döteryum-döteryum bireşimi için en uygun sıcaklık 10.000 milyon derece dolaylarındadır.

Bu değerler, termonükleer güç fabrikalarının daha kurulu olmadığı zamandan bu yana nasıl bir mesafe katedildiğine bir fikir vermektedir. Diğer yandan, bilim, hiç bir zaman zamanımızdaki kadar hızlı gelişmemiştir. Yol boyundaki pek zor engellere karşın, kusursuz termonükleer *torus*lar ve adiyabatik tuzaklar arasından sıcaklık ölçeğinde derece derece tırmanarak yüz milyonlarca ve daha sonra bin milyonlarca derecelik sıcaklıklara ulaşılabilmiştir. Bununla birlikte, daha olanaklı bir gelişme, bilim adamlarının, geride yüz milyon derece dolayları için bir "açık bölge" bırakarak, bin-milyon derecelik sıcaklık bölgesine saldırmaları sonucu, yeni bir "ileriye sızma" ("*out flanking*") manevrası olacaktır.

Astrofizikçiler, güneşin ölümsüz ateşlerini besleyen enerjinin termonükleer enerji olduğunu söylerler. Daha şaşılacak olanı, yıldızsal ateşleri çalacak ve yer üzerinde tutuşturacak Promete'lerin yiğitlikleri olacaktır.

[ÜÇ]

ALAN

DOKUNULAMAZ MADDE

H. G. Wells, *Körler Ülkesi* adlı öyküsünde, kendini, aşılmaz dağlarla kuşatılmış bir vadideki nüfusun tümünün doğuştan kör olduğu yerde bulan bir adamın başından geçenleri anlatır. Hatta bu insanların masalı, görmeleri mümkün olabilen ataları ile hiç bir ilgi kurmamaktadır. Vadinin kör halkının tüm insanlığı simgelediği bu öykünün felsefî düşüncesini bir yana bırakarak, geliniz, şu soru üzerinde uğraşalım ve yanıt bulalım: görmeyen bir insan, yalnızca koku, tat, dokunma ve işitme duyuları ile yeterli bir dünya bilgisi kazanabilir mi? Ve, özellikle, ışık ve renk ile ilgili bir şey öğrenebilir mi?

Yanıt, kuşkusuz ki evettir. Kavrama, kuşkusuz oldukça

dolambaçlı ve daha ağır girişimlerle gerçekleşecektir, çünkü insan dış dünya ile ilgili bilgisinin yüzde-seksen kadarını gözleri ile edinmektedir. Ama onun kavrama güçleri gerçekten sınırsızdır. İnsanların kör bir soyu, güneş ışımasına, taşıdığı sıcaklığa bağlı olarak oldukça uyanık olacaktır. Birkaç basit araç ve bir termometre yardımı ile, kör bir bilim adamı ışığın kırılma yasalarını ortaya çıkaracaktır. Onun termometresi çift madenli bir şeritten yapılmış olabilir: termometrenin, şeridinin sapma derecesi ile gösterdiği sıcaklığı, insan, dokunma ile kolaylıkla anlayabilir.

Kör bilim adamları, güneş ışığı tayfını ortaya çıkaracaktır. Gerçekte, "görünür" bölge ile morötesi ve kızılötesi bölgeler arasındaki sınırları gözleyemeyeceklerdir. Daha sonra, gel-gitleri gözleyerek ve yüksek duyarlıklı sıcaklık-çiftleri (*thermocouple*) kullanarak ay ve yıldızların varlıklarını ortaya çıkarabilecek ve yıldızlardan gezegenleri ayırabileceklerdi. Araçlı ölçümler, sesler, kokular ya da dokunulabilir durum değişmeleri ile ilgili olabilecekti. Açıktır ki, kör bir insanlık hiç bir zaman, şeyleri, bizim algıladığımız gibi, kanın kırmızılığı ya da çimlerin yeşilliği diye algılayamayacaktı. Ama ileri bir uygarlığın kör bir fizikçisi şöyle söyleyebilirdi: "Kırmızı ışık 0,75 mikron dalga boylu elektromanyetik titreşimleri temsil eder, yeşil ışığın 0,55 mikron dolaylarında bir dalga boyu vardır, ve mavininki 0,4 mikrondur." Ve aslında bu, bir diğer sıradan fizikçinin de söyleyeceğidir.

Başka bir aşırılıkla, yalnızca bizim görebildiğimiz tayf bölgesinde değil, radyo dalgalarından x-ışınlarına kadar elektromanyetik tayfın bütününü görme yeteneğine sahip bir yaratığı kolaylıkla tasarımlayabiliriz. Böyle bir yaratık için, radyo vericilerinin antenleri gözkamaştırıcı ışıklar gibi olacak, tramvay telleri ve ana elektrik devreleri ışıldayacak, ve sıcak insan vücutları ve merkezî ısıtma radyatörleri birer ışıma halesi yayacaktı. Ve bu yaratık, bizim yarasalar

kadar kör olduğumuzu düşünecekti. Bununla birlikte, ona belki şöyle söyleyecektik: "Haklısınız, 6 metre 3 santim dalga boylu elektromanyetik ışınımı neye benzettiğinizi bilmiyoruz. Ama onun uyduğu yasaları biliyoruz ve her ne kadar onu doğal duyumlarımızdan herhangi biri ile algılayamıyorsak da onunla çalışabiliyoruz. Örneğin, bölgesel TV merkezi, radyolar, bu dalga boyunda. Gerçekte, elektromanyetik tayfın tümü ile ilgili oldukça bilgimiz var."

Bir cam prizma alınız ve içinden bir ışık ışını geçiriniz. Işık bileşen renklerine ayrılır. Tayfın kırmızı ucunun, sonunda büsbütün görünmez olarak tam bittiği yeri göstermek oldukça zordur. Onun ötesinde, görünür bölgeden birçok kez daha büyük kızılötesi ışınım bölgesi uzanır. Kızılötesi bölgesi, bilimsel ya da teknik uygulamalarını henüz bulamadığımız bölgelerle başlayan radyo dalgaları tarafından izlenir. Bunlara karşı saldırı başlamıştır, ve sonuçta, onlara egemen olunduğu zaman, bilim-kurgu yazarlarının düşlerinden biri gerçekleşecek ve her insan, kendinin olan, kendi özel dalga boyunda bir "küçük el telsizine" sahip olabilecektir.

Daha sonra, halen oldukça geliştirilmiş olan, aşırı yüksek frenkans (UHF) dalga bandı gelir. Bu, televizyon ve radyonun parazitten uzak ses yayın bölgesidir. Bunu, yakından bildiğimiz ve yaygın olarak kullanılan kısa, orta ve uzun dalga radyo bandları izler. Bir uzman, Marsa yönelmiş bir uzay gemisi ile ya da yer çevresinde yetersiz iki radyo istasyonu arasında, bildirişim (*communication*) için en iyi dalga boyunu belirtirken tereddüde düşmeyecektir. O, bu dalgalar için üreteçleri (*generator*) ve bu dalgalara oldukça duyarlı alıcıları nasıl hesaplayacağını ve kuracağını bilir.

Görünür tayfın diğer ucundaki koyu-mor bölge, daha kısa dalga boylu morötesi tarafından izlenir ki, bu bölgeden derece derece x-ışınları bandına geçilir (gerçekte, tayfın tümü boyunca keskin sınırlar yoktur). Kuşkusuz ki, insan, x-ışınlarının girme yeteneğinden yararlanmasını öğrenmiş-

tir. x-ışınları, şiddetini yarıya indirmek için yirmi santimetrelik bir alüminyum tabakası gerektiren daha fazla girici gama ışınları tarafından izlenir. Gama ışımasının ana kaynaklarından biri çekirdeksel (*nuclear*) süreçlerdir.

Elektromanyetik tayfın çeşitli bölgeleri arasındaki farklar gerçekten ilginçtir. Gama ışımasının girme kudreti, incecik bir metali geçme yeteneğinden yoksun olan ve bir ortamdan diğeri içerisine geçerken kolaylıkla doğrultu değiştiren görünür ışığınkinden çok farklıdır. Ama, boşluk içinde, kaynaklarına ve tayfın hangi bölgesine bağlı olduklarına bakmaksızın, tüm elektromanyetik dalgalar benzerdirler ve aynı yasalara uyarlar, çünkü onların tümü elektromanyetik alan yayılmasının ürünleridir. Aralarındaki farklılıklar, nicel farklar birikiminin doğal bir sonucudur. Elektromanyetik tayf boyunca giderek, nicel değişmeler birikiminin nasıl nitel değişikliklere yolaçtığını izleyebiliriz.

Elekromanyetik dalgalar elektromanyetik alanlardan ayrılamazlar. Bir elektromanyetik alan, elektrik akımı tarafından oluşturulur. Bir iletken üzerinden akım geçtiğinde, çevresinde ansızın bir elektromanyetik alan ortaya çıkar. Daha özenle söylersek, aslında aniden ortaya çıkmaz: boşlukta elektromanyetik alan, çok büyük ama sınırlı, saniyede 300.000 kilometrelik bir hızla yayılır. Elektrik akımındaki değişiklikler, alanı değiştirir. Böylece, radyo vericisinin anteni içindeki elektrik titreşimleri, bütün doğrultulara dağılan bir elektromanyetik alan oluşturur. Alan, alıcının antenine ulaşır ve alıcı anteni üzerinde bir elektrik akımı ortaya çıkarır. Kuşkusuz ki, verici antenindekinden milyonlarca kez daha zayıftır, ama, düzensiz değişimler aynı modeli izler, ve biz, henüz radyo stüdyosunda yankılanan melodinin aynısını radyodan duyarız.

Girişimlerin ve diğer parazitlerin çıtırtı ve ıslıklarından sık sık rahatsız oluruz. Bunlar, doğal nedenlerden kaynaklanan "yabanıl" radyo dalgalarından dolayıdır. Onlar nereden

ortaya çıkarlar? Doğa, antenlerini nerelere dağıtmış ve elektron tüplerini nerelere yerleştirmiştir? Doğanın bunlara gereksinmesi yoktur, ve bu radyo dalgaları, şimşek çakmasındaki zararlı boşalmalar, kuzey yarıkürede geceleri gökyüzünde görülen renkli ışıkların (*aurora borealis*) sessiz titreşimleri ve uzak kozmik gaz bulutları içindeki elektronların çarpışmalarıyla oluşur. Bütün bunlar plazma içinde ortaya çıkan süreçlerdir ve her ne kadar radyo dalgaları tayfına karşı insan kör ise de, o bunları hünerli araçların yardımı ile görmesini öğrenmiştir.

Elektromanyetik alanın önemli bir özelliği, onun ikili (*dual*) tabiatıdır. "Işık nedir?" sorusu, "Elektromanyetik alan nedir?" sorusundan önce gelmiştir.

Bazı bilim adamları, ışığın ufacık parçacıkların (*particles*) ya da taneciklerin (*corpuscles*) akıntısı gibi davrandığını söylediler. Diğerleri, ışığın, "ışık geçirici esir" ("*luminiferous ether*", varlığı, yalnızca ışığın yayılmasını açıklama amacı ile önerilmiş bir ortam) tarafından taşınan dalgalar gibi davrandığını ilân ettiler, ve buna destek olarak, kırılma, kırınım ve diğer olayları kanıt gösterdiler. Bilimde pek seyrek raslandığı gibi, her iki taraf da tartışmada doğru olduklarını tanıtladılar. Birçok kesin, bilimsel olarak gerçeklenebilen gözlem, ışığın, elektromanyetik ışımanın ve alanların ikili tabiatta olduğu gerçeğini doğrular. Işık, farklı enerjilerde fotonların bir akısı olarak ve farklı dalga boylarında ya da frekanslarda bir elektromanyetik dalgalar katarı olarak konu edilebilir. Dalga boyu büyükse, davranışı içerisinde parçacık özelliklerini gözlemek zordur, ve tersine, dalga boyu kısa ise dalga özelliklerini daha az açığa vurur. Akılda tutulması gereken önemli nokta, radyo dalgalarının, ışık ışınlarının ve gama parçacıklarının tamamen aynı tabiatta oldukları ve farklı tiplerde elektromanyetik alanları temsil ettikleridir.

Işığın ufacık parçacıklarına foton (*photon*) adı verilir;

elektromanyetik alan parçacıkları genellikle kuantum (*quantum*) olarak adlandırılır. Nasıl ki elektronlar, protonlar ve nötronlar maddenin elemansal parçacıklarıysa, fotonlar ve kuantumlar da elektromanyetik alanın elemansal parçacıklarıdır. Alanların kuantumlu yapısı deneysel olarak tanıtlanmıştır, ve elektronların varlığı kadar tartışma götürmez.

Elektromanyetik alan maddesel bir özde midir? Elbette. Madde ile etkileşir. Enerji taşır. Kütlesi vardır. Elektromanyetik alan oluşturan bir cisim, bu süreç içerisinde, kütlesinin ve enerjisinin bir kısmını harcar. Gerçekte, nicel ilişkiler öylesinedir ki, örneğin tüm doğrultularda ışık salan beyaz, sıcak bir külçenin kütlesindeki azalmayı ölçmek olanaksızdır. Ama, ışımaya ve çevresini saran radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar tüm tayfı kapsayan elektromanyetik alanın sürekli oluşturulmasına bağlı olarak, güneşin kütlesindeki azalma oldukça önemlidir. Güneş, günde, bin milyonlarca ton madde kaybeder. Bununla birlikte korkmamıza gerek yok, şimdiki harcama hızı ile güneş, birçok bin milyonlarca yıl tükenmeyecektir. Belirli koşullarda ters dönüşüm olanaklıdır, ve alan, maddeye dönüşebilir.

Bütün dalga boylarındaki elektromanyetik dalgalar, sanayide oldukça çok uygulama yeri bulur. Ve her ne kadar, elektromanyetik tayf hakkında henüz çok şey öğrenmemişsek ve onun farklı kısımlarının yeni uygulama yerleri henüz tasarı halinde ise de, alanların en az gizemlisi ve en iyi bilineni elektromanyetik alandır. Bayağı bir mıknatısı çevreleyen alanın, elektromanyetik alanın özel bir durumu olduğunu belirtelim.

Oldukça az bilinen gravitasyonal ve çekirdeksel alanlar yeterince araştırılmamış bölgelerdir ve hâlâ Colomb'larını beklemektedirler. Önce gravitasyonal alandan başlayarak, geliniz, bu alanlara dair neler bilindiğini görelim.

Kütlesel çekimden (*gravity*) kurtuluş yoktur. Onun öncesiz ve sonrasız yasaları, evrenin en uzak kısımlarında geçerlidir. Bu çekim, boşluğu ve en yoğun cisimleri eşit oranda donatır, ondan bir siperle korunmanın ya da onu etkilemenin olanağı yoktur. Uzaklıkla azalır, ama hiç bir şekilde tamamen kaybolmaz. Evrensel kütle çekimi yasasıdır bu. Kütlesel çekim, akarsuların denize doğru akmalarını sağlar ve atmosferi yerin çevresinde tutar. Bir yapma uyduyu yörüngesine yerleştirmek için gerekli hız saniyede 8 kilometreden az değildir. Dünyadan kurtulmak ve onu temelli terketmek için saniyede 11,2 kilometre, ve güneşin kütlesel çekimini aşabilmek için saniyede 16,7 kilometrelik hız gerekir.

Oldukça eski zamanlardan beri, insan, kütlesel çekimi hesaba katmış ve onu kendi gereksinmelerine uydurmasını öğrenmiştir. Gerçekte, bilinen en eski kuvvet, çağlar boyu açıklanmamış olarak kalmıştır. Kütle çekimi için bilimsel bir teori geliştiren ve bu teoriyi evreni incelemek üzere uygulayan ilk insan, büyük İngiliz Sir Isaac Newton idi.

Newton'un, evrensel kütle çekimi yasasını ağaçtan düşen

MATEMATİK DİLİYLE

ALAN BASINCI

Yıldızlararası uzayda madde yoğunluğu 10^{-24} gr/cm^3'ten fazla değildir, ki bu santimetre küp başına bir hidrojen atomuna karşılık gelir. Ama dış uzay, farklı türlerde alanlarla donatılmıştır: elektromanyetik (özel likle, ışık) ve kütlesel çekim alanı. Rölativite teorisine göre, bu alanlar tartılabilirdir, başka bir deyişle, kütle taşırlar.

Işık, herhangi diğer bir alan gibi, titreşimli basınç uygular; bu gerçek, 19. yüzyılda (rölativite teorisinin ilânından önce) James Clerk Maxwell tarafından teorik olarak saptandı ve 1901'de Rus fizikçisi P. N. Lebedev tarafından deneysel olarak doğrulandı. Bir ışık titreşiminin

elmayı gözleyerek bulduğuna dair hikâye gerçek olabilir ya da olmayabilir. Bu hikâyeyi, büyük yasayı nasıl bulduğuna dair bir açıklama isteyen halkı başından savmak için kendisinin uydurduğu söylenmektedir. Bugün herhangi bir lise öğrencisi yasayı öylesine kolaylıkla ezbere söyler ki, bilge insanların bu konuda en küçük bir düşüncesinin olmadığı dönemlerin varlığı gerçekten şaşırtıcı gözükür. Bununla birlikte, sorun, bize gözüktüğü kadar basit değildir ve keşfedilmesi için Newton'un üstün yeteneğini gerektirmiştir.

Evrensel kütle çekimi yasası, herhangi iki maddesel varlığın birbirlerini, kütlelerinin çarpımı ile doğru, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı bir kuvvetle çektiklerini ifade eder. Newton bu yasayı çok farklı olaylara uyguladı ve onu bilinen evrenin tümünü kapsayacak şekilde, cesaretle yaygınlaştırdı. Bu yasanın, yeryüzünde ve evrensel ölçekte aynı geçerlikte olduğu tanıtlandı.

Newton'un zamanından altmış ya da yetmiş yıl önce, büyük Alman bilim adamı Johannes Kepler, gezegenlerin güneş çevresindeki hareketlerini yöneten temel yasaları buldu. Bu yasalar da günümüz lise öğrencileri tarafından bilinmektedir, ama Kepler'in zamanında bu yasaların sağlam bir temeli

---

(*pulse*) basıncı, P,

$$P = \frac{E}{c}$$

ifadesi ile verilir ki burada E enerji, $c = 300.000$ km/sn ışığın hızıdır.

Işığın enerjisi, frekans ve dalga boyuna,

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

ifadesi ile bağlıdır, ki burada $h = 6{,}62 \times 10^{-27}$ erg . sn Planck sabiti, ν titreşim frekansı, ve λ dalga boyudur. Bu formüller öncekinde yerine konursa,

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

yani, ışığın basıncının dalga boyu ile ters orantılı olarak değiştiğini buluruz.

Işığın basıncı,

yoktu. Elbette ki, gezegenler, Kepler yasalarına göre hareket ediyordu, ama kimse nedenini açıklayamıyordu. Gezegenlerin hareketlerinin kütle çekimi yasasına göre yönetildiğini tanıtlamak Newton'a bırakılmıştı ve Newton, Kepler'in formüllerini çıkarmak için kütlesel çekim yasasını kullanmıştır.

Evrensel kütle çekimi yasası, Neptün gezegeninin bulunmasında pek parlak bir doğrulanmasını buldu. Astronomlar, Uranus gezegeninin, kütlesel çekim yasalarınca öngörülen yörüngesinden arasıra kaydığını çoktan beri gözlemekteydiler. Uranus, açıklanamaz bir şekilde, yıldızlar arasındaki hareketini ağırlaştırmak istiyor, ya da tersine, sanki görünmez bazı kuvvetler tarafından sürüklenircesine hızlı gitmek istiyordu. Bu olaylara elatan Rus astronumu Leksel 18. yüzyılın sonlarında, Uranusun ötesinde bulunan bilinmeyen bir gezegenin bu olaylardan sorumlu olması gerektiği sonucuna ulaştı. 1846'da, Fransız matematikçisi Leverrier yeni gezegenin gökteki konumunu hesapladı, ve sonra, astronomlar, bu gezegeni ortaya çıkardılar. Bu, bilimin büyük başarılarından biri idi.

Birçok onlarca yıl için Newton'un klasik kütle çekimi teorisi yanılmaz gözüktü. Daha sonra, yalnızca kütle çekimi yasası ile açıklanamayacak gerçekler birikmeye başladı. Bunlardan biri, aşağıdakileri içine alan, Seeliger paradoksudur. Evren sonsuzdur ve sonsuzca değişkendir. Evrenin ömrü de sınırsızdır. Evren, az ya da çok maddesel varlıklarla doludur ki, bu, evrenin tümünün belirli bir ortalama yoğunlukta madde taşıdığını söylemek demektir. Seeliger, Newton yasasını uygulamayı ve sonsuz evrenin, içindeki herhangi bir

---

$P = \frac{w}{c}(1 + R)$ erg/cm³'tür.

w bir cm²'ye saniyede dik olarak gelen ışıma enerjisidir.

noktaya uygulayacağı kütlesel çekim kuvvetini belirlemeyı kararlaştırdı. Kuvvetin, evrenin yarıçapı ile doğru orantılı olduğunu buldu. Ama, evren eğer sonsuz ise, bu, herhangi bir noktadaki kütlesel çekim kuvvetinin de sonsuz olmasını gerektirir. Kuşkusuz ki durum böyle değildir. Ama bu, kütlesel çekim yasasının evrensel ölçekte geçerli olmadığını mı gösterir?

Bu paradoksu açıklamak için birçok varsayım ileri sürüldü. Başlangıçtakilerden birinde, evren içindeki madde yoğunluğunun uzaklıkla azaldığı kabul ediliyordu. Bu ise, eğer yeteri kadar dışarıya uzaklaşırsak, maddeden yoksun bir bölgeye ulaşabileceğimiz anlamına gelir. Bunu öne sürmek, uzayın maddesiz var olabileceğini öne sürmek anlamına gelir ki, uzay ancak maddenin bir varlık biçimi olarak tasarlanabileceğinden, yanlıştır. Seeliger'in kendisi bir başka açıklama önerdi. O, kütlesel çekim kuvvetinin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değil, daha hızlı küçüldüğünü kabul etti. Bu, paradoksu kısmen açıkladı, ama Newton'un klasik yasasının geçerliliği üzerine şüphe getirdi.

Kütlesel çekim teorisinin sonuçlarının gözlemlerle tam uygunlukta olmadığı bir diğer olay, Merkürün günberisin-

---

MATEMATİK DİLİYLE

NEWTON VE COULOMB YASALARI

Newton'un gösterdiği gibi, iki cisim arasında, kütlelerin çarpımı, M_1M_2, ile doğru orantılı, ve aralarındaki uzaklığın, r, karesi ile ters orantılı olarak değişen bir kütlesel çekim kuvveti, F, ortaya çıkar. Newton'un kütlesel çekim yasası,

$$F = G \frac{M_1M_2}{r^2}$$

formülü ile anlatılır. Burada G gravitasyonal sabit adı verilen bir sabittir. CGS ölçüm sisteminde (CGS, santimetre-gram-saniyeyi anlatır). $G = 6{,}67 \times 10^{-8}$ $cm^3\ gr^{-1}\ sn^{-2}$'dir. Bu değer deneysel olarak saptanmıştır.

$$\frac{F}{M_2} = g = \frac{GM_1}{r^2}$$

deki presesyonda bulundu. Eliptik gezegensel yörüngelerle ilgili oldukça doğru hesaplamalar, gezegenlerin günberilerinin (güneşe en yakın noktalar), gezegenlerin dönme yönlerinde bir presesyona ya da yer değiştirmeye uğramaları gerektiğini açığa çıkardı. Merkür için hesaplanan presesyon, 100 yılda 5.558 açısal saniye olmalı idi. Ama, astronomik gözlemler 5.600 açısal saniyelik bir presesyon açığa çıkardı. Uzun süre, 42''lik bu fazlalık, doğanın açıklanamaz bir kaprisi olarak kaldı. Onun açıklanması bilimde bir devrim gerektirdi, ve bu devrim büyük Alman bilim adamı, Albert Einstein tarafından gerçekleştirildi.

DR. EİNSTEİN'IN DEVRİMİ

Sesin sınırlı ve çok büyük olmayan bir hızla yolaldığı çok önceden bilinmekteydi. Belirli bir uzaklıkta bir tabanca ateşlenirse, ışık parıltısını, patlama sesini duymadan bir süre önce görürsünüz. İşte bu, yeryüzündeki havada saniyede 330 metre olan sesin yayılma hızını ölçmeyi olanaklı kılar. Bugün saniyede yaklaşık olarak 300.000 kilometrelik inanılmaz değere sahip olduğunu bildiğimiz ışığın hızını tayin etmek, ol-

---

niceliği, M_1 kütleli bir cismin, kütlesel çekimi etkisinde bulunan herhangi bir M_2 kütleli cismin ivmesini verir.

İki yüklü parçacığın, yüklerin çarpımı ile doğru ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı bir f kuvveti ile çekildiklerini (eğer yükler karşıt ise) ya da itildiklerini (eğer yükler aynı ise) bildiren Coulomb yasası şekil bakımından benzerdir:

$$f = A \frac{e_1 e_2}{r^2}$$

Burada e_1 ve e_2 sıra ile yükler, ve A orantı katsayısıdır. Eğer, CGS sistemi içinde, bir elektronun yükü, $e = 4{,}8 \times 10^{-10}$ gr $^{1/2}$ cm$^{3/2}$ sn^{-1} birim yük olarak alınırsa,

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2}$$

dukça zordur. Bir ışık ışını yerin etrafını 0,1 saniyede dolaşabilir ve bu yüzden uzun süre insanlar ışığın hızını ölçmeyi başaramamışlardır. Ölçme, sonunda, yerin güneş çevresindeki yörüngesindeki iki noktadan, yer onlara en yakın ve Jüpiterden en uzak iken, Jüpiter'in uydularının tutulmaları gözlenerek başarıldı. Tutulmanın zamanı, saniyenin kesirleri kadar doğrulukla hesaplandı, ama gözlenen zamanlar dakikalar kadar farklı bulundu. Bunun, uydudan gelen ışığın yer yörüngesinin çapı boyunca yolalacağı ek uzaklığa bağlı olduğu sonucuna ulaşıldı. Bu uzaklık bilindiğinde, bilim adamları ilk olarak ışığın hızını hesaplama gücüne sahip oldular. Bugün, ışığın hızı, dönen aynalar yöntemi ile, laboratuvar koşullarında yüksek düzeyde bir doğrulukla ölçülmektedir. Işığın sürati, elektromanyetik alanların uzay içinde yayıldığı hızdır.

Kütlesel çekim alanı ne kadar hızlı yolalır? Havadaki ses kadar mı, boşluktaki ışık kadar mı ya da bir başka hızla mı? İlkin, cisimlerin, araya giren ortamın katkısı olmaksızın, doğrudan etkileştikleri kabul edildi. Ama materyalist düşünce, arada "hiç bir şeyin olmadığı" bir uzaklıktan etkileşme kavramını kabul edemez. Bilim, bir fiziksel sürecin bir cisimden diğerine ancak doğrudan aktarılabileceğini söyler. Hem uzayda hem zamanda, neden ve sonucun karşılıklı ardışıklığı kaçınılmaz bir şekilde var olmalıdır. Bir tüfek namlusundan atılan mermi bir hedefe çarpar. Atışın sesi, atış olduktan sonra duyulabilir, vb.. Ardışık yayılma düşüncelerinden, çekim kuvvetlerinin ve kütlesel çekim alanlarının aniden yayılamayacakları çıkarılır. Onların da, tahminen ışığın

---

olur.

Yukardaki formüllerden, atomaltı (*subatomic*) bölgede kütlesel çekim kuvvetlerinin etkilerinin, elektrostatik kuvvetlerle karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olduğu önemli sonucu çıkarılabilir.

süratine eşit, sınırlı bir hızları olmalı. Bunu dikkate alan yeni bir teoriye gerek duyuldu. Teorinin temelleri, özel ve genel rölativite teorileri içinde Albert Einstein tarafından 1905-1915 arasında atıldı. Çalışmasında, Lobaçevski ve Riemann geometrileri ile yola çıktı.

Uzay ve zaman arasındaki bağları açıklayan özel rölativite teorisinin temel sonuçlarından biri, kütle ve enerjinin eşdeğerliğidir. Teori, hareket eden bir cismin kinetik enerji taşıdığını, bundan dolayı kütlesinin durgun haldekine göre daha büyük olduğunu söyler. Cismin gizli (*latent*) enerjisi büyüdükçe kütlesi de büyür, ve bir fincan sıcak kahve aynı fincandaki soğuk kahveden daha ağırdır. Einstein'ın kütle-enerji eşdeğerlik formülünden, bir kilo gram kütlenin $9{,}18 \times 10^{15}$ kilogram-metrelik inanılmaz enerjiye karşılık geldiği sonucu çıkar.

Ama bir cismin kütlesi ile ne kastedilmektedir? Mekaniksel kütle düşüncesi, kütlenin, cismin eylemsizliğinin (*inertia*) bir ölçüsü olduğunu belirtir. Bundan dolayı kütle, kuvvet ve kuvvetin cisme verdiği ivme cinsinden ifade edilebilir. Fizikte bu yolla ölçülen kütle, eylemsizlik kütlesi olarak bilinmektedir. Ama kütle, aynı zamanda, Newton'un kütlesel çekim formülünden de belirlenebilir. Birbirlerine göre durmakta olan cisimlerin bu kütleleri gravitasyonal kütle olarak bilinmektedir. Eylemsizlik ve gravitasyonal kütlelerin fiziksel yorumları farklıdır, ama bugüne kadar bunların, nasıl ölçüldüklerine bakılmaksızın, aynı cisim için aynı oldukları sezilmektedir. Bir cismin eylemsizlik kütlesinin hareket hızı ile değiştiğini söyledik. Buradan, Einstein, gravitasyonal kütlenin de hız ile değişmesi gerektiği sonucuna vardı. Einstein'ın bundan çıkardığı sonuç, eylemsizlik ve gravite kuvvetlerinin aynı kökenli olmaları gerektiğidir.

Elektromanyetik dalgaların ve ışığın yayılma hızlarının eşitliği, James Maxwell'i, ışığın elektromanyetik ışınımının bir biçimi olduğu postulatına götürdü. Maxwell, elektromanye-

tik dalgaları ve ışığı, ikisini birlikte, önceden tartıştığımız elektromanyetik tayf içine yerleştirdi. Onun varsayımlarının doğru olduğu tanıtlandı ve bilimin gelişmesine önemli katkılarda bulundu. Einstein'ın, eylemsizlik ve gravitasyonal kütlelerin eşitliğine dayandırarak, eylemsizlik ve graviteyi özdeşleştirmesi aynı önemde idi. Bu, Einstein'a 1915'te genel rölativite teorisini geliştirme olanağı verdi — cisimlerin özelliklerine, Newton'un teorisinden çok daha tam ve daha derin yorum getiren modern kütlesel çekim teorisi. O zamana kadar açıklanamaz birçok olay için bir açıklama sağlayan Einstein'ın teorisi, fizikte bir devrimdi. Açıklamasının oldukça matematiksel, ve fiziksel anlamının açık olmayıp oldukça biçimsel görünümde olması yüzünden, genel rölativite teorisini burada sunmak oldukça yararsız olacaktır.

Genel rölativitenin birçok vargıları, bilimsel deney ve gözlemlerle parlak bir şekilde doğrulanmaktadır. Böylece, teoriye göre, güçlü bir kütlesel çekim alanı içinden geçen bir ışık ışını, tıpkı yer yüzeyine paralel fırlatıldığında yerin kütlesel çekimi tarafından saptırılan bir taşın yörüngesi gibi, bükülecektir. Taş gibi, ışık ışını da kütle taşır. Elbette ki, kütlesi çok küçük, ve hızı, sapmasını gerçekten gözlenilebilir

---

MATEMATİK DİLİYLE

EİNSTEİN'IN KÜTLESEL ÇEKİM (*GRAVİTASYON*) TEORİSİ

Einstein'ın kütlesel çekim teorisi, yine onun genel rölativite teorisi içinde sunulmaktadır. Kütlesi m olan bir cisim üzerine bir F kuvveti ile etki yaptığımızda, cisim, $F = mg$ olacak şekilde, g ile göstereceğimiz bir ivme kazanır. Eğer cisim aynı ivmeyi bir kütlesel çekim alanı içinde kazanırsa, cismin aynı $F = mg$ kuvveti etkisinde kaldığı sonucunu çıkarırız. İlk durumda cismin eylemsizlik (*inertial*) kütlesi ile (cismin eylemsizliğini yenmek için bir kuvvet uygulanması gerektiği, anlamında) ilgili iken, ikinci durumda cismin gravitasyonal kütlesi (kütlesel çekim alanında bütün ci-

yapmak için çok şiddetli bir alan gerektirecek kadar çok büyüktür. Böyle bir alan güneş tarafından sağlanmaktadır ve bu alandan "Einstein etkisi"ni doğrulamakta yararlanılmıştır. 29 Mayıs 1919'da, güneşin tutulması sırasında, astronomlar güneş kursuna yakın yıldızların fotoğraflarını çektiler. Yarım yıl sonra, gökyüzünün aynı kısmının, güneş uzakta iken, fotoğrafı çekildi. Fotoğraflar üstüste getirildiklerinde, bazı yıldızların yerleri uymadı. Bu, kendisini geçen ışınları büken, böylece yıldızların görünen konumlarını kaydıran güneşin kütlesel çekiminden ileri geliyordu. Sapma miktarının, yüzde 12'ye varan doğruluklarla öngörülen değere uyduğu, 1919 ve 1952 arasında sekiz kez gözlendi (güneş kursunun kenarını yalayan ışının öngörülen sapması, 1,75''-dir; gözlenen sapma miktarı 1,61'' ile 1,98'' arasında değişiyor). Genel rölativite teorisi, klasik göksel mekaniğin görüş açısından Merkürün günberisinin "yaramazlığı" olayına da bir açıklama getirdi.

Şimdi soru şudur, genel rölativite teorisi tüm sınırsız evrene uygulanabilir mi? Genel rölativitenin denklemleri, keyfî başlangıç koşulları için tam çözümler vermeyen, doğrusal (*linear*) olmayan diferansiyel denklemler adı verilen sınıfa

---

simlerin aynı ivmeyi kazanacağı anlamında) ilgiliyiz. Buradan eylemsizlik kütlesinin gravitasyonal kütleye eşit olduğunu buluruz. Bu rölativite teorisinin bir önemli ilkesi, gravitasyonal ve eylemsizlik kütlelerin eşdeğerliği ilkesidir.

Rölativite teorisinin ilânından oldukça önce ilginç bir hesaplama yapılmıştı. Işığın, göksel cisimler, örneğin güneş tarafından da çekildiğini varsayarak, güneşi sıyırıp geçen bir ışık demetinin yörüngesi hesapla bulunabilir. Bu hesaplamalarda Newton mekaniği ve kütlesel çekim yasaları, güneşin kütlesel çekim alanında ışık hızı ile yolculuk eden düşsel bir cisim için uygulanmışlardır. Hesaplamalar, yersel bir gözetmen için, uzak bir yıldızdan güneşi sıyırarak gelen bir ışık ışınının sapması-

girerler ve oldukça karmaşıktırlar. Mecazî anlamda, bilim adamlarının ellerinde keskin nişancıların boğayı gözünden vurabileceği tüfekleri vardır, ama onlar hedefin tayininde yeterli ustalıkta değiller. Bilim adamları, denklemleri çözme ve kullanmadan önce, ya basitleştirmeli ya da basitleştirilmiş başlangıç koşulları kabul etmelidirler. İşte Einstein, evrenin genel özelliklerini araştırmada denklemleri böyle kullandı.

Karşılaştırmaya devam ederek, "keskin nişancıların", onları kullanma yeteneğinden yoksun oldukları için, tüfeğin nişangâhını kullanmadıklarını ve namlu içinden bakarak nişan aldıklarını söyleyebiliriz. Basitleştirmeler ikinci ve üçüncü dereceden terimleri içerir ve oluşan hata bu nedenle çok büyük değildir. Böylece temel denklemler, kütlesel çekim alanlarının kendi üzerlerine etkileri kadar bir ışık ışınının oluşturduğu elektromanyetik alanla yakınından geçtikleri cisimlerin kütlesel çekim alanlarının etkileşimlerini de dikkate alır. Basitleştirilmiş denklemler, yersel koşullarda ve yerin büyüklüğü ve hatta yer yörüngesinin çapı ile karşılaştırılabilir uzaysal bölgelerde bu etkileşimleri dikkate almaz, bunların etkileri önemsizdir. Ama, ışığın bir uçtan

---

nın 0,83'' = 0,85'' kadar olduğunu gösterdi. Ama, güneşin tutulması sırasında alınan fotoğraflar, 1,75'' dolaylarında bir sapma olduğunu gösterdiler. Bu uyuşmazlık rölativite teorisi ile açıklandı.

Bu teoriye göre, madde, kendisini çevreleyen uzayın şeklini bozar, çarpıtır. Verilen bir bölgede, madde yoğunluğu büyüdükçe uzayin eğriliği de büyür. Tıpkı bir trenin eğri bir yol boyunca hareketinde eylemsiz merkezkaç kuvvetlerinin oluşması gibi, cisimlerin eğri yollar boyunca hareketlerinde gravitasyonal olaylar ortaya çıkar.

