1
yazko bilim

GÜNEŞ DİYE BİR YILDIZ

George Gamow

Güneş diye bir yıldız

yazko bilim



GÜNEŞ DİYE BİR YILDIZ

YAZKO Bilim Dizisi 1

YAZKO
Türkocağı Cad. No. 17 - 19
Cağaloğlu-Istanbul
22 78 45

YAZKO Bilim Dizisi
Yönetenler
Ali Alpar
Reşit Canbeyli

Bu kitap Ağaoğlu Yayınevi Tesislerinde
dizildi, basıldı, ciltlendi 27 73 37
Kapak: Salt Maden
Istanbul, 1982

GÜNEŞ DİYE BİR YILDIZ

GEORGE GAMOW

Çeviren — Derleyen
Gülen Aktaş — Reşit Canbeyli

yazko

Yazarlar ve Çevirmenler Yayın Üretim Kooperatifi

Elinizdeki kitap ünlü fizikçi ve popüler bilim yazarı George Gamow'un klasik sayılabilecek bir eseridir. Gamow, 1963'te o tarihe kadarki gelişmelerin ışığında kitabı yeniden yazmıştı. 1963'ten beri genel olarak gökbilimde büyük ilerlemeler oldu. Ancak bu kitabın ele aldığı güneş ve diğer «sıradan» yıldızlar konusundaki bilgimizde temel bir değişiklik olmadı. 1963 - 1981 arasında konuyla ilgili yeni buluşları Türkçe çeviriye dipnot olarak ekledik.

Şiir alıntılarının çevirileri için A. Kadir'e teşekkür ederiz.

Çevirenler

yorulmaz güneşi yaptı, dopdolu dolunayı
gökyüzünü saran yıldızların hepsini
Pleiad'ları, Hyad'ları, güçlü Orion'u,
hem Araba, hem Ayı denen yıldızı yaptı,
Ayı Oriona bakar, boyuna yerinde döner,
tek yıldızdır Okyanus'un sularından pay almayan

İlyada, Kitap XVIII, Satır 484 - 489
Çev. Azra Erhat - A. Kadir



Güneş, göklerin görkemli feneri
Yükseklere tırmandığınca
Erken bitecektir koşusu
Onca yakın batmaya

1940'da Viking Press tarafından yayımlanan
GÜNEŞİN DOĞUMU VE ÖLÜMÜ
adlı kitabımın anısına

Ya güneş
Evrenin merkeziyse ve diğer yıldızlar
Onun çekimiyle ve onu çekip
Türlü dairelerde dans ediyorlarsa
güneşin etrafında?
Bir yukarı, bir aşağı, kimi zamanda gizli,
İlerleyip geri gelen, kimi zaman da duran,
Altı tane görürsün böyle gezinen,
Ya bir yedincisi,
Yeryüzü gezegeni, öyle sağlam durur görünürken,
Sezdirmeden üç ayrı hareket yapıyorsa?
— John Milton, Paradise Lost, VIII, 122 - 130

Yirmi dört yıl önce, büyük çapta nükleer enerjinin açığa çıkması, nükleer kaynakların güneş ve diğer yıldızların hayat ve evrimlerindeki rolü ile ilgili olan *Güneşin Doğumu ve Ölümü* adlı kitabımı yayımladım. Bu kitabın yazıldığı 1939 yılı, nükleer fizik ile bunun gökbiliminde uygulamalarındaki gelişmeler açısından çok önemliydi. O yıl, insanlığın iyiliği ya da kötülüğü için nükleer enerjinin kullanılmasına yol açan ve aynı zamanda güneş ve diğer yıldızlara enerji temin eden nükleer tepkimeleri daha iyi anlamamızı sağlayan, uranyum çekirdeği fisyonunun keşfine tanık oldu. Yani *Güneşin Doğumu ve Ölümü* üzerine yepyeni, heyecan verici bilgiler edindik o yıl.