Eğrisel bir uzayda iki nokta arasındaki en kısa uzaklık bir doğru parçası değildir, tıpkı bir küre yüzeyi üzerinde iki nokta arasındaki en kısa uzaklığın büyük dairenin bir yayı olması gi-

bir uca uzandığı geniş uzaklıklar boyunca, etkileşim enerjisi ışık akısı enerjisi ile orantılıdır, ve buna göre, yaklaşık çözümlerin verdiği değerlerden önemli ölçüde farklılaşmalıdır.

Özetlersek, uygulamalarına çağdaş matematik bilgisi izin verdiği ölçüde, Einstein'ın kütlesel çekim teorisi Newton'un klasik teorisinden çok daha doğrudur. Einstein'ın teorisi, her ne kadar sınırsız evrenin tümüne birden uygulanamazsa da, oldukça geniş uzaysal bölgeleri incelemek için kullanılabilir. Seeliger'in paradoksu gibi olayları hiç bir düzeltme etkeni gerektirmeden açıklamakta kullanılabilmesi ve evreni ölçülemeyecek büyüklükteki uzaklıklarda incelemekte kullanılabilir olması, Einstein teorisinin Newton teorisine üstünlüğüdür.

GENLEŞEN EVREN

Genel rölativitenin temel denklemlerinin Sovyet bilim adamı A. A. Friedman tarafından geliştirilen bir çözümü, evrenin düzenli bir şekilde genleştiği sonucuna götürmektedir. Buradan, evrendeki madde yoğunluğunun düzenli ola-

---

bi (büyük daire, ya da jeodezi, küresel bir yüzeyle onun geometrik merkezinden geçen bir düzlemin arakesit çizgisidir). Böyle bir yörüngedeki hareketin matematiksel anlatımı oldukça çapraşıktır ve hiç bir şekilde basit bağıntılara indirgenemez. Kütlesel çekim kuvvetlerinin yalnızca uzayın eğriliğine değil, aynı zamanda cisimlerin hızlarına da bağlı olduğu bulunmuştur.

Kütlesel çekim, ışığın yalnız doğrultusunu saptıracak bir etki değil, aynı zamanda dalga boyunu değiştirecek etki de yapar. Kütleli bir varlıktan uzaklaşarak yolculuk eden bir ışık demetinde dalga boyu, λ, artar (daha kırmızı gözükür); kütleli bir cisime doğru yolculuk eden bir ışık demetinin dalga boyu azalır (daha mavi gözükür). Bu olay,

rak azaldığı ve galaksiler arasındaki uzaklıkların arttığı sonucu çıkarıldı. "Kaçan galaksiler" (*"fleeing galaxies"*) ve "genleşen evren" varsayımları, gözlenebilen galaksilerin görünür hızlarını ölçerek doğrulanabilirdi. Bunun söylenmesi kuşkusuz yapılmasından kolaydır, ama astronomlar bir çıkar yolunu buldular. Onların yöntemleri Doppler olayı olarak bilinen olaya dayandırıldı. Eğer, trenin durmadan geçtiği bir sırada bir demiryolu peronunda bulunmuşsanız, tren yaklaşırken düdüğünün perdesinin düzenli olarak çığlık sesine doğru yükseldiğini [sesin tizleştiğini —ç.] gözlemişsinizdir. Düdüğün perdesindeki değişim oranının ölçülmesi, trenin istasyona yaklaşma hızının ölçülmesine olanak sağlayacaktı. Uzak galaksilerin hızlarını ölçmek için aynı ilke kullanıldı. Yalnızca, ses titreşimlerinin frekansındaki değişme yerine, elektromanyetik titreşimlerdeki frekans değişimi ölçüldü. Bu değişimler, galaksilerin ışık tayfındaki elementlerin tayf çizgilerinde bir kayma olarak gözlenmiştir. Yakın ve uzak çok sayıda galaksinin hızları ölçüldüğünde, tayf çizgilerinin, tayfın kırmızı ucuna doğru yer değiştirdikleri ortaya çıkarıldı —kırmızıya kayma (*red shift*) denen olay— ki bu galaksilerin bizden uzaklaştıkları gerçeğini belirtir. Bilim adamları, aynı

$$\frac{\triangle\lambda}{\lambda} = \pm \frac{mG}{rc^2}$$

bağıntısı ile anlatılır. $\triangle\lambda$, dalga boyundaki kayma, r cisme olan uzaklık, m ise cismin kütlesidir. Etki farkedilebilirdir ve büyük yıldızlarda gözlenebilir. Güneş için,

$$\frac{\triangle\lambda}{\lambda} = 2 \times 10^{-6}\text{'dır.}$$

Genel rölativitenin bir diğer etkisi —eliptik yörüngelerde dolaşan cisimlerin günberi noktalarındaki yerdeğiştirme— metin içerisinde verilmiştir.

Gravitasyonal enerjinin soğrulmasının ve parçacık çiftleri oluşmasının mümkün olmasını açıklaması bakımından, zayıf alanlar için kütlesel çekim yasası,

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}\, e^{-r/R}$$

zamanda, daha uzak galaksilerin hızlarının daha büyük gözüktüğünü de buldular. Kırmızıya kayma, gözlenilebilen en uzak galaksilerinki saniyede 60.000 kilometre ya da daha büyük hızlarda olmak üzere, galaksilerin gerçekten "kaçmakta" olduklarının kesin kanıtını verir.

Ama eğer galaksiler şimdiki durumda kopup ayrılıyorlarsa, onların birbirine oldukça yakın oldukları bir zamanın olması gerektiği akla-uygun gelmektedir. Astronomların tahminleri, birçok bin milyonlarca yıl önce, bütün galaksilerin, evrenin bizim bölgemizdeki çok küçük bir kesiminde yığışmış olması gerektiğini gösteriyor. Bir başka konunun uzmanı olan bilim adamları, jeofizikçiler, radyoaktivite ile tarih belirleme yöntemini kullanarak, doğrudan doğruya araştırmaya elverişli tek kozmik cisimlerin, yersel kayaların ve göktaşlarının yaşlarını belirlemeyi üzerlerine aldılar. Jeofizikçilerin bulguları yerin ve göktaşlarının maddesinin 5.000-6.000 milyon yıl önce biçimlendiğini göstermektedir ki, bu, astronomların hesaplamaları ile iyi uyuşmaktadır.

Bu bulgular, gözlenilebilir evrenin tüm maddesinin bir zamanlar "ilkel bir yumurta" içinde yoğunlaşmış olduğuna dayalı bir varsayıma temel oldular. Bu patladığında, döküntüler çok büyük hızlarla saçılmaya başladı. Galaksiler, bulutsular (*nebulae*) ve diğer göksel cisimler patlamanın genleşen ürünleri olarak şekillendiler ve onların arasından yıldızlar ve gezegen sistemleri ortaya çıktı. Bu teoriye göre tüm evren patlama bölgesinde sınırlanmıştır.

Bizim görüşümüze göre, sonraki sonuca inanılması zordur. Kuşkusuz evren genleşiyor gözükmektedir. "Uranyum

---

şeklinde yazılabilir. Burada, R bir gravitonun serbest hareket yoludur (gravitonun soğrulmadan yolculuk edilebileceği uzaklık), 10^{27} ile 10^{30} cm arasındadır, ve $e = 2{,}72...$ doğal logaritmanın tabanıdır.

saati" ölçümleri yerin ve göktaşlarının içeriğinde bulunan tözlerin ne zaman varlığa eriştiklerini gösterirken, kırmızıya kayma, galaksilerin "kaçıştıklarının" açık belirtisidir, gerçekler bunlardır.

Aşağıdaki modeli düşününüz. Bir başlangıç zamanında bir gazın taneciklerinin, hacim merkezlerine doğru göçmeye başladıklarını varsayalım. Tanecikler biraraya geldiklerinde, sistem, taneciklerin çok büyük kinetik enerjilerinin depolanması ile durgun olacaktır. Bu enerjinin salınması, tanecikleri ayrı taraflara fırlatmaya başlar. Kürenin merkezinden dışarıya doğru bir sarsıntı dalgası yolalır ve genleşme başlar. Kürenin çevresindeki tanecikler, derindeki taneciklere göre dışarıya daha hızlı fırlatılırlar. Bu, çok basit bir deneyle tanıtlanabilir. Çok sayıda tavla oyunu pulunu herbiri komşusuna dokunacak şekilde bir sıraya dizin ve bir ucundan cetvelle sert bir darbe vurun. Etki bütün pullar arasından yayılacak ve diğer uçta bulunan biri dışarıya kayacaktır. Sondan bir önceki pul çok azıcık hareket edecek, diğerleri ise, pratik olarak yerlerinde kalacaklardır. Şimdi, eğer genleşen gazın tanecikleri biri diğerini karşılıklı olarak çekiyorsa, içteki taneciklerin merkeze doğru geri çekilmeye başlayacakları bir zaman gelecektir. Bu büzülmeyi yeni bir genleşme izleyecek ve böylece sonsuzluğa doğru: çekirdek titreşecektir. Bunun bir benzerini plazma sütununun titreşmesinde gözledik.

Modelimizi evrensel bir ölçekte genişleterek, evrenin tüm maddesinin, kütle çekimi (*gravity*) etkisinde, evrenin geometrik merkezine doğru büzüldüğü bir zamanın olduğunu düşünebiliriz. Oluşan pek yüksek basınçlar, bütün doğrultularda kocaman üfürümler şeklinde maddenin dışa doğru aktığı çok büyük bir patlamayı gerçekleştirecek olan farklı türlerdeki çekirdek tepkimelerini başlatacaktır. Bu müthiş patlamanın sonuçlarına pekâlâ tanık bulabiliriz. Patlamanın oluştuğu zaman, "uranyum saati" ile verilir. Açıktır ki, biz

patlamanın tabiatını ancak kestirebiliriz. Maddenin patlamadan önce ve patlama sırasındaki biçimlerini bilme olanağımız yok: her ne kadar madde öncesiz ve sonrasız ise de onun biçimleri sonsuz değişmelere ve dönüşmelere uğrar. Elbette ki, patlama ve onun sonucu olan madde dağılmasının bir "yaratılış" eylemi olmadığını, patlamanın evrenin bir doğum günü olmadığını söyleyebiliriz. Tüm bilinen dünyaları ve galaksileri kusan bu müthiş tufan, diğer yandan, maddenin evrimi bakımından ise, sınırsız evrenin küçük bir bölgesindeki bir olgu idi.

Bazı araştırıcıların, evreni, Einstein'ın temel formülleri ile anlatılabilen, genleşen madde bölgesiyle kısıtlama girişimleri tamamen temelsizdir. Evren, uzay ve zaman bakımından sonsuzdur ve evrenin insan zekâsının başarılı bir şekilde incelediği kısmının tüm evren hakkında verebileceği fikir, büyük bir kentteki bir apartman dairesi döşemesinin bütün diğer dairelerin döşemesi hakkında verebileceği fikirden daha fazla değildir.

Genleşen evren varsayımı, aynı zamanda, bizim Samanyolumuz dahil, galaksilerin genellikle girdap gibi dolanan, sarmal (*spiral*) yapısının akla-uygun bir açıklamasını verir. Bir patlamada, daima genleşen sarsıntı dalgalarını geriden izleyen girdaplar gözlenir. Belki de üç boyutlu dünyamızın genleşen kısmının ön tarafı, şimdilik tamamen bilgisiz olduğumuz daha büyük evrenin sonsuz uzayı içine doğru, giderek daha da içerilere doğru yayılıyor. Sarmal galaksiler, büyük kütlelerine ve evrensel kütle çekim kuvvetine bağlı olarak, önemli derecede kararlılık gösteren girdaplı şekillenimler olarak görülebilir. Yıldızların doğum süreçleri ve gezegen sistemlerinin oluşumu bu sarmal galaksilerin gaz ve toz bulutları içinde ortaya çıkar.

Hızla giden bir gemiyi gördüğünüzde, onun dümen suyunda girdapların sürekli olarak nasıl şekillendiğini gözleyiniz. Geminin arkasına yakınsalar, tekneyi hızlıca izlerler,

uzaklık arttıkça daha gecikirler. Geminin arkasında bulunan bir gözleyiciye göre daha uzak girdaplar daha hızlı uzaklaşıyor görünecektir. Patlayan evrenin önündeki sarsıntı, galaksilerin girdaplarını benzer biçimde taşıyor olabilir.

Gözlenebilen evrenin genleşmesinin bölgesel ve zamansal bir olay olduğunu ve sonsuz evrenin tümü içinde, genleşme ve büzülmenin değişik evrelerinde bulunan sonsuz sayıda titreşen bölgelerin var olduğunu pekâlâ kabul edebiliriz. Ama, evrenin tümünün patlamasına ya da evrendeki bir büzülme bölgesine bakmamız için, evrendeki bizim bölgemize ait sınırların ötesine, bizim düş gemimiz bile bizi götüremez.

Ve kısaca, bilim, kütlesel çekim kuvvetlerini bilmektedir. Bu fazla bir şey değildir. Üstelik, ne Newton'un klasik kütlesel çekim teorisi, ne de Einstein'ın genel rölativite teorisi, cisimlerin neden birbirlerine doğru böylesine çekildiklerinin fiziksel bir açıklamasını vermez.

GRAVİTE PARÇACIKLARI

Einstein, ışığın sürekli bir akıntı içinde değil kesikli paketler ya da kuantumlar (*quanta*) ya da fotonlar şeklinde yayıldığı sonucuna ulaştı. Işık kuantumlarının varlığı sayısız deneylerle doğrulanmıştır, ve birçok bilim adamı kuantum teorisine katkıda bulunmuştur. Bugünkü haliyle, elektromanyetik alanın kuantum teorisi oldukça ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve teorinin öngörüleri deneyle doğrulanmış olduğundan, kütlesel çekim alanının kuantum teorisi ile ilgili bir varsayımda bulunmak olanaklıdır.

Aşağıdaki tartışmada ilerlemeden önce, yazarlar, bu bölümde geçecek önermelerin evrensel olarak paylaşılmadığına ya da tüm bilim topluluğu tarafından kabul edilmediğine, okurun dikkatini çekmek isterler.

Biz, bütün cisimlerin kendiliğinden, graviton adını vereceğimiz kesikli "gravite paketleri" yaydığı kabulünden ha-

reket edeceğiz. Gelin biraz daha ileri giderek, bir cismin sıcaklığı yükseldikçe foton ışıması şiddetinin de yükselmesi gibi, "çekirdek sıcaklığı" (çekirdeğin enerji deposu) yükseldikçe graviton ışıma şiddetinin de yükseldiğini kabul edelim. Graviton ışımasının "çekirdek sıcaklığına" bağlılığı, açık olarak, asla gözlenemeyecek kadar zayıf olmalıdır.

Bundan dolayı, cisimlerin graviton ışımasının şiddeti sıcaklığa bağlıdır. Ama cismin tümünün sıcaklığına değil, bileşen elemansal parçacıkların sıcaklığına, yani onların uyarılma derecelerine bağlıdır. Şu kadar ki, uyarılmamış olsalar bile, tüm elemansal parçacıklar saniyede 10^{22}-10^{24} devir dolaylarında bir frekansta titreşirler ve bu titreşimler, boşlukta değil —zaten öyle bir şey yoktur—, kuvvet-uygulayabilen bir ortam olan bir alan içinde ortaya çıkarlar. Her atımda (*puls*), parçacığın kendini kuşatan çevresi içine bir enerji paketçiği saldığını kabul edebiliriz. Salınan enerjiye graviton ve onun maddece-eşdeğerine (enerjinin, ışık hızı karesine bölümüdür) gravitonun kütlesi adını verebiliriz. Son olarak, verilen bir uyarılma derecesinde salınan gravitonların sayısının (enerjisinin), yayımı yapan parçacığın kütlesi (enerjisi) ile orantılı olduğunu kabul ediyoruz.

İki açık borunun belirli bir uzaklıktan ucuca yerleştirildikleri, hidrodinamik bir model düşünün. Borular içinde bir patlama oluştuğunda, yakım gazları herbirinin uçlarından dışarı püskürür. İlk izlenim, böyle bir düzenekte boruların gaz püskürmeleri ile birbirlerini itecekleri şeklindedir. Ama gerçekte tersi oluşur ve borular birbirlerini çekerler. Bunun nedeni, borular arasındaki uzayda bir yüksek basınç bölgesi oluşmasıdır, bu bölge içine gaz akışı azalır ve boruların karşıt uçlarındaki püskürmelerin tepkime kuvvetleri onları birbirlerine doğru sürer.

Şimdi bütün yönlerde gravitonlar ışıyan iki cisim düşünün. Açık olarak, cisimler arasındaki uzay içinde kütlesel

çekim alan şiddeti diğer yönlerdekinden daha yüksek olacaktır ve iki cisimden bu yüksek şiddet yönünde salınan gravitonlar diğer yönlerdekinden daha az olacaktır. Ters yönlerde dışarı atılan gravitonların tepki kuvveti iki cismi birbirlerine doğru sürükler.

Borularla ilgili deneyimizde, tepki kuvvetlerine ek olarak, borular, aralarındaki yüksek basınç bölgesinin itici kuvveti ile karşılaşırlar. Benzer itici kuvvet, kütlesel etkileşimde bulunan iki cisim arasındaki yüksek şiddet bölgesinde de olmalıdır. Hesapların gösterdiğine göre, bu kuvvet, çekim kuvveti yanında ölçülemeyecek kadar küçüktür. Bununla birlikte, santimetreküpte 10^{16} gram gibi oldukça büyük bir yoğunlukta (ki bu, böyle bir maddenin bir santimetreküpünün 10.000 ton ağırlığında olacağı anlamına gelir) bir madde hali düşünürsek, böyle iki cisim çevresindeki kütlesel çekim alanının basıncı ve şiddeti öylesine büyük olacaktır ki itme kuvvetleri çekme kuvvetleri ile karşılaştırılabilir olacaktır. Daha yüksek yoğunluklarda madde kendiliğinden bozunacak ve parçacıkları birbirini itecektir.

Kütlesel çekim alanı enerjiye ve bu nedenle kütleye sahip olduğundan, graviton salan cisimler kütle ve enerjilerini kaybetmelidirler. İlk olarak Profesör D. İvanenko'nun gösterdiğine göre, çarpışan iki gravitonun, örneğin elektron ve pozitron gibi bir parçacık çifti oluşturabileceklerini varsayabiliriz, ki bu parçacık çifti tersine gravitonlara dönüşebilir. Ama iki gravitonun çarpışmada iki parçacık vermesi, ya da tersine, parçacıkların graviton doğurması için, öylesine büyük ilk enerjiler gereklidir ki, böyle bir dönüşümün ortaya çıkma şansı önemsizdir. Diğer yandan, kendiliğinden graviton salınması daha olasıdır.

Her bir graviton, varlığını borçlu olduğu elemansal parçacık kütlesinin bir kısmını alıp götürdüğünden, gravitonların enerjileri bilindiğinde, bir elemansal parçacığın yarıya kadar küçülmesi için geçecek zaman hesaplanabilir. Bir baş-

ka deyişle, maddenin kütlesel çekim alanına bozunması sırasındaki yarı-ömrü hesaplanabilir. Böyle hesaplamalar yapılmış ve on binlerce milyon yıl dolaylarında değerler elde edilmiştir. Diğer hesaplamalar, gravitonun kütlesini sonsuz küçük, 5×10^{-66} gram, ve enerjisini 5×10^{-45} erg değerinde vermektedir. Protonun kütlesi $1{,}7 \times 10^{-24}$ gram (elektron, 1.840 kez daha hafiftir), ve titreşim frekansı saniyede 10^{23} devir kadar olduğundan, kütlesel çekim alanına bozunmada bir protonun yarı-ömrü 10^{10} yıl dolaylarındadır. Santimetreküp başına 10^{14} gram olan protonun yoğunluğu ile gravitonun aynı mertebede bir yoğunluğa sahip olduğu varsayılırsa, gravitonun yarıçapı 2×10^{-27} santimetre kadar olacaktır. Protonun yarıçapı $1{,}5 \times 10^{-13}$ santimetre olduğundan, proton yanında graviton, yer küresi yanındaki bir toz zerresi gibi kalır.

Maddenin gravitonlara dönüşümü, belki de çok sayıda fiziksel koşullara, önemli ölçüde ortamın yoğunluğu ve çekirdeğin elemansal bileşenlerinin "sıcaklığına" (enerji) bağlı olacaktır. "Sıcaklık" bağıl olarak düşük olduğunda, cisim daha az graviton salar, diğer cisimlerle daha zayıf derecede etkileşir ve daha az tartılabilirdir. Çekirdeksel "sıcaklığın" artması graviton salınmasında ve sonuç olarak ağırlıkta artmayı anlatır. Evrenin herhangi bir yerinde "aşırı-ağır" ve "aşırı-hafif" tözler var mıdır? Gelin, yeniden düş gemimize binelim ve onları araştırmaya koyulalım.

Hedefimiz, gökyüzündeki gizemli yıldızlardan biri, Siriusun donuk eş (*companion*) yıldızıdır. Ona yaklaştıkça büyük bir yıldız olmadığını, güneşten daha küçük olduğunu görürüz. Bu yıldız son derece sıcaktır ve yüzeyindeki sıcaklık 15.000° C kadardır. Ama onunla ilgili asıl önemli nokta, bizim düş gemimizi, büyüklüğü ile hiç de uyuşmayan bir kuvvetle çekmesidir. Bu kuvvetin büyük olması, en son tahminlere göre, suyunkinden bin milyon kez daha büyük olan yoğunluğundan dolayıdır. Onun maddesinin bir santimetreküpü bin

ton ağırlığındadır ve [bu maddeden —ç.] yapılmış bir palto düğmesi, bir demiryolu trenini dengeleyebilir. Sirius'un eş'ine (*companion*) onun maddesinden bir örnek getirmesi için, bir sondaj roketi gönderiyoruz. Laboratuvarımıza getirdiğimizde garip bir şey gözlüyoruz: örnek maddenin eylemsizlik ve durgun kütleleri uyuşmamaktadır. Bu olağandışı olayın açıklaması şöyledir: örnek, olağanüstü niceliklerde gravitonlar salar ve olağan yersel tözlerden daha hızlı bir şekilde kütlesel çekim alanına bozunur. Bilim adamları, beyaz cücelerin bu olağandışı özelliklerini, atom çekirdeklerinin elektronlarından sıyrıldığı ve hemen hemen dokunacak kadar biraraya geldikleri, maddenin özel bir haline bağlı olarak açıklıyorlar.

Yukarda ileri sürülen varsayımı deneysel olarak doğrulamanın bir yolu var mıdır? Bu, kuşkusuz ki korkunç bir iştir, ama olanaksız da değildir. O, aşağıdaki deneyle zihinde canlandırabilir. Aralarında belirli bir kütlesel çekim etkileşimi olan iki cismimizin bulunduğunu varsayalım. Bir cisim birdenbire hızla çekilmeye uğrar. Bu süreçle ilgili sinyal, ikinci cisme, ışık hızı ile yolalan gravitonlarla iletilir. Aynı zamanda kütlesel çekim alanı içine doğru bir gravitasyonal basınç düşürme dalgası yayılır. Bu dalganın hesaplanan hızı gravitonlarınkinin beşte-ikisi kadardır. Ancak, ikinci cisim, bu dalga kendisine ulaştığında, birinci cismin çekilmekte olduğunu "duyacaktır".

Bir diğer ilginç nokta, gravitonun madde tarafından soğurulmasıdır. Böyle bir deney, güneşin tam tutulması sırasında, güneşin yüzü ay tarafından kapatıldığında sahneye konabilir. Durum böyle ise sorulacak soru, ayın gölge merkezinde bu cisimleri güneşin çekiminin ne oranda azalttığıdır. İlke olarak, gravitonlar madde tarafından soğurulmalıdır, ama ne miktarda olduğunu bir deney ortaya koymadan söylemek olanaksızdır. Bir başka yararlı deney, kütlesel çekim alanında Doppler olayının incelenmesidir.

Ayrıca, evrensel kütle çekiminin hidrodinamik teorisi, kütlesel çekim kuvvetinin Newton yasasına göre uzaklığın karesi ile ters orantılı olması gerekirken, neden daha hızlı azaldığını açıklayabilir. Bu, gravitonların diğer elemansal parçacıklara dönüşümüne bağlı olabilir, teori, böylece, bilim adamlarının oldukça başını ağrıtan Seeliger paradoksunun nedenini de açıklar. Kütlesel çekimin hidrodinamik teorisi, bazı durumlarda üzerine dayandırıldığı Einstein'ın kütlesel çekim alanı teorisinin yerine geçmek üzere tasarlanmamıştır. Bununla birlikte, hidrodinamik teori, kütlesel çekimin tabiatı ile ilgili daha geniş bir fikir verir. Özel olarak, hidrodinamik teori, cisimler arasındaki itme kuvvetlerini de dikkate alır.

ATOMUN KALBİNDE

Kütlesel çekim, güçlü ve her şeye kadir görünürse de, onun yüce saltanat bölgesi, gezegenlerin ve uyduların, yıldızların ve galaksilerin makroskobik dünyası ile sınırlandırılmıştır. Atom çekirdeğinin mikroskobik dünyasında kütlesel çekim kuvvetleri, büyüklük bakımından, çekirdek alan kuvvetlerinden 36 mertebeden daha zayıf olmaları yüzünden önemsizdirler. Bu, elemansal parçacıklar arasındaki etkileşimlerde çekirdek alan şiddetini birim olarak alırsak, parçacıklar arasındaki kütlesel etkileşimlerin ilk anlamlı hanesinin virgülün 36 sıfır sağında gözüktüğü bir ondalık kesirle ifade edilebileceği anlamına gelir. Çekirdek kuvvetlerinden 100 kez küçük olan elektromanyetik kuvvetlerle karşılaştırırsak, elektromanyetik kuvvetler de sezilebilirdirler.

Buradan, çekirdek alanları ile ilgili ilk önemli şeyin, onların büyük şiddeti olduğunu not edebiliriz. Bununla birlikte çekirdek alanlarının etkisi, oldukça küçük uzaklıkları kapsar ve birbirinden 10^{-9} mikron uzaklıktaki iki elemansal parçacığın etkileşimi pratik olarak sıfırdır. (Bir atomun çapı

bin kez daha büyüktür.) Bir çekirdek içerisindeki elemansal parçacıklar, ancak komşuları ile etkileşirler. Bu özellik çekirdek alanı doygunluğu (*saturation*) olarak bilinmektedir ve henüz açıklanamamıştır. Belki de bu özellik, elemansal parçacıklar birbirlerine çok yaklaştıklarında, birbirlerini itmelerine neden olan bilinmeyen bir türden etkileşimin varlığını kanıtlamaktadır. Son olarak, çekirdek alanlarının bir diğer ilginç özelliği de, iki elemansal parçacık arasındaki etkileşimin yalnızca aralarındaki uzaklığa değil aynı zamanda spinlerinin* yönelimlerine bağlı olmasıdır.

"Spin" terimi, elemansal parçacıklar henüz küçük katı boncuklar gibi işlem gördükleri zaman, parçacık durumunun bir niteliği olarak öne sürülmüştü. Birçok gözlem, parçacıkların kendi eksenleri etrafında döndüğünü gösterdi, ve spin, parçacığın özünde olan açısal momentumu belirlemek üzere tanımlandı. Parçacıkların katı boncuklar gibi olmadığı açıklığa kavuştuktan sonra da spin kavramı korundu, ama fiziksel anlamı değişti. Bununla birlikte, basitliği sağlamak için elemansal parçacıkları eksenleri etrafında dönen küçük maddesel boncuklar gibi işleme tâbi tutmaya devam edebiliriz, ve aralarındaki etkileşimlerin, kısmen, birbirlerine "kutupları" ile mi, yoksa "ekvatorları" ile mi yaklaştıklarına bağlı olduğu bulunur.

Daha önceden, çekirdeği bir proton ve bir nötron kapsayan ağır hidrojenden, döteryumdan sözettik. Bu, ayrılması için çok enerji harcanmasını gerektiren oldukça kararlı bir çekirdektir. Ama döteryum çekirdeği ancak proton ve nötronun spinleri aynı anlamda ise ortaya çıkabilir. Bu açıdan çekirdek alanı, kütlesel çekim alanından önemli ölçüde ayrılır. Bu, iki mıknatıs arasındaki etkileşime oldukça benzer, ki mıknatıslar arasındaki etkileşimin yönü, mıknatıs eksenlerinin karşılıklı yönlerine olduğu kadar, benzer ya da kar-

* *Spin*, bir elemansal parçacığın kendi içinden geçen bir eksen etrafında dönmesidir. —ç.

şıt kutupların yanyana getirilmesine de bağlıdır.

Ve çekirdek etkileşimlerinin son bir özelliği, parçacığın yükünden bağımsız olmasıdır. Her ne kadar bir proton çifti hayli uzaktan elektromanyetik itme kuvvetleri etkisinde kalırlarsa da, bir çekirdek alanı iki protonu, bir nötron ve bir proton ya da iki nötronda olduğu gibi, sıkı bir şekilde bağlar.

Çekirdek kuvvetlerinin tabiatı, henüz, oldukça büyük bir gizdir. Az ya da çok inandırıcı, birçok teori vardır. Mezon rak gözüküyor. Elektromanyetik alan, kuantumlar içermektedir. Kütlesel çekim alanının gravitonlar içerdiği tasarlanmaktadır. Çekirdek alanının, kütleleri elektronunkinin 300 katı kadar olan mezon adlı elemansal parçacıklardan meydana geldiği tasarlanmaktadır ve bu nedenle bazan, mezon alanı olarak adlandırılmaktadır. Yukava-Tam teorisine göre, çekirdeksel bağ kuvvetleri elemansal parçacıklar arasında sürekli bir mezon alışverişi ile ortaya çıkmaktadır.

Etkileri maddenin kesin varlığını belirleyen çekirdek alanları ile ilgili henüz az şey biliyorsak da, atom çekirdeği konusundaki bilgimiz düzenli olarak genişlemektedir. Atom çekirdeğinin bütün gizlerinin çözülmüş olacağı ve bugün elektromanyetik alanların yaptığı gibi, çekirdek alanlarının da insana uysalca ve sadık bir şekilde hizmet edeceği zamanın pek uzak olmadığında hiç şüphe yoktur.

MADDE FABRİKALARI

Ortaçağın simyager kuşakları, yüzyıllarca, civa ve diğer olağan elementleri altına dönüştürme çabaları için yaşamlarını adadılar. Onlar, mahzen haline getirilmiş bodrumlarda, şişelerle ve imbiklerle birtakım dolaplar çevirerek, değişik tözleri çözerek, yakarak, buharlaştırarak, birleştirerek ve ayrıştırarak, kestirme yoldan zengin olmak için boş bir se-

rüven içinde günlerini ve gecelerini harcadılar. Nice apansız esinlerle, umut verici buluşlarla, acı düş kırıklıkları ve yıkılan umutlarla karşılaştılar! Bilimin tümünde, yalnızca, sürekli hareket (*perpetuum mobile*)* düşüncesinin kısır bir uğraş olduğunu bildiren büyük çanlar çalıyordu. Sürekli hareket makineleri gerçekten olanaksızdır ve hiç bir zaman yapılamayacaklardır. Bir kimyasal elementin bir başkasına dönüşümü ise öyle değildir. Bu problem çözülmüştür ve bugün fizikçiler yeryüzünde bulunmayan yeni elementleri gerçekten yaratmaktadırlar. Günümüze kadar fizikçiler, periyodik tablonun 92 elementine 11 yeni element eklemişlerdir. Bol bulunan elementlerin dışında, seyrek raslanan elementleri üretmek üzere sınaî fabrikaların kurulacağı günler gerçekten gelecektir.

Kimyasal elementlerin dönüşümü, onların çekirdek yapılarındaki değişmelerden kaynaklanmaktadır. Atom çekirdeği, güçlü bir elektromanyetik alan ve bir ya da daha çok elektron kılıfı ile örtülmektedir. Bu engelleri geçmek için çok büyük kuvvet gerekir. Atom çekirdekleri, dev elektromanyetik düzeneklerde, ışık hızına yaklaşan hızlara kadar ivmelendirilen elemansal parçacıklarla, genellikle hidrojen çekirdekleri ile, sözcüğün tam anlamı ile, bombalanırlar. Dünyadaki parçacık ivmelendiricilerinin en büyüklerinden biri, Moskova'nın çok uzağında olmayan Dubna kentinde işlemektedir. Bu hızlandırıcıya proton sinkrotronu (*synchrotron*) denmektedir ve, bu, hızlandırılan parçacıklara 10 Bev (milyar, ya da bin milyon elektron volt) kadar enerji sağlama yeteneğindedir. Daha güçlü düzenekler yapılmaktadır ve SSCB'nde kurulmakta olan biri, 50-70 Bev kadar bir enerji kapasi-

* *Sürekli hareket* (*perpetuum mobile, perpetual motion*) *makinesi*, eski deyimle *devr-i daim makinesi* düşüncesi, ortaçağ kuşaklarını uzun süre boşuna uğraştırmış, bir kez çalıştırıldıktan sonra, hiç enerji gerektirmeden çalışmasını sürdüren ve iş yapan bir makine düşüncesidir. Temel fizik yasalarına aykırı olan, enerji almaksızın sürekli enerji üreten böyle bir makinenin yapılma olanağı yoktur. —ç.

tesine sahip olacaktır.

Atom çekirdeğinin zırhını parçalamak için bir diğer yöntem, parçacıkların ısısal (*thermal*) olarak hızlandırılmasıdır. Atom çekirdeklerini çarpışmaya sokmak için, bir tözü yeterli sıcaklıklara kadar ısıtma yöntemlerinden biri, atom bombasının patlamasıdır.

Atom çekirdeği içerisine nötronlarla girmek de olanaklıdır. Nötronların yüklerinin olmaması, atom çekirdeğine bağıl olarak daha küçük hızlarda yaklaşmalarını kolaylaştırır, çekirdeğe giren bir nötron, çekirdek dönüşümüne neden olma yetisindedir. Doğada böylesine tepkimeler olabilir. Örneğin, kozmik ışınlar, aşırı hızlara kadar ivmelendirilmiş elemansal parçacıkların güçlü akıntılarıdır ve farklı elementlerin oluşturulması için gerekli enerjiyi rahatlıkla verebilirler. Kozmik ışınlar yere oldukça düzenli akınlar halinde ulaşırlar, ama zaman zaman şiddetleri keskin sıçramalar gösterir. Bu sıçramalar, genellikle bir grup güneş lekesinin yakınlarında oluşan güneşteki anlık alevlenmelerin (*flare*) astronomlarca gözlenmesinden kısa bir süre sonra meydana gelmektedir. Bir alevlenme, kozmik ışınları büyük çağlayanlar halinde püskürtür ki güneş atmosferi içindeki iyonlarla çarpışan bu kozmik ışınlar yeni elementler oluştururlar.

Yirmi-otuz yıl önce, yıldızların iç sıcaklığının on ya da yirmi milyon derece kadar yüksek sıcaklıkta olması gerektiği tahmin ediliyordu. Bu sıcaklık hidrojen çekirdeklerinden helyumun birleşimi için yeterlidir ama daha ağır elementlerin oluşumu için yeterli değildir. Son yıllarda yıldız-içi sıcaklıkların çok daha yüksek olabileceği ortaya çıkarılmıştır. Hidrojenin helyum haline "yanarak dönüşmesi" sırasında, yıldız, tabakalar halinde oluşur. Yıldız, yüzeyinde hidrojenin "yanmaya" devam ettiği yoğun sıcak bir çekirdek ile bağıl olarak soğuk, oldukça genişleyen bir kabuk oluşturur. Hesaplamalar, "yanmış" yıldızların çekirdeklerindeki sıcak-

lığın, oksijen, neon ve peryodik tabloda kalsiyuma kadar sıralanan diğer elementlerin oluşumu için yeterli olan, 150 milyon C derece dolaylarında olmasının olanaklı olduğunu göstermektedir. Daha ağır elementlerin oluşması, binlerce milyon derecelik sıcaklıklar gerektirir. Bu sıcaklıklar, daha sonra üzerinde tartışacağımız, "yeni" ve "aşırı-yeni" —*novae* ve *supernovae*— yıldızların patlamalarında ortaya çıkarlar.

Çekirdek tepkimelerinin başarılabildiği üç yolu sıraladık: elemansal parçacıkların elektromanyetik olarak ivmelendirilmesi yolu ile, çekirdeklerin ısısal ivmelendirilmesi yolu ile, ve nötronların "soğuk" girmesi yolu ile. Son yöntem, "yanmış" yıldızların içlerindeki element üretimi süreçlerinde belki daha üstündür. Bu sürecin teorisi, Kanada'da Cameron ve Birleşik Devletler'de Greenstein tarafından geliştirilmiştir. Bugünkü doğrudan gözlemler, yıldızların içinde elementlerin oluşumlarının aslında gerçekleşmekte olduğunu doğrulamaktadır.

Bunun bir tanıtı, bazı yıldızların tayflarında bir karbon izotopunun olağandışı bollukta olduğunu bulan, Sovyet astrofizikçisi G. A. Şain tarafından sağlanmıştır. Bu, ancak, yıldızların içerisindeki sürekli çekirdek tepkimelerinin bir sonucu olabilir.

Bir diğer tanıt, bazı yıldızsal tayflar içinde teknetyumun parlak çizgilerinin bulunmasıdır. Teknetyum, yüz binlerce yıllık yarı-ömürlü kararsız bir radyoaktif elementtir. Eğer o, yeryüzünde var olduysa bile, radyoaktif bozunma yolu ile çoktan tükenmiştir. Teknetyum ilk olarak, Birleşik Devletler'de çalışan İtalyan bilim adamları E. Segre ve C. Perrier tarafından yapma olarak elde edilmiştir. Teknetyum doğal çekirdek bölünme (*fission*) tepkimelerinin bir ürünü değildir ve ancak termonükleer kaynaşma (*fusion*) tepkimelerinin potalarından elde edilebilir. Nasıl ki bir bacadan çıkan duman ocaktaki ateşin bir kanıtı ise, yıldızsal tayflar içinde teknet-

yumun görülmesi de, yıldızlar içerisinde atom çekirdeklerinin oluşmalarının kesin bir kanıtıdır.

KITALAR COLOMB'LARINI BEKLİYOR

Yeryüzünde keşfedilmemiş hiç bir kıta kalmadığını öne sürdüğümüzdeki aynı güvenle, tüm madde şekillerini ve alan türlerini bildiğimizi iddia edebilir miyiz? Dünyanın en büyük teleskobu ile alınmış uzak galaksilerin fotoğraflarının analizinden sonra, Sovyet astronomu B. Vorontsov-Velyaminov, galaksilerin biçimlerinin yalnızca bizce bilinen kuvvetler ve alanlara dayandırılarak açıklanamayacağı sonucuna ulaştı. Bu nedenle, yalnızca galaksilerötesi (*metagalactic*) ölçekte sezilebilir, bilinmeyen bir itme alanının var olduğu postulatını öne sürdü. Şimdiki otoriteler bu varsayıma katılmamaktadırlar. Onlar, galaksilerin biçimlerinin ve etkileşimlerinin yalnızca elektromanyetik ve kütlesel çekim alanı etkileşimleri ile açıklanabileceği görüşünü tutmaktadırlar.

Ne olursa olsun, bizce şimdilik bilinmeyen madde görünümlerinin varlığını gösteren veriler vardır. Yüksek sıcaklıklardaki maddenin plazma durumu ile ilgili henüz çok az şey biliyoruz. "Plazma" adını bir kibrit alevine, bir nükleer patlamadaki yükselen ateşe, ve milyonlarca derece sıcaklıklarla patlayan yıldızlara uyguluyoruz. Ama plazma türdeş bir varlık değildir. Sıcaklığı yükseldikçe, enerji taşıyıcılar olan yüklü parçacıkların ve fotonların sayısı artar. Nicel sıcaklık değişmeleri birikiminin bir aşamasında nitel bir sıçramanın ortaya çıkması, ve plazmanın yeni ve bilinmeyen bir hale dönüşmesi pekâlâ olabilir.

Bilindiği gibi, mutlak sıfır, ulaşılabilecek en düşük sınır sıcaklıktır (mutlak sıfır sıcaklığının varlığı teorik olarak öngörüldü, sonraları bu sıcaklığa denel olarak oldukça yaklaşıldı). Bununla birlikte, diğer uçta, üst sıcaklık sınırı yokmuş gibi gözüküyor. Ama gerçekten öyle midir? Üstelik, ola-

naklı mıdır? Yine de, hareketli parçacıkların hızları tarafından belirlenen bir sınır hız ve sıcaklık vardır. En yüksek olanaklı sıcaklık, parçacıkların ışık hızı ile hareketlerinden elde edilebilecekmiş gibi gözüküyor. Ama gerçek durum öyle basit değildir. Rölativite teorisinin sonuçlarından biri, bir cismin kütlesinin, hızı ışık hızına yaklaştığında sonsuza yönelecek şekilde, hız ile arttığıdır. Kütle taşıyan hiç bir parçacık ışık hızı ile yolalamaz.

Gerçi, ışığınkine yaklaşan hızlarla hareket eden parçacıkları kapsayan, kütleleri durgun kütlelerinden çok daha büyük olan maddenin, tamamen yeni nitelikler göstereceği umulabilir. Bu, maddenin yeni bir hali olabilir, ve evrende bir yerde, böyle maddeden yapılmış yıldızlar ve bulutsular pekâlâ var olabilir.

Maddenin yeni halleri karşı-parçacıklardan (*antiparticle*) yapılmış olan karşı-madde (*antimatter*) içinde tasavvur edilebilir. Karşı-parçacıkların varlığı İngiliz fizikçisi Paul Dirac tarafından öngörülmüştür ve son yıllarda dev parçacık hızlandırıcılarında elde edilmektedir. Karşı-madde, bilinen katı, sıvı, gaz ve plazma hallerinde bulunabildiği gibi, aynı zamanda kendine özgü halleri de vardır. İnsan, karmakarışık karşı-madde dünyasına açılan kapıyı açmaya ancak yeni başlamıştır. Geleceğin araştırmacılarının, bu incelenmemiş ülkede birçok buluşlar yapacağından hiç şüphe yoktur.

Basınç da sınırsız olarak artabilir ve dev yıldızlar içindeki madde, tasarlanamaz derecelere kadar sıkıştırılabilir. Düzgünce artan bir basınç etkisinde kalan bir atomun davranışı zihinde canlandırılabilir. Önce, atomun değerliğini (*valency*) ve kimyasal bileşiklere girme yatkınlığını belirleyen dıştaki elektronlar, alttaki elektron kılıflarına sıkıştırılırlar. Bu, yersel laboratuvarlarda elde edilebilen yüz binlerce atmosferlik, bağıl olarak düşük basınçlarda oluşur. Atom, özdeşliğini yitirmez ve bir element olarak kimyasal özelliklerini korur. Basıncın milyonlarca atmosfere doğru daha fazla

artması, atomlara kimyasal özdeşliklerini kaybettirir ve bütün elementlerin atomları, yer dahil, gezegenlerin çekirdeklerinde bulunabilen bir evrensel madenî hale indirgenir.

Depremler ya da insan yapısı patlamaların sebep olduğu sarsıntı dalgalarının yayılması ile ilgili araştırmalar, yer içerisinde madde özelliklerinin keskin bir şekilde değiştiği iki sınırın varlığını açığa çıkarır. İlki 15 ile 75 kilometreler arasındaki derinliklere, ikincisi yüzeyden 2.900 kilometre kadar aşağılara uzanır. İlk sınırın üstünde madde, alışılmış katı halde bulunur. Birinci ve ikinci sınırlar arasında basınç tahminen 50'den 100.000 atmosfer dolaylarına kadar artar. 2.900 kilometrenin altında basınç, belki bir milyon atmosfere ulaşır. Sınırlar, basınçtaki aşamalı artışın, maddenin hallerinde ani değişmeler ortaya çıkardığı noktaları belirler.

Yüzeyden 2.900 kilometre aşağılarda başlayan yer'in çekirdeği, davranışı ile bir sıvıyı andırarak, enine dalgaları iletmez. Ama sıvı halde olması zor olduğu gibi, etkisi altında kaldığı büyük basınçlarda atomların düzenli konumlanmasını kabul etmeliyiz, ki bu düzenli konumlanmanın katıların içinde meydana gelmesi olanaksızdır. Yerin çekirdeğindeki madde bilinmeyen bir halde olabilir. Ayın iç basıncı 50.000 atmosfere zor ulaşır. Bu nedenle ayın, "madenî" bir çekirdeği yoktur, ki bu, gözlenebilen bir manyetik alanının yokluğunu açıklar.

Madde, insana birçok yolda hizmet etmektedir, ama birçok gizlerini saklamaya devam etmektedir. Ve Albert Einstein'ın söylediği gibi, "gizem duygusu, bize en güzel ve en derin heyecanlarımızdan bazılarını veriyor... Kim ki bu heyacanları duymuyor, kim ki geleceği sezinlemede hayran olmak ve sarsılmak yeteneklerini yitirmiştir, ölü gibidir."

Doğanın keşfedilmemiş gizleri büyüktür. Okyanusun yüzeyinden yukarıya güçlükle yükselen adacıklar ya da mercan kayalıkları değil, ama incelenmemiş olayların tüm kıtaları, onları keşfedecek Colomb'ları bekliyor.

[DÖRT]

IŞIN VE PÜSKÜRME MAKİNELERİ

ÖBÜRGÜN İÇİNE BİR GEZİ

Gelin, gelecek içinde bir gezinti yapmak üzere zaman makinemize yeniden binelim ve günümüzden sonra bazı makinelerin nasıl evrimleştiğini görelim. Kumanda kolunu sıfır konumundan yavaş yavaş itiyoruz. Hızölçerde yıllar akıp gidiyor. Hedefimiz 2065 Martıdır.

Güzel bir kentin caddesindeyiz. Yapma maddelerle döşenmiş yolu renkli çiçeklikler izliyor. Gökte, parlak, ışıldayan bir bulut dalgalar halinde kabarıyor. Plastik bank üzerinde oturan genç bir adam, sigara paketi büyüklüğünde küçük bir kutu içine doğru konuşuyor. Bu, ne olabilir?

Açık olarak, bu kitaptan çok daha büyükleri içinde yanıtlandırılabilecek, geleceğin dünyası ile ilgili, daha fazla

soru sorulabilir. Bizim ilgimiz, 21. yüzyıl insanlarına madde ve alanların farklı hallerinin nasıl hizmet ettiğini görmektir. Bazı şeyleri kendimiz tahmin edebilirsek de, diğerlerinin açıklamasını 21. yüzyıl halkından sormalıyız.

İlkin, adamın elindeki küçük kutu, iki-yönlü bir cep TV düzeneği, görüntüsel bir el telsizidir. Düzeneğin üç kontrol düğmesi vardır. Biri, bir kimsenin, ceplerinde görüntüsel el telsizleri bulunan diğer arkadaşları ya da iş ortakları ile içinden bağlantı sağlayabileceği yüzlerce dalga boyu kanalından birini bağlamak içindir. İkinci düğme, görüntü keskinliğini kontrol içindir, ki bu düğme, bir kitap resmi, bir mikroskop slaytı ya da herhangi türden bir manzara gösterilmek istendiğinde yararlı olur. Üçüncü düğme, ses şiddetini ve görüntü parlaklığını denetleme içindir. Böyle bir düzeneğe sahip bir bireyin, kendisine malettiği bir dalga boyu vardır. İnsan, son derece yüksek frekanslardaki radyo dalga bandlarına egemen olduğu zaman, bunlar mümkün oldu.

Şimdi gökte nabız gibi atan ateş küresi ile ilgilenelim. Bu, sezdiğimiz gibi, birçok elektromanyetik ışınım demetinin kavşak noktasında tutuşturulmuş insan-yapısı bir güneştir. Demetler, 100 metre kadar çapta iri kaplar içinden üretilmektedir. Kentin 30 kilometre üstünde dolaşıp duran plazma bulutu on binlerce dereceye kadar ısıtılmıştır. Bulutun büyüklüğü, sıcaklığı ve ısı ışıması, elektromanyetik demetlerin şiddetlerini değiştirerek kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Kışın, yapma güneş "sıcaklaştırılmakta" ve gün boyu ışıl ışıl tutulmaktadır. Yazın, yalnızca geceleri aydınlanma için yakılmaktadır. Önemli bir özellik, yapma güneş tayfının ışınımı içindeki morötesi ve kızılötesi içeriğin denetimidir. Onun sayesinde, insanlar artık kış giysilerine gerek duymuyorlar, çiçekler bütün mevsimlerde çiçek açıyorlar. Başka bir deyişle, 21. yüzyıl halkı, büyük kentlerdeki iklimi denetliyor. Bu, termonükleer elektrik istasyonlarının sağladığı güç bolluğu sayesinde mümkün olmuştur.

Tek kişilik küçük uçuş makineleri, kentin caddeleri üzerinde oradan oraya dolaşıyorlar. Onların döneçleri, özel antenlerle salınan yüksek-frekanslı elektromanyetik alandan güç almaktalar.

Bununla birlikte, geleceğin dünyası içinde gördüğümüz en ilginç şeylerden biri *Astronotik (Astronautics)** *Yüzyılı* adı altında sunulan bir TV filmi idi. Onu, caddenin sağında, 30 metre kadar yüksekliğinde, kaba içbükey bir ekranda izledik. Ekran 20 santimetreden daha kalın değildi ve onun pürüzlü yüzeyi uygun şekilde parlatılmıştı. Yayına başlandığında, ekran sanki kayboldu. İlginç üç-boyutlu olayı betimlemek olanaksızdır. Ekran yerine, arasından canlı, dokunulabilir bir dünya içine baktığımız bir pencere ortaya çıktı.

Filmin başlangıcında, yıldızlara giden yolu ilk olarak belirten insanın, Konstantin Çyolkovski'nin portresi gösterildi. Güzel, geleceğin halkının, büyük bir işe başlamış kişiye saygı göstermesi tamamen doğal bir şey. Onlar, Çyolkovski'den çok önce, Peter ve Paul kalesinin ıssız bir zindanında roket-sürücü bir makinenin ilk planını yapan Nikolay Kibalçiç'i de anımsadılar. Daha sonra, öncülerin işlerini sürdürenlerin, ilk jet uçaklarının, jeofiziksel roketlerin kütle çekimini yenene kadar olan uçuşlarının öyküsü başladı.

Yıl 1957. Egzoz gazlarının ateşli sütunu üzerinde bir roketin gri gövdesi ağır ağır yükseliyor. Roket gökyüzü içlerine doğru, dünyanın ilk yapma yer uydusu Sputnik 1'i yörüngesine yerleştirmek üzere, hızlanıyor ve kayboluyor.

1959'un başları. Bir roket, insan-yapısı ilk gezegen olmak üzere, ay yönünde fırlatılıyor. Bunu, gerçekten önemli bazı sonuçlar izliyor. Geleceğin bir uzay gemisi, gezegenlerarası uzayın derinliklerinde, insan-yapısı ilk gezegene ulaşıyor. Yapma gezegenin uçuşu, uzay gemisinden filme alınmıştır.

* *Astronotik (astronautics)*, yer atmosferi dışındaki yolculukların bilimsel olarak incelenmesidir. —ç.

Spiker, "Bu yapma gezegen, Mars ve Yer arasındaki yörüngesinde yüzlerce ve binlerce yıl dolanacaktır" diyor. "Ama, insanın onu yere geri getireceği ve onu insan kültürünün en kıymetli görülen anıları ile birlikte bir müze içerisine yerleştireceği gün gelecektir."

Ekrandan birçok tarihsel gün gelip geçiyor. Bir Sovyet flamasını aya bırakan ilk roket. Otomatik, insansız bir araçla alınmış ayın arka tarafının ilk fotoğrafı. Yuri Gagarin'in ilk uzay uçuşu. Aya ilk bilimsel gezi. Marsın incelenmesi. Venüse ait peysajlar. Merkezî aydınlatıcımıza en yakın gezegen olan Merkür üzerinde bir güneş servis istasyonu inşaatı. Jüpiter ve Satürnün uydularına sıçramalar. Plüton üzerine çıkartma...

Astronikin soluk kesici gelişimi, bu yüzyıllarda, güneş sisteminin yeniden bulunuşunu olanaklı duruma getirdi. Spiker, uzay gemilerinin planlarını açıklamaya devam ediyor. Mars ve Venüse ziyaretleri kapsayan ilk uçuşlar kimyasal yakıtlarla sürülen roketlerle başarıldı. Bu roketlerin motor planları iyi bilinmektedir. Sürdürücü ile oksitleyiciyi ayrı depolar, taşırlar. Pompalar bunları yanma odasına gönderirler. Bu maddeler giderlerken, roket ağzını ve içerisinde karışık bir kimyasal tepkime ile en basit enerji şekli olan ısının üretildiği odanın duvarlarını soğuturlar. Akkor haldeki gaz kitlesi, sıkıştırıldığı yanma odasından dışarıya kaçmak için bir yol arar, yolu bulur, ve maddesel parçacıkların düzensiz ısısal hareketlerini düzenli bir gaz püskürmesi haline dönüştürmede önemli bir görev yapan egzoz borusu ağzından püskürür. Isı enerjisi, roket hareketinin mekanik enerjisi haline dönüştürülmüştür.

Ekranda, insanları komşu gezegenlere taşıyan ilk araçları görüyoruz. Hemen hemen tamamen yakıtla doldurulmuş, çok-evreli (*multistage*) dev roketler. Yolcular ve yükün kapladığı uzay, roket hacminin binde-birinden daha fazla yer tutmamaktadır. Hatta bu roketler, karşılaştırmalı olarak,

yavaş taşıtlardı. Ancak, yerin kütlesel çekimini yenerek güneşin kütlesel çekim alanı içine kaymaya başlayabilecekleri, saniyede 11-12 kilometrelik kurtulma hızına ulaşabilme olanakları vardı. Onların uçuş yörüngeleri, bir gezegenden diğer gezegene olan uzaklığın çoğunu motorları çalışmıyorken yolalabilmelerine izin verecek şekilde saptanmıştı. İlk astronotların, ancak yabancı bir gezegene ayak basmalarına ve ayrılmalarına yetecek kadar yakıtları vardı.

Sonra atom taşıtları geldi. Onların motorlarının ilkeleri de oldukça basitti. Bu taşıtlar da, kimyasal yakıtlı roketlerdeki gibi bir ağza sahip. Yalnızca yanma odası yerine bir atom reaktörü var. Bir atomsal elektrik santralının reaktörü içindeki suyu ısıtmanın bir yolu, onu uranyum borulardan geçirmektir. Bir uzay gemisi reaktörü de uranyum borular kullanır. Bu boruların içinden geçen gaz ısınmış olur ve egzoz borusunda "iş görür". Roket, yakıtların yerine, örneğin su gibi, kimyasal olarak eylemsiz (*inactive*) bir töz deposunu taşır. Bu türden bir nükleer motor, eğer çalışabilirse, hiç bir surette hızında önemli bir artma sağlayamaz. Bir roketin hızı, gazların ağzından atıldığı hıza bağlıdır ki, bu da, yanma odasındaki gazların sıcaklığına bağlıdır; püskürme hızı,

---

MATEMATİK DİLİYLE

TEMEL ROKET FORMÜLÜ

Konstantin Çyolkovski, $\triangle m$ kütleli küçük bir miktar gaz bir roket ağzından v hızı ile atılırsa, m kütleli roketin,

$$\triangle u = v \frac{\triangle m}{m}$$

hızını kazanacağını gösterdi. Eğer bir roket motorunun işlemesi süresince atılan kütle M ise, M_0 roketin ilk kütlesi olmak üzere, roketin son hızı,

$$u = -v \log_e \left(1 - \frac{M}{M_0}\right) =$$

$$= -2{,}3 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_0}\right)$$

formülü ile verilir. Bu formül, $e = 2{,}72...$ doğal logaritma tabanı olmak üzere,

$$\frac{M}{M_0} = 1 - e^{-u/v} = 1 - 10^{-0{,}43\ u/v}$$

gazın ısı enerjisinin mekanik hareket enerjisi şekline dönüşümünün bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu nedenle, yanma odasındaki gazın sıcaklığı yükseldikçe püskürme hızı artar. 2.500°C'da atılma hızı saniyede 3.000 metreye ulaşabilir. 25.000°'de atılma hızı 10.000 m/sn'ye yükselebilir.

Ama, böyle sıcaklıklara hiç bir töz dayanamaz. Bu problem, 20. yüzyılın ortalarında atom yakıtlarının kullanılmasını köstekleyen ana engellerden biridir. Metalurji uzmanları erimezlik bakımından üstün (*superrefractory*) alaşımlar araştırıyorlar. Sıcaklık ölçeğinde çoğ ağır tırmanıyorlar. Planlayıcılar, yanma odalarını soğutmak, onları sıcak gazların ateşli soluğundan herhangi bir yolla ayırmak için, hünerli araçların her çeşidine başvuruyorlar. Örneğin, oda ve ağız duvarlarını gözenekli yapıyorlar ve yakıt sıvısını gözenekler arasından oda içine sıkıştırıyorlar. Yakıt buharlaşıyor, duvarların metallerini soğutuyor ve ince bir soğuk buhar tabakası oluşturuyor. Akkor gazlar, püskürtme ağzının daha soğuk kısımlarına kendileri ile birlikte yolculuk eden bulutumsu bir tamponla sarılıyorlar.

Diğer yandan, bir çekirdek reaktöründe uranyum borularının duvarları, "iş gören" gaza kazandırmak istediğimiz-

---

şeklinde daha kullanışlı olarak yeniden yazılabilir.

Eğer gaz püskürmesinin v hızı ışık hızına yaklaşırsa, ki gelecekte nükleer güçlü motorlarla başarılabilir, özel rölativite uygulanmalıdır, ve Çyolkovski'nin ilk formülü bu durumda,

$$\frac{\triangle u}{1 - u^2/c^2} = v\frac{\triangle m}{m}$$

şeklini alır. Formülde u roketin hızı ve c ışığın hızıdır.

Çyolkovski'nin ikinci formülü,

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \left(\frac{1 - u/c}{1 + u/c}\right)^{c/2v}$$

ya da,

$$\frac{u}{c} = \frac{1 - (1 - M/M_0)^{2v/c}}{1 + (1 - M/M_0)^{2v/c}}$$

şeklinde yazılabilir.

Bir foton roketi halinde, $v = c$

den daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmış olmalıdır. Her ne kadar, ilke olarak, reaktör içerisindeki sıcaklığı istediğimiz kadar yükseltmemiz olanaklı ise de, uranyumun kendisinin 1.133° C'da eridiğini unutmamalıyız. Kuşkusuz ki, insan, sıvı, hatta gaz halindeki uranyumla çalışan bir reaktör tasarlayabilir. Ama, uranyum plazmasını, diyelim 10.000 derecelik sıcaklıkta, içinde barındırmaya yetenekli tözler nerededir? Bundan başka, herh ~gi bir anda atom bombasına dönüşebilecek böylesine bir ranyum reaktörünün denetimi, karşımıza bazı korkunç problemler çıkaracaktır.

Ama, varsayalım ki, su buharını egzoz ağzına taşıma için gerekli olan sıcaklığı sağlama yeteneğinde bir reaktör kurabildik. İşin özü, borular içinden geçişin sürdüğü kısa bir süre için, buharın gerekli sıcaklıkta ısıtmasını sağlamaktır. Hidrojenin termal iletkenliği yüksek, ama yoğunluğu daha küçüktür, ve bir uzay uçuşu için gerekli donatım oldukça fazla yer tutacaktır. Nükleer roket planlayıcılarının eylemsiz töz olarak suyu ileri sürmelerinin nedeni budur. Su, yüksek sıcaklık altında oksijen ve hidrojene ayrışır, ve bu karışımın ısı iletkenliği amaca uygundur.

Televizyon filmi, problemin çözümü için farklı zaman-

---

olur, ve bu bağıntılar daha basit,

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}}\,;$$

$$\frac{u}{c} = \frac{1-(1-M/M_0)^2}{1+(1-M/M_0)^2}$$

şekillerini alırlar.

Örneğin, roketin toplam kütlesinin yüzde-doksanı yanıp tükenmişse, yani, $\frac{M}{M_0} = 0{,}9$ ise, $\frac{u}{c} \approx 0{,}98$ buluruz. Kütle harcanması, roket içindeki zaman açılması ile ilişkilenebilir. Zaman açılması, hıza bağlı olarak, t yersel ve t' rokete ait zaman olmak üzere,

$$t' = t\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$$

formülü ile verildiğinden, yanıp-biten yakıt ile zaman açılması arasındaki ilişki,

larda öne sürülen birçok varyantı açıklıyor. Birinde reaktör ağızla hizalanmıştır. Gaz, ağıza giriş yerinde olanaklı en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılır. Gaz, ağız içinde hızlanır, basıncı düşer, ama sıcaklığı ısıtma yolu ile aynı düzeyde tutulur. Bu düzenlemede gaz, egzoz ağızlığının mekanik enerjisine dönüşmüş olan ısısal enerjinin tümünü aniden değil, ardışık tutamlar halinde alır. Bir ısı tutamı içeri alınır ve mekanik harekete dönüştürülür, sonra bir diğer tutam içeri alınır, ve böylece devam eder. Bu yoldan, gaz pürkürmesini istenen herhangi bir hıza ulaştırmak, ilke olarak, olanaklıdır, bununla birlikte, çok uzun bir ayırıcı ağıza sahip olması gerekli olan böyle bir motorun yapılması, pratikte zor olacaktır.

Bir diğer varyantta, buharlaşmış sıcak uranyum inaktif gaz akıntısı içine gönderilir. Ağız içinde ilerlerken gazla karışır, ısısını verir ve sonradan katılaşacak olan küçük damlacıklar halinde yoğunlaşır. Ama, uranyum, egzoz gazları ile dışarı atılan bir ürün olarak oldukça pahalıdır, bu nedenle uranyum tozu ayrılır ve reaktöre geri döndürülür. Böylece uranyum, reaktörde ısınarak ve ağızlık içinde soğuyarak dolaşır. Bununla birlikte bu şema da, gerçekleştirilmesi için oldukça karışıktır.

$$\frac{t'}{t} = 2 - \frac{1 - M/M_0}{1 + (1 - M/M_0)^2}$$

şeklini alır.

Örneğin, kütlenin yüzde-doksanı yanıp bitmişse, yani $M/M_0 = 0{,}9$ ise, $t' = 0{,}2t$ elde ederiz. yani rokette zamanın geçişi yeryüzündekinden beş kez daha yavaştır.

Formüllerin analizi, uygun $\frac{M}{M_0}$ oranlarında, yalnızca $v \approx c$ fışkırma hızı için, önemli hızın kazanılacağını açığa çıkarır. Hatta $v = 15.000$ km/sn'de, bir roketi 100.000 km/sn'lik hıza ulaştırmak için harcanması gerekli yakıt miktarı, herhangi olanaklı teknik tasarının başarabileceğinden daha fazladır:

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \approx 1 - 0{,}001$$

Bu, toplam kütlenin 0,999'unun,

Nükleer bir uzay gemisi planlamak öyle kolay değildir. Bir roket büyük ivme gerektirir ve motoru çok güçlü bir itme kuvvetine sahip olmalıdır. Bir roketin, 400 saniye içinde 11-12 km/sn'lik kaçma hızına ulaşması için, roket yükünün kilogramı başına itme kuvveti, 20. yüzyıl ortalarındaki atom reaktörlerinin güç kapasitelerinden 10 kere daha büyük olmalıdır. Bir roketi ay üzerine yerleştirmek için milyonlarca kilowatt'lık kapasitede bir roket gerekir. Bugün en büyük reaktörler yüz binlerce kilowatt'lık kapasitelere sahiptir. Bununla birlikte, nükleer roket motoru yapıldı. Bilim ve tekniğin, ekrandan çok hızlı geçen bu yeni başarısının tarihini saptayamadık.

Film, ilk nükleer uzay gemisinin fırlatılışını göstermeye devam ediyor. Nükleer yakıtın bağıl olarak düşük olan ağırlığı, motorun daha uzun zaman dönemleri için işlemesini olanaklı kılıyor. Nükleer uzay gemisinin uçuşa sokulması, "normal trafik" hızının 50 km/sn'den daha ilerilere yükselmesini sağlıyor. Uçuşların süresi küçülüyor, uzay araçlarının yörüngeleri kısalıyor ve yıldızlararası ulaşım değişiyor. 20. yüzyılın sonu ve 21. yüzyılın ilk çeyreği, insanın güneş sistemine ait tüm gezegenlere ziyaretlerini mümkün kılan, nükleer-güçlü gezegenlerarası gemilerin ortaya çıktığını görüyor.

Spiker, "şimdi ne olacak?" diye soruyor. "İnsan, yıldızsal sistemleri ayıran boşluğun sınırında tökezleyecek midir? Güneş sisteminin en uzak gezegeni olan Plüton üzerindeki bilimsel istasyon, insanın evren içlerinde en uzak ileri karakolu olarak kalacak mıdır?"

Ekranda garip bir manzara gözüküyor. Mavimsi-yeşil kayalıklar, dev kristallerin yüzeye çıkışı ile buzdan yapıl-

---

geriye kalan 0,001'lik kısmı istenen hıza çıkarmak için yakılması gerektiğini anlatmaktadır.

mışa benziyor. Parlak olarak aydınlatılmış bir tünel, insan yapısı büyük bir mağara içlerine götürüyor. Bir uzay gemisi, fırlatma rampası üzerinde bekliyor. Küçük, zayıf bir güneş ötelerden bir yerden parlıyor ve uzay gemisinin vadi tabanındaki gölgesi, bilinmezliğe uzanan bir yola benziyor. Asma bir peron üzerinde uzay elbiseleri giymiş birçok insan bekleşiyor ve gölge doğrultusunda bakıyor. Spiker "Güneş sistemi içindeki yolculuklarımız çaylar ve ırmaklar arasındaki geziler idi. Bugün, Büyük Okyanusun kıyılarında bulunuyoruz," diyor.

Yıldızlararası ve gezegenlerarası uzaklıklar arasında bir karşılaştırma yapılamaz. Bir kâğıt parçası üzerine 15 milimetre çaplı bir daire çiziniz. Bu bizim güneş sistemimizdir. Bu ölçekte, bir mikroskop altında bile gezegenleri belirten noktaları göremeyiz. Güneşin kendisi büyüklük bakımından bir mikrondan küçük olacaktır. En yakın yıldızın gezegen sistemini göstermek üzere, bir diğer daireyi hangi uzaklıkta çizebileceğinizi düşünürsünüz? Kâğıt parçasının yeter olmadığı bir yana, ne odanızın tabanı, ne de, yeter büyüklükte değilse, kentinizin sınırları yeterli değildir. Adı geçen ölçekte, güneşe en yakın yıldız 30 kilometre uzakta olacaktır. Gerçek uzaklık 40.000.000 milyon kilometredir. 300.000 km/sn'lik hızla yolculuk eden bir ışık ışınının bu uzaklığı katetmesi 4,27 yıl alır. Yıldızlararası ölçek böyledir. 30-40 km/sn hız yapan 20. yüzyılın son çeyreğine ait bir gezegenlerarası araçla [bu yıldıza—ç.] yolculuk 2.000 yıl sürecektir. Hatta, 21. yüzyıl ortalarının üç kere daha hızlı yol alan en iyi nükleer uzay gemisi, tek-yönlü bir gezi ile [bu yolu —ç.] 700 yılda alacaktır. Kısaca, yıldızlararası uçuş problemi ne kimyasal motorlarla, ne uranyum motorları ile ve hatta ne de en teorik termonükleer motarlarla çözülemeyecektir. Gereken büyük uzaklıklar için, bu motorların itme kuvvetleri pek küçük ve taşıtlar pek çok yavaştır. Ve yine de yıldızlararası uçuş olanaklıdır!

21. yüzyılın büyülü ekranında gösterilen filmdeki bilim öykümüz oldukça bölük-pörçüktür. Tümünü yeniden anlatmak olanaksızdır, ama elemansal parçacıklar dünyasında yapılan buluşları anlatan bölümleri özellikle ilginçtir. Diyalektik mantık öyledir ki, oldukça küçük nesnelerin mikroevrenindeki buluşlar, kaba nesnelerin makroevrenine egemen olmamıza katkılar yapmaktadır. Bu buluşlar, yıldızlararası uçuşun başarılma yollarına ve araçlarına ışık tutar.

20. yüzyılın ilk çeyreğinde, dünyadaki bütün tözlerin elektronlardan —hafif negatif yüklü parçacıklar— ve protonlardan —ağır pozitif yüklü parçacıklar— meydana gelmiş olarak düşünüldüğünü zaten biliyoruz. Sonraları, yeni elemansal parçacıkların sayısı şaşırtıcı bir hızda büyümeye başladı. Hiç yük taşımayan parçacıklar; nötronlar; hafif pozitif yüklü pozitronlar; tüm türleri ile mezonlar; anlaşılması son derece zor olan nötrinolar; elektromanyetik alanın elemansal parçacıkları, fotonlar; ve tüm hiperonlar ailesi ortaya çıktı. Daha sonra, elemansal parçacıkları hemen hemen ışık hızına kadar hızlandırma yeteneğinde dev makinelerin yardımı ile insanlar karşı-parçacık adı verilenleri üretti. Karşı-parçacıklar arasında, karşı-proton adlı negatif yük taşıyan ağır bir parçacık ve karşı-nötron vardır. Karşı-nötronun olağan nötrondan farkı, parçacıkların var olmayan yükünde değil "ayna simetrisi"ndedir, diğer özellikleri elemansal parçacıklara özgü özelliklerdir.

20. yüzyıl ortalarının bilim adamları tarafından, negatif yüklü bir çekirdeğin pozitron bulutu tarafından çevrildiği "karşı-atom"lar yaratmak mümkün olacak mıdır, diye hâlâ sorulmaktadır. Böyle atomlardan yapılmış tözler ne özellikler taşıyacaklardır? Karşı-atomlar kendilerini karşı-maddenin bir peryodik tablosu içerisine sıralayacaklar mıdır? Bazı araştırmacıların dediklerine göre, bir kısmının karşı-maddeden

yapılıp yapılmadığını görmek için, uzak galaksilere daha yakından bir bakış güzel bir düşünce olabilir. Bütün bildiğimiz, uzak bir galaksinin yıldızsal bir sisteminde herhangi bir gezegende yaşayanlar, üstün-güçlü hızlandırıcıları içinde "karşı-antiparçacıkları" yeni üretmiş olabilirler ve içinde "karşı-pozitronların" —yani elektronların— pozitif yüklü çekirdek çevresinde dolandıkları dünyaların olup olmadığını merak etmektedirler. 20. yüzyılın bu şüphe ve varsayımlarından çoğu, 21. yüzyılın büyülü ekranında gösterilmekte olan film içinde yanıtlandırılıyordu.

Karşı-madde üretilebilir, ve olağan maddenin parçacıklarından arındırılmış bir boşluk içinde, hatta içinden alanlarla geçilse bile, olağan madde kadar kararlı olabilir. Ama ikisi birbirlerine dokunamazlar. Madde ve karşı-madde keskin bir şekilde uzlaşmaz karşıttırlar, ki bu, dev ivmelendiriciler içinde üretilen karşı-parçacıkların neden kısa ömürlü olduklarını açıklar. Aynı karşılık sayılardakiler arasında bir çarpışma, foton salınması ile birlikte, iki parçacığın da yok olmasını sonuçlar. Benzer olarak, eğer olağan bir atom bir karşı-atom ile değmeye gelirse, ikisi, diğer parçacıkların salınması ve hidrojen çekirdeklerinin helyuma kaynaşmasındakinden daha büyük bir enerjinin açığa çıkması ile, patlarlar.

Einstein'ın genel rölativite teorisinin sonuçlarından birinin kütle-enerji eşdeğerliği olduğunu daha önceden belirtmiştik. Bir bardak sıcak çay aynı bardaktaki soğuk çaydan daha ağır gelir, uçan bir merminin atılmadan öncesine göre daha büyük bir kütlesi vardır. Enerji açığa çıkışını içeren dönüşümler, sözkonusu tözlerin kütlelerinde bir azalmaya yolaçar. Kütle ve enerji arasındaki ilişki öylesinedir ki, enerjinin kaba nicelikleri kütlenin çok küçük niceliklerine tekabül eder. Nitekim, bir ısısal elektrik santralının bir günde yaktığı birçok tren yükü kömürün yanma ürünlerini —bütün gazları, kömür posalarını ve külleri— toplasaydık, yakı-

lan kömürden ancak 0,05 gram kadar az geldiğini bulacaktık. Bu, santral tarafından üretilen elektrik enerjisinin "kütlesi"-dir.

Nükleer yakıtlar böyle değildir. Bunların enerji-kütle oranı oldukça büyüktür ve "kütle eksikliği" (*"mass defect"*) denilen şey gözlemlenir. Örneğin, uranyum çekirdeklerinin bölünmesinde, kütle eksikliği yüzde 0,05'e eşittir. Hidrojenin helyuma kaynaşmasında (*fusion*), yüzde 0,9 kadar yüksektir, yani, maddenin kilogramı başına 9 gramlık, kolaylıkla ölçülebilir bir nicelik demektir.

Bir madde çekirdeğinin karşı-madde çekirdeği ile etkileşiminde, kütlelerin tamamı elektromanyetik alan kuantumlarına ve diğer türlerden ışımaya dönüşür. Gerçekte, dönüşüm ani değildir ve farklı türlerde mezonların bir seri değişmeleri şeklinde oluşur. Çıkan enerji, hidrojen kaynaşması tepkimesindekinden hemen hemen yüz kez daha büyüktür.

21. yüzyıla ait bilimsel filmimizin yapımcıları, teorik olarak olabilecek en güçlü motor, yeryüzü insanlarını ancak en yakın yıldıza, Proxima Centauri'ye, götürmeye yetenekli cinsten bir motor fikrini öne sürmek için, elemansal parçacıklar dünyası içine yaptığımız bu gezintiye gerek duydular.