Daha sonraki yirmi yıl içinde uranyum fisyonu-

nun pratikte kullanılışı, «atom bombaları», «atom denizaltıları», «atom enerji santralleri» vb. biçiminde gerçekleşti ve okyanus sularında bol miktarda bulunan ağır hidrojenden enerji elde edebilmek amacıyla kontrol edilebilen termonükleer tepkime olasılığıyla ilgili birçok çalışma yapıldı. Güneş ve diğer yıldızların içindeki termonükleer tepkimelerin ve nükleer dönüşümlerin bunların evrimsel gelişmeleri üzerindeki etkisinin kuramsal olarak anlaşılmasında büyük bir ilerleme kaydedildi.

O dönemde *Güneşin Ölümü ve Doğumu* altı kez basıldı, Çek, Danimarka, Hollanda, Fransız, Alman, Hint, Japon, Norveç, İspanyol, Fars, İsveç ve Yugoslav dillerine çevrildi.

Ancak, büyük bir hızla gelişen bir konuda bir kitabın geçerliliğini koruması için yirmi dört yıl çok uzun bir zaman ve bugün *Güneşin Doğumu ve Ölümü* ne yazık ki çağdışı kalmıştır. Bu nedenle yayıncılarıma, bibliyografik amaçlarla kullanılanların dışında bu kitabın tüm kopyalarının yok edilmesi koşulu ile, bu konuda yeni bir kitap yazmaya söz verdim. Bu nedenle, bu kitabı eski kitabıma ithaf etmem çok doğaldır.

G. Gamow
Colorado Üniversitesi
Aralık 1963

SUNUŞ

Yazko Bilim Dizisi çağdaş doğa bilimlerini okuyucuya tanıtma amacını taşıyor. Doğa bilimleri kısaca deneyler, gözlemler ve bunları değerlendiren kuramlar aracılığı ile canlı ve cansız doğanın işleyişini anlama uğraşı olarak tanımlanabilir. Dizide «popüler» bilim kitapları yani çeşitli bilim dallarındaki en yeni, en önemli ve en ilginç buluşları meraklı okuyucuya teknik uzmanlık gerekmeden anlaşılabilecek ve ilgiyle okunacak bir biçimde aktaran kitaplar bulacaksınız. Bu kitaplar çağdaş bilimin içeriğini, atomlardan yıldızların ve evrenin yapısına, dünyada hayatın başlangıcından, canlı hücrelerin nasıl işlediğine, görecelik kuramı ve kuantum mekaniğinden kalıtıma ve evrime değin pek çok konuda yeni buluşları ve günümüzde üzerinde çalışılan temel sorunları tanıtacak size. Bunun yanında bir uğraşı, bir meslek olarak bilimin nasıl yapıldığını, bilim adamlarının birbirinden çok farklı kişiliklerini, birbirleriyle ilişkilerini ve bu çeşitliliğin ötesindeki ortak yanlarını, bir başka deyişle doğa bilimlerinin yöntemini de izleyeceksiniz. Dizide belli bilim dallarını tanıtan kitapların yanısıra çağdaş bilimin niteliğini ve gelişimini konu alan yapıtlara da yer vereceğiz.

Teknoloji, çağımızda her insanı şu veya bu şekilde etkiliyor, herkesin günlük yaşantısına giriyor. Bilimsel buluşlar teknolojinin gelişmesine ve değişmesine yol açan bilgiyi üretirken teknolojik gelişme de yeni deney ve gözlem araçları üreterek bilimin gelişmesine katkıda bulunuyor. Bilimin tekno-

loji ile olan sıkı ilişkisi çağdaş toplumda bilime karşı duyulan ilgiyi yaygınlaştırıyor ve bir ölçüde kaçınılmaz kılıyor.