Büyük ekranda bir uzay gemisinin planı ortaya çıkıyor. Plan kaba bir yapıda. Geniş bir oda, karşı-demir tozları şeklindeki karşı-maddeyi depolamak için donatılmış. Karşı-maddeyi, elektromanyetik bir alan uzayda askıda tutuyor ve böylece bir tek parçacık bile duvarlara dokunmuyor. Manyetik alanın şekli ve şiddeti değiştirilerek, toz halindeki karşı-demir küçük kümeler halinde "yanma" (*"combustion"*) odasına aktarılıyor. Yolda, yüksek frekanslı bir elektromanyetik alan, tozu ısıtıyor ve buharlaştırıyor. (Yakıtın içersinde herbir parçacığın karşıtı ile çarpışarak tamamen yok edilmesini sağlamak için hazırlayıcı buharlaştırma gereklidir.) "Yanma" ya da daha doğrusu yokolma (*annihilation*) odası içinde, buharlaşmış karşı-demir, buharlaşmış (öyle

ön önlemler alınmaksızın içeri sokulmuş) olağan demir ile karşılaşır. İki püskürmenin karşılaştığı noktada kör edici bir alev danseder, ve uzayın çok küçük bir bölgesinde, genellikle ışıma şeklinde inanılmaz enerji nicelikleri ortaya çıkar. Madde ve karşı-maddenin iki yığını arasındaki bir çarpışma, kuşkusuz ki, bir patlama da meydana getirecektir, ama tepkime yalnızca dokunma yerindeki parçacıkları içerecektir. Kütlelerin çoğu savrulmuş olacak ve yokolma (*annihilation*) duracaktır.

Bir diğer projeye göre, karşı-madde, uzay gemisi içinde bugün bildiğimiz parçacık ivmelendiricilerinden türetilmiş karmaşık araçlarla imal edilir. Yeni yapılmış karşı-parçacıklar, daha sonra yokolma odası içine sokuşturulurlar. Bu oda, uzay gemisine gerekli itme kuvvetini vermek için nasıl planlanır?

Gerçekte, böyle bir oda yoktur. Madde ve karşı-maddeyi veren borular ve manyetik pompalar, roketin arka tarafından dışarıya doğru, dev bir parabolik aynanın odağına uzanır. Yokolma tepkimesinden elde edilen ışınım, aynadan öylesine yoğunlaşmış bir demet şeklinde yansıtılır ki, bu demet, arasından geçerek gittiği milyonlarca kilometrelik metalleri buharlaştırma yeteneğindedir. Bu ayna uzay gemisinin yelkenidir.

1900'lere geri dönelim, Rus fizikçisi P. N. Lebedev ışığın basınç uyguladığını gösterdi. Olağan koşullarda bu basınç çok büyük değildir, ve yere ulaşan güneş ışığı, metre kare başına yarım miligramdan daha fazla olmayan bir basınç uygular. Bununla birlikte, madde—karşı-madde yokolmasında oluşan şiddetli foton akışı, uzay gemisine önemli bir güç verme yeteneğinde, büyücek bir basınç uygular.

Bu düşünceler, gerçi, 21. yüzyıl insanlarının bakış açısından bile, gelecekle ilgilidir. Onların uzay gemilerindeki yanma odası, önceden tartışılan elektromanyetik "şişe"ye benzer. Yanma odasının, "geleneksel" roket motorlarındaki ağız

işini gören, geminin arkasına açılan, bildiğimiz şişeninkine benzer dar bir boynu vardır. Elektromanyetik şişe içinde devamlı bir termonükleer tepkime meydana geliyor ve yüklü plazma parçacıkları ağızdan püskürüyorlar. Plazmanın sıcaklığını ve buna bağlı olarak tepkime püskürmesinin hızını artırmak için, termonükleer alev içine, yüzde 10 kadar toz haline getirilmiş karşı-madde atılır.

Ve şimdi ekranda roketin bütün olarak planı gözüküyor. Yıldızlararası gemilerin de, boşaltılmış hidrojen depolarının balastlarını atan, çok-kademeli araçlar olduklarını gözlüyoruz. Böyle bir araç, ışık hızının altıda-beşini, yani saniyede 250.000 kilometrelik bir hızı kazanma yeteneğindedir.

"Yıldızsal geminin tayfası ancak beş yıl içinde Proxima Centauri'ye ulaşmış olabilecektir" diye spiker bize bilgi veriyor. "Güneş sistemine geri dönüş bir diğer beş yılı alacaktır. Eğer astronotlar Proxima'nın gezegenlerini araştırmak için beş yıl harcarlarsa, onbeş yıl içinde geri döneceklerini umabiliriz. Özellikle, beş yüz yıl kadar önce Magellan'ın, yer küresini ilk olarak yelkenle dolaşma seferinin üç yıl sürdüğünü anımsarsak, bu, çok uzun bir zaman değildir." Film bitiyor. Kısa bir süre için gümüş beyazlığındaki ekran gelecek görüntülerin dalgaları içinde titreşiyor. Daha sonra spikerin yüzü gözüküyor. Heyecanla çınlayan bir sesle haber veriyor:

"On dakikalık zaman içinde, küçük gezegen (*asteroid*) Pallastan yıldızlararası bir uzay gemisi fırlatılmış olacaktır. Şimdi sizi, fırlatmanın televizyonla doğrudan yayınına götürüyoruz."

Gözalıcı ışıldaklarla aydınlatılmış yıldızlararası gemi, fırlatma için hazır tutuluyor. Minicik, çapı 500 kilometreden fazla olmayan kayasal dünya, geminin yapımı için taban olarak hizmet görmüş, ya da daha doğrusu toplantı yeri olmuştur. Gerçi, küçük gezegenin bazı yerli kayaları da kullanılmıştır.

Küçük gezegen üzerinde roket kısımlarını birleştirmek beş yersel yıl almıştır. Şimdi, roket, yedeğe alınarak uzayın birçok on kilometrelik içlerine doğru çekilmiştir: çünkü motorun egzoz püskürmesi tabanı iteceğinden, roketin fırlatılma anı yapımcıları ve küçük gezegenin kendisi için tehlike gösterir.

Araç, umulduğu gibi, akış çizgilerine tam uygun biçimde (*streamlined*) değildir. Ana gövde birçok on kilometrelik uzunlukta sigara şeklinde kaba depoların bir demeti şeklindedir. Ana gövdeye bağlı olanlar, Proxima'nın gezegenlerini araştırmak için birçok "geleneksel" uzay gemileridir. İçerisinde dönme merkezkaç kuvvetlerinin yapma bir kütle çekimi oluşturdukları, tayfalara ayrılmış çörek şeklindeki yaşama bölgeleri. Küresel laboratuvarlar ve serler. "Siper"inde hareket edecek olan teknenin önünde çift-tabakalı bir karşımeteor kılıfı. Yolculuğun hızı sayesinde, siper, yaklaşmakta olan göktaşlarını savuşturacak, bir açı içinde girenleri kenara süpürecek ve aynı yönde hareket edenlere yetişecektir.

Bir metronomun ölçülen vuruşları, roketin fırlatılmasından önce son saniyeleri geriye doğru sayıyor. Metronom aniden duruyor ve geminin arkasından keskin beyaz bir ateş fışkırıyor. Bir yayın geri tepmesi gibi tekneyi ileri doğru fırlatıyor. Uzay gemisi derece derece hızlanıyor. Ekranın geniş tarafını çaprazlamasına geçiyor. Şimdi onu arkadan görüyoruz ve alev püskürmesi bize doğru yönelmiş gibi gözüküyor. Birkaç dakika geçiyor ve alev kayboluyor. Uzay gemisi 70 km/sn'lik bir hız kazanmıştır. Güneş sisteminin dış sınırlarına doğru bir hiperbolün geniş kolunu izliyor. Bütün çalışan sistemlerin son bir denetlenmesinden sonra, tayfa, ışık-altı hıza ivmelenme için motoru çalıştıracak. Ekran kararıyor. 21. yüzyıldaki gelişmelerin öyküsü bitiyor ve, bizim, kendi zamanımıza dönmemizin sırasıdır. Zaman makinemizin motorlarını çalıştırıyor ve zamanın içinden "aşağıya doğru" yöneltiyoruz.

Gelin izlenimlerimizi toplayalım.

21. yüzyılda madde tüm dört hali —katı, sıvı, gaz ve plazma— ile insana hizmet etmeye devam ediyor. Plazmanın payı önemli ölçüde artmış. Plazma, termonükleer güç fabrikalarının yumruları içinde, kentlerin üzerinde dolaşıp duran yapma güneşler içinde ve uzay gemisi motorlarının manyetik "şişeleri"nden çıkan alev içinde kullanılıyor. Elektromanyetik alanın uygulamaları artmış. Görüntüsel telsiz telefonu ve kente ait taşıma sistemlerinin yerini alan, uçan teknelere güç sağlayan yüksek frenkans alanlarını anımsayalım. Yapma güneşi aydınlatan yönelmiş elektromanyetik ışınım demetlerini anımsayalım. Aynı zamanda, uzay gemisinin manyetik odasını ve büyük televizyon ekranını anımsayalım. Çekirdek alanları da, 21. yüzyıl insanlarına, termonükleer fabrikalarda ve gezegenlerarası ve yıldızlararası gemilerin reaktörlerinde hizmet ediyorlar.

YILDIZLARA YOLCULUK

Yapma bir yer uydusu taşıyan bir roketin itme aşaması, yukarda ancak birkaç dakika sürer. Nedeni açıktır: ivme büyükse gereken hıza çabuk ulaşılır, güçlü bir motorda yakıt harcanması azdır. Bununla birlikte, yolcu taşıyan uzay gemileri için ivme, insan organizması dayanma gücünün sınırlarıyla kısıtlanmıştır. Anımsanabileceği gibi, yerin kütlesel çekimi, düşen bir cismin hızını, uygulandığı her tam saniye için saniyede 9,8 metre artırır. Cismin yerdeki ağırlığını belirleyen bu ivmeye, yer yüzeyindeki yerçekimi ivmesi denir. Eğer bir roketin ivmesi saniyede 50 metre (m/sn^2) ise, G-yükü diye adlandırılandaki artma beş mislidir, ve 70 kilogramlık bir insan 350 kilogram gelecektir. Bu yük, kısa bir zaman dönemi için dayanılabilirdir, ama daha büyük ivmeler tehlikelidir.

Bir uzay gemisinin 100.000 km/sn'lik bir hız kazanması

gerektiğini varsayın. Açıktır ki, bu hıza birkaç dakika içinde ulaşılamaz, gerçekte buna gerek bile yoktur. Yıldıza giden bir uzay gemisi, yerin kütlesel çekimini mümkün olduğu kadar çabuk yenmesi gerektiği için, yerden havalanmayacaktır. Fırlatma, Çyolkovski'nin formülülün uygulanabildiği, ki bu formüle göre bir uzay aracı tarafından kazanılan hız yalnızca egzoz püskürmesinin hızına ve yakılan maddenin miktarına bağlıdır, dış uzayda gerçekleştirilebilecektir. Kuşkusuz ki, uyarılmış bir çalıştırıcı tarafından fırlatılmadıkça uçmayacak olan bir havaî fişek bile, dış uzay koşullarında —yeterince süre verildiğinde— bir uzay aracını gerekli hıza ulaştırabilir. Öyleyse, yıldıza yönelmiş bir uzay gemisi motorlarının itme kuvveti ne olmalıdır, ve gemi hangi ivme ile yolculuk etmelidir?

Sorunun ikinci yarısına yanıt, ancak 10 m/sn^2'dir. Bu, tayfanın yer üzerinde alışmış olduğu ivmedir, ve gemideki her insan kendisini katı yerdekinden daha ağır hissetmeyecektir. Motorların 123 gün sürekli işlemesi, uzay gemisini normal trafik hızına ulaştıracaktır. Uzayın çoğu bu sürede aşılmış olacaktır. Gerçekte, onun aldığı yolu bir ışık demeti 506,5 saat ya da 21 günde alacaktır. Bu, kuşkusuz ki, Proxima'ya olan uzaklığın yüzde-birinden ancak birazcık fazladır.

Yer insanları böylesi hızlarda hiç yolculuk etmemişlerdir ve grubun üyeleri gerçekten birçok garip duygular içinde yaşayacaklardır. Uzay gemileri hız kazandıkça çevrelerindeki yıldızlarda önemli değişiklikler not edeceklerdir. Uzay gemisinin doğrudan doğruya arkasında kalanlar [yıldızlar —ç.] hep birlikte "sönünceye" kadar kızıllaşacak, kızıllaşacaktır. Bu, Doppler olayının doğrudan bir sonucudur ki, buna göre görünür tayf, tayfın görünmez kızılötesi bölgesine doğru kayar. Aynı nedenle, doğrudan karşıda bulunan yıldızlar moraracak ve aynı zamanda gözden kaybolacaktır. Değişmeden kalanlar, yalnızca uzay gemisinin arka tarafına göre çok az yer değiştiren, gökyüzünün dar bir şeridi içinde uzanan yıl-

dızlardır. Bu şeridin arkasındaki yıldızlar garip bir şekilde kırmızı, önündekiler irileşen mor mürekkep lekeleri gibidirler. Hız büyüdükçe, görünür yıldızların şeridi daralır ve şerit, geminin daha arkalarına doğru yer değiştirir. Olanaklı olsa idi ışık hızına ulaşıldığında, şerit, uzay gemisinin tam arkasına düşen bir noktaya dönüşecekti.

Teknemiz 100.000 km/sn'lik bir hızla yolculuk ediyor. O, oniki buçuk yılını uçuşla geçirecektir, ama, yıldızların hareketlerini ve konumlarını belirleme, yıldızsal tayfları inceleme, kütle çekimi ile deneyler, vb. gibi araştırma işlerinde, tayfanın ellerinde zaman yavaş geçmeyecektir. Onlar, aynı zamanda, çoğu zamanlarını ve çabalarını kendilerini dış uzayın tehlikelerinden korumak için harcayacaklardır. Tehlikeler arasında en önemlisi, göktaşları tehlikesidir.

Genç Sovyet bilim adamı, F. N. Yasinski, göktaşı ile mücadele için ilginç bir yöntem öne sürdü. Uzay gemisi, önünde, çap bakımından taşıtınkinden biraz büyükçe, ince bir metal "şemsiye" taşıyacaktı. Açıktır ki, eğer taşıt durgun ise "şemsiye" yalnızca burundan gelen göktaşlarına karşı koruma sağlayabilecektir. Ama eğer taşıt göktaşlarından daha hızlı yolalıyorsa, "şemsiye", göktaşı parçacıklarından tamamen arınmış bir "gölge" meydana getirir. Baş taraftan gelenler, açık olarak, "şemsiye" tarafından karşılanacak, yandan gelenler uzağa süpürülmüş olacak, ve gemiyi izleyenler hiç bir zaman ona ulaşamayacaklardır. Küçük parçacıklar "şemsiye"ye çok fazla zarar vermeyeceklerdir. Çarpışmada parçacıkların kinetik enerjisi aniden ısıya dönüşecek, ve göktaşları ve "şemsiye"nin kırıntıları çabucak genleşen bir gaz bulutuna dönüşecektir. Yıldızlararası maddenin aşındırıcı etkisi ne kadar büyük olabilir ve "şemsiye" buna ne kadar süre dayanabilir?

Her ne kadar yıldızlararası uzayın yoğunluğu santimetre küp başına 10^{-24} gram kadar ise de, yani bu, uzayın her santimetre küpünün yaklaşık bir hidrojen atomu kapsaması de-

mektir, ışığınkine yaklaşan hızlarda, roketin en büyük kesit alanının her bir santimetre karesi, saniyede tahminen 3×10^{-14} gramlık bir madde süpürecektir. Sürekli çarpışmaların enerjisi, 3×10^{7} erg/cm^2 sn kadar edecektir. 1 gram TNT'nin patlamasından çıkan enerji, 4×10^{10} erg kadardır. Böylece, Yasinski'nin "şemsiye"sinin her santimetre karesi her bir saniyede bir gram TNT'nin binde-birinin patlamasına eşdeğer etkilenime uğramış olacaktır, ki bu bir saat başına 4 gram dolaylarına çıkar. Gerçekte, mikroparçacıklarla ya da hemen hemen ışık hızı ile uçan atomlarla bir çarpışmanın etkisi olağan patlamanınkinden önemli ölçüde farklıdır. Son durumda metal yüzeyi basitçe aşınır, ilk durumda ise, bellibaşlıları x-ışını ve gama ışıması olmak üzere, farklı türlerde ışımalar oluşur ve "şemsiye"nin aşınmasına enerjinin daha küçük bir kısmı harcanır.

Bir gram TNT'nin patlamasında 1 gram kadar metal yok edilir. Kozmik hızlarda uçan parçacıklarla çarpışmalarda enerjinin çoğu ışımaya dönüşeceğinden ancak yüzde 0,1 kadarı yıkıma katkıda bulunacak, "şemsiye" yüzeyi saatte 0,004 gram kadar bir oranda aşınacaktır, ki bu da 10 günde bir gram eder. "Şemsiye" birçok sayıda kurşun yaprağından yapılarak, aşınma daha da azaltılabilir. Bu durumda yüzeyin santimetre karelik tabakası başına erozyonun yılda 10 gramdan daha fazla olmadığı hesaplanıyor. Eğer uzay gemisi, ışığın hızına çok yaklaşan bir hıza ulaştırılırsa, siperin yüzeyi kızarmaya başlayacaktır. Işıma öylesine güçlü olacaktır ki, yaklaşmakta olan maddesel parçacıkları, bir uzaklıkta buharlaştıracaktır.

Yine de, büyük bir göktaşı "şemsiye"yi delebilir ve hızının ve kütlesinin çoğunu yine de elinde tutabilir. Çarpışma da sezilebilir olacaktır. Anında önlem alınması gerekli böyle bir olayla karşılaşılabileceğinden, uzay gemisi radarlı yol göstericilerle donatılmış olmalıdır. Bunlarla birleştirilen elektronik beyinler (*computer*), göktaşının uçuş yönünü ve gemiye

isabet etme şansını anında hesaplayacaktır. Eğer tekne ve göktaşının rotaları kesişirse, yüksek-frekansta güçlü ışınım akısı salan bir ışın tabancası, meteoru zararsız toz ve gaz bulutu haline dönüştürecektir.

İşte, geleceğin astronotlarının hesaba katmaları gerekli bir diğer tehlike çeşidi. Dış uzaydan geçen kozmik x-ışını ışıması etkisine bağlı olarak, uzay gemisi pozitif yüklü duruma gelecektir. Parçacıkların ve elekromanyetik kuantumların vuruşları, kaba metal gövdenin elektromanyetik dengesini bozarak, yüzeyden elekron söker. Bunun astronatlara hiç bir etkisi olmaz, ve dengesizlik ancak duyarlı araçlarla gözlenebilir. Bununla birlikte, dış uzayın elektromanyetik alanları, alanların içinden geçen yüklü uzay gemisi ile etkileşecek ve hızını geciktirecektir. Kaynaklandığı gaz ve toz bulutsularından büyük uzaklıklarda elektromanyetik alanın şiddeti küçük olmasına karşın, bu alan, günlerce ve haftalarca ve aylarca sürekli olarak etki yapar. Alan etkisi ile hızın derece derece azalması, üstüste eklenince sezilebilir bir büyüklüğe ulaşır.

Şunu da belirtelim ki, etkinin ters olması halinde geminin hızlandırılması pek daha iyi olmayacaktır, çünkü etki gemiyi öyle fazla hızlandırabilir ki yavaşlatmak için mevcut yakıt yeterli olmayabilir.

Nasıl ki gezegenimizdeki denizlerin ve okyanusların içlerini deniz adamları araştırmışsa, uzak gelecekte, astronotlar da yıldızlararası uzayı araştırdıklarında, Samanyolunun elektromanyetik ve kütlesel çekim alanlarının haritaları yapılmış olacaktır. Daha sonra, kozmik ulaşımcılar bu alanların hızlandırıcı ve geciktirici kuvvetlerini kullanmaya muktedir olacaklardır. Uzay gemisinin dış kılıfının yükü, bir dinamonun negatif kutbuna bağlanarak nötrleştirilebilir, ya da kasten negatif bir yük verildiğinde, elektromanyetik alan bir hızlandırıcı gibi etkileyecek, böylece ilk gecikmeyi karşılayacaktır.

Proxima'ya ilk uçan astronatları, oniki-buçuk yıllık uçuş-

larında birçok tehlikeler bekliyor olacaktır. Ama, sonunda, yıldızın görünür bir disk halinde genişlemeye başladığı gün gelecektir. Bu, gemiyi yavaşlatmanın zamanı anlamına gelecektir. Işının motorları 123 gün düzenli şekilde bir kez daha çalışacaktır. Yapma kütlesel çekimi gerçekleştiren çörekbiçimli insanlı aracın dönmeleri, durmuş olacaktır. Astronomlar, Proxima'nın gezegenlerini aramaya başlayacak, makineler gezegenleri araştırmak ve üzerlerine inmek için gezegenlerarası gemiler hazırlayacaklardır. Ulaşımcılar, uzay gemisinin Proxima etrafında yapma bir gezegen olarak dolanacağı yörüngeyi hesaplayacaklar, fizikçiler, güneşten sonra "erişilebilir" olan ilk yıldızlarını araştırmaya koyulacaklardır.

Ama gelin uzay gemimizin tayfasını küçük işleri ile başbaşa bırakalım ve bir diğer yıldıza gezisinden ilk astronotun döndüğü gün orada hazır bulunacak şekilde yere doğru hızlanalım.

ZAMAN PARADOKSU

Eylül 1522'de bir gün, İspanya limanı San Lucar'a bir gemi demir attı. Hırpalanmış teknesi, yamalı yelkenleri ve güvertesinin kararmış tahtaları, hepsi uzun ve zor bir yolculuğun belirtisiydiler. Sakallı bir adam hızla inerken, iskele tahtası iskeleye sert bir şekilde çarptı, adam diz çöktü ve yeri öptü. O, küreyi yelkenle dolaşmak için düzenlenen ilk seferin reisi, Sebastian del Cano idi. Üç yıl önce, toplam 265 mürettebattan oluşan, beş gemilik küçük bir filo aynı iskeleden demir almıştı. Onlar arasında, geri dönmeyen, seferin en zor kısmını başaran, başlangıçtaki reisi Ferdinand Magellan da vardı.

Daha sonra, Magellan seferinin hayatta kalanları Katolik Kilisesi tarafından itham edildiler, hem de garip bir nedenle: onların takvimi, evlerinde oturan yurttaşlarınki ile

karşılaştırıldığında, bir gün kısa çıkıyordu. Bu, onların Katolik yortu günlerini yanlış günlerde kutladıklarını ifade ediyordu, ve kilise, nizamlarını bozanlarla şiddetle uğraşıyordu. Bununla birlikte, daha sonra, bilim adamları bu bir günün "kaybolması"nı açıkladılar. Eğer onlar küreyi batıdan doğuya doğru, güneşi izleyerek dolanmışlarsa, yolcular sanki yeri bir gün geri çevirmiş olacaklardı. Doğuya doğru yelken açanlar bir gün kazanmış olacaklardı. Bugün, bu, Pasifik Okyanusunu kutuptan kutuba geçen Uluslararası Tarih Çizgisi ile açıklanmaktadır. Onu geçen herhangi bir kimse, ya bir gün sıçrayarak yarına geçer ya da bir gün geri giderek düne döner.

Şimdi sorumuz şudur: yerdeki takvim komşu bir yıldıza gezilerinde astronotlar tarafından tutulan takvimle uyuşacak mıdır?

Yer halkı dış uzaydan yolcuları karşılamak için hazırlanıyor. İniş alanını çevreleyen çiçeklerle donanmış duraklar alabildiğine doldurulmuş. Gökten, denge bozucu bir gümbürtü alçalıyor. İniş kılavuz sistemlerinin teknisyenleri hazırola geçiyorlar. Hayır, bu yıldızsal geminin kendisi değildir. O yere kendi ağırlığı etkisinde süzülebilir, ve o yer çev-

---

MATEMATİK DİLİYLE

ÖZEL RÖLATİVİTENİN BAZI BAĞINTILARI

Özel rölativite teorisi, bir doğru boyunca biri diğerine göre sabit hızla hareket eden bütün koordinat sistemlerinde (eylemsizlik sistemleri denilir) tüm fiziksel yasaların aynı olduğunu ve ışığın hızının herhangi bir eylemsizlik referans sisteminde daima aynı olduğunu postulatlar.

Rölativite teorisinin önemli bir sonucu kütle ve enerji arasındaki ilişkidir: kütle enerjidir, ve enerji kütle taşır. Rölativite teorisinde kütle ve enerjinin korunumu yasalarının yerini tek bir kütle-enerji korunumu yasası alır.

Klasik mekanikte, bir O' referans sistemi bir diğer O sis-

resinde eliptik bir yörüngeye yerleştirilmiştir. Onun müretteb atı gezegenlerarası uçuş için geliştirilmiş özel bir roketle iniyor: işte, roket, havayı içinden biçen çok parlak bir alev püskürmesinin önüne katılmış olarak göz erimine ulaşıyor. Birkaç dakika içinde yerde bir durağa iniyor. Hafif bir alüminyum merdiven gemi ağzına doğru süzülüyor. Platformda, vücudunu sıkıca saran elbisesi içinde kır saçlı bir adam, bir astronot gözüküyor. Bu yolculukta, yeri terkettiği zaman 27 yaşındaydı. Yersel takvime göre, gidiş-dönüş yolculuğu 25 yıl tuttu, artı, beş yıl da uzak yıldızın dünyasında geçti. Adam şimdi kaç yaşındadır? Elliyedi yaşında mıdır?

Astronot yere iniyor ve, kendinden beş yüz yıl önce Sebastian del Cano'nun yaptığı gibi, diz çöküyor ve iniş alanının taş yüzünü öpüyor. Daha genç olan kardeşi ona yetişip geçmiş. Ama genç kardeş çok yaşlı gözüküyor ve astronot ağabeyliği bırakıyor.

"Biz havalandığımız zaman, diyor, ben senden dört yaş büyüktüm. Şimdi sen benden yaşça on yıl büyüksün, çünkü, yerin 30 yılına karşılık uzay gemimizin saatine göre ben ancak 16 yıl yaşamışım."

Bir paradoks mu? Evet, ama ne kardeşler, ne de onların

---

temine göre, x ekseni boyunca bir v hızı ile hareket ediyorken, aşağıdaki basit dönüşümler geçerlidir:

$$x = x' + vt', \; y = y',$$
$$z = z', \; t = t' \text{ olur}$$

ki, burada x, y, z ve t durağan sistemdeki koordinatlar ve zaman, ve x', y', z' ve t' hareketli sistemdeki koordinatlar ve zamandır. Eğer üslü (′) sistemde bir cismin hızı u' ise üssüz sistemde cismin hızı $u = u' + v$ olacaktır. Zaman iki sistemde de aynıdır. Bunlar klasik Galileo koordinat dönüşümleridir.

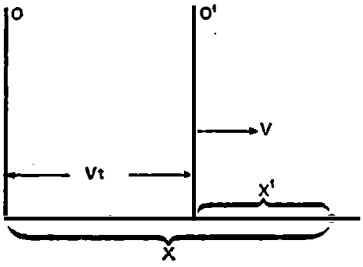
Yer, güneş çevresinde 30 km/sn'lik bir hızla dolanır ki bu ışık hızının 1/10.000'idir. Eğer bilim adamları yerin tam ön tarafındaki bir yıldızdan ve tam arkadaki bir yıldızdan gelen

çevresindeki insanlar bu duruma şaşmıyorlar. Bu paradoks oldukça iyi bir şekilde incelenmiştir. Proxima'ya geziden çok önce, bilim adamları, yersel saatlere ve gemi içindeki saatlere göre zamanın geçişini hesaplamışlardır. Ama bizim bu paradoksu anlamamız için, bilim adamlarının bu paradoks ile ilk kez yüzyüze geldikleri güne dönmeliyiz.

19. yüzyıl ortalarında, bilim adamları elektromanyetik dalgaları, özellikle ışığı, bütün evreni kaplayan çok önemli bir töz olan esir titreşimlerinin yayılması olarak düşünüyorlardı. Bu tözü yalıtmak ya da herhangi bir gözlenebilir özelliğini ortaya çıkarmak için yapılan tüm girişimler her zaman boşa gitti. Bütün bilim adamları, esiri, mutlak esnek, ışığı soğurmaz olarak biliyorlardı. Bir "esir rüzgârı"nı ortaya çıkarmak mümkün olamaz mı, diye soruyorlardı. Bir kaynaktan farklı yönlere yayılan ışığın hızı belirlenerek, ışık kaynağının hareket ettiği yön tayin edilemez mi?

Bir ses kaynağının hareket yönünü belirlemekte bir zorluk olmadığını, ve eğer kaynak, sesin hızından daha hızlı hareket ediyorsa onun yaklaşmasının basitçe duyulamayacağını daha önceden belirttik. Işık için de böyle midir? Işık da bu yasalara uyar mı?

ışıkların hızlarını ölçmeye girişselerdi, ilkinde yerin hızının ışık



hızına eklenmesi, ikincide yerin hızının ışık hızından çıkarılması gerektiğinden, 60 km/sn'lik bir fark ortaya çıkaracakları sanılır, ki bu fark, duyarlı araçların yardımı ile kolayca ölçülebilecek büyüklüktedir. Bununla birlikte, hangi yönde olursa olsun, ışık hızının daima aynı ölçüldüğü ortaya konulmuştur. Albert Einstein, klasik mekanikteki hızların toplanması yasasının ve

1881'de, gelmiş geçmiş en büyük deneycilerden biri, Amekan fizikçisi Albert Michelson, ışık kaynağı hareketinin ışığın yayılmasına etkisini belirleme amacını güden bir deney yaptı. Işık oldukça hızlı bir yol alıyordu, ve Michelson, *luminiferous* (ya da ışık taşıyıcı) esire göre yeterli bir hızda hareket edebilecek bir cisim arıyordu. Yer, ki güneş çevresindeki hareketi sırasında saniyede 30 kilometre katediyordu, uygun bir cisim olarak denendi. Gerçekte, yer esire göre ancak 1,5 km/sn hız yapıyor olsa bile, Michelson'un düzeneği (*interferometre* denir), bunu ayırdedecek incelikte olmasına karşın, "esir rüzgârı"nı asla ortaya çıkaramadı.

Michelson, deneyini birçok kez yineledi, başkaları tarafından gerçeklendi, ama sonuç aynı kaldı: hiç bir "esir rüzgârı" ortaya çıkarılamadı. Bu buluşun paradokslu çıkarsaması, ışığın yayılma hızının kaynağının hızına bağlı olmaması idi. Ama bu durumda gerçekten garip bazı şeyler mümkün oluyordu.

Bir istasyonu saniyede 240.000 kilometrelik bir hızla geçen bir tren düşünün. Daha da ileri giderek bu trenin uzunluğunun hızı ile orantılı ve 300.000 kilometre uzunlukta olduğunu düşünün. Lev Landau'nun, Enstein treni adını taktığı

---

dolayısı ile klasik mekaniğin temel yasalarının, ışığın hızına yaklaşan hızlarda uygulanamayacağını ileri sürdü. Hendrik Lorentz, ve sonra Einstein, basit ve daha kesin biçimde yeni mekanik bağıntıları geliştirdiler. Yeni teoriye göre, önceden sözü edilen postulatlar dikkate alındığında, Lorentz dönüşümleri olarak bilinen koordinat ve hız dönüşümleri,

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}};$$

$$t = \frac{t' + v/c^2\, x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y = y';\ z = z'$$

ve

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

olur ki, burada c ışık hızıdır.

böyle bir tren, kuşkusuz ki, yerin çevresini birçok kere saracaktır, ama bizim amacımıza çok uygun gelmektedir. Şimdi varsayalım ki, tren peronda bekleyen istasyon şefine tam yaklaştığı anda birinci vagonun ön duvarında bir ışık ortaya çıkıyor. Yolcuların ve istasyon şefinin görüş açılarından bu etkinin sonucunun farklı olduğunu görürüz. Yolcular son vagonun arka duvarının tam bir saniyelik zaman içinde ışıklandığını göreceklerdir. İstasyon şefi, arka duvarı ışık demetine yaklaşıyor görecektir. Basit bir hesaplama, istasyon şefinin, ışığın duvara tam yarım saniye sonra düşeceğini söylemesini mümkün kılar. Ve, istasyon şefi de yolcular da, her ikisi de doğrudur.

Çıkarsama, istasyon şefinin görüş açısından, zaman, trenin içinde perondakinden daha ağır geçiyor, şeklinde olur. Eğer Einstein treni evren içinden hareketine aynı hızla devam eder ve sonunda tekrar perondan geçerse, kendi kol saatlerini istasyonun saati ile karşılaştıran yolcular, hayretler içerisinde, hareketli tren içinde hareketsiz istasyondan daha az zaman geçtiğini bulacaklardır. "Hareketli tren içinde hareketsiz istasyondan daha az zaman geçmiş" sözleri, tren içindeki saat ibrelerinin kadranı istasyondaki saat ibrelerinden

---

Farklı referans sistemlerinde zaman akışının farklı olacağı, yani, zamanın eskiden kabul edildiği gibi mutlak bir nicelik olmadığı gözlenebilecektir. Eğer $v \ll c$ ise, Lorentz dönüşümleri klasik Galileo dönüşümleri şeklini alır. Yeni hız toplamı formülüne göre, hızların herbiri ışığınkine ne kadar yakın olursa olsun, iki hızın toplamının ışık hızını aşamayacağı görülebilir. Özel olarak, v ne olursa olsun, $u' = c$ ise, formül $u = c$ olduğunu gösterir. Böylece, hızların toplamı yasası, ışık hızının herhangi bir referans sisteminde sabit olduğu postulatını sağlar. Işığın hızı doğada olanaklı en büyük hızdır.

Lorentz dönüşümlerinden bazı ilginç sonuçlar çıkarılabilir. Bunlardan yalnız ikisini gözönüne alacağız.

daha az sayıda dolanmış olduğu ve yolcuların perondaki insanlardan daha az yaşlanmış oldukları şeklinde anlaşılmalıdır.

Olayı niçin günlük yaşantımızda gözlemiyoruz? Niçin arabayla gezinti, bir insanı, yaya yürüyen bir insandan daha genç yapmaz? Nedeni, zaman geçişinin hareket hızına bağımlılığının (ki bu, zaman açılması olarak bilinmektedir), ancak rölativistik adı verilen, ışık hızına yaklaşan çok yüksek hızlarda gözlenebilir olmasıdır.

Yukarda anlatılan, Einstein'ın özel rölativite teorisinin basitleştirilmiş sonuçlarından biridir. Einstein, teorisini, pratik olarak tam bir şekilde, henüz yirmialtı yaşındayken, 1905'te yayınladı. Kozmik ışınlar, farklı türde parçacıkların düzenli akını halinde, yeri bombardıman ederler. Kozmik ışınların atmosfer içindeki atom çekirdekleri ile çarpışmaları, diğerleri ile birlikte, mezonlar ve hiperonlar adı verilen parçacıkları oluşturur. Bunlar kararsız parçacıklardır, ve oldukça kısa süre içinde diğer elemansal parçacıklara bozunurlar. Mezon ve hiperonların yarı-ömürleri büyük bir doğrulukla ölçülmektedir ve yarı-ömürleri çok uzaklara yolculuk etmeleri için yeterli değildir. Bununla birlikte, bazı mezonlar

---

O' koordinat sisteminin başlangıç noktası ile birlikte, yere bağlı O koordinat sistemine göre, v hızı ile hareket ettiğimizi düşünün. t' zamanını kendi saatimizle ölçüyoruz, ve t zamanı yeryüzündeki O sisteminde ölçülüyor. $x' = 0$ olduğu için, iki zaman arasındaki ilişki,

$$t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

şeklini alır.

Bizim saatimize göre, yersel saate göre geçenden daha az zaman geçtiğini gözleriz (zaman paradoksu). Geliniz, O sisteminde x ekseni boyunca uzanmış duran bir çubuğun uzunluğunu ölçelim. Üslü sistemde çubuğun uçlarının koordinatları x'_1 ve x'_2'dir. Açık olarak ise,

$$x'_2 - x'_1 = (x_2 - x_1)\sqrt{1 - v^2/c^2}$$ dir.

ve hiperonlar yerin yüzeyine ulaşırlar. Onların ömürleri laboratuvar koşullarında gözlenen parçacıklarınkinden oldukça daha büyüktür. Nedeni, hızlarının ışık hızına yaklaşmasıdır. Böyle bir parçacık ile yolculuk eden bir saat, ne fazla ne eksik, parçacığın ömrü ne kadar ise tam onu gösterecektir. Ama, zaman açılmasına (*dilation*) göre, parçacığın "öz" ("*proper*") zamanı, duran bir gözetmenin görüş açısından oldukça ağır ilerliyor gözükür, daha çok zaman geçmiş gözükür, ve parçacık uzun bir yol alır.

Yapma yer uyduları, bağıl olarak hızlı hareket eden cisimlerdir. Gerçekte, hızları —8 km/sn dolaylarında— ışık hızı ile karşılaştırıldığında çok küçüktür ve zaman açılması önemsizdir. Ama, yine de ölçülebilir. Sovyet bilim adamı V. Ginsburg, çok doğru bir saatin yapma bir yer uydusuna yerleştirilmesini ve ölçümlerinin, diyelim bir yıllık süre için, yerdeki bir saatin ölçümleri ile karşılaştırılmasını önerdi. Önceden tahmin edilen, saniyenin 1/100'ü kadar bir fark, özel rölativitenin yeni bir başarısıydı.

Bugün yalnız bilim adamları değil, aynı zamanda mühendisler de, içerisinde elektronların, protonların, nötronların ve diğer elemansal parçacıkların ışık-altı hızlarda yolculuk et-

---

Bizim referans sistemimizde çubuğun uzunluğu,

$l' = x'_2 - x'_1$'dir.

Yersel referans sisteminde çubuğun uzunluğu ise,

$l = x_2 - x_1$'dir.

Buradan,

$l' = l\sqrt{1 - v^2/c^2}$ 'dir

ve çubuk kısalmış gözükür. Eğer biz çubuk boyunca v hızı ile geçersek, ya da eğer çubuk bizi aynı hızla geçerse, aynı şeydir, $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ oranında kısalmış gözükür.

Lorentz dönüşümlerini dikkate alan bir dizi dönüşümlerin yardımı ile, eğer durağan bir cismin kütlesi (durgun kütle) m_0 ise, cismin hareket halindeki kütlesinin,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

melerinin gerektiği düzenekleri planlarken rölativite teorisinin formüllerini uygularlar, aksi takdirde karşılıkları tümden yanlış olabilir. Büyük hızlarla ilgilenirken Newton mekaniği, kelebek ağı ile mermi yakalamaya çalışma kadar kullanışsızdır.

Ve işte, Proxima Centauri'ye gezisinden sonra iki kardeşten büyüğünün daha genç duruma gelişinin nedeni budur.

Zaman, insanın güncel ve daima ilgilendiği en gizemli kavramlardan biridir. Uzay gibi, zaman da maddenin bir varoluş biçimidir. Zaman maddenin dışında var olamaz, ve zamanın geçişi maddedeki değişmelerle ölçülür. Eğer madde herhangi bir zamanda bizce bilinmeyen haller ve alanlar olarak varolmuşsa, onun varlık biçimlerinin de —uzay ve zaman kavrayışımız içinde— farklı olması aynı derecede olanaklıdır.

Hareketli bir cismin "öz" zamanının cismin hızına bağlı olduğuna ilişkin bilgi, çok sayıda soru ortaya çıkardı. Cisim daha hızlı hareket ettikçe zamanın akışı daha ağırlaşıyor. Bu, ışık hızı ile yolculuk eden fotonlar, ışık kuantumları için zamanın var olmadığını mı anlatır? Çünkü, "onların" saatlerine göre, yıldızlararası ve galaksilerarası uzaklıkları aynı

---

formülü ile verilebileceğini gösterebiliriz. c ile karşılaştırıldığında v çok küçükse (yani $\frac{v}{c} \ll 1$ ise),

$$mc^2 = m_0c^2 \ (1 + v^2/2c^2) = \\ = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2}$$

olur.

$\frac{m_0v^2}{2} = E_k$ niceliği basit olarak cismin kinetik enerjisidir; $m_0c^2 = E_0$ niceliğine durgun enerji denir; $mc^2 = E$ niceliği hareketli cismin toplam enerjisidir. Böylece,

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

olur. Einstein, durgun bir cismin enerjisinin $E_0 = m_0c^2$ olduğunu gösterdi. Çekirdek tepkimele-

anda kucakladıkları ortaya çıkıyor.

Bilim adamları atomun kalbi içerisine girmiş, maddeyi elemansal parçacıklar şeklinde parçalara ayırmışlardır. Elektromanyetik, ve belki de kütlesel çekim alanlarının kesikli, kuantumlu yapısını bulmuşlardır. Uzayın kendisini de "kuantumlamak" için girişimlerde bulunulmaktadır. Ama ya zaman? Zaman kuantumu gibi bir nesne, en küçük, bölünmez bir zaman parçacığı var mıdır? Ve genel olarak, zamanın özü, fiziksel mekanizması nedir?

Bunlar bilim adamlarının henüz yanıtlamaya çalıştıkları sorulardır. Onlar zamanın özünü incelemeye daha yeni başlıyorlar. Bu yöndeki bir girişim, zamanın "kuantumlanması"dır. Biri diğerine çok yakın yerleştirilmiş, etkileşen elemansal parçacıkları düşünün. Etkileşimler sınırlı bir zaman içinde oluşur, ve böyle iki etkileşim arasındaki aralık, gerçekten çok küçük olabilirse de, sıfır olamaz. İki ardışık etkileşim arasındaki aralık, zaman kuantumu olarak adlandırılabilir. Etkileşimden sonra, durumları değişmediğinden, yeni bir etkileşime kadar onlar için zaman "durur". Böylece, bir parçacığın durumundaki, özellikle onun enerji durumundaki değişme, bir anlamda, kesikli, kuantumlu tabiatta olan

---

rinde, tepkimeye giren maddenin $\triangle m_0$ kütleli bir kısmı, $\triangle E_0 = \triangle m_0 c^2$ formülüne göre, enerjiye dönüşür. Örneğin uranyum U_{235}^{92} için

$\triangle m_0/m_0 \approx 1/1.500$ (termonükleer tepkimelerde $\triangle m_0/m_0 \approx 1/100$) olur.

Verilen bir enerjide, bir cismin hızına bağlı olarak momentumu,

$$M = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{Ev}{c^2}$$

şeklinde artar. $v = c$ için, $M = \frac{E}{c}$ elde ederiz, ama cismin m_0 durgun kütlesi, sıfıra yönelir. Örneğin fotonların durgun kütlesi yoktur, ama onlar belirli bir eşdeğer durgun kütleye karşılık gelen enerji taşırlar.

zamanının "akışı"nı anlatır.

Açıktır ki, zaman kuantumu çok küçük olmalı, hiç olmazsa 10^{-24} saniyeden uzun olmamalıdır. Ama, bunun henüz geniş-çe araştırılmamış bir alan olduğunu yinelemeliyiz.

[BEŞ]

PATLAMA

GAZ DİNAMİĞİ

Atmosfer, yani yerin çevresini saran gaz, devamlı girdaplı hareket halindedir. Herkesçe, her ne kadar görünmez olarak bilinirse de, ne yazık ki hava mutlak saydam olmaktan uzaktır. Uçuş sırasında gözleri ile ufku sabit bir şekilde taramak zorunda olan bir havacıya sorunuz, o, size, uçağın sanki süt içerisinde yüzüyormuş gibi gözüktüğü sis ve bulutlardan, ve kanat uçlarının pilot kabininden gözükmediklerinden sözedecektir. O, size, açık bir günde bile ufku mavi bir sisin kapladığından ve bu sisi en keskin bir gözün bile delip geçemeyeceğinden sözedecektir.

Bir fizikçiye sorunuz, ve o, size, elektromanyetik tayfın birçok bölgeleri için atmosferin saydam olmadığından

sözedecektir. Yalnızca görünür ışık, kızılötesi ışınım ve belirli boylardaki radyo dalgaları, atmosferi geçebilir.

Atmosferin saydamlığına en az kanmış olanlar astronomlardır. Onlar gözlem yerleri olarak, havanın özellikle ince ve gökyüzünün özellikle açık olduğu yerleri seçerler. Mercekle dış uzay arasındaki hava tabakasını olabildiğince azaltmak için, optik araçlarını dağların tepelerine götürürler. Buna karşın, atmosferin saydam olmayışı birçok ilginç olayı gözlenemez duruma düşürür. Isınmaya bağlı hava titreşimleri, teleskoplarla gözlenen gezegenlerle ilgili görüntülerin biçimlerini bozar. On yıl ya da daha uzun sürede bir kere, bir gezegen yere en yakın duruma geldiği zaman, çok karanlıkta bu bozulma oluşmaz. Özenli inceleme kurulları, bir güneş tutulmasını gözlemek üzere kürenin uzak kısımlarına giderler, talihsiz bir bulutun aylarca süren işi boşa çıkarması nedeniyle, bir basit fotoğraf bile alamamış olarak geri döndükleri olur.

Astronomların önünde engel olarak yalnızca yerin atmosferi yoktur. Mızıkçılık eden birçok belâlar, Samanyolununun geniş kısımlarının anlaşılmasını güçleştiren dev gaz ve toz bulutlarına atfedilmektedir. Yoğun, sıkıca paketlenmiş yıldızların bir kümesi olan Samanyolunun merkezi, böyle bir bulutun arkasında yer aldığından gözlenememektedir. Yalnızca görünür tayfın ışınlarından daha büyük geçme yeteneği ile kızılötesi ışınları, astronomlara, kütlesel çekimi, güneş dahil, milyonlarca yıldızın hareketini denetleyen bu parlak galaktik çekirdeğin fotoğrafını alma olanağı vermiştir.

Dev toz ve gaz bulutlarının kendileri de ilginç araştırma konularıdır. Bilim adamları, bu bulutların bileşimlerini, büyüklüklerini, yoğunluklarını, oluşturdukları kütlesel çekim ve elektromanyetik alanları, olağan ve karşılıklı hareketlerini bilmek isterler. Yıldızlararası maddenin hareketi, bu harekete neden olan kuvvetlere, kozmik şekillenimlerin yapısına ve bileşimine ve evrenin diğer birçok gizemlerine bir ipucu

verebilir.

Akışkan hareketi kararlı ya da kararsız olarak betimlenebilir. Bir araştırmacının bir ana boru içinden gazın akışını incelediğini düşünün. O, akıntı ortalarında farklı noktalardaki sıcaklık, hız ve basıncı ölçüyor. Bir süre, her on dakikada bir, aynı ölçüleri tekrarlıyor ve araçlarının ölçümlerinin aynı kaldığını buluyor, bu, akış parametreleri zamanla değişmiyor demektir. Bu, kararlı akış durumudur.

Eğer araştırmacı deneylerine devam ederse, geceleyin akış hızını gündüzdekinden biraz küçükçe, kışın akışkanı yazdakinden soğukça bulacaktır. Bu düzensiz değişmeler devirli (*periodic*) ise, hareket yarı-kararlı olarak ifade edilir.

Bir topun ateşlenmesinde ya da bir mermi kovanının patlamasında gazların hareketlerini inceleyince, hareketli gazların basıncını, sıcaklığını, hızını ve yönünü devamlı değişiyor buluruz. Bu, kararsız, ya da çalkantılı harekete bir örnektir, ve bu, kozmik toz ve gaz bulutları içinde gözlenen hareket türüdür.

Evrendeki turumuz sırasında, evrenin içerdiği maddenin çoğunun plazma halinde olduğunu gördük. "Plazmik" güneşimizin kütlesi, ona eşlik eden tüm gezegenlerin kütleleri top-

---

MATEMATİK DİLİYLE
RİEMANN DENKLEMİ

Düzensiz akış (yani, zamana bağlı akış) durumunda, akışkanın hızı, yoğunluğu ve basıncı arasındaki ilişki Riemann denklemi ile verilir:

$$u = \pm \frac{2}{k-1} \sqrt{\frac{k\,p}{\rho}} + \text{sabit}$$

$$= \pm \frac{2}{k-1}\, a + \text{sabit}$$

ki burada a sesin hızı, ρ akışkanın yoğunluğu, p basınç, ve k bir orantı katsayısıdır.

Bir kabın dışına doğru akış durumunda negatif işaret alınır, basınç azalırken hız artar, ve,

$$u = \frac{2}{k-1}\,(a_0 - a)$$

olur ki, burada a_0 durgun akışkan içindeki ses hızıdır.

Bir gazın boşluğa düzenli akı-

lamının 750 katıdır. Samanyolunda da plazma yüzdesi daha büyüktür, galaksinin önemli kısmını oluşturan yıldızların dışında, galasilerarası gaz bulutsular ve oldukça seyreltik yıldızlararası ortam da plazmadan oluşmaktadır. Maddenin katı ve özellikle sıvı haline, galaktik ölçekte gerçekten az raslanır. Katı madde, gezegenlerin dışında, kuyruklu yıldızların baş tarafında ve göktaşlarında, yığınlaşmış kozmik tozlardan ibaret olan yaygın, koyu bulutsular içinde bulunur. Son olarak, her ne kadar böylesi nesnelerin doğrudan gözlemi henüz hiç yapılamamışsa da, belki de katı kabuklarla kaplanmış soğuk yıldızlar bulunabilir. Kısaca, katı madde galaksinin binde-birinin nedenini zor açıklar ve sıvı madde belki de toplam kütlenin milyonda-birinden azını meydana getirir.

Evrendeki her şey gibi, kozmik gazlar da devamlı hareket halindedir. Kuyruklu yıldızların kuyruklarında olduğu gibi az raslanan birkaç durumda, hareket, bağıl olarak kararlıdır. "Yeni" bir yıldızın patlayışında olduğu gibi, gazların çıkışı patlama tabiatındadır. Ve bu bizi astronomi âleminden, sıkışabilir akışkanların hareket yasaları ile uğraşan bilime, gaz dinamiğine getirir. Akışkan kavramının, plazmaları, gaz-

---

şı durumunda, ki bu durumda $a = 0$'dır, gazın dışarıya akış limit hızı,

$$\bar{u}_{lim} = \sqrt{\frac{2}{k-1}}\, a_0\text{'dır.}$$

Düzensiz akış durumunda gazın hızı,

$$u_{lim} = \frac{2}{k-1}\, a_0\text{'dır.}$$

Hızların oranı,

$$\frac{u_{lim}}{\bar{u}_{lim}} = \sqrt{\frac{2}{k-1}}$$

dir ki, $k = 7/5$ olan hava için,

$$\frac{u_{lim}}{\bar{u}_{lim}} = \sqrt{5} \approx 2{,}25$$

verir.

Böylece, basınç azalma dalgasının oluşumundaki düzensiz akışta büyük basınç düşmesi halinde gazın limit hızının, düzen-

ları, sıvıları ve hatta eğer basınç yeteri kadar yüksek ise katıları (önceden belirtildiği gibi, yüksek basınçlarda, katılar, sıvılar gibi davranmaya başlar) kapsadığı akılda tutulmalıdır. Gaz dinamiği fiziğin hızla gelişen bir bölümüdür. Gaz dinamiği yasaları ve sonuçları yalnızca "saf" teoriyi doğrulamakta değil, nükleer mühendislik ve roketçilik gibi pratik uygulama alanlarında da yararlı olmuştur. Astronomların, gaz dinamiğinin teorik sonuçlarını görmezlikten gelmeleri teessüfle karşılanmaktadır. Kant'ın ve Laplace'ın, güneş sisteminin kozmogonisi* üzerine klasik çalışmalarından bu yana bir yüzyıldan fazla geçti. Onların varsayımları gaz dinamiğinin yöntemlerine dayandırılmıştı, ama o zamandan beri astronomlar tümü ile bu bilimi unuttular. Yalnız son birkaç yıl içinde bu bilime ilgi uyanmaya başladı.

Dış uzayın gaz dinamiği "yersel" gaz dinamiğinden önemli ölçüde ayrılır. Son derece karmaşıktır ve bu yalnızca onun daha büyük bir ölçek kapsamasına bağlı değildir. Evrendeki madde büyük ölçüde plazma halindedir. Onun hareketi, kütlesel çekim ve elektromanyetik alanların etkileri kadar plazmanın kendi içinde oluşan kuvvetler tarafından da etkilenir. Işık hızına yaklaşan hızlarda zamanın akışı ile birlikte mad-

---

li akıştaki aynı basınç düşmesine karşılık olandan daha büyük olduğu ortaya çıkar. Bununla birlikte, bu yalnızca düzensiz akışın cephesindeki durumdur, ve daha gerilerde hız $\bar{u}_{lim}$' den küçüktür.

Bir gaz, hızı derece derece değişen bir pistonla sıkıştırıldığında, basınç hız ile artıyorken,

$$u = \frac{2}{k-1}(a - a_0)$$

olur. Buradan,

$$a = a_0 + \frac{k-1}{2} u$$

ve gazın basıncı için,

$$p = p_0 \left(\frac{a}{a_0}\right)^{2k/(k-1)} =$$

* *Kozmogoni* (*cosmogony*), evrenin yaradılışı teorisi. —ç.

denin kütlesi de değişir. Açıktır ki, kozmik gaz dinamiği hâlâ oldukça keşfedilmemiş bir kıtadır. Ama geliniz son zamanlarda ortaya çıkan bazı ilk sonuçları ve düşünceleri gözden geçirelim.

BOŞLUĞA GAZ AKIŞI

Süpernova çok seyrek raslanan bir olaydır, ve Samanyolunun tümü içinde her iki ya da üç yüzyılda ortalama bir kez meydana gelir. Bu nedenle, fotoğraf levhaları üzerindeki ufacık parlak bir noktanın, bir günde milimetrenin bir kesri oranında genleşmeye başladıklarını gördükleri zaman astronomların neden öylesine heyecanlandıkları anlaşılabilir. Diğer araştırma yöntemleri de uzak yıldızları kuşatan müthiş afetler hakkında bir bilgi getirir. Spektroskoplar*, genellikle, içerisinde kaba parlak şeritlerin kolayca gözüktüğü sürekli bir tayf (*spectrum*) gösterirler. Bilinen kimyasal elementlerin tayf çizgileri ile, bu şeritlerin tümünün kimlikleri saptanamaz. Radyo teleskopları, güneşi bile "gölgede bırakabilen" güçlü, yeni bir radyo sinyali kaynağının varlığını ortaya çıkarıyor.

$$p_0\left(1 + \frac{k-1}{2}\,\frac{u}{a_0}\right)^{2k/(k-1)}$$

bulunur.

Küresel bir gaz hacminin genleşmesinde, genleşme hızı da,

$$u_{\lim} = \frac{2}{k-1}\,a_0$$

olacaktır.

Kürenin yarıçapı ilk yarıçapının 10-15 katına çıktığında, gazın hızı,

$$u = \frac{r}{t}$$

ile belirlenir ki burada r merkezden uzaklık, ve t sürecin başlangıcından itibaren geçen zamandır. Verilen herhangi bir zamanda, gazın herhangi bir

* *Spektroskop* (*spectroscope*) Tayfları gözlemek ve analizlemek için kullanılan araçtır. —ç.

"Süpernova" terimi, yıldızın gerçekten "oldukça yeni" olduğu biçiminde anlaşılmamalıdır. O, ateşlenmeden önce öylesine küçük ve önemsiz bir yıldızdır ki, içerisindeki kimyasal elementlerin bağıl bolluğunu spektroskobik olarak belirlemek için araştırma bile yapılmamıştır. Şimdi o, dış uzaya saniyede 5.000-10.000 kilometrelik hızlarda çok büyük niceliklerde plazma kusarak patlamıştır. Tayf çizgilerinin genişlemesini, bu çok hızlı hareket açıklar. Plazma bulutunun gerçek hareketi hızlı ve çalkantılı ise de, yer uzaklığından görülemez.

Süpernova'dan gelen güçlü radyo sinyalleri, süpernovaya eşlik eden gezegenlerde toplanabilmiş akıllı varlıkların yardım çığlıkları değildir. Onların çoktan sonu gelmiş olmalıdır. Sinyallerin, hemen hemen ışık hızı ile yolculuk eden elektronların, elektromanyetik alan tarafından yavaşlatılması sonucu oluştukları sanılmaktadır.

Haftalar geçince, yıldızların parlaklığı derece derece azalacak, ve zamanla, yalnızca kendi yapısındaki bir bulutsu ile çevrilmiş küçük, yaşlı bir yıldız haline gelmiş olacaktır. Böylesi birçok bulutsunun novalar (*novae*) ve süpernovalarla (*supernovae*) aynı kimlikte olduğu saptanmaktadır. En iyi bilinen biri, 1054'te bir süpernova patlamasının artığı olan, Crab Nebula adlı bulutsudur. Patlama durumu, çağın Çinli astronomları tarafından kaydedildi. Ve, bulutsunun bilinen genleşme hızına dayalı basit bir hesaplama, bulutsunun bir noktada yığışmış olduğu zamanı verir.

Patlama, büyük niceliklerde enerjinin salındığı ani bir infilaktır. Nitekim, Crab Nebula'nın oluştuğu patlamada, 10^{49}

---

parçacığının hızı, parçacığın patlama merkezinden uzaklığı ile doğru orantılıdır. Gazın yoğunluğu patlama merkezinde en yüksektir ve çevreye doğru keskin bir şekilde düşer.

erglik enerji salınmıştır. Bir süpernovanın infilakı, şimşek çakması ya da tahrip edici bir fişek içindeki dinamitin ani tutuşması, farklı türlerde patlamalardır. Ama patlama sırasında gazların ve plazmanın hareket yasalarını tartışmadan önce bir ön tartışma gereklidir.

Gaz sıkışabilirdir. Eğer sınamak gerekirse, bu, sönük bir tekerlek lastiği adi bir pompa yardımı ile şişirilerek tanıtlanabilir. Bazı durumlarda gazın yoğunluğu önemsizce değişir ve sıkışabilirliği ihmal edilebilir. Nitekim, mühendisler sesaltı (*subsonic*) bir uçağın kanadını hesaplarken havanın sıkışabilirliğini dikkate almazlar, ve havanın sıkışmasız bir akışkan olduğunu kabul ederler. Hesapla bulunan kaldırma miktarının gerçek kaldırıştan sapma miktarı, önemsizdir. Bu, havanın kararlı bir akış durumudur.

Eğer sesin yayılmasını incelemeye başlarsak, artık sıkışmasız bir akışkana benzetilemez olan havanın, yoğunluk ve basıncında oluşan değişmeleri gözönüne almak zorundayız. Genel olarak, ses hızına yaklaşan ve geçen gaz hızlarında, kararlı akış durumlarında bile sıkışabilirlik dikkate alınmalıdır.

Aşağıdaki, basit, kararsız gaz akışı durumunu gözönüne getirin. Kapalı bir boru, biri oldukça sıkıştırılmış bir gaz, diğeri boşluk olan iki kısma bölünmüştür. Bölme duvarının ansızın kaldırılması, patlamaya benzer bir olaya neden olur. Duvara yakın gaz parçacıkları, arkalarındaki parçacıklar tarafından borunun boş ucuna doğru itilirler. Basınç, belirgin bir şekilde düşer. Basınç düşmesi sinyali (ve buna eşlik eden parçacık saçılması), henüz saçılmaya başlanmamış parçacıklara sesin yayılma hızı ile aktarılır. Sinyal yeni bir parçacık tabakasına ulaşır ulaşmaz, parçacıklar, kendilerinden gerideki parçacıkların içinde bulunduğu basınçtan daha büyük bir basınç etkisinde kalırlar ve onlar da saçılmaya başlarlar. Bununla birlikte, önündeki ve ardındaki parçacıklar tarafından uygulanan basınçlar arasındaki fark düzenli bir şekilde

azaldıkça, saçılan parçacıkların herbir ardışık kabuğunun hızı gittikçe küçülür. Birinci kabuk saçılmaya başladığında, önünde basınç sıfır idi, ve bu kabuğun parçacıkları başlangıç basıncına eşit tek-yönlü bir basıncın etkisinde kalmışlardı. Ardışık her kabuk için arkadaki basınç aynı kalır, ama ön tarafta düzenli bir şekilde artan gaz kütlesi vardır. Gaz, basınç farkı ile ivmelendirilir. Basınç farkı ilk başlangıç basıncından küçüktür, bu nedenle hız da küçüktür.

Genleşen gazın birinci tabakasında yolalan sinyal, bu tabakanın ardındaki ardışık kabuklar içinden geriye doğru döner ve, (seyrelme ya da emme dalgası) borunun kapalı ucuna ulaşır, yansıtılır ve ana sinyale doğru geri döner. Açıktır ki, gazın genleşmesi devam edecek, ama onun hareket tabiatı değişecektir. Yansımasından önce, dalga, genleşmemekte olan bir gaz içinden geçmekte idi. Şimdi dalga hareketi bir gaz içinde yayılıyor. Şurası not edilmelidir ki, birinci dalga içinde basınç, dalga cephesinden genleşen uca doğru keskin bir biçimde düştüğü halde, yansımış dalga içinde gazın hacmi boyunca basınç her ne kadar zamana bağlı olarak hızla küçülürse de, hemen hemen tekdüzedir (*uniform*).

Genleşmeden önce, gaz parçacıkları hacim boyunca baştan sona aynı olan potansiyel enerji taşıyorlardı. Genleşmeden sonra, potansiyel enerjinin çoğu kinetik enerji biçimine dönüşür ve basınç önemli ölçüde düşer. Ama, gazın farklı kesimleri farklı kinetik enerji taşır. Kinetik enerji patlamanın önünde en büyük ve çepere yakın parçacıklarda en küçüktür (sıfırdır). Yukardaki çıkarsamadan, öndeki parçacıkların hızlarının ortalama hızdan daha büyük olduğu sonucuna ulaşmak için, basit enerjinin korunumu yasasından giderek hesaplamalara gerek yoktur. Bir ucu tespit edilmiş, sıkıştırılan bir yayın geri tepmesinde benzer bir şey gözlenir. Sabit ucun enerjisi hiç iken serbest uçta ortalamadan daha büyüktür. Bir başka benzetme, bir metro trenine sıkı sı-

kıya doldurulmuş yolcuların "fışkırma"sında görülebilir. Tıpkı gaz molekülleri gibi araba içindeki yolcular birbirleri ile itişirler. Bir istasyonda, havalı kapılar kayarak açıldığında, arkalarındakiler antre boyunca doluştukça, kapıya yakın olan insanlar gerçekten dışarıya fırlatılırlar ve, gaz halinde olduğu gibi, akış hızı azalır.

Geliniz, bir boru içindeki gazın boşluk içine değil de daha düşük bir basınçta gaz ile dolu bir bölgeye akışındaki hareketi gözden geçirelim. Teori ve deney, dışarıya akan gazın genleştiğini ve basıncının azaldığını söyler. Saldırıya uğrayan gazın basıncı, ikisininki dengelenene kadar artar. Bu durumda, genleşme başladığı anda bir sarsıntı dalgası (*shock wave*) oluşur. Sarsıntı dalgası, patlamanın mekanizmasını kavrayabilmek için incelenmesi gerekli ilginç bir olaydır.

SARSINTI DALGALARI

Sarsıntı dalgaları çeşitli doğal olaylar içinde gözlenir. Sarsıntı dalgalarının insanlığın gereksinmeleri için kullanılmaları, ne yazık ki çoğunlukla askerî amaçlarla kısıtlanmıştır. Bir şimşek çakmasını, hava içinde sarsıntı dalgasının yayılması olan bir gök gürlemesi izler. Bir merminin fırlatılması, sesüstü (*supersonic*) bir uçağın uçuşu, daha doğrusu, gaz içerisinde sesin hızından daha çabuk herhangi bir hareket, bir sarsıntı dalgası oluşturur. Sarsıntı dalgası, balistik dalgası, patlama dalgası, ve sesüstü hava uçuşlarında ses gürlemesi olarak da adlandırılmaktadır.

Bir fişeğin ya da bombanın patlamasında, patlama dalgası bütün yönlerde yayılır. Güçlü patlama dalgaları, atom ve hidrojen bombalarının patlamasında elde edilir. Ama en büyük sarsıntı dalgaları, doğada, en çok korku veren gözlemlerden biri olan novaların ve süpernovaların infilakında ortaya çıkar.

Patlama olayları, gök gürlemesi caba, her ne kadar yüz-

yıllardır bilinmekte ise de, sarsıntı dalgalarının bulunması ve fiziksel bir olay olarak incelenmesi tarihi, yüz yıl ya da biraz daha fazlasından gerilere gitmez. Sarsıntı dalgalarının varlığı, ilk olarak, 1850'nin sonlarında büyük Alman matematikçisi Bernhard Riemann tarafından, teorik olarak öngörüldü. Sarsıntı dalgalarının, bilimde, tıpkı Neptün ve Plüton gezegenleri gibi, "kalem ucunda" keşfedildiği söylenebilir.

1870'te İngiliz bilim adamı Samul Earnshaw, farklı bir uslamlama ile giderek benzer sonuçlara vardı. Sarsıntı dalgalarının incelenmesine ve fiziksel yorumuna önemli bir katkı, 1880'lerin sonlarında Fransız bilim adamı Hugoniot tarafından yapıldı. Hemen hemen aynı yıllarda, Avusturyalı fizikçi ve filozof Ernst Mach, deneysel yolla ilk olarak sarsıntı dalgalarını meydana getirdi. Bununla birlikte, bilim adamları hiç pratik uygulaması gözükmediğinden, sarsıntı dalgalarına uzun bir süre ancak dikkatsiz bir ilgi gösterdiler.

Ancak 1920'lerin sonlarında, havacılıktaki gelişimin ergeç sesüstü bölgeye kayacağı açık olmaya başlayınca, olaya karşı teorik ilgi yeniden canlanmaya başladı. Ağır silah mermilerinin, zaten sesüstü hızlarda olan yolculukları oldukça ayrıntılı bir şekilde incelendi. Ama sarsıntı dalgalarının asıl ilgiyle incelenmesi, ancak son dünya savaşı sırasında başladı. Bilim ve tekniğin gelişmesi, dalgaların hem teorik hem de deneysel yönden etraflı bir şekilde incelenmesini ısrarlı olarak zorladı. Birçok ülkede, yüzlerce bilim adamı, bugün bunları inceliyor ve sarsıntı dalgaları bilimi, şimdi modern fiziğin kapsamlı bir biçimde incelenmiş bir bölümü haline geliyor. Bu bilim dalına, Sovyetler Birliği'nde Lev Landau, L. İ. Sedov, Y. B. Zeldoviç ve A. S. Kompaneyets tarafından önemli katkılar yapılmıştır.

Sıkışabilir bir ortamda, örneğin bir noktadaki basınç değişmesi gibi herhangi bir düzensizlik ses hızı ile yayılır. Gerçekte, sesin hızı, bir gazın içerisinden iletilen bir düzensizliğin hızı olarak tanımlanabilir. Her ne kadar plazmalar,

sıvılar ve katılar içinde de sarsıntı dalgaları oluşturulabilirse de, basitliği sağlamak için yalnızca gazlardan sözedeceğiz. Gaz ya da plazma içinde ses hızı, yoğunlukla derhal değişir, ve havada 0° C ve 760 mm civada, saniyede 340 metredir.

Bir sarsıntı dalgasının mekanizması aşağıdaki gibidir. İçerisinde, bir ucunda pistonun hareket ettiği çok uzun bir boru düşünün. Piston, basınç ve yoğunlukta bölgesel bir artma meydana getirerek gazı sıkıştırır. Bu düzensizlik, ses hızı ile boru boyunca yayılır. Eğer piston daha hızlı hareket edecek şekilde yapılmışsa, gazın evvelce sıkıştırılmış kısımlarında ek bir sıkışma olur. Yeni düzensizlik de ses hızı ile yolculuk eder, hatta, daha yoğun gaz içinden geçtiği için, hız daha büyük olacaktır. Pistonun hızında daha fazla bir artış, evvelce iki kez sıkıştırılmış gazı yine sıkıştırır. Yeni basınç ve yoğunluk bir kez daha ses hızı ile yayılır ki, bu hız, daha büyüktür. Böylece, düzensizliklerin tümü başlangıç düzensizliğini yakalayıncaya kadar, ardışık basınç düzensizlikleri kendilerinden öncekilere yetişecektir. Daha sonra ne olur?

Gazın yoğunluğunda, basıncında ve sonuç olarak sıcaklığında bir sıçrayış gelişir. Borunun uzak ucundaki gaz, başlangıç yoğunluk ve basıncındadır; sıçramanın arkasında yoğunluk ve basınç daha büyüktür. Bu sıçrayış, bir molekülün serbest koşu uzaklığının, ki serbest koşu uzaklığı moleküllerin enerjilerini değiş-tokuş etmeleri için gerekli uzaklıktır, birkaç katından daha kalın olmayan dar bir bölgededir ve bu bölgeye sarsıntı dalgası ya da patlama (*detonation*) cephesi denir. Böylece, sarsıntı dalgası gaz içerisinde, karışmamış, sıkışmamış bir gaz içindeki ses hızından daha hızlı yolalır. Sarsıntı dalgasının hızı, piston çabuk hareket ettikçe ve cephedeki gazın sıkışması arttıkça büyür. Pistonun ivmesi büyüdükçe sarsıntı dalgası daha çabuk oluşur. Eğer hızın uzay değişim oranı (*velocity gradient*) çok kesin ise sarsıntı dalgası aniden oluşur.

Sarsıntı dalgası bir gaz püskürmesinin bir engele çarp-

ması sonucu da oluşur, ve püskürmeye ters yönde yolalır. Bu durumda engel bir piston gibi etki yapar. Çarpan parçacıklar yavaşlar ve sakinleşirler. Püskürmenin sesüstü hızla hareket etmesi gerekmez.

Sarsıntı dalgasının hızı, düzensizliğin yayılma hızı gibi, gaz akışı hızı ile karıştırılmamalıdır. Sarsıntı dalgası bir gaz boyunca ilerlerken basınç, yoğunluk ve sıcaklık artar. Sarsıntı dalgasında ısınma, olağan sıkışmadakinden çok daha büyüktür.

Borumuzdan vazgeçersek, eğer piston hava boyunca çok çabuk olmayan bir hızda hareket ederse, hava piston tarafından yalnızca sürüklenecek ve oluşan sıkışmalar bir sarsıntı dalgası yaratmadan tüm doğrultulara yayılacaktır. Ama "piston" ses hızını kazanırsa (ve bir top mermisi durumuna gelirse) görüntü önemli ölçüde değişir. Ses hızı ile yolalan basınç düzensizliği, sesüstü mermiye artık yetişemez. Durgun haldeki gazdan bir sarsıntı dalgası ile ayrılan merminin cephesinde bir basınç sıçraması gelişir. Ancak şimdi sarsıntı dalgası, borudaki gibi, ki boruda sarsıntı dalga cephesi harekete dik idi, düzlem değildir, mermi ile bir açı yapar. Yüksek hız kameraları, bir merminin hava içinde

---

MATEMATİK DİLİYLE SARSINTI DALGALARI

Eğer bir gaz, bir sarsıntı ile derhal başlayıp v hızı ile hareket eden bir piston tarafından sıkıştırılırsa, gaz arasından,

$$u = \frac{k+1}{4} v + \sqrt{\left(\frac{k+1}{4} v\right)^2 + a^2}$$

hızı ile bir sarsıntı dalgası yolalacaktır ki burada a ses hızıdır. (Pistonun hızı büyük değilken, ve $v \ll a$ iken, sarsıntı cephesinin, ses hızı a ile yayıldığını buluruz.)

Gazın basıncı ve yoğunluğu,

$$p = p_0 + \rho_0 v^2 \left[\frac{k+1}{4} + \sqrt{\left(\frac{k+1}{4}\right)^2 + \frac{a^2}{v^2}}\right]$$

uçuşunun çok güzel bazı resimlerini verir. Resimlerde, sarsıntı dalgalarının mermi burnundan başlayan bir koni içinde yayıldıkları görülür. Sesüstü bir uçağın uçuşunda benzer görüntü ortaya çıkar. Yerdeki bir gözleyici, ilk olarak, sarsıntı dalgasının meydana getirdiği ses gürlemesini duyar; ancak daha sonra motorun sesini duyabilir.

Düzlem, konik, silindirik ya da küresel sarsıntı dalgalarının davranışını yöneten fiziksel yasalar aynıdır. Onların temel özelliği, yüzlerce ve binlerce kez yükselebilen basınçta ve sıcaklıktaki keskin artmadır. Laboratuvarlarda pek yüksek sıcaklıklar meydana getirmek için sarsıntı dalgaları kullanılır. Uygun bir düzenek, 10 santimetre genişliğinde ve birkaç metre uzunluğunda dikdörtgensel ya da yuvarlak çelik bir borudur. Yüksek-basıncı alçak-basınç bölgesinden bir perde ayırır. İlk bahsedilende basınç 100 atmosfer dolaylarında, ötekinde ise genellikle bir atmosferin birkaç yüz ya da hatta bin katı kadardır. Perde koparıldığı zaman, yüksek-basınçlı gaz alçak-basınç tarafına doğru püskürür ve, bir piston gibi, oradaki gazı sıkıştırır. Basınç düzensizliği, birdenbire alçak-basınç odası boyunca ilerleyen bir sarsıntı dalgasına dönüşür. Yüksek-basınçta ısınmayan ve yalnızca

---

$$\rho = \rho_0 \frac{(k+1)\ p + (k-1)\ p_0}{(k-1)\ p + (k+1)\ p_0}$$

denklemleri ile verilir ki, burada p_0 ve ρ_0 sıra ile duragan ortamın başlangıçtaki basınç ve yoğunluğudur.

Güçlü bir sarsıntı dalgası durumunda, $p \gg p_0$ olduğunda, denklemler,

$$u = \frac{k+1}{2}\ v$$

$$p = \frac{k+1}{2} \rho_0 v^2$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{k+1}{k-1}$$

şekillerinde çok daha basitleşirler.

Sıcaklık ise,

$$T = T_0 \frac{k-1}{k+1} \frac{p}{p_0}$$

olur ki, burada T_0 başlangıç sıcaklığıdır.

bir piston gibi iş gören gaz, genellikle hidrojendir. İçerisinde sarsıntı dalgasının ilerlediği alçak-basınç odası, ağır bir gazla, örneğin kriptonla doldurulur. Asıl ve yansımış sarsıntı dalgalarının karşılaştığı noktada sıcaklık 25.000 dereceye yükselebilir.