Öte yandan bilimin her dalı teknoloji üretmiyor. Temel bilim görünürde hiç bir uygulama alanı olmayan konulara da eğiliyor. Bilim tarihinin bize gösterdiği gibi başlangıçta uygulaması görünmeyen sonuçlar hiç beklenmedik bir zamanda, bambaşka bir bağlamda yararlı olabiliyor. Bunun ötesinde, insanın doğaya açılışı, doğayı ve evreni tanıması olarak bilimin tüm dallarının paylaştığı bir bütünlüğü var. En çarpıcı örnekleri seçersek, evrenin nasıl başladığı yahut hayatın nasıl ortaya çıktığı çağdaş bilimin bilimsel anlamda (yani gözlemler, deneyler ve matematik modellerle) araştırdığı konular. Bu konuları daha iyi anlamanın herhangi bir pratik fayda, bir yeni teknoloji getirmesi hiç olası görünmüyor. Ama düşünsel önemleri açık. Doğa bilimlerindeki büyük fikirlerin insan aydınlığına düşünceye ve uygarlığa yaptıkları büyük katkıların yanında, bir de bilimin tümünün sürekli bir katkısı var. Bilimin temelinde yatan ve bilimin başarısıyla doğrulanan bir inanç bu: doğanın insandan bağımsız, nesnel kanunlara uyduğu, ama insanın da bu kanunları araştırdığı ölçüde öğrenebileceği inancı. Böylece doğa bilimleri sırf düşünsel açıdan da çağdaş kültürün çok önemli bir unsurunu oluşturuyor.

Teknolojik ve düşünsel öneminin yanısıra bilim bir de yaratıcı bir uğraş olarak, merak ve arayış içerdiği için, sanatın uyandırdığına benzer bir ilgi uyandırıyor. Kişi nasıl kendini sanatçı olmasa da bir sanat eseri karşısında ilgi ve heyecan duyabiliyorsa, bir bilim adamı olmaksızın da, bilimsel bir sorunu ve bunun çözümünü zevkle okuyabiliyor.

Bilimdeki gelişmelerin bütün bu noktalardan kamuoyunda uyandırdığı ilgi toplumlar geliştikçe, değişim hızlandıkça artıyor. Popüler bilim kitapları, bu ilgiye cevap vermek için hızla çoğalan, gelişen ve çeşitlenen bir yayın türü. Bu tür yayınlar yal-

nızca gözlem ve deneye dayanan bilimsel araştırma bulgularını konu ediniyor. Popüler bilim yazarı bilimin uğraştığı sorunları çeşitli mesleklerdeki yetişkinlerden ortaokul öğrencilerine dek geniş bir okuyucu kütlesine ulaştırıyor. Ama bunu yaparken bilimin sonuçlarını eksik veya yanlış bir şekilde vermemeğe dikkat ediyor. Burada söz konusu olan yalnızca konuyu bilim adamlarının teknik dilinden gündelik dile aktarmak. Popüler bilimi bir yandan kısmen yukarda sözünü ettiğimiz ilgiden kaynaklanan, ama bilimin ötesinde düş ürünleri ve yazınsal öğeler içeren kurgu-bilim romanlarından, diğer yandan ve özellikle de bir doğruluk iddiası taşıyan fakat hiçbir ciddi bilimsel temele dayanmayan yıldız falı, uçan daireler, Bermuda şeytan üçgeni vs. gibi sahte-bilimden ayrı tutmak gerek.

Popüler bilim, yeni bir yazar türünü, popüler bilim yazarını da ortaya çıkardı: hem anlattığı bilim dalını iyi kavramış hem de bunu konunun dışındakilere ilginç ve akıcı bir biçimde anlatabilen, yani yazarlık yeteneği olan biri. Buradan her bilim adamının iyi bir popüler bilim yazarı olmayacağı sonucu çıkıyor. Popüler bilim yazarları arasında temel uğraşı olan bilimsel araştırmanın yanısıra konusunu halka anlatmayı da üstlenen (ve becerebilen) bilim adamları olduğu gibi bilim adamı olmayan profesyonel yazarlar da var. Bizim sunduğumuz yazarlar arasında her iki türün temsilcilerini de bulacaksınız. Dizideki her kitabın, bir popüler bilim kitabı olarak seçkin olmasını, içeriğinin güncelliğini ve ilginçliğini göz önünde tuttuk. Kitabın orijinali ile Türkçe çevirinin yayını arasında konuda önemli gelişmeler olmuşsa bunları çeviride dipnotlarla belirtip açıkladık.