Çok daha yüksek sıcaklıklara, atom bombasının patlamasında, ve ondan da yüksek sıcaklıklara hidrojen bombasınınkinde ulaşılabilir. Patlama cephesinin küçük bir hacmi kapsadığı başlangıç basamağında, sarsıntı dalgasında sıcaklık, birkaç milyon dereceye ulaşır. Ama bu sıcaklıklar bile, bir süpernovanın infilakında meydana gelen sarsıntı dalgalarının oluşturdukları sıcaklıklara üstün olmaktan uzaktır.

PATLAYAN YILDIZLAR

Bir gün bir gözlemevi, Samanyolunun uzak bir bölgesinde bir süpernovanın infilakını bildirecektir. Eğer böylesine geniş ölçülerle ayrılmış olguların zamandaşlığından sözedilebilirse, bu durumda, patlama anında yıldızlı göklere tecessüsle bakan insanlar, hayvan postları giyinmiş mağara adamları idiler. Yüzyıllar ve bin yıllar yuvarlanıp gitti. İnsan, hayvanları ev-

---

Hava için:

$$u = \frac{6}{5} v ; \qquad p = \frac{6}{5} \rho_0 v^2$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 6; \qquad \frac{T}{T_0} = \frac{p}{6p_0}$$

elde ederiz.

Güçlü bir sarsıntı dalgasının cephesindeki yoğunluğun sabit ve sıcaklığın basınçla oranlı olduğunu, yani, yavaş sıkışmaya göre daha keskin olduğuna dikkat edilmelidir,

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

olduğunda, hava için,

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{7}}$$

olur.

Örneğin, eğer $T_0 = 300°$ K ve $P_0 = 1$ ata, $p = 100$ ata'ya ka-

cilleştirdi ve toprağı işlemesini öğrendi. Uygarlıklar yarattı, devletler kurdu. Filozoflar, usta mantıksal kurgular arasından, dünyanın yapısını anlamaya çalıştılar. Ve hâlâ küçük sönük yıldız gökte kendini zorlamadan göz kırpıyor ve kimse ona önem vermiyordu. Dünyayı kavrama çağı geldi. İri teleskoplar gökyüzünü gözetlemeye yöneldi. İncelikli kırınım ağları (*diffraction gratings*) yere ulaşan zayıf yıldızsal ışık demetini bileşen kısımlarına ayırdı, ve hiç kimse bu küçük yıldıza önem vermedi. Ancak şimdi, altüst oluştan on binlerce yıl sonra, korku veren trajedisini incelemek üzere teleskoplar yıldıza doğru aceleyle yöneltiliyor. Yıldız, patlama sırasında toplam kütlesinin yüzde 10 kadarını kaybediyor, ve ondan çıkan ışık akısı bin milyon kere artıyor. Bu yıldızın sıcak karnında ve çevresindeki uzayda neler olmaktadır?

Patlamaya, belki de hem hafif, hem de ağır elementleri içeren çekirdek tepkimelerinin neden olduğu güvenilir bir tahmindir. Bir süpernova, en parlak durumda bir gün ya da biraz fazla kalır. Bu, hemen hemen, ağır transuranyum element kaliforniyum'un yarı-ömrü kadardır. Süpernovanın alevlerini tutuşturan patlamalı kozmik altüst oluşların ana nedeni bu olabilir mi? Yoksa yakıtı döteryum mu sağlamaktadır? Eğer yıldızı saran uzay döteryum çekirdekleri bakımından bol ise, yıldızın güçlü kütlesel çekimi onları içerilere sürükler. Meydana gelen termonükleer patlama, ani dönüşümü (*cataclysm*) oluşturur. Ancak patlamanın mekanizması ile ilgili var-

---

dar bir sıkıştırma, ilk durumda,

$$T = \frac{300 \times 100}{6} = 5{,}000^\circ \text{ K}$$

ve ikinci durumda,

$$T = 300 \times 100^{2/7} = 1{,}100^\circ \text{ K}$$

verecektir ve sıcaklık hemen hemen beş çarpanı kadar daha küçüktür.

Sıkışmalı çarpmada, enerjinin daha çoğu ısı şeklinde dağılır ve yoğunluk artmasına katkıda bulunmaz.

sayımda bulunabiliriz. Olanaklı bir sıralama, çok yüksek basınçların ve on milyonlarca derecelere ulaşan sıcaklıkların yıldızın ortasındaki termonükleer ve diğer tepkimeleri tetiklemesi ile başlar. Muazzam enerjinin açığa çıkışı, merkezden çevreye doğru yolalan bir sarsıntı dalgası yaratır. Her ne kadar yıldızın yoğunluğu, yüzeyine doğru hızla küçülürse de, sarsıntı dalgası, cephesindeki basınç azalmasından bağımsız olarak hızlanmaya devam eder. Cephenin gerisinde, plazmanın sıcaklığı on milyonlarca derecedir. Plazma, biraz yavaşça da olsa, sarsıntı dalga cephesi ile aynı yönde hareket eder. Yine de bu daha küçük hız, belki de saniyede yüzlerce, binlerce ve hatta on binlerce kilometre olabilir. Sarsıntı dalgası, tam yıldızsal atmosferi terkettiği anda görünmeye başlar. Sıcaklığı, yıldızın yüzeyindekinden binlerce kez büyük olan sarsıntı dalgasının parlak alevi, altüst oluş hakkında evrene bilgi veren ilk sinyaldır.

Sarsıntı dalgasını izleyen plazma kütleleri büyük hızlarla yolalırlarken, bir kısmı yıldızın kütlesel çekimini yener ve dış uzaya dağılır. Sarsıntı dalga cephesinden uzaklaşıldıkça ve merkeze yaklaşıldıkça, parçacıkların hızları küçüktür. Merkezde hız sıfır ve yoğunluk maksimumdur. Bu nedenle, dış uzay içine atılabilmek için yeterli hızlara kadar yıldızın ancak küçük bir kesri hızlandırılmıştır.

Atılan maddenin büyük kısmı yavaşlar ve sonra geri dönmeye başlar. Eğer geri düşen madde, yıldızın ortalarına doğru çökebilirse, yeniden genleşen bir sarsıntı dalgası oluşturur. Bu, enerji sağlamak için hiç bir nükleer tepkime olmasa bile ortaya çıkar. Bu durumda, ilki ile hemen hemen aynı şiddette, yeni bir alev gözlenebilecektir. Maddenin atılmasına ve ışıklı patlamalara eşlik eden böyle atımlar (*pulsation*), açıktır ki, yıldız, kütlesinin çoğunu kaybedene ve göbeğindeki sıcaklık içteki güçlü tepkimeleri sürdürmek için gerekli olan sıcaklıktan çok düşük kalana kadar sürer. Böylesine düzensiz değişmelerin peryodu, birkaç saatten birçok

bin yıla kadar değişebilir.

Yıldız bağıl olarak ufak bir büyüklüğe indiğinde, çok düzenli bir şekilde titreşmeye (*pulsation*) başlar. Değişken yıldız (*variable*) adı verilen böyle düzenli titreşen yıldızlar, Cepheidler olarak bilinmektedirler. Onların ritimleri saat işleyişi kadar kararlıdır. Cepheidler, süpernovalar olarak başlayıp, yüzlerce ve binlerce yıl sonra novalar şeklinde olgunlaşan yıldızların gelişmesindeki son basamağı gösteriyor olabilirler. Süpernova patlamasının bir yıldızda ancak bir kez oluşacağı ortaya çıkıyor, ve birçok yıldızın, onları diğer galaksilerden görünür kılacak büyüklükte alevlenmek nasipleri yoktur.

Bildiğimiz en yakın yıldız olan güneşin, herhangi bir zamanda, bu anlamda patlayıp patlamayacağını sormak doğaldır. Güneş, pratik olarak tüketilemez bir enerji kaynağıdır. Patlayıp yüzeye çıkan büyük enerji fışkırmaları güneş atmosferinde gözlediğimiz kaba patlamalara neden olur. Yersel koşullarda patlama tabiatındaki doğal süreçler (örneğin, yanardağ püskürmeleri) bağıl olarak seyrektir, oysa güneş üzerinde ve atmosferinde bunlar sürekli olarak meydana gelir. Klasik bir örnek prominenslerin (*prominence*) püskürmesidir.

Onbeş ya da yirmi yıl önce prominenslerin hareketinin basit ve kolayca anlaşılabilir oldukları açığa çıktı. Kor halinde ışıldayan kaba gaz bulutları, güneş yüzeyinin dışına sürüklenir. Ağırlıkları, köredici parlaklıktaki ışıküreden (*photosphere*) salınan ışığın basıncı ile dengelenir. Bunlar sakin prominenslerdir. Daha sonra sakin bir prominensin tam altından sıcak gazlar püskürür, ışık basıncı keskin biçimde artar ve prominens ateşli bir gayzer gibi yukarıya fırlar. Bu, ancak güneşin tam tutulduğu seyrek zamanlarda, insanlar prominenslerin fotoğraflarını çekebildiklerinde kendini gösteren bir görüntüdür. Bununla birlikte, son araştırmalar olayın öyle basit olmadığını açığa çıkarmaktadır.

Yeni teknikler, sinema kameraları ile, günün herhangi bir anında prominenslerin fotoğraflarını almayı olanaklı kıldı. Bu filmlerin baştan sona incelenmesi, prominenslerin yalnızca yukarıya doğru hareket etme zorunda olmadıklarını açığa çıkarıyor. Onlar, aşağı doğru ve güneşin yüzeyi boyunca da olmak üzere tüm doğrultularda hareket ederler. Ayırıcı özellik olarak, hidrojen, kalsiyum buharı ve diğer gaz bileşenleri, elektrik ve manyetik alanların kuvvet çizgilerini andıran yörüngeler izliyorlar. Prominenslerin şekilleniminde, güneşin kütlesel çekimi ve ışık basıncı ile birlikte, elektromanyetik kuvvetlerin de önemli bir rol aldıklarından hiç kuşku yoktur.

Püskürme halindeki prominensler, gözlenebilen prominensler toplamının ancak yüzde 10'unu tutar. Onların 700 km/sn kadar yüksek hızlarla ani patlayışları, patlamaların bir niteliğidir. Güneş patlamalarının gücü hakkında, bazı prominenslerin bir milyon kilometreden fazla olan güneşin çapına eşit yüksekliklere kadar ulaştıkları gerçeğine bakarak hüküm verilebilir. Kural olarak, püskürmeli bir prominensin ömrü yarım saat kadardır. Maksimum yüksekliğe ulaşınca gaz püskürmeleri şeklinde ayrışır ki, bunlar kısmen dağılırlar ve kısmen güneşe doğru çökerler. Güneş atmosferindeki olayların daha ayrıntılı ve incelikli teorisini geliştirmek geleceğin astronomlarının işidir.

Güneşe ait bir diğer giz de renkkürede (*chromosphere*) sürekli oluşan flarelerdir. Bunlar, en iyi bir şekilde hidrojen saldığı ışıkta gözlenir ve patlama görünümündedirler. Bazan, 300 km/sn kadar hızlarla tüm doğrultularda hafif parıldayan fışkırmalar kusan, parlak, merkezî bir çekirdek gözlenebilir. Bazı flareler sualtı patlamalarını andırır. Şiddetli parlak bir bulut, kurutma kâğıdı üzerindeki mürekkep gibi aniden dağılır. Sovyet astronomları A. B. Severni ve E. F. Şaposnikova, böyle birçok olayla güneş lekelerinin oluşumu ve bozunması arasında ilişki kurmuşlardır. Severni, 10 Ma-

yıs 1950'de, 400 km/sn hızla hareket eden bir püskürmenin ani bir hamle yaptığı hidrojen ışıldaması şeklinde, olağan dışı parlaklıkta bir flare gözledi.

Güneşteki süreçler, yersel olayları etkiler. Nitekim, 23 Şubat 1956'da büyük bir flare bütün dünya üzerindeki radyo haberleşmesine engel oldu ve belki de havayı bile etkiledi. Güneşe ait flareler sırasında kozmik ışınların akışı önemli bir ölçüde artıyor. Bu, flarelere belki de termonükleer süreçlerin neden olduğunun bir belirtisidir. Bir yüksek-irtifa roketi içinde yukarıya yükseltilen küçük bir teleskoptan güneşin fotoğrafının ilk olarak alınmasından bu yana çok geçmedi. Fotoğraf filmi güneşin yüzeyini, bir gün astronomların aydaki bir gözlemevinden görebilecekleri gibi, yersel atmosfer tarafından bozulmamış olarak sundu.

Resim, en küçüğü yeri küle döndürme yeteneğinde olan patlamalarla kaynayan bir yüzeyi ortaya çıkardı; böyle bir durumda, yer, su girdabında bir kıymık gibi, plazmik patlama tarafından püskürtülen büyük bir prominensin akışı içinde, çaresiz kalır.

Bununla birlikte, güneşimizin bir gün patlayacağından korkmaya gerek yoktur. Güneş, sakin, kararlı yıldızlar kategorisine dahildir. Oldukça küçüktür ve her ne kadar çok sıcak değilse de, patlamaksızın ya da sönmeksizin, insanlığa milyarlarca yıl boyunca enerji sağlayacaktır. İnsanın, kendi kültürünü düşünülemeyecek düzeylere çıkarmasına yetecek zamanı olacaktır, ve güneş tehlikeli yaşlılık çağına ulaşmadan çok önce, insan, diğer yıldız sistemleri içinde herhangi sayıda gezegeni bir araya getirme yeteneğine sahip olarak, büyük Samanyolunun enginliklerine dalacaktır.

KOZMİK BULUTLAR

Açık bir kış gecesi, Orion takımyıldızı içinde donuk donuk parlayan bir nokta görülebilir. Bu, en ilginç nesnelerden

biri, Orion bulutsusudur. 10 ışık yılı kadar çapta, kaba bir seyrek gaz ve plazma bulutudur. Gaz atomları, yakındaki sıcak yıldızların ışığını soğurur ve soğurduğu enerjiyi soğuk, fosforışıl (*phosphorescent*) ışıması şeklinde yeniden salar. Orion bulutsusu, birçok astronom tarafından incelenmiştir. Yakınlarda, Sovyetler Birliği'nde Alma-Ata'da, F.G. Fesenkov tarafından bazı ilginç bilgiler elde edildi.

Göze çarpan, Orion bulutsusunun karmaşık yapıda olduğudur; şiddetli, girdaplı hareket halindeki kaba gaz kütlelerinin anaforlarını ve püskürmelerini içerdiği ortaya çıkıyor. Orion bulutsusu, 500 ışık yılı kadar uzaktadır ki, bu, gazların hareketini doğrudan gözlemeyi olanaksızlaştırır. Girdapların görünümünün uzaktan gözleyebileceğimiz yeterlikte değişebilmesi için binlerce yıl gerekir. Yalnızca tayf çizgilerindeki yer değiştirmeler bilim adamlarına, bazı püskürmeler 7 km/sn kadar büyük hızlarda olmak üzere, gazın hareket halinde olduğu söyler. Diğer bulutsuların da, Orionunki gibi, benzer girdaplı hareket halinde oldukları akla-uygun gelir.

Dış uzaydaki gaz ve plazma hareketlerinin sebebi nedir? Sorumlu kuvvetlerden birinin, yakın yıldızların kütlesel alan çekimi ve bir bütün olarak Samanyolunun kütlesel çekim alanı olduğunu önceden belirtmiştik. Diğer etkenler, gaz basıncını ve elektromanyetik alanları içine alır. Kozmik bulutların bileşen parçacıkları, anımsanacağı gibi, yüklüdürler, ve hareketleri sırasında, etkileşimde bulundukları elektromanyetik alanları oluştururlar.

G. A. Şain ve diğer Sovyet astronomlarının son yıllardaki önemli araştırmaları, gaz bulutsuların yapısının daha çok elektromanyetik kuvvetlerin etkileri tarafından belirlendiğini şüpheye yer bırakmayacak şekilde ortaya çıkartmaktadır. Hatta Samanyolunun sarmal (*spiral*) yapısının bile kozmik ölçekte elektromanyetik alan etkilerinden köken aldığı olası gözüküyor. Son olarak, bazı durumlarda, bulutsuların hareketinin yakın yıldızlardan gelen ışığın basıncı tara-

fından etkilenebileceği de olanaklıdır.

Görünen bulutsuların gaz girdapları içinde kendini gösteren kuvvetler, galaksiyi dolduran oldukça seyreltik gaz ve yıldızlararası plazma gazı üzerine de etki yapar. Yıldızlararası gazın bulunuş tarihi, gerilere, δ Orionis çift yıldızının tayfında yıldızlararası kalsiyumun soğurma çizgilerinin bulunduğu zamana, 1904'lere gider. Başlangıçta yıldızlararası gazın yalnızca iyonlaşmış kalsiyum atomlarını içerdiği düşünüldü, ama daha sonra sodyum, titan, demir ve diğer elementlerin atomlarına ek olarak bazı siyanür (CN) ve hidrokarbon molekülleri bulundu. Yıldızlararası gazın yok denecek kadar küçük, 10^{-24} g/cm^3'lük bir yoğunluğu vardır ki, bu, uzayın her bir santimetre küpünde yalnızca bir gaz molekülü bulunacağı anlamına gelir. Yine de, bu gaz, türdeş (*homogenous*) bir ortam olmaktan uzaktır, ve hatta ince yapısı içinde, salt çok seyrek olması yüzünden gözlenemeyen, yoğunlaşmalar, seyrelmeler çalkantıların kaba fısıltıları vardır. Gaz devamlı çalkantılı hareket içindedir ve ayrıca, son zamanlarda saptandığına göre, Samanyolunun tüm olarak dönmesinde rol alır.

Yıldızlararası gazın ve gaz bulutsuların kökeni bulanık duruyor. B. A. Vorontsov-Velyaminov'un araştırmalarının gösterdiğine göre, yıldızlararası gazın kaynağının yıldızlar olması oldukça olasıdır. Novalara ve süpernovalara ek olarak, dış uzaya büyük miktarlarda gaz püsküren diğer türlerde yıldızlar vardır. Püsküren gazların, bazı koşullarda, yanan yeni yıldızlar halinde yoğunlaşma yetisinde olma olasılığı yine de gözden uzak tutulamaz. Bu tez, bulutsulardaki gaz lifleri ile içlerindeki yıldızların çizgisel (*linear*) topluluklarının karşılıklı konumlanımı arasında yakın bir ilişki bulan V. G. Fesenkov tarafından desteklenmiştir.

Böylece, bazı durumlarda plazma hareketi inanılmaz kuvvette patlamalar doğurabilir, diğer durumlarda yeni yıldızsal dünyaların yaradılışına götürebilir.

Yakında öyle büyüklükte patlamalar gözlendi ki, nasıl güneş bir kibrit alevini gölgede bırakırsa, bu patlamalar da süpernova infilaklarını böyle gölgede bırakmaktadır. Virgo takımyıldızı içinde NGC 4486 simgesi ile gösterilen bir galaksinin fotoğrafı ilginç bir biçimleniş sunar: galaksi çekirdeğinden çevreye uzanan kaba bir kuyruk ya da lif. Dışarı doğru 300 km/sn hızla püsküren lif üzerinde birçok düğüm vardır. Lif, 1918 yılında meydana çıkarıldı, ama ancak NGC 4486'nın güçlü bir radyo kaynağı olduğu tanıtlandıktan sonra, radyo yayınları ile aralarında ilişki kuruldu. Lifin tayf analizi, onun belki de plazma tabiatında olduğunu gösteriyor. Galaksi çekirdeğinden dışarıya doğru güçlü bir gaz püskürmesi olabilir. Püskürme içindeki elektronlar ışığınkine yakın hızlar kazanabilirler ki, bu, güçlü radyo yayınına neden olur. Püskürme, süpernova infilakından on milyonlarca kez fazla enerji açığa çıkaran korkunç bir patlamadan da kaynak almış olabilir. Bu, onu, rahatlıkla, doğada bilinen bütün patlamaların en büyüğü kılar. Böyle bir verime yetenekli bilinen tek enerji kaynağı, maddenin, karşı-madde ile çarpışmasıdır. Galaksi çekirdeği içerisine kaba bir karşı-madde bulutunun nasıl girebildiği ve patlamanın kendini nasıl değiştirebildiği konusunda ancak varsayımda bulunabiliriz.

Şimdi açığa çıkıyor ki, böyle püskürmeler, galaksiler dünyasında ne tektir ne de seyrek raslanır. Önde gelen Sovyet astronomlarından V. A. Ambartsumyan, yakınlarda NGC 4486'da oluşandan daha büyük patlamalara bağlı olabilen püskürmeler ve lifler gösteren birçok galaksiye dikkati çekti.

Bununla birlikte, çıkıntı meydana getiren liflerin patlamalara bağlı olmadığı da öne sürülmüştür. Bulutsuların biçimleri ve karşılıklı etkileşimleri kadar, içlerindeki madde hareketinin de yalnızca kütlesel çekim kuvvetleri ile açıklanamayacağını, ve bulutsular arasında elektromanyetik kuvvetlerin de kesinlikle etkili olması gerektiğini daha önce belirtmiştik. Kütlesel çekim kuvvetleri uzaklığın karesi ile kü-

çülürler. Dış uzay gibi iletken bir ortam içinde, elektriksel alanlar pratik olarak yok gibidir, ama manyetik alanlar vardır. Manyetik bir alan, eksene göre simetri gösterir ve bu nedenle, uzaklıkla bir kütlesel çekim alanından daha yavaş zayıflar, şiddetteki azalma doğrudan doğruya uzaklıkla değişir. Bu yüzden, belirli uzaklıkların üstünde, galaksilerin manyetik alanları kütlesel çekim etkileşimlerinden çok daha büyük olabilir ve gözlenen iri plazma püskürmelerin nedeni, pekâlâ manyetik alanların ağır, düzenli etkisi olabilir. Bu sorulara yanıt vermek zaman gerektirecektir. Aradaki zamanda, bu önemli gerçeklerin incelenmesi hem astrofizik ve hem de patlamaların gaz-dinamiği teorisi için heyecanlandırıcı bir görev olacaktır.

PATLAYICI OLARAK HIZ

"Patlama" ile, enerjinin bir biçimden bir diğerine pratik olarak ani bir şekilde dönüşümü kastedilmektedir, örneğin, TNT'nin* patlamasında kimyasal biçimden ısıya, ya da şimsek çakmasında elektriksel biçimden ısıya dönüşümü gibi. Nedeni ne olursa olsun, kapalı, gizli, "pasif" enerji, aniden ışıma akıntıları, gök gürültüleri ya da plazma püskürmeleri şeklinde kendini gösterir.

Ama, hareket kinetik enerjisinin ısıya dönüştüğü bir başka türden patlama da vardır. Basit bir hesaplama, eğer saniyede dört ya da beş kilometrelik hızla hareket eden bir cisim aniden durdurulursa, sanki yüksek bir patlayıcı maddeden yapılmış gibi patlayacağını ortaya çıkarır. 30, 40 ve hatta 70 km/sn'lik hızlara sahip olabilen iri bir meteorun neden olabileceği yıkım, nükleer bir patlamanın neden olacağı yıkımla karşılaştırılabilirdir. Yer, böyle patlayıcı madde ile çarpışmaların belirtisi olarak, birçok yara izlerini taşımaktadır. Bilinen en büyük göktaşı krateri, Labrador'da, üç ki-

* Dinamitin simgesi. —ç.

lometre çapındadır. Arizona'daki meşhur kraterin eni 1.200 metre ve derinliği 175 metre gelmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde daha küçük kraterler bulunmuştur. Onlar, şekil bakımından, aynı zamanda oluşum yolu bakımından, mermilerin toprakta açtığı çukurlara benzerler.

On ya da yüzlerce ton ağırlığında olan, atmosfere saniyede birkaç kilometre ya da onlarca kilometrelik hızla giren bir göktaşı, çok büyük kinetik enerji taşır. Atmosferin direnci bu enerjiyi önemli ölçüde indirmeye yeterli değildir ve göktaşı, pratik olarak başlangıçtaki kozmik hızı ile yere vurur. Çarpma, çarpma noktasından göktaşı ve yer içine doğru yayılan sarsıntı dalgaları oluşturur. Eğer çarpma hızı belirli bir sınırın üzerinde ise, sarsıntı cephesindeki basınç öylesine büyük olabilir ki, kristal örgüsünün atomları ve molekülleri birbirlerine çok yakın gelecek şekilde sıkıştırılırlar. İtme kuvvetleri ortaya çıkar, ve sarsıntı dalgası geçtiğinde, katı bir cisim yerine, içinde bütün kristal bağlarının ortadan kalktığı bir cisim, gerçekte gaz bir cisim elde ederiz. Bu gaz, katı cismin başlangıç hacmini dolduran, yeni, son derece sıkıştırılmış bir gaz olacaktır. Bir gaz olarak, sınırlayan ortamı yanlara iterek —başka bir deyişle patlayarak— tüm doğrultularda genleşmeye başlayacaktır.

30 Haziran 1908'de, Sibirya Tayga ormanı üzerinden, güneyden kuzeye doğru, iri, ateşli bir cisim fırladı. Cisim, yerin bütün tarihinde seyrek raslanan bir gürültü ile, Podkamennaya Tunguşka adlı ırmağın yakınlarında bir yerde toprağa isabet etti. Deprem dalgası, kürenin tümünü dolandı ve patlama bin kilometre uzaktan duyuldu. Ne yazık ki eski Rusya bu önemli olayı inceleme olanaklarına sahip değildi. Ancak 1917 Sosyalist Devriminden sonra, L. A. Kulik başkanlığında ilk gezi kurulu bölgeye gidebildi. Kulik'in, patlama merkezinin yakınlarında gördüğü gerçekten ilginçti. Umulan dev krater yerine, dallarından sıyrılmış olarak dikilen kavrulmuş ağaçlar buldu. Kulik, Tunguşka göktaşının yerini birçok ke-

reler araştırdı ve göktaşı maddesinin tek bir parçasını bulamadı. 1941-1945 savaşı, doğanın bu eşsiz olayının incelenmesini yıllarca durdurdu. Sonraki gezi kurulu, buraya, genç bilim adamı K. P. Florenski başkanlığında ancak 1958'de gelebildi. Bölgenin tam bir incelenmesinden sonra, bilim adamları, infilakın havada oluşmuş olduğu sonucuna vardılar. Bu nasıl olabilirdi? Her şeye karşın, göktaşının bir patlayıcıdan yapılmış olması pek zordu.

Yanıt için bir ipucu, 1947'de Sibirya'ya düşen, dikkatlice incelenmiş olan Sikote-Alin göktaşının düşme koşullarının gözden geçirilmesi ile sağlanabilir. Bu, hareketi ile yere ulaşan ve yaklaşık olarak 12 km/sn hızla atmosfere giren, demir bir göktaşı idi. Stratosfer ve troposfer sınırında hava yoğunluğunun keskin bir şekilde arttığı 12-14 kilometrelik bir yükseklikte, göktaşının engellenmesi öylesine büyüktü ki, sarsıntı dalgası onu birkaç iri ve çok sayıda küçük parçalar halinde dağıttı. Döküntünün incelenmesi, göktaşı yapısının, onun dağılmasına yardım ettiğini ortaya çıkardı. Ayrıca, göktaşının hava içinde dönmesi yüzünden dağılması daha kolaylaşmıştı. Göktaşları düzensiz yapılardır ve, ileriye bakan yüzeyine bağlı olarak, gövdeleri içerisinden farklı türlerde sarsıntı dalgaları geçer. Sikote-Alin göktaşının bir kısım parçaları birbirinden kilometrelerce ayrı düşecek şekilde, geniş bir alana saçıldı. İrileri, aşağı atmosfer içinde çok fazla yavaşlayamadılar ve saniyede birkaç kilometrelik hızlarla yere çarptılar. En küçük ve en yavaşları yüzeyde yayılmış bulunurken orta büyüklükte parçalar yerin derinliklerine geçtiler. İri parçaların çoğu patladı, ama anlaşılan hızları buharlaşma için yeterli değildi. Kraterler, birçok büyük parçalar yanında çoğunlukla inceden inceye parçalanmış göktaşı maddesi ile dolup taştı. Oldukça anlamlı olarak, en büyük kraterler patlamış olan iri parçaları içermiyordu. Diğer yandan, daha küçük kraterler, patlamamış olan birçok iri hacimli parçaları içeriyordu.

Tunguşka göktaşı, tıpkı benzeri Sikote-Alin gibi hava içinde parçalara ayrılmış olmalıdır. Giriş hızının 40 km/sn olarak tahmin edilmesi daha makul gözüküyor. Bir diğer olasılık, gerçekte, her iki göktaşının da havanın direnci ve yüksek sıcaklık yüzünden dağılan bir topraktan meydana gelmiş olmalarıdır. Onların dümen suyunda yolculuk eden güçlü sarsıntı dalgaları birdenbire kaybolmadı. Göktaşı ta yere çarpıncaya dek sarsıntı dalgasının yolalması gerektiği hesaplanmıştır. Meydana gelen çarpışma, bazı ağaçları devirdi ve diğerlerinin dallarını sıyırdı. Çarpma kuvveti öyle büyüktü ki, birçok deprem istasyonu tarafından kaydedilen bir deprem dalgası meydana getirdi. Sarsıntı dalgasının hava içine geri tepmesi, bir ses dalgası oluşturdu, ki bu da küreyi dolandı ve barograflarla* donatılmış birçok meteoroloji istasyonu tarafından kaydedildi. Durumun gerçekten böyle olup olmadığı daha sonraki araştırmalarla doğrulanmış olacaktır.

İŞ'TE PATLAMALAR

Patlamaların genellikle savaşla, düşen bombaların inlemesi ile ve öldürücü mayın tarlaları ile ilişkisi kurulur. Bununla birlikte, patlayıcıların ve patlayıcılarla tahrip etme işleminin en barışçı insan girişimlerinde geniş bir şekilde kullanıldığını bilmek, kuşkusuz ki insana sürpriz olarak gelmez.

Patlayıcılarla tahrip işlemi, madencilikte kullanılır. Derin, dar delikler açılır ve dibe patlayıcı yerleştirilir. İnfilak, kömürü maden damarından çözerek ayırır ve kömür el arabalarına yüklenebilir ve taşınabilir. Harcanan patlayıcı madde, ortaya çıkarılan kömürün bir tonu başına 100 gramdan fazla değildir.

* *Barograf* (*barograph*), atmosfer basınç değişmelerini kâğıt üzerine kaydetmek için meteorolojide kullanılan bir araçtır. —ç.

Patlayıcılarla tahrip işlemi, bataklıklar ve tepeler arasından yeni yolların açılmasında kullanılır. Bataklık arazideki bir infilak üzerine yol yatağının yığılacağı bataklığın üstündeki bitki tabakasını çözer. Yol yatağı, sulu çamur yana atılarak derece derece çukurlaşır. Gerekli zamanda, yol yatağı altındaki bataklık çamurunu hızla dışarı fırlatmak için dizi halinde patlayıcı madde tutamları infilak ettirilir, ve en sonunda sert zemine ulaşılır. Patlamalar, granit ve bazalt tepeler arasından tüneller ve yarmalar kazar.

Patlayıcılarla tahrip işlemi, düşük-verimli kuyulardan yüz binlerce tonluk ek petrol verir. Böyle bir kuyu içerisine bir "torpil" indirilir ve petrol bulunan tabakada patlatılır. Patlama, çevredeki doğal kayaları parçalayıp dağıtır ve petrolün kuyuya akması için yol açar.

Patlamadan, kuyuları açmakta da yararlanılabilir. Yöntem, umut verici bir yöntemdir. Bir patlayıcı madde içeren ampuller, dolgu çözeltisi içinde, kuyunun aşağılarına taşınır; orada, kuyunun zeminine değince patlarlar. İnfilak, kayaları çözer, [kaya parçaları] çözelti tarafından yukarı taşınır ve kuyu daha derine ve daha derine iner.

Patlamadan, akarsular üzerindeki buz birikintilerini temizlerken, ve maden arama ve bataklık kömürünün çıkartılması sırasında ağaç kütükleri uzaklaştırırken yararlanılır. Son yıllarda patlama, metallere biçim verildiği ve yüksek bir incelikle rötuş yapıldığı patlamalı biçimleme adlı mühendislikte kullanılmaktadır.

Daha da ilginci, geçişli patlama *(transmitted blasting)* adı verilen patlamanın kullanılmasıdır. Bir zamanlar, güçlü bir patlamada fırlayan kaya kütlelerinin hareketini denetlemenin tamamen olanaksız olduğu düşünülürdü. Ama bilim adamları ve mühendisler, girdaplı sıcak havanın ve parçalanıp dağılan kayanın görünen karmaşık hareketlerinin tam belirlenmiş yasalara uyduğunu buldular, ki bu yasalar bilgisi ile patlamalar denetim altına alınabilir. Bugün mühendisler,

patlayan kayaların belirlenmiş bir yere düştüğü, geçişli patlamayı başarmışlardır. Bunun için iki dizilik patlayıcı madde yere serilir. Birinci dizi kayayı ayırır ve yukarı fırlatır, bir ya da iki saniye sonra oluşan daha güçlü ikinci patlama, kayayı istenen yöne doğru savurur. İlk geçişli patlama yirmibeş ya da otuz yıl kadar önce başarıldı. O zamandan beri, bu teknik, temel çukurları kazmada, kanal temizlemede ve diğer işlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sovyetler Birliği'nde en büyük geçişli patlama, Krasnoyarsk kentinden 160 kilometre uzakta bir kömür yatağı üstünü sıyırmak için gerçeklendi. Toplam 1.860 ton gelen dört dizilik tam atımlar (*charges*), 20 metre derinliğinde, 400 metre uzunluğunda ve 85'ten 125 metreye kadar değişen ende bir hendek açarak, 391.000 metreküplük kayayı fırlatıp attı.

Geçişli patlama, topraktan bir su bendi yükseltmek için de kullanılabilir. Patlayıcı maddeler öyle bir şekilde yerleştirilir ki, havaya savrulan toprak kütleleri çarpışırlar, ırmak yatağına çaprazlama düşerler. Gerekli hazırlık çalışmasının dışında en az insan gücü harcanması ile bir ırmağın önüne böyle bir su bendinin gerçekten dikilmesi, pratik olarak hiç zaman almaz. 1948'de, Özbekistan Sovyet Cumhuriyeti'nde Angren ırmağı, onu denetleyen koruyucu setleri parçaladı ve köyleri, pamuk tarlalarını ve şarap depolarını baskınla tehdit ederek, tarlalara doğru yayıldı. Geçişli patlama yöntemi ile, mühendisler patlayıcıların tam atımların (*charges*) yerleştirilmesi için gereken birkaç saatlik süre içinde, topraktan 13 metrelik bir su bendi yükselterek suyu engellediler. Toplamı 50 ton gelen 12 tam atım kullanıldı.

19. yüzyıl sonlarında, Amerikalı bir metal oymacısı, Charles E. Munroe, çalışmasında patlayıcıları denemeye başladı. Kazılmış bir levhayı yazısız bir metal levha üzerine baskılamak ve böylece oymanın bir kopyasını yapmak için, ilk olarak küçük bir patlamadan yararlandı. Daha sonra, harfler patlayıcı tam atım tabanına kazıldığı zaman, üzerinde tam atı-

mın patlatıldığı metal levha içinde tam bir görüntünün oyulduğunu buldu. Patlayıcının, metal levhadan daha uzakta olduğu belirli noktalarda genleşen gazın etkisinin daha büyük olduğu ortaya çıktı. Munroe, biçimli —ya da oyuk— tam atım olayı adını verdiği bu olaya bir açıklama getiremedi.

Bir bardak su alın ve yüzeyi üzerine bir tek damla düşürün. Damlanın düştüğü noktadan ince bir püskürmenin fırladığını göreceksiniz. Düşen damla suyun yüzeyinde küçük bir çukur meydana getirir. Çukura doğru yaklaşan su ortada çarpışır ve sıçrama kinetik enerjisi püskürmeyi fırlatır. Bu biçimli-tam atım olayının en basit bir örneğidir. Bir patlayıcı madde topağı içine bir oyuk açılırsa, yaklaşan gazlar oyuğun merkezinde çarpışırlar ve ince bir gaz püskürmesi oluşur ki, bunun hızı yaklaşan gazların hızından çok daha büyüktür. Bu gaz püskürmesi kolaylıkla 8/9 km/sn'lik bir hız kazanır ve 500.000 atmosferlik bir basınç meydana getirir. Bu gaz püskürmesinin zırh ve beton içine işleyebilmesi hayrete değer.

Oyuk ince bir metal yaprakla kaplanırsa oyuk-tam atım püskürmesinin kuvveti büyük ölçüde artırılabilir. Kaplamanın etkisi aşağıdaki gibi açıklanır. İki su püskürmesi bir açı altında çarpışsınlar. İki yeni püskürme oluşacaktır. Büyükçe olanı ilk püskürmenin simetri düzleminde ve aynı yönde, küçükçe olanı ise karşıt yönde hareket edecektir. Meydana gelen püskürmelerin toplam momentumu* ilk püskürmelerine eşittir. Şimdi, püskürmeler küçük bir açıda çarpışırlarken, birbirlerine daha yaklaştıralım. Kesişme noktası ağızlarına doğru hızla kayar. Daha küçük oluşan püskürmenin hızı kesişme noktasının hareket hızı ile artacaktır; büyükçe olan püskürmenin hızı ise aynı değerde küçük olacaktır. Kaplamalı oyuk—tam atım durumunda yüz binlerce atmosfer olan patlayıcı basıncı kaplamayı içe doğru sürecektir. Kaplama maddesi, oyuk ekseni boyunca hızla hareket ettiği noktada,

* Hareketli bir cismin hızı ile kütlesinin çarpımına *momentum* denir. —ç.

tıpkı bir akışkanın davranışı gibi, daha da fazlası, tıpkı sıkışabilir bir akışkan gibi yakınsayacaktır (yakınsama noktasında metalin yoğunluğu yüzde 20-30 kadar artar). Bu "metal akışkan", biri ileriye doğru büyük bir hızla fırlatılan, iki püskürmeye ayrılır. Ters yöndeki püskürme daha büyük bir kütleye, ama pratikte sıfır sayılabilecek çok küçük bir hıza sahiptir. Bu nedenle pratikte yalnız püskürme çıkar ve hareket eden metalin tüm kinetik enerjisi kaplamanın küçük bir kısmına geçer. Örneğin, eğer metal 12 derecelik açıda ayrılan bir koniyi kaplıyorsa, kaplamanın toplam kütlesinin ancak yüzde 10'u hızlı püskürme içine girecektir. Püskürme içindeki enerji yoğunluğu bu nedenle oyuk merkezine doğru süreklenen bütün metal içindekinden on kere daha yüksek olacaktır. Püskürmenin ortalama hızı, saniyede birkaç kilometre olan kaplama hızının üç katından daha fazla olacaktır. Püskürme bu nedenle 10 km/sn'den daha büyük bir hıza sahip olabilecektir. Olay, küçük bir madde kütlesi içerisinde enerjinin yığışmasıdır.

Çok küçük ıraksama açılarında koniler yaparak ve bunları berilyum gibi hafif bir metalle çok ince kaplayarak birkaç teknik hile yardımı ile, 100 km/sn kadar yüksek püskürme hızlarına ulaşmak olanaklıdır. Biçimli-tam atım teknikleri, hava olaylarını araştırmakta, yüksek-irtifa meteoroloji roketlerinde kullanılmaktadır.

Biçimli-tam atım püskürmesi, saniyede onlarca kilometrelik bir hızla bir engele çarptığında, milyonlarca atmosferlik bir basınç oluşturur. 1944'te, Lev Landau ve bu kitabın yazarlarından biri, iyice yakınsayan patlayıcı sarsıntı dalgalarının etkisini hesapladılar. Eğer dalga küresel oyuk-tam atımın yüzeyinden başlar ve içeriye doğru yolalırsa, dalga içindeki basınç merkezden uzaklığa göre yaklaşık olarak ters orantılı bir şekilde artar. Eğer tam atım yeter büyüklükte ise büyük hızlar elde edilir ve büyük bir gaz hacmi çok büyük basınçlara kadar sıkıştırılabilir.

Bir ortamın, bağıl olarak büyük hacimlerinde yüksek enerji yoğunlukları elde etmek için yakınsayan dalgaların kullanılması, mühendislikte ve termonükleer tepkimeleri oluşturma girişimlerinde uygulanmıştır. Tam'ın ve Saharov'un silindirik yakınsayan plazma çalışmaları, yakınsayan sarsıntı dalgalarının incelenmesine dayalı idi. Bir patlamadaki enerji çıkışı hızlı ise infilak daha tahrip edicidir. Bir TNT fişeği herhangi bir patlama tehlikesi göstermeksizin hava içinde yanabilir. Gerçekten savaş sırasında cephedeki insanlar yeraltı sığınaklarını ısıtmak için fitili sökülmüş düşman mayınlarındaki TNT'yi sık sık kullanırlar. Ama sobaya atılırken fitili sökülmemişse felâkettir! Uysal yanma, aniden bir patlamaya dönüşecek, demir soba parçalanıp dağılacak ve sığınağın kapısı patlama dalgası tarafından vurulup açılacaktır. Görünüşte zararsız olan yakıtı tehlikeli bir patlayıcıya dönüştüren nedir?

Yanabilen bir karışım, diyelim metan ve oksijen ile dolu bir boru düşünün. Eğer borunun bir noktasında gazı tutuşturursak alev cephesi her iki yönde yolalacaktır. Yanma başlayınca, olgu sinyali, henüz işe karışmamış gaz içinden ses hızı ile yolalır. Sonuç olarak komşu tabakanın tutuşması biraz farklı koşullarda meydana gelir: zayıf bir sarsıntı dalgası onun içinden azıcık ısıtarak ve sıkıştırarak geçmiştir. Ama daha yüksek sıcaklıklarda çoğu kimyasal tepkimeler daha hızlı oluşur, bu nedenle yeni tabaka ilkinden biraz daha hızlı yanar. İkinci elemansal gaz tabakasının yanması, azıcık fazla bir sarsıntı dalgası meydana getirir ve üçüncü tabaka daha yüksekçe bir ilk sıcaklıkla yanmaya başlar. Yanma daha hızlıca sürer, ve tabakadan tabakaya keskince hızlanarak devam eder. Saniyenin kesirleri içerisinde, yanma cephesi, saniyede birkaç santimetre ya da metrelik bir hızdan, saniyede birkaç yüz ya da bin metreye hızlanır. Yanma cephesinin hızı, yanmanın neden olduğu sarsıntı dalgasının hızına eşit olana kadar artar. Yanma sarsıntı dalga

cephesinde oluştuktan sonra, hızın daha fazla artması olanaksızdır. Bir sarsıntı dalga cephesindeki yanma sürecine patlama (*detonation*) denir, ve cephesinde enerji saçılan bir sarsıntı dalgasına patlama dalgası (*detonation wave*) denir. Geleneksel yanıcı gaz karışımları için, patlama dalgası saniyede birkaç kilometrelik bir hızla yayılır. Eğer başlangıçta gaz basıncı atmosfere eşitse, son basınç birkaç on atmosfere çıkar. İlk basınçtaki bir artma, patlama (*detonation*) hızı ve basıncında bir artma sağlar.

Yanmayı destekleyici oksijeni içeren patlayıcılarda, patlama (*detonation*) gaz karışımlarındakinden biraz farklı biçimde oluşur. Patlama, patlayıcı fitil ya da yüksek hızlı patlayıcıdan yapılmış birinci patlayıcı tarafından sağlanan birinci dürtü (*impuls*) ile başlatılır. Patlayıcı ile değmede olan birincinin patlamasında, hızlı bir enerji gelişimi ve birkaç bin ya da on binlerce atmosferlik değerde bir basınç sıçraması oluşur. Basınç dürtüsü patlayıcı tam atıma aktarılır, içinden bir sarsıntı dalgası geçer, onu sıkıştırır ve molekül ve atomlar arasındaki uzaklığı küçültür. Patlama (*explosion*), patlama dalgasının (*detonation wave*) sarsıntı dalgası ile raslaştığı yerde, sarsıntı dalga cephesinde oluşur. Birçok patlayıcıda, patlama dalga cephesinde birkaç yüzbin atmosferlik basınçlar oluşur.

Patlayan yıldızların —novalar, süpernovalar ve titreşen yıldızlar— fiziği hakkında henüz çok az şey biliyoruz. Bununla birlikte, onların bir kısmında patlama dalgası mekanizmasının rol oynadığını tahmin edebiliriz. Bir yıldızın ortasında var olan çok büyük basınçlarda başlayan çekirdek tepkimelerine bağlı enerji çıkışı, bir sarsıntı dalgası doğurur ki bu aniden bir patlama (*detonation*) dalgasına dönüşür. Bu dalga destekleyici çekirdek tepkimeleri için yetersiz kalmış olan basınç ve sıcaklığı yükseltir, ve bu, patlayan yıldızın patlama hızına ileri bir katkıda bulunur.

Son yıllarda bilim adamları, geçişli patlama ve biçimli-

tam atım olaylarının fiziği ve tekniğini genişçe incelemeyi yükümlenmişlerdir. Amaç, patlamalarda açığa çıkan yıkıcı kuvvetleri öğrenmek, denetlemek ve etkin bir şekilde işe koşmaktır. İnsan hırslıdır. O, daha bugünden kozmik ölçekteki patlamaları tasarlıyor. Profesör G. Pokrovski, eğer gerek duyulursa, yeri bir bütün olarak kaba bir uzay gemisine dönüştürme projesi ileri sürmüştür ki, buna göre, Güney Kutuptaki bir dizi termonükleer patlamaların tepki kuvveti ile, yer, güneş sisteminden ayrılıp kozmik uzay içine itilebilecektir. Bir diğer tasarı, madde—karşı-madde yok olmasını kullanarak gezegensel uyduların naklini planlıyor. Bu nedenle, onbin yılın gerçeği bizim en çılgın düşlerimizden çok daha hırslı olabilir ve geleceğin insanları, bütün galaksileri uygun gördükleri şekilde yeniden kurmak için patlamaların gücünü kullanmayı bir kat daha öğrenebilir.

[ALTI]

EVRENİN BİYOGRAFİSİ

YARADILIŞ GÜNÜ

Ömürleri, doğumdan ölüme kadar bir şimşek çakması süresinden daha uzun olmayan zeki varlıkların bir cinsini gözönüne getirin. Dünyamızın onlara gözlenebilir olan olaylarının tümü, bize göre bir anlık, enstantane fotoğraf gibi olacaktır. Onlar dünyamızda oturanları, uygun olmayan değişik pozlardaki yaratıklar olarak göreceklerdir. Onlar, örneğin bir insanoğlunu bir koşu yolu üzerinde tamamen hareketsiz, asılı durumdaymış gibi, bacakları ayrık, ağzı açık ve gözleri yıldız gibi parlıyor göreceklerdir: bize göre, bu, yeni hız rekoruna hazırlanan bir kısa mesafe koşucusudur. Diğer insanlar, biz her ne kadar avazları çıktığınca sporcuyu destekliyorlar desek de, stadyumun tribünlerinde hareketsiz-

ce —ve sessizce— tünekliyor gibi görüneceklerdir:

Bu kısa-ömürlü varlıklar, deneyimlerini biriktirerek, koşucunun hareketini kuşkusuz ki ortaya çıkarabilirler, izlediği yolu tahmin edebilirler ve gövdesinin farklı kısımlarının bağıl yer değiştirmelerini belirleyebilirler. Ama stadyumdaki olgunun bir betimlemesini çizmek için gözlemleri kaydetmek ve eski elyazmalarını (yüzlerce kuşak geriye giderek) incelemek, birçok kuşağın geçmesini gerektirecektir. İnsan toplumunun yaşamı ve daha da ilerisi, geçmiş tarihi hakkında doğru bir izlenim kazanmak, onlar için inanılmaz ölçüde zor olacaktır.

Bu, tamamen evrenin evrimini incelemeye başladığı anda insanın kendisini içinde bulduğu durumdur. Muazzam bir üstün-patlama (*superexplosion*) ile kaba girdaplar şeklindeki bulutsular fırlatıldı, galaksi çevrintileri yanlara doğru seğirttiler; gezegen sistemleri doğruldu, gaz bulutsular ve galaksi sistemleri çarpıştılar. Ama ömürlerini teleskoplarının okülerinden gözetleyerek ve fotoğraf alarak geçiren astronomlar bir ve aynı resmi görürler: koşu yolu üzerinde ayrık bacakları ile hareketsiz asılı gibi duran koşucu. İnsanın yaşadığı yıllar, evrenin bir sıçramasının sürdüğü on binlerce milyon yıl ile karşılaştırıldığında çabucak geçen anlardan daha fazla bir şey değildir. Bilim adamlarının görevi, fotoğraftaki değişik parçalar için uygun açıklamalar getirmektir.

Kuşkusuz ki bunun bir yolu, olguları devşirmek, incelikli deneyler yapmak ve beklemek, beklemek ve beklemektir, ta ki insanların gelecek kuşakları bizim enstantane fotoğraflarımızı kendilerininkilerle karşılaştırma ve bulutsular içindeki gaz girdaplarının ve galaksiler içindeki yıldız girdaplarının hareketlerini, konumlarındaki mikroskobik değişimlerinden giderek belirleme yetisinde olsunlar. Bu türden bir çalışma kesinlikle gereklidir, ama aynı kesinlikte de yetersizdir ve evreni incelemede sürekli olarak yeni yollar ve yön-

temler tasarlanmalıdır. Kısa-ömürlü imgesel yaratıklarımız, ses dalgalarını inceleyerek onların tribünlerdeki seyircilerin çığlıklarından ileri geldiğini saptayabilirler. Koşucunun yolunu çözümleyerek kütlesel çekimin varlığını saptayabilirler. Aynı şekilde insanlar, kızılakayma yardımı ile gözden kaybolan galaksileri ortaya çıkardılar ve yerli kayalar içindeki uranyum ve kurşunun bağıl niceliklerine dayanarak yerin yaşını belirlediler. Ve, elbette ki, bilim adamları buyrukları altında olan evrenin enstantane fotoğraflarının içeriğini açıklayan yeni buluşlar yapacaklardır.

Evrenin erişebilire uzanan parçası üzerinde bir tasarımda bulunmak şimdiden olanaklıdır — hayır, gözlemle değil, kuşkusuz ki matematik çözümleme ile. Çünkü matematik, en iyi teleskoplardan çok daha ileri düzeyde nüfuz etme yeteneğindedir. Bununla birlikte, ortaya çıkan sonuçlar, henüz tamamen varsayımsaldırlar (*hypothetical*) ve hatta teori olarak bile adlandırılamazlar. Kimi varsayımlar yadsınırken, diğerleri, bilimin değerli buluşları arasına girerler. Onlar düşüncelerin ayrıldığı, görüşlerin uyuşmazlığa düştüğü ve yeni bilginin sürekli birikmekte olduğu bilimin cephesinde meydana çıkarlar.

Gelin, imgesel zaman makinemizin tozunu alalım ve bir diğer uzak yolculuğa —milyonlarca ve bin milyonlarca yıl geçmişe— çıkalım.

Zift gibi karanlık. Bize, uzayın, alışkın olduğumuz bir uzaya benzemesi gerekli değildir. Çünkü uzay, maddenin bir varoluş biçimidir ve maddenin özelliklerinin değişmesi ile birlikte onun özellikleri de değişir. Örneğin, maddeyi küçük ya da büyük kütleler şeklinde içermesine bağlı olarak, ki bu eğriliğini etkiler, uzayın yapısı değişir. Ama uzay nasıl eğilebilir? Ve, daha doğrusu, uzay eğriliği ile ne kastedilmektedir? Kavram çapraşıktır ve kolaylıkla tanımlanamaz. Bu, ancak, çok alışık olduğumuz şeylere bir benzetme ile yapılabilir.

Jules Verne'nin Columbiad'ı gibi dev bir top, gökyüzüne doğru düşey olarak bir gülle atıyor. Gülle top ağzından çıkıyor ve yerin kütlesel çekim alanı içinde yukarı doğru uçuyor. Derece derece ağırlaşıyor ve sonra yere düşüyor. Barut yerine daha güçlü iten bir madde kullanabilir, topu ufukla küçük bir açı yapacak şekilde eğebilir ve güllemizi yer çevresinde bir yörüngeye fırlatabiliriz. Yerin kütlesel çekim alanı, güllenin yörüngesini büker ve bir elipse tamamlar. Tam atımı yine artıralım, güllenin hızı 11 km/sn'nin üstüne çıkar ve yeri temelli olarak terkeder. O, sonsuza kadar uçacak mıdır? Eğer uzay boşluk ise, evet. Ama uzay madde ile doludur ve maddenin yeterli bir yoğunluğu uzayı öylesine eğebilir ki, ne bizim imgesel güllemiz, ne bir ışık ışını (yani foton akımı), ne de bir gravitasyonal dalga hiç bir zaman belirli sınırların ötesine kaçamaz. Maddenin toplam kütlesi onları geri çekecektir. Evrenimiz adını verdiğimiz, etrafı varsayımsal olarak kapalı olan uzayın bu bölgesidir. Açıkça, bu bölge belirli bir kütle taşır. Jules Verne'nin Columbiad'ı tarafından fırlatılan bir gülleye çok benzeyen bir yıldız tarafından dış uzaya fırlatılan bir ışık ışınının başına ne gelir? Eğer evrenin verilen parçasının kütlesi yeteri kadar büyükse, bu kütlenin kütlesel çekimi, demeti bükecektir, çünkü demet, maddesel parçacıkların bir akısıdır ve tıpkı Columbiad'ın güllesi gibi kütle çekimi yasalarına uyar. Evrenin kütlesi büyükse eğrilik artar ve demet, tıpkı yerden 8-11 km/sn'lik bir hızla atılan güllenin yörüngesi gibi, tamamen kendi üzerine kapanabilir. Böyle kapalı bir evren uzay bakımından yine de sonsuzdur ve yarıçapı, yani sonsuza yolculuk eden bir ışık demeti tarafından izlenen yolun yarıçapı, hesaplanabilir.

İki nokta arasındaki en yakın uzaklığın bir doğru çizgi olduğunu biliyoruz. Eğrisel bir uzayda bir diğer galaksiden bize ulaşan bir ışık demeti bir eğri boyunca yolculuk etmiştir; ki bu eğri, yine de galaksiden yere en yakın yolu göste-

rir. Bilim adamları eğrisel uzayın özelliklerini formüller aracılığı ile anlatırlar. Yüksek matematiğin şaşırtıcı karışıklıklarına alıştırılmamış insanlar karmaşık fiziksel kavramları (ki onların açık fiziksel anlamları vardır), zihinlerinde benzetmeler yöntemi ile canlandırmalıdırlar.

İki uzaysal boyutun uzunluk ve genişlik olduğu iki boyutlu bir dünya düşünün. Böyle bir dünya, bir masanın üstü gibi olabilir. Bu yassı-diyarda oturanların yalnızca iki koordinat doğrultuları olacaktır ve üçüncü koordinat ile ilgili en küçük bir fikirleri olmayacaktır. Açıktır ki, evrenlerini incelerlerken, kendi evrenlerinin, iki boyutlu yassı-diyarlarındaki hiç bir şeye gerçekten benzemeyen çok garip bir uzayla her yandan sınırlanan bir ucu olduğunu ergeç bulacaklardır. Ama yassı-diyarlılar, sonsuz iki boyutlu bir dünyada da oturabilirlerdi: ucu olmayan küresel bir dünya. Matematiksel biçimcilikle desteklenen kurgusal (*speculative*) uslamlama ile, yassı-diyarlılar, evrenlerinin eğrilik yarıçapını —kürenin yarıçapını— hesaplayabilir, ve sonunda, iki nokta arasındaki en kısa uzaklığın bir doğru olmadığı yanılsamalı sonucuna ulaşabilirler. Yassı-diyarlılar, kürelerinin yüzeyinin ancak küçük bir parçasını bildikleri için onun eğriliğinin farkına varamayacaklardı, ve büyük geometricileri iki nokta arasındaki en kısa uzaklığın bir doğru çizgi olduğu aksiyomunu keşfedeceklerdi. Bununla birlikte, uygarlıkları ileri gittikçe daha uzun uzaklıkları ölçmeyi öğrenecekler ve iki nokta arasındaki en kısa uzaklığın gerçekte bir doğru çizgi olmadığını bulacaklardı.

Küre, kapalı, iki boyutlu tek olanaklı "evren" değildir. Bir inç genişliğinde bir kâğıt şerit kesiniz ve uçlarını üstüste yapıştırınız. İki tane paralel "evren"e sahip olacaksınız. Onların herhangi biri içinde yolculuk eden bir ışık demeti, kendi uzayının bölgesine geri dönecektir. Uçlarını birleştirmeden önce kâğıt şeridi bir kere bükerseniz tek taraflı, iki boyutlu kapalı bir "evren"e sahip olacaksınız. Herhangi bir

noktadan çizilen bir çizgi kendi üzerine kapanır.

İmgesel güllemize dönersek, kütlesel çekim alanı tarafından kendi üzerine kapanmış bir evrendir ama birçok olanaklı durumdan biridir. Yerin kütlesel çekim alanı 8 km/sn'den daha küçük hızla giden bir mermiyi nasıl ki yere geri döndürürse, kütlesel çekim alanı bir ışık demetini durduruncaya kadar yavaşlatacak şiddette bir evren düşünülebilir. Bununla birlikte, bu olanaksızdır, ve ışık hızı, önceden belirtildiği gibi, evrensel bir sabittir. Ama, imgelenebilen kütlesel çekim altedilirken, fotonlar enerjilerini derece derece kaybederler, ve ışık "kırmızılaşır". Sonuç olarak, sınırlı bir uzaklıkta, fotonların enerjileri sıfıra düşer, ve ışık "ölür". Bir ışık ışınının erişebileceği maksimum uzaklık gözlenebilir evrenin sınırlarını çizecektir. O, sonsuz bir evren olacaktır, çünkü kimse, onun sınırlarına hiç bir zaman erişemeyecektir.

Son olarak, ne "yaşlanan", ne de evrenin kütlesel çekimi tarafından bükülmüş olan bir ışık demeti tasarımlanabilir. Demet, değişmeden doğru bir çizgi boyunca yolalır. Bu, en basit —ve en yanlış— anlamda bir sonsuz evren olacaktır.

Daha büyük evrenin bilinen parçası olan "bizim" evrenimizin, madde kütlelerinin ışığın kendi üstünde kapanmasına neden olduğu bir bölge olması çok olası gözüküyor ve bu, genel rölativite denklemlerinden çıkarılıyor. Madde yoğunluğunun ve bu nedenle kütlesel çekim kuvvetinin azalmasını sonuçlayarak, galaksilerin "kaçışmaları" nedeni ile, evrenin bu parçasının büyüklüğü sürekli artmaktadır. Evrende maddenin ortaya çıkışı seyrekleştikçe uzayın eğriliği azalır ve bu nedenle yarıçapı büyür.

Şu da not edilmelidir ki, sonsuz ve sınırsız daha büyük evren içinde, bizimki gibi genleşen ya da büzülen, ve hakkında hiç bir şey bilmediğimiz, hepsi etkileşim halinde olan diğer olanaklı şekillenimlerde, sonsuz sayıda kapalı evrenler var olabilir.

Şimdi, bizi onbin milyon yıl geriye götürmüş olan zaman makinemizin üstün konumundan uzay ve evrenimiz bize nasıl görünecektir? "Kaçışan galaksilerin" hızlarına dayanarak, bazı bilim adamları, bilinen evrenin tüm maddesinin, o zamanlar bağıl olarak küçük bir bölgeye yığışmış olduğu sonucuna ulaştılar. Bugün bildiğimiz türden bir madde olup olmadığı tartışma konusudur. O, pekâlâ bilinmeyen bir biçimde olmuş olabilir. O, içerisindeki inanılmaz basıncın, merkezinde yalnızca elementlerin çekirdeklerini değil, aynı zamanda onların kapsadığı elemansal parçacıkları da üreten kaba bir "embriyon" rolünü oynamış olabilir. O, büyük niceliklerde fotonlar ve gravitonlar salmış olabilir, ama alanlar kendi kendileri ile etkileşmiş, ve fotonlar, daha sonra olduğu gibi, evrenin sınırlarını belirleyen kapalı eğriler içinde dolanmış olabilirler. Bütün bunlar tamamen varsayımdır.

Bu "kozmik yumurta" nasıl ortaya çıktı? Kaba toz ve gaz bulutlarının kütlesel çekimi göçü sonucu mu? Bizce bilinmeyen biçimlerinden maddenin evrimi sırasında bir aşama olarak mı? Bilim, henüz bu sorulara yanıt verme yetisinde değildir.

Varsayımı sürdürsek, "kozmik yumurta"nın merkezinde birikmiş bulunan enerji onun patlamasına yolaçtı. Dış tabakalara erişen sarsıntı dalgası, tabakaların genleşmesine neden oldu. Madde yoğunluğu azaldı, gravitonlar ve fotonlar kuvvetli kütlesel çekim alanının kenetlerinden kaçıp kurtulmaya başladı, ve bugün içerisinde yaşadığımız ve gizemlerini araştırdığımız evrenin doğumunu müjdelercesine, boşluk içerisine şiddetli ışıma akıntıları püskürdü. Tüm bunları daha ağır hareket eden ilk dalga —madde pıhtıları ve ışık demetleri— izledi, çünkü, onlar artık boşlukta değil, alanlar ve madde ile dolu uzay içerisinde hareket ediyorlardı (ışık, boşlukta, ancak sınırlı bir hızla yolalır). Madde pıhtıları dışarıya doğru girdaplar ve halka dizilişleri şeklinde dolandılar ki bunlardan, Samanyolumuz da-

hil, galaksiler meydana çıktı.

Ama, meraklı okur hemen şuna dikkati çekecektir, eğer bu, herhangi bir şekilde evrenimizin doğumunun gerçek bir tanımlaması ise, evrenimiz ne ölümsüz ne de sonsuzdur, onun bir başlangıcı vardı ve bir sonu olacaktır. Kuşkusuz öyledir. Dünyada her şeyin bir başlangıcı ve bir sonu vardır. Doğum ve ölüm, insanların, gezegenlerin, yıldızların, galaksilerin ve evrenlerin birbirine benzeyen yazgılarıdır. Sonsuz olan, sonu gelmeyen değişimlere uğrayan, ebediyen evrimden geçen ve hiç bir zaman aynı yol boyunca iki kez geçmeyen, yalnızca tüm sonsuz evrenin maddesidir.

GEZEGENLER AİLESİ

Gelin, zaman makinemize binelim ve "yaradılış günü"nden zamanımıza kadar, güneş sisteminin evrimini izleyelim. Milyonlarca yıl arasından, kaçışan sayısız galaksilerden biri, Samanyolunu incelemeye geçiyoruz. İşte şurada, ve işte tahminlerimize göre güneşin olması gerektiği yer. Bununla birlikte, güneş yerine, koyu, saydamsız bir toz ve gaz bulutu görüyoruz. Gün batışında ufkun ötesinde batan, ısıtmayan kurs gibi, toz arasında kızaran, donuk kırmızı güneştir. Sıcak, mavimsi-beyaz bir yıldız olana kadar, biz ona yaklaştıkça parlaklığı artıyor. Isısı, çok yakınına gelen toz parçacıklarını buharlaştırıyor ve ışığının basıncı buharın atom ve moleküllerini geri püskürtüyor. Güneşin hemen yakın çevresindeki uzay, maddeden süpürülüp temizlenmiş.

Ama gezegenler neredeler? İyi, bir gün gelir de yer insanları garip bir yıldıza varırlarsa hemen yıldızın etrafını dolaşan gezegenleri gözlemleyemeyeceklerdir — içeri girip çıkarak yıldızların alışılmamış bir desenini ören birçok küçük benek bulacaklardır. İlkel güneş durumunda, sonunda, değişik gezegenlerin yörüngelerini biliyoruz. Ama yer henüz orada değil: O, henüz doğrulmakta. Güneş sisteminin

evrimini izlemek üzere zaman makinemizin motorlarını çalıştırıyoruz.

Tomurcuktan güzel bir gülün gözlerinizin önünde açıldığı bir film seyrettiniz mi? Bu basit bir teknik yardımı ile başarılabilir: bir sinema kamerası canlı bir tomurcuğa doğru çevrilir ve, her yarım saatte bir, zamanı gelince bir çerçevelik poz alır. Film bir göstericide normal hızla oynatılırsa, güzel çiçeğin bütün görkemiyle dışarıya doğru, çatlarcasına açıldığı görülür. Zaman makinemiz, bin yıllık dönemleri bir saniyenin kesirleri içerisine sıkıştırarak toz ve gaz bulutunun evrimini görmemizi mümkün kılıyor. Bulut içinden farklı yollarda sayısız parçacık yolculuk ediyor. Çarpışıyorlar, birleşiyorlar ya da mümkündür ki birçok parçaya ayrılıyorlar ve çabucak soğuyan plazma bulutları şeklinde patlıyorlar. Dikkatli bir inceleme, sonunda, hareketin görünürdeki karmaşası içinde belirli bir düzenin varlığını ortaya çıkarır. Küresel bulut, güneşin ekvator düzlemi içinde, güneş merkezde kalarak derece derece kaba, yassı bir disk şeklinde sıkışıyor. Bulut birkaç bin milyon kilometre çapında ve ancak birkaç bin kilometre kalınlığındadır. Disk, türdeş yapıda değildir: güneşe yakın olan iç kısımları, genellikle erime ve buharlaşma sıcaklıkları yüksek tözlerin parçacıklarından oluşmuştur. Bir zamanlar katı biçimde bulunan hidrojen, azot ve metan gibi uçucu gazlar buharlaşmışlar ve diskin dış bölgelerine doğru itilmişlerdir. Aynı şekilde günümüzde de güneş bir kuyruklu yıldızın çekirdek kısmındaki gazları ısıtır ve buharlaştırır ve gaz demetlerini harikulâde bir kuyruk biçimini alacak şekilde geriye doğru iter. Kuyruklu yıldız güneşten uzaklaştıkça gazlar yeniden donar ve katı madde parçacıkları üzerinde yoğunlaşır.

Zaman içinde daha ilerilere gidersek, çoğu parçacığın çarpışmalarla geri tepmektense birleşmeye eğilimli olduklarını görürüz. Daha sonra, çekirdeklerin gözlenebilir yoğunlaşması ile, sezilebilir kütlesel çekim ortaya çıkar. Bunların

çoğunun etrafında, daha küçük çekirdekler dolanırlar. Birbirleriyle çarpışırlar, bir kısmı saçılır diğerleri birleşirler. Ve sonunda, işte yer. Ancak birkaç yüz kilometre çapında ve sezilebilir bir atmosferi tutabilme yeteneğinden yoksun. Yüzeyi, ona yapışan sayısız göktaşı ile bombalanıyor ve sulu kartopları ile topa tutulmuş, kardan iri bir top gibi gittikçe şişiyor. Hacim bakımından büyüdükçe yeni olaylar ortaya çıkıyor. Çevresinde bir atmosfer büyüyor ve içerisindeki madde, tabakalar şeklinde oluşum gösteriyor. Ağır parçacıklar merkeze doğru batıyor, hafifleri yukarda yüzüyor. İçerde büyüyen basınç, çekirdeğin ısınmasına neden oluyor — çok fazla değil, mutlak sıfırın üstünde ancak birkaç yüz, olsa olsa bin derece.

Aynı şekilde, diğer gezegenler de gaz ve toz bulutlarının halkalarından biçimlenip ortaya çıkıyor. Başlangıçtaki bulut maddesinin tümü, pratik olarak onların şekillenimine girmiş, ve güneş, yeni gezegenler ailesi ile birlikte, tertemiz uzay içinde parlakça ışıldıyor.

Güneş sisteminin boyutları, kapsadığı gezegenler ve yörüngeleri oldukça ayrıntılı biçimde ölçülmüşlerdir, gezegenler "tartılmışlardır". Bilgiler düzenlenmiş ve sistemlendirilmiştir, ve bazı genel sonuçlar çıkarılabilir:

—Güneş sistemi gerçek anlamda bir sistemdir; gezegenlerin yalnızca gelişigüzel bir topluluğu değildir;

—Gezegenlerin tümü hemen hemen güneşin ekvator düzlemi içine düşerler;

—Gezegenler, yörüngelerinde aynı yönde hareket ederler ve güneş aynı yönde döner; ayrıca, gezegenlerin tümünün (Uranus hariç) eksenleri etrafında dönmelerinin anlamı aynıdır;

—Gezegenlerin büyüklükleri, güneşten Jüpitere kadar derece derece artar, ondan sonra azalır, Mars bir istisnadır, ama eğer asteroidlerin kütlesi ona eklenirse onun da yerinin doğru olduğu görülecektir;

—Gezegenler basit bir matematik formülü (Bode yasası) izleyerek düzenli aralıklarla konumlanmışlardır.

Güneş sisteminin diğer birçok görünümleri, onun raslansal bir şekillenim olmadığını ve fizik yasalarına göre maddenin doğal gelişimi içinde evrim geçirmiş olduğunu doğrulamaktadır. Ünlü bir Sovyet matematikçisi, fizikçisi ve gezgini olan Otto Şimit, güneş sisteminin başlangıcı ile ilgili matematiksel temele dayalı ilk varsayımların —zaman arasında yaptığımız önceki yolculuğumuzda izlediğimiz— yazarıdır. Onun teorisi, güneş sisteminin gözlenen çoğu görünümlerine inandırıcı bir açıklama verir. Yine de, teorinin bazı noktaları sert eleştirilere uğramıştır. Başlıcası, güneş sisteminin evrimi içinde en ilk aşama —bir toz bulutunun güneş tarafından "ele geçirilmesi"— iyi bir temel üzerine kurulmamıştır. Açıktır ki, güneşin böyle bir toz ve donmuş gaz bulutunu ele geçirebilmesinin tek yolu, evren içindeki yolculuğu sırasında bu bulutun arasından geçmesi ve bir parçasını arkasından çekmesidir. Bu, Şimit'in öne sürdüğüdür. Bununla birlikte, onun teorisinin eleştirisi, bunun böyle olmuş olamayacağına matematik tanıt getirdi, ve eğer güneş bir toz ya da gaz bulutu ile karşılaşsaydı, arasından basit bir şekilde geçecekti ve öncesi kadar "tozsuz" bir şekilde meydana çıkacaktı. Diğer yandan Şimit ve onu destekleyenler, bulut içerisindeki parçacıkların çarpışmalarına bağlı olarak, arkadan çekmenin oluşabileceğini ileri sürdüler. Bu, bulutun arasından geçerken güneş bir yıldızla karşılaşsaydı da olanaklı olabilirdi.

Tartışma sürüyor. Gördüğümüz gibi, güneş sisteminin kökenini evrenin kökeninden ayırmak yanlıştır. Elbette ki, önce güneşin gözüktüğünü ve ancak sonra gezegenlerin ortaya çıktığını öne sürmek için hiç bir neden yoktur. Güneş sisteminin, tüm olarak aynı zamanda meydana geldiğini kabul etmek çok daha mantıksal olacaktır.

Kocaman bir patlama, kaba madde damlalarını tüm doğ-

rultularda sıçrattı. Bunlar yoğunca olan topaklar çevresinde, yıldızlar şeklinde yoğunlaştılar. Bu süreçte, doğal olarak, çevredeki gaz—toz bulutlarının girdaplar şeklinde döndükleri beklenebilir. Buluttaki değişik parçacıklar doğal olarak farklı açısal momentumlara, ya da basitçe farklı hızlara sahip olacaklardır. Hızlı parçacıklar kütlesel çekim merkezine doğru düşmeyecekler ve hareket etmeye, diğer parçacıklarla çarpışmaya ve birleşmeye, hayli açısal momentum taşıyan gezegenleri derece derece geliştirmeye devam edeceklerdir. Böylece gezegenlerin büyük açısal momentumu, ilksel kasırganın gaz ve toz parçacıklarından bir kalıt gibi gözüküyor.

Daha ağır hareket eden parçacıklar, kütlesel çekim merkezine doğru çöktüler ve güneşi meydana getirdiler. Onların açısal momentumları küçük olduğundan, güneşin açısal momentumu da küçüktür ve güneş kendi ekseni etrafında, bağıl olarak yavaş dönmektedir.

Şu da not edilmelidir ki, bu varsayım, toz, gaz girdapları ve bulutsulardan bugün de yıldızların ve gezegenlerin şekillenmesi olasılığını dışarda bırakmaz. Maddenin evrimi sürüyor, ve bin milyonlarca yıl önce güneşin ve gezegenlerin başından neler geçmişse, bugün de Samanyolunun bir diğer kesiminde ya da diğer galaksilerde aynı olaylar pekâlâ meydana geliyor olabilir.

Yıldızların ve gezegenlerin kozmik tarihinde çok şey belirsiz duruyor. Şimit'in teorisinin, formül ve hesaplamaların sağlam temeline dayandığını belirtmiştik. Ama bunlar da son ya da mutlak açıklıkta değildir. Örneğin, Şimit ve onun teorisini destekleyenler, önemli olabileceği tahmin edilen elektromanyetik alanın etkilerini "yaradılış eylemi" içinde dikkate almadılar. Bunlar da dikkate alındığında, Şimit'in teorisi, pekâlâ matematiksellikten tamamen kurgusal (*speculative*) bir şekle dönebilir. Diğer yandan, elektromanyetik etkileri dikkate almaktaki ihmal, teorinin zayıf noktalarının nedeni olabilir. Bilim adamları, elektromanyetik etkileri,

ilk olarak ancak dış uzayın hidrodinamiği ve manyetodinamiğinde işe karıştırıyorlar ve çok şey keşfedilmemiş ve bilinmez olarak duruyor. Bununla birlikte kesin olarak bir şey söylenebilir: evren, donmuş ani bir fotoğraf olarak kalmayacaktır. İnsan onu yaşatacaktır. O, tıpkı şimdi kendi doğal gezegeninin yaşam öyküsünü yazdığı gibi, yıldızların ve galaksilerin biyografisini de yazacaktır.