Bu kitaplar, her birinde farklı yönlerden ve farklı ölçülerde, göreceğiniz gibi, bilimle birlikte bilimi yapanları, bilim adamlarını da tanıtıyor size. Bilimin yaygınlaşması ile sayıları çok artan bu insanların başka insanlardan mesleklerinden öte bir ay-

rılıkları olmadığını, kişi olarak hepsinin birbirine benzemediğini, yani beyaz önlüklü laboratuvar robotları olmadıklarını göreceksiniz.

Ülkemizde de bilime artan bir ilgi olduğu görüşündeyiz. Hızlı değişen ve gelişen bir toplumda gerek teknolojiye, gerek doğaya dönük ilgi ve merakın artması şaşılacak birşey değil. Değişimin kaynakları, yönü, olumlu ve olumsuz tarafları nasıl olursa olsun Türk okurlarının da bir yandan teknoloji ile diğer yandan dünya ile temasının arttığı, toplum içinde teknik işlerin, iş bölümünün, hızla çeşitlendiği görülüyor. Bu çerçevede ülkemizde de bilimin çeşitli dallarında araştırmalar yapıldığını belirtmek isteriz. Güncel konularda, bilimin yeni sınırlarında ve uluslararası bilim toplumunun bir parçası olarak çalışan bilim adamlarımız gelişmiş uluslardaki kadar kalabalık değiller ama, sayıca örneğin 30 yıl önceki araştırıcı kadromuzdan kıyaslanamayacak kadar fazlalar. Henüz popüler bilim alanında özgün Türkçe yapıtlar yok, çünkü bunun olması için bilimsel araştırmanın iyice kurumlaşması, araştırmacı kadrolarının gayretlerini esas uğraşın dışına taşırıp popüler bilim işlevine de katkıda bulunabilecek genişliğe ulaşması gerekir. Ancak hem ülkemizde yapılan bilimsel ve teknik araştırma ve yayınların artışı, hem de kamuoyunda bilime karşı artan ilgi giderek ülkemizde bilimsel araştırmanın organik gelişiminin bu düzeye ulaşacağını düşündürüyor. Dizimizi bu ilgiye bir pencere, bir yeni ufuk açmak umuduyla sunuyoruz.

Mehmet Ali Alpar
Reşit Canbeyli

NE DENLİ UZAK, NE DENLİ BÜYÜK, NE DENLİ SICAK

Şakıyan güneş, yarışır her zamanki gibi
Kardeş gökcisimlerinin şarkılarıyla
ve yürür çevresinde o yazgılı çemberin
kulaklarımızda gümbürdeye gümbürdeye.