SARMALIN (*SPİRAL*) BİR DÖNÜŞÜ

Yerin tarihindeki pek çok olay, tıpkı onun doğumu gibi, bizce bilinmemektedir. Bir insanın yaraları, bize, onun birçok sefer ve savaşa katıldığını anlatabilir. Ama eski yaralar, en dikkatli şekilde incelenseler bile, onun yiğitliğine, nerede ya da kimin yanında dövüştüğüne dair hiç bir kanıt vermez. Bizim gezegenimizin yüzü de bilinmeyen nedenlere bağlı birçok eski yaranın izlerini taşıyor.

Finlandiya ve Karelia'nın sayısız gölleri, son birkaç milyon yıl içinde, İskandinavya tepelerinden birçok kez hemen hemen Akdeniz'e kadar inen, ama tekrar kuzeye dönen buzulların bıraktığı yara izleridir. Büyük bölgelerin, hatta belki de tüm gezegenin soğumasına ne sebep oldu? Her ne kadar buzul devirleri yerin tarihinde oldukça yakın olgular ise de, bilim adamlarının soruya hiç bir yanıtları yoktur.

Antartika'da büyük kömür yatakları bulunmuştur. Kömür, eski zamandan kalan dev eğrelti ormanlarının taşılıdır. Bir zamanlar güney kıtası üzerinde el değmemiş tropikal ormanlar gelişti, dev yusufçuklar (*dragonfly*) güneş altında çırpınıp dolaştılar ve yaşam, bataklık göllerde kuvvet bularak gelişti. Kömürün çokça çıkarılmakta olduğu karla kaplı Spitzbergen adaları da bir zamanlar tropikal bir iklim yaşamıştı. Güney Kutbunu erimeyen karla ve Arktik okyanusunu erimiyen buzla kaplamış olan soğumanın sebebi ne idi? Bu, yerin tarihinde bir diğer muammadır.

Yer birkaç bin milyon yaşındadır. Eskivarlıkbilimciler, yaşama bin milyon yıldan daha geri bir tarih vermezler. Neden yaşam böyle geç ortaya çıkmıştır? Acaba, bu bin milyon yıl, çok daha önceden başlamış ve kozmik bir altüst oluş yüzünden —güneşin birdenbire patlayışı, gelip geçen bir yıldızın öldürücü ışıması ya da tamamen yersel kökenli bir ani değişiklik— ortadan temizlenmiş yaşamın yalnızca en son patlak vermesi midir?

Görülebilecek gelecekte beklenenler nelerdir? İnsanlar kozmik bir kaza olasılığından etkilenmeyecekler midir? Buna yanıt, evet olarak gözüküyor. Güneş, sabit bir ışıma şiddeti ile ve herhangi bir keskin azalma ya da patlamasının oldukça ihtimal dışı olması ile, yeterince kararlı bir yıldız olarak gözüküyor.

En eski kültürlerden günümüze kadar, insanlığın tarihi onbin yıldan fazla biraz zor tutar. Bir diğer onbin yılda insanlığın yazgısının bugün olduğu gibi yere hep değişmez bir şekilde bağlı olmayacağı, kolaylıkla kabul edilebilir. İnsan, kuşkusuz ki, yalnızca güneş sisteminin diğer gezegenlerine değil, Samanyolunun yakın yıldızlarına da göç edecektir.

Yer, güneş sistemi ve evren, birkaç bin milyon yıl içinde neye benzeyeceklerdir? Geçmiş içerisinde yaptığımız gibi, zaman makinemizle gelecek içinde de yolculuk edebilir miyiz? Yanıt, hayırdır. Böyle uzak hayaller oldukça karanlıktır, doğa yasalarına ait çok az şey biliyoruz ve maddenin evrimi içinde tuttuğu yol hakkında çok bulanık bir düşünceye sahibiz. Bununla birlikte, birçok ilke tartışmaları yapılabilir.

Her şeyden önce, maddenin yeniden aynı devrelerden geçerek (*recycling*) evrimi düşüncesi tamamen iflâs etmiştir. Bu teoriye göre, yıldızlar, gaz ve toz bulutsularından şekillenip ortaya çıkarlar, sonra soğurlar, sonra dağılmış enerji bilinmeyen bir yoldan yoğunlaşır, yıldızlar çarpışırlar, patlarlar ve yeniden gaz ve toz şekline dönerler, ve olayların tü-

mü bir daha başlar. Bugün, eğer maddenin aynı devrelerden böyle bir geçişi meydana gelirse —ve belirli bir ölçekte meydana gelirse—, bunun, evrensel ölçekte madde evriminde başat (*dominant*) ya da belirleyici (*determinative*) olmadığını söyleyebiliriz.

"Evrende ısı-ölümü"nün ("*heat-death*") "aynı devrelerden geçmeme" ("*nonrecycling*") teorisi de vardır. Biri sıcak ve biri soğuk iki gaz silindir gözönüne getirin. Eğer iki gazı karıştırırsak karışım ne sıcak ne de soğuk olacaktır. Sıcaklık iki ucun (*extremes*) ortalaması olarak, karışım ılık olacaktır. Bu, gazın tıpkı daha soğuk ve daha sıcak kısımlara ayrılamayacağı kadar açıktır ve dışardan bir müdahale olmadan odanın bir tarafının diğer tarafından daha soğuk olması olanaksızdır. Doğal süreçlerde, sıcaklık, sonuçta aynı düzeye gelme eğilimlidir. Bu ilkenin formüllendirilmesi, fizikçilerde ve filozoflarda benzer meraklı sorulara neden olur.

Eğer bütün sıcaklıklar aynı düzeye gelmeye yönelmişse, soğuk kozmik cisimlerin yanında yüksek sıcaklık uçları (*extremes*) neden böylesine büyüktür? Bu, kaba, yoğunlaşmış enerji kaynaklarını varoluşa getiren bir ilk itici kuvvetin ve şimdi aynı düzeye gelme olgusunun sürdüğünün kanıtı mıdır? Bu soruyu yanıtlamak için ilk girişimde bulunan ünlü fizikçi Ludwig Boltzmann'dı. Boltzmann, gazların ve maddenin kinetik teorisini inceledi ve gaz dinamiğinin ve kinetiğinin temel ilkelerini formülleştirdi. O, bir gazın kapsadığı moleküllerin farklı hızlara sahip olduklarını saptadı. Moleküllerin çoğu yaklaşık aynı hızla hareket ederler, ki bu hız, gazın sıcaklığını belirler, ama her an için bağıl olarak yavaş ve hızlı hareket eden moleküller daima vardır.

Beşi ortalamadan daha hızlı, ve beşi daha ağır hareket eden, on molekülden meydana gelen bir gaz düşünün. Çok az molekül için, herhangi bir anda, tüm hızlı moleküllerin odanın bir tarafında ve tüm yavaş moleküllerin de diğer tarafta toplanmaları gerçekten mümkündür. Olasılığı her ne

kadar çok büyük değilse de tamamen olanaksız da değildir. Bu, gaz içindeki hareketin, yalnızca sıcaklığın aynı düzeye gelmesi yönünde değil, ama aynı zamanda sıcaklık düşmesi yaratacak bir yönde de oluşabileceğini anlatır. Doğal süreçler, sıcaklığın bir düzeye gelmesini engeller, sıcaklık farklarının ortaya çıktığı süreçler, istatistik düzensiz değişim (*fluctuation*) olayları nedeniyledir. Kuşkusuz ki, gaz içinde sürekli olarak küçük çapta düzensiz değişimler oluşur ve sıcaklığın ortalamanın üzerinde olduğu küçük bölgeler ve molekül grupları daima bulunabilir.

Boltzmann, gözlenen evrenin, ısı-ölümü (*heat-death*) olasılığı ile karşı karşıya bulunan daha büyük evren içinde kocaman bir düzensiz değişim gösterdiğini, yani gözlenen evrenin bir an için "ortalamadan-yüksek" sıcaklıkta bir "moleküller grubu" olduğunu ileri sürdü. Boltzmann'ın düşüncesi gelişimci bir tabiatta idi, ama çok taraftar kazanmadı. Hararetle tartışıldı, ama savunan taraflarlar önemli bir noktayı gözden kaçırdılar: uzmanların gaz kinetiğindeki araştırmaları, gaz moleküllerinin mikro-evreni ile uğraşırlar. Ama evren tamamen hidrojen moleküllerinden yapılmamıştır — o, çok farklı molekül ve atomları içerir. Gazların incelenmesinden çıkarılan bir sonuç, evrenin tümüne teşmil edilebilir mi? Kuşkusuz ki hayır, ve bu nedenle Boltzmann'ın düşünceleri ve teorisindeki örneklerin sonuçları hatalı idi.

Yalnızca Einstein, incelemesinin genişliğini iddia etmeksizin, sonlu maddenin yasalarının sonsuz evrene genişletilmesi uygun değildir, diye yazdığı zaman haklı idi. Sonlu evrende, madde ve hareket yasaları hakkında genel fikirler veren incelemelere, sonsuz evrenin içerdiği süreçlerle ilgili çok genel ve yaklaşık öncüller geliştirmekte başvurulabilir.

Evrendeki kaçınılmaz "ısı-ölümü" ile ilgili kötümser sonuç, her koşul altında geçerli midir? Matematiğin, 19. yüzyıl Alman matematikçisi Georg Cantor tarafından geliştirilen ve kümeler teorisi (*set theory*) olarak bilinen bir dalı vardır.

Bu dal, sonsuz sayıda parçacıkların, tam sayıların, harflerin, ya da diğer öğelerin kümelerini inceler. Sonsuzun yasaları içine girmeye çalışan bir teori olarak, bazı ilginç sonuçlar çıkar ki, bu sonuçlar fiziksel yasalara uygulandığında, evrenin neden hep dengelenmemiş olarak gözüktüğü sorusunu yanıtlayabilmiştir. Bu sonuçlar çok karmaşıktır ve bu nedenle ancak çok basitleştirilmiş biçimde düşünülebilir.

Daha büyük evrenin bileşim bakımından türdeş olmadığını ve sonsuz sayıda, sonsuz farklı parçacığı kapsadığını çeşitli vesilelerle belirttik. O, diğer element atomları ile birlikte, iyonlaşmış hidrojen atomlarından meydana gelen yıldızlararası gazı, göktaşları ve asteroidler gibi bağıl olarak küçük hacimli katı madde topaklarını, gezegenlerin iri topaklarını, dev plazma topaklarını — yıldızlar, yıldız sistemleri, galaksiler ve Einstein'ın formüllerinin belirlediği gözlenebilir evren gibi geniş alanları kapsar. Böylesi her şekillenim "daha olağan" öğelerin hemen hemen sonsuz bir kümesini içerir: asteroidler moleküllerden, evren galaksilerden oluşur, vb.. Evrenin kapsadığı sonsuz öğenin enerjisinin aynı düzeye gelmesi için, en gerideki iyonlaşmış atomdan en bü-

---

MATEMATİK DİLİYLE

"ISI-ÖLÜMÜ"

Evrende maddenin genel durumu incelenilmeden önce, parçacıkların sonsuz çeşitliliği ile ilgilenilmelidir, belirli sonsuz kümelerin en genel özellikleri ile ilgili bazı bilgiler gereklidir.

En basit sonsuz küme, 0, 1, 2, 3, 4, 5, ..., n, pozitif tam sayılar kümesidir ki burada n sonsuza kadar gider. Bu, sayılabilir diye sözü edilen bir kümedir, 1, 10, 100, 1.000, 10.000, 100.000, vb. kümesinin de sayılabilir olduğunu belirtelim ve birinci ve ikinci kümenin rakamları bire-bir karşılık tutulabilir, çünkü, ikinci kümenin rakamları, 10^0, 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, vb. şeklinde yazılabilir. Bu, sonsuzun paradokslarından biridir. Sayılabilir bir sonsuzluk tüm

yük galaksiye kadar öğelerin tümü, bir enerji alış-verişi ile etkileşmelidirler.

Kümeler teorisinin sonuçlarından biri, sonsuz, bir zaman dönemi verilse bile, bu sonsuz etkileşimlerin tümünün hiç bir zaman oluşamayacağını bildirir. (Bu problemin çözümünden çıkan sonuçlar, 1949'da, bu kitabın yazarlarından biri, Kiril Stanyukoviç tarafından yayınlanmıştır.) Uslamlama basit bir fiziksel yorumdan anlaşılabilir, şöyle ki, ısısal dengeye (*thermal equilibrium*) ancak gaz ya da pelte (*jelly*) gibi birbiçim (*uniform*) sürekli bir evrende ulaşılabilir. Ufacık parçacıklardan, daha küçük öğeleri çekme yetisindeki kaba madde kümelerine kadar sıralanan öğelerden oluşmuş bir evren, hiç bir zaman ısısal dengeye ulaşmaz. Madde, enerjinin yoğunlaşmış bir biçimi olduğundan, ve onun ne kadarının elektromanyetik ya da kütlesel çekim alanları şeklinde dağıldığına bakılmaksızın, gravitonların ve fotonların elektronlara ve diğer elemansal parçacıklara ters dönüşümü olanaklıdır, ve bu, enerjinin yeniden yoğunlaşması anlamına gelir. Bu durum bir kere saptanınca, "ısı-ölümü" varsayımı anlamını yitirdi.

Westminster Abbey'in vaizi, tanrıtanımazlığa karşı bir di-

---

sonsuzlukların en zayıfıdır. Örneğin, pozitif tam sayıların sonsuz bir kümesi bir doğru parçası üzerindeki bütün noktaları saymak için kullanılamaz. Bir doğru parçasının herhangi bir kesimi üzerindeki, ya da sonsuz bir doğru üzerindeki, ya da uzayın tümü içindeki noktaların bir kümesi sayılamazdır, o, herhangi bir sayma işlemi ile tüketilemeyen bir sürekli meydana getirir. Bu, "süreklinin gücü" (*"the power of the continuum"*) ya da kardinalitesi (*cardinality*) olarak bilinir.

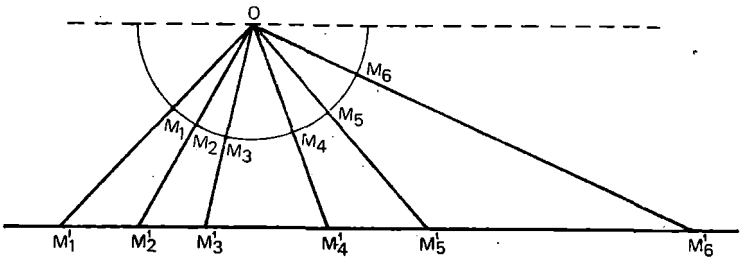
Özel olarak, gerçekte bir çizgi parçasının her noktasına bir sonsuz doğru üzerinde, bir ve yalnız bir noktanın karşılık olduğunu göstermek kolaydır. Uzunluğu verilen çizgi parçasının uzunluğuna eşit bir yarım daire düşünün. Altından geçen

zi konferans hazırlarken, Newton'dan, Tanrının varlığının bilimsel tanıtını istedi. Hayatının son yıllarında büyük ölçüde bilimden dine dönen Newton, gezegenleri güneş çevresindeki öncesiz ve sonrasız hareketlerine başlatan bir ilk "itici kuvvetin" gerekliliğini, böyle bir kanıt olarak ileri sürdü. "Isı-ölümü" teorisi de böyle bir ilksel itici kuvvet gerekliliğini içinde taşır. Eğer tüm enerji süreçleri ancak bir yönde meydana geliyorsa, tıpkı bir ırmağın aşağı doğru akması gibi, enerji dağının da derece derece su ile denize doğru sürüklenip bittiği bir zamanın geleceği akla-uygun gelmektedir. Açıktır ki, daha sonra, enerji dağını öbeklemek üzere "biri" denizi yukarıya doğru tırmıklarken bir zamanı olmalıdır. Tıkırdamasını sürdürmesi için, bu "birisi", evrenin saatini ara sıra kurmalıdır.

Newton'dan yüz yıl sonra, Fransız bilim adamı Laplace, güneş sisteminin kökeni ile ilgili materyalistçe varsayımının —Newton'un açıklayamadığı "ilk itici kuvveti" açıklayan varsayımın— öz taslağını Napoléon'a çizdi.

"Peki Tanrıyı nereye yerleştiriyorsun?" diye sordu Napoléon.

"Efendim", dedi Laplace, "o varsayıma gereksinme duy-



sonsuz bir doğru üzerine, yarım dairenin merkezinden, yarım dairenin bütün noktalarının izdüşümlerini alınız. Yukarda ön-

madım."

"Isı-ölümü" teorisinin beyanlarını, kanıtları ile çürütmek için bir yüzyıldan daha az zaman geçti.

Genel rölativite teorisinin açıklanmasından sonra, titreşen (*pulsating*) evren diye adlandırılan teori ilgi görmeye başladı. Bu teoriye göre, evren, devirli olarak sıkışıyor ve genleşiyor. Herbir titreşim sırasında galaksiler, yıldızlar ve gezegenler meydana çıkıyor. Her genleşmenin başlangıcında salınan enerji, evreni dolduran tüm kütlelerin yaygın kütlesel çekim alanının yenilmesi için derece derece dağılıyor. Salınan enerji büsbütün harcanınca, büzülme başlıyor.

Her yıl güneş ışığı ile ve kış buzullarının yerini alan çiçeklerle birlikte ilkyaz gelir. Daha sonra yaz gelir, sonbaharın donuk sisleri, ve kışın beyaz örtüsü yeniden toprağı sarar. Bu, yerin güneş etrafındaki yörüngesinde ardarda dolanması sırasında, kendisini ardarda yineleyen mevsimsel devirdir. Ama, hiç bir devir, bir öncekinin tam bir yinelenmesi değildir. Her yeni ilkyaz, bir öncekinden herhangi bir şekilde farklıdır. Körpe bir korudaki fideler daha uzamışlardır. Yaşlı büyük bir ağaç çürümüş ve devrilmiştir. Aşınma, sarkan bir kayalığın altını kazarak düşürmüş, ve ırmak ağ-

---

ceden verilmiş ifadenin doğruluğunu kolaylıkla sezeceksiniz.

Sayılabilir kümeler ve kardinalite (*cardinality*) kavramlarını, sonsuz evrendeki madde parçacıklarının sonsuz kümesinin davranışı ile ilgili en genel yasaları incelemekte kullanabiliriz.

Sonsuz evreni, sonlu bölgelerin sayılabilir bir kümesi halinde bölümlere ayırınız. Açıktır ki, her sonlu bölge sınırlı sayıda elemansal madde parçacıkları kapsayacaktır. Madde ile maddenin sebep olduğu alanların (elektromanyetik ve kütle çekimi alanları) etkileşimini de dikkate alıp, maddenin kuantum teorisinden yola çıkarak, çevrenin sonlu bir bölgesinin sonlu sayıda kuantum kapsadığını kabul edin. Uslamlamamızın amacı için, bazı elemansal kuan-

zındaki sığlıklar büyümüştür. Bunlar doğanın büyük dönemleri içinde kuşkusuz önemsiz olaylardır, ama böyle önemsiz şeylerin birikimi, evrimi meydana getirir. Dağ kaymaları dağın görünümünü çok fazla değiştirmez, ama yerbilimciler, bütün dağ silsilelerinin, geride pek iz bırakmayan rüzgâr ve fırtına tarafından günden güne yıpratıldığını biliyorlar.

Mevsimsel değişikliklerin çemberi gerçekten kırılmıştır: mevsimsel değişiklikler, hep daha yüksek ve daha yüksek düzeyde oluşan yinelemelerle bir sarmaldır. Yerin güneş çevresindeki yörüngesi bile, ancak güneşin hareketini dikkate almadığımızda kapalı bir elipstir. Güneşin kendisi de, Samanyolunun dönmesine, ve Samanyolunun evren içindeki uçuşuna katılır. Yerin bileşke hareketi gerçekten karmaşıktır. Bu nedenle, titreşen evrende bile iki titreşimin asla mutlak olarak özdeş olamayacağı akla-uygun gelir. Tüm süreçlerin tersinir (*reversible*) olması olanaksızdır. Uzun süreli nicelik değişmeleri, türdeki değişmelere ve yeni bir duruma geçişe götürmelidir. Hiç olmazsa böyle hangi geçişlere varılacağını imgelemeye girişebilir miyiz?

Bu soruyu yanıtlamadan önce, gelin evrenin sınırsız genişliklerinden elemansal parçacıkların mikro-evrenine (*mic-*

---

tumların istediğimiz kadar küçük olabileceğini de kabul edelim — bir kuantumun "nokta sal enerji" kabulü anlamında değil de böylesi sayılabilir bir kuantumlar kümesinin sonlu bir hacim doldurduğu ve sonlu bir enerji taşıdığı anlamında.

Böylece, sonlu uzay hacmimiz içinde, elemansal parçacıkların yalnızca sonlu değil, aynı zamanda sayılabilir bir kümesi bulunabilir. Bundan dolayı, tüm uzayda, elemansal parçacıkların sayılabilir bir kümesi var olacaktır.

Açıktır ki, eğer parçacıklar sayılabilir bir küme oluşturuyorlar ve sonlu iseler, eğer parçacıklar sonlu bir küme oluşturuyorlarsa, sonlu bir zaman aralığı içinde uzayın sonlu her hacmi içindeki parçacıklar arasındaki etkileşimlerin bir kümesi

rocosm) dönelim. Önceleri atom, en küçük, bölünemez madde parçacığı olarak düşünüldü ("atom" sözcüğü Yunancada "bölünemez" anlamına gelir). Daha sonra, atomun bir çekirdek ile çekirdeğin etrafında dolanan elektronlardan meydana geldiği bulundu, ve bunlar bölünmez olarak iddia edildi. Bugün, çekirdeksel (*nuclear*) enerji çağında, atom çekirdeğinin yarılabilir ve dönüşebilir karmaşık bir yapıda olduğunu bir okul çocuğu bilmektedir. Bir pozitronla (anti-elektron) çarpışan bir elektron, ışınıma dönüşür ki, Einstein'ın eşdeğerlik ilkesine göre, ışınımın enerjisi ve kütlesi çarpışan parçacıkların enerji ve kütlesine karşılık gelmelidir. Herhalde, elektron daha fazla bölünme yeteneğinde olmayan, ufak katı bir top gibi düşünülemez. Lenin'in yazdığı gibi, elektron tüketilemezdir (*inexhaustible*).

Protonlar, nötronlar ve diğer "elemansal" parçacıklar gibi, kuşkusuz ki elektronun da karmaşık bir yapısı vardır. "Elemansal" parçacıklar dediklerimiz, belki de hiç bir zaman durgun halde bulunmayan ve sürekli olarak titreşen, oldukça sıkışmış bir tözdür. Bu kavrayış, hiç olmazsa bilinen gerçeklerin herhangi birini yalanlamaz. Böyle titreşimlerde, bir elemansal parçacık, çevresindeki alanla etkileşir. Her

---

sayılabilir olacaktır. Sonsuz uzayın tümü içinde, sonlu bir zaman aralığında (her iki kabulden dolayı) etkileşimlerin sayılabilir bir kümesi oluşacaktır. (Etkileşim ile, kütlelerinde ya da enerjilerinde bir değişiklik meydana gelen, iki parçacığı gerektiren herhangi bir süreci anlıyoruz.)

Herhangi bir sonsuz zaman aralığı, sonlu aralıkların sayılabilir bir kümesine bölünerek ayrılabileceğinden, evrenin bütününde sonsuz bir zaman aralığının akışında, etkileşimlerin sayılabilir bir kümesi meydana gelecektir.

Parçacıkların sayılabilir bir kümesi için, tüm olanaklı etkileşimlerin bir kümesi, verilen sayılabilir kümenin alt kümelerinin tümünün bir kümesini ifade edecektir, yani tüm olanaklı

genleşme, alanı yanlara "iter" ve bu alanın nedeni olan enerji harcanmasına neden olur. Parçacık sıkıştığında enerji, parçacığa geri döner mi? Belki de her zaman dönmez, ve titreşen parçacık derece derece enerji kaybeder.

Bugün, madde evriminin şimdiki aşamasında bir elektron'un kütlesi 9×10^{-28} grama eşittir, ve bir proton $1{,}7 \times 10^{-24}$ gram "gelir". Onbin milyon yıl önce onlar daha ağırdılar ve onbin milyon yıl sonra evrendeki tüm elemansal parçacıklar bugünkünden daha az "gelebilirler". Kütledeki değişme, elemansal parçacıkların diğer özelliklerini etkileyebilir. Bu mikrokozmik süreç, evrendeki maddenin tekrarsız evrimini anıştırır.

Titreşen elemansal parçacıklar düşüncesi, önceden belirtilen kütlesel çekimin hidrodinamik teorisi ile uyuşur mu? Bir yanıt, "Rus havacılığının babası" Nikolay Jukovski tarafından belirtilen, teorik bir deneyle bulunabilir. Sıkışmasız bir sıvı içine batırılan iki küre düşününüz. Eğer küreler eşzamanlı titreşecek, yani birinin maksimum hacmi diğerinin maksimum hacmine karşılık gelecek şekilde yapılmışlarsa, birbirlerini kütlesel olarak çekeceklerdir. Üstelik, çekim yasası Newton'un evrensel kütle çekimi formülüne özdeş bir

---

etkileşimlerin bu kümesi kardinaliteye sahip olacaktır.

Olanaklı etkileşimler (durumlar) süreklisi, herhangi bir sonsuz zaman aralığındaki gerçek etkileşimlerin sayılabilir bir kümesi tarafından bitirilemez.

Varsayın ki (her ne kadar böyle değilse de) evrenin tümü bir türden parçacıklarla, örneğin moleküllerle, doludur. O zaman tüm olanaklı durumların kümesi kardinaliteye sahip olur. Ama, bağımsız (tekrarsız) durumların kümesi sayılabilir olacaktır, bu nedenle evren, karışladığı sonsuz ömrü içinde kolaylıkla dengeye ulaşabilecekti, ya da evrenin oldukça beklenmedik bir düzensiz değişim sürecinin sonucu olarak biçimlenen, geniş, dengelenmemiş bir bölgesinde yaşadığımızı kabul etmeliyiz. Bu, uzayın bir bölgesindeki tüm

formülle ifade edilmiş olacaktır: kuvvet, kürelerin "ışıdığı" enerjilerle orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olacaktır. Eğer titreşim "uygun adımda" değilse, birinin maksimum hacmi diğerinin minimum hacmine karşılık gelecektir, birbirlerini aynı formülle verilen bir kuvvetle iteceklerdir.

Kütlesel çekim alanı içinde titreşen elemansal parçacıklar ve bir akışkan içinde titreşen küreler arasındaki benzerliğin çok az olduğu açıktır. Ama, benzetme, kütlesel çekimin hidrodinamik teorisi ile ilgili bir fikir verir. Belki de bu titreşim sırasında elemansal parçacıklar, gravitonlar şeklinde elemansal enerji paketleri çıkartırlar.

Her ne kadar elemansal parçacıkların kütleleri azalmakta gözüküyorsa da, teorinin en son bulguları, evrenin bizim bölgemizdeki kütle ve enerji toplamının sabit olduğunu gösteriyor. Gravitonların yaradılışı ile birlikte, "eski" gravitonlardan, saniyede santimetre küp başına 10^{-46} gram kadar tahmin edilen bir hızda, yeni elemansal parçacıkların sürekli yaratılışı meydana gelmektedir. Buna, dünya sabitleri adı verilen sabitlerdeki değişmeler eşlik eder: kütlesel çekim "sabiti" artar, elemansal yük ve Planck "sabiti" azalır. Yal-

---

hızlı moleküllerin bir yanda; ve tüm yavaş moleküllerin öte yanda birikmesinin umulduğu süreçtir. Çünkü az sayıda molekül için bu oldukça sık oluşabilir, ama büyük sayılar için böyle bir sürecin olasılığı önemsiz derecede küçüktür.

Elbette, az olası olsa bile, evrenin sonlu bir zaman önce "yaratıldığını" da kabul edebiliriz. Kuşkusuz ki, evren bir türden moleküller içermemektedir, ve bu nedenle, evrende daima farklı "parçacık" (öğe) türlerinin öyle bir sayılabilir kümesi vardır ki, bir türün her bir "parçacığı" daha aşağı türlerin "parçacıkları"nı içerebilir sonucuna varmalıyız. "Parçacık" sözcüğünden bir foton, molekül, yıldız, yıldızsal sistem, vb. bir özerk şekillenimi anlamalıyız. Farklı "parçacıklar" türlerinin

nızca ışığın hızı değişmez.

Ağır ağır, ama kesin olarak, madde bir biçimden bir diğerine dönüşür. Nicel değişimler kararlı bir şekilde birikir, ki bu kaçınılmaz olarak nitel bir sıçrama meydana getirmelidir. Ne türde? Şimdiki bilgimizle söyleme yetimiz yok. Herhalde, bizim üç-boyutlu kapalı evrenimizin bir sonunu anlatacaktır. Bu sıçrama, inanılmaz büyüklükteki ölçekte evrimsel sarmalın yalnızca bir dolanımının bitişini gösterebilir. Ne olursa olsun, bu sıçrama, aynı zamanda daimî ve yok edilemez maddenin evrimindeki yeni bir aşamayı gösterecektir.

---

sonsuz çeşitliliğinin, madde ile onun neden olduğu alanların etkileşiminin bir sonucu olduğunu kabul edebiliriz. Her "parçacık" evrende herhangi sayıda (görünüşte sonsuz) var olabilir.

Durumun herhangi bir yinelemesi olmaksızın, "parçacıklar"ın tüm çeşitliliğinin bütün olanaklı etkileşimlerinin bir kümesi kardinaliteye sahiptir. Bu nedenle evrendeki farklı şekillenimlerin etkileşimlerinin bütünlüğü, herhangi bir sayma işlemi ile tüketilemez, ki bu da maddenin çevrimsel olmayan evrimine götürür, ve maddenin sonsuz evrimini olanaklı kılar.

[YEDİ]

EVRENİN EFENDİLERİ
(SONUÇ YERİNE)

KİTABA başladığımız yere geri dönüyoruz: yerin efendisi olan insanın baba evini terkedeceği ve evreni fethe çıkacağı gün uzak değildir. O, komşu gezegenleri ve tüm güneş sistemini ergeç araştıracak ve oralara yerleşecektir. O, daha sonra komşu yıldızların gezegen sistemlerine dev bir sıçrama yapacaktır. Bu da son adım olmayacaktır.

Doğanın gizleri tükenmezdir ve, beyni yalnızca zamansal ve uzaysal sonsuz boyutları kuşatan bir gözlemcinin kurgusal uslamlaması ile değil, ama aynı zamanda etkin bir araştırmacı, dönüştürücü ve yaratıcı olarak, insanın bu gizlere derinliğine nüfuz etme yetisi sınırsızdır.

İnsan yeryüzünde gözükene kadar, hayat, kendisini de-

ğişen çevre koşullarına uyarladı. Uymayı başaramayan hayvanlar ve bitkiler tamamen yok oldular ve eskivarlıkbilimciler değişik yerbilimsel tabakalarda onların kalıntılarını buldular. Diğer yandan, insan, ta başından beri doğayı kendi gereksinmelerine göre emri altına almaya başladı. Bugün, o, çöller arasından kanallar açıyor ve geniş sulama sistemleri kuruyor. O, ırmakların akışını değiştiriyor ve yapma göller ortaya çıkarıyor. O, Atlantik Okyanusunu ılıklaştırmak için okyanus akıntılarının yönünü değiştirmeyi tasarlıyor.

Yaratma ve dönüştürme uğraşı, zorunlu olarak, maddenin hallerini ve alanları yöneten yasaları, onların karşılıklı etkileşim yasalarını tanıma uğraşını izlemektedir. Bir bilim adamı, içinde uğraştığı kesin bilimlerin hangi dalı olursa olsun, maddenin gizlerini derinliğine araştırmaktadır. Bir teknisyen, yönettiği makine ne olursa olsun, maddeyi elle idare etmektedir.

Maddenin katı halinin henüz çözülmemiş gizleri çoktur. İnsanlar, yarı-iletkenlerin (*semiconductor*) şaşırtıcı özelliklerinden yararlanmasını ancak yeni öğrenmişlerdir, ki onlar, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürme yetisinde güç donatımları, cep-büyüklüğünde televizyon setleri, üstün ekonomik soğutucular ve incelikli havalandırma sistemleri için umut veriyorlar. Bazı metallerin, mutlak sıfıra yaklaşan sıcaklıklardaki ilginç davranışını —üstün iletkenliği (*superconductivity*)— bilim adamları ancak yakınlarda bulabilmişlerdir. Bu buluşun uygulamaları henüz geleceğin bir konusudur. Elmas ve elmastan daha sert tözleri yapmasını insanlar henüz yeni öğrenmişlerdir. Onlar, en sert çelikten bin kez daha dayanıklı, ufacık, kusursuz metal kristalleri henüz yeni elde etmişlerdir. 5.000-7.000 C derecelik sıcaklıklara dayanma yetisinde tözler; ergiyebilen ve dökümü yapılabilen elmastan daha sert tözler, cam gibi saydam metaller ve metal gibi dayanıklı camlar hâlâ kâşiflerini bekliyor.

Maddenin sıvı hali de büyük gelişmeler için umut veri-

yor. Bilim adamları, okyanus derinliklerinde, ses için üstün iletkenliğe sahip olan bir su tabakası bulmuşlardır. Bu tabakanın gizemi nedir? Sıvı helyumun ilginç üstün akışkanlığı (*superfluidity*) için ne gibi uygulamalar bulunabilecektir? Farklı alanlardaki mühendisler, doğanın sağlamakta başarısızlığa uğradığı özelliklere sahip sıvılar bulduklarını haykırıyorlar: sıcaklığı mutlak sıfırdan binlerce dereceye kadar değiştiğinde iç sürtünmesi (*viscosity*) değişmeyen sıvılar, buharlaşmayan sıvılar, ve kauçuk esnekliğinde sıvılar.

Gazları alın. Maddenin gaz halinin gizleri tamamen biliniyor mu, gazların tüm uygulama alanları bulunmuş mudur? Reklam lambalarının neon ışıkları içinde sessizce ve soğukça ışık saçan seyreltik gazlar — uysallaştırılmış *aurora borealis*'in tek uygulaması mıdır? Sesüstü (*supersonic*) uçağın yıkıcı ses gürlemesi — bu olay için yararlı uygulamalar yok mudur?

Plazma ise, termonükleer güç donatımları, yapma güneşler ve yıldızlararası uçuşun sırlarının gizlice uzandığı, keşfedilmemiş adaları ve kıtaları ile keşfedilmemiş bir okyanustur.

Belki de daha ilginç olanı, elektromanyetik, kütle çekimi ve çekirdek alanlarının dokunulmaz maddesidir. Maddenin keşfedilmemiş ve kullanılmamış özelliklerinin listesi sonsuzca sürdürülebilir. Bunlara, maddenin farklı halleri ve alanları yeni yollarda etkileşime sokarak işletilebilen mucizeleri ekleyiniz.

İnsan henüz çok gençtir. En eski uygarlıktan bu yana, onun kayıtlı geçmişi onbin yıldan az tutar. Önceleri toplumsal zincirlerle prangaya vurulan insanın yaratıcı güçlerine engelleri kaldırarak sınırsız uygun koşullar açan bir toplumsal sistemin yeryüzünde ortaya çıkışından bu yana elli yıldan az geçmiştir. Yakın ve uzak gelecekte, insan, ne gibi şaşılacak yiğitlikler yapacaktır? O, tüm insanlığa sonrasız ilkyazı getirmek üzere yer ekseninin eğimini değiştirecek midir?

O, güneş ışımasını düzenlemek üzere, kürenin üzerine saydam bir çatı dikecek midir? O, yeri güneşe daha yaklaştıracak mıdır?

Düşlerimiz her ne kadar garip gözükebilirse de, en düşsel uçuşların bir gün gerçek olacağından emin olabiliriz. İnsan, yaşamı, komşu gezegenlere taşıyacaktır: insan, komşu yıldızların gezegenlerini yerleşilebilir duruma getirecektir. Onun zeki ruhu, evren içlerinde daha uzağa ve daha uzağa erişecektir. Tıpkı evrene hiç bir sınır olmadığı gibi, onun gelişme ve olanaklarına da hiç bir sınır yoktur.

ONUR YAYINLARI
Kurucusu: **İlhan Erdost**
Yöneten: **Muzaffer İlhan Erdost**
İlhanilhan Kitabevi
Bayındır Sokak 23/6
Yenişehir - Ankara

MADDE VE İNSAN

Eski filozoflar, fiziksel evrenin dört temel öğeden ya da tözden oluştuğuna inanıyorlardı: toprak, su, hava ve ateş. Modern görüşlere göre, evren, madde ve alan adı verilen iki biçimde varolabilir. Madde, katı, sıvı, gaz ve plazma gibi dört halde varolabilir; bilinen alanlar ise, gravitasyonal, elektromanyetik ve çekirdeksel alanlardır.

Insan henüz çok gençtir. En eski uygarlıktan bu yana, onun kayıtlı geçmişi on bin yıldan az tutar. Yakın ve uzak gelecekte, insan, yaşamı, komşu gezegenlere taşıyacaktır. Onun zeki ruhu, evren içlerinde daha uzağa ve daha uzağa erişecektir.

***Madde ve İnsan*'da, hemen her okurun anlayacağı yalın anlatım, "matematik diliyle" sunulan açıklayıcı ek notlarda bilimsel formülleriyle bütünleniyor.**