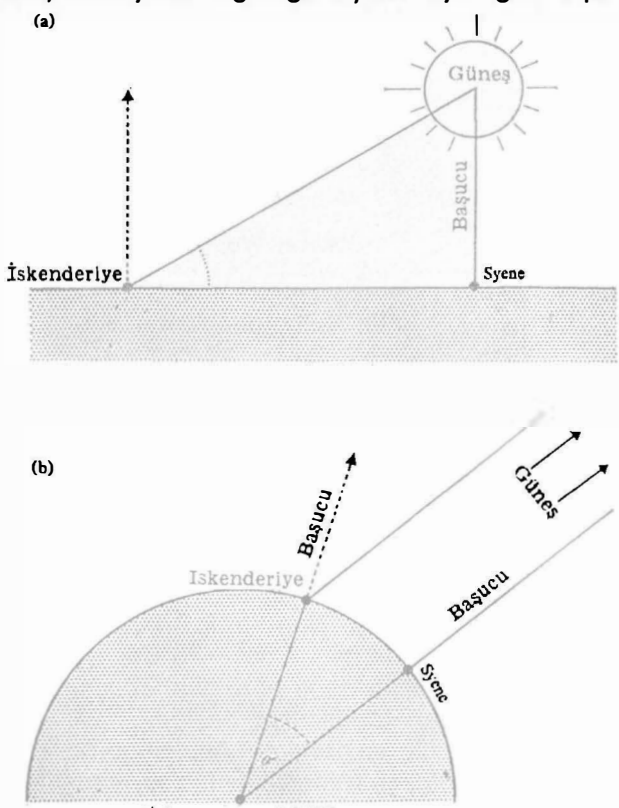
- Johann Wolfgang von Goethe

İlk Bulgular

Doğaya tapan ilkel insanlar için Güneş, gündüzleri onlara ışık ve sıcaklık veren ve ancak geceleri, gizli, gizemli geçitlerin içinden doğu ufuklarından batı ufuklarına yaptığı yolculuk boyunca kendilerini terkeden en güçlü ve yardımsever tanrıydı. Güneş tanrısına farklı insanlar birçok farklı adlar vermişlerdi. Mısırlılar için o Amon-Ra, Yunanlılar için Phoebus-Apollo, Slavlar içinse Bog-Yarılo (parlaklık tanrısı) idi. Ama binlerce yıl önce bu doğa olgusu için daha akılcı ve daha az dinsel açıklamaları savunan sesler konuşmaya başladı.

M.Ö. 434 yılı civarında Anaksagoras adlı Yunanlı bir filozof Güneşin yalnızca, yer yüzeyinin yaklaşık 4,000 mil (yaklaşık 6400 km) üstünde havada yüzen, yaklaşık Peloponez büyüklüğünde bir ateş topu olduğunu önermişti. Bu sonuca yol açan tartışmaları, yanlış olmasına karşın olaylara dayanması açısından oldukça mantıklıydı. Yukarı Nil vadisine giden yolcu-

lardan, şimdi Asuan barajının olduğu bölgeye yakın bir yerde, Syene kentinde, yaz gündönümünde öğle Güneşinin tam tepede olduğunu, böylece düşey cisimlerin hiç gölgesi olmadığını duymuştu. Öte yandan Nil deltasında (daha sonraları İskenderiye kentinin kurulduğu bölge) Syene'nin yaklaşık 5 000 Mısır Stadionu (800 km.) kuzeyinde öğle güneşinin aynı gün tepe



Şekil 1. Güneşin öğle zamanı iskenderiye ve Syene'deki konumunun iki farklı yorumu:
a) Güneşin Dünyadan uzaklığını kestirmekte kullanılan düz - Dünya hipotezi;
b) Dünyanın yarıçapının tahmini hesabında kullanılan küresel - Dünya hipotezi.

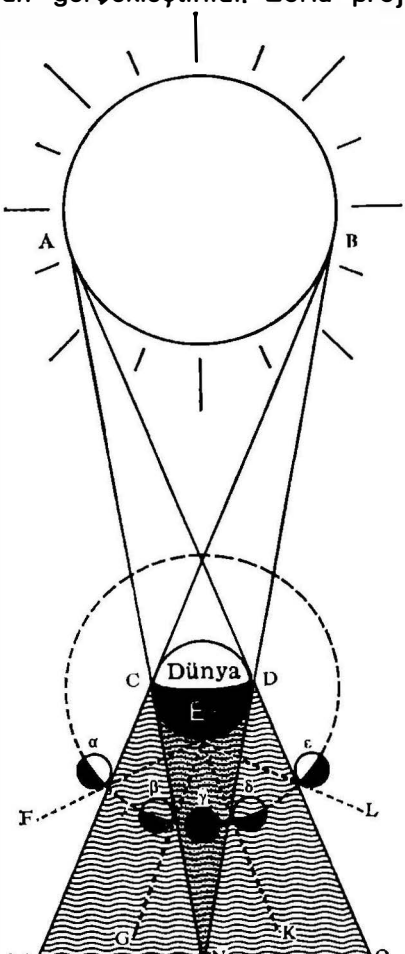
noktasının 7 derece ötesinden geçtiğini biliyordu. Dünyanın düz olduğuna inanarak Anaksagoras Şekil 1a'da gösterilen şekli çizdi. Bu şekle göre Güneşin yeryüzünden yüksekliğini yaklaşık 6 000 km. olarak buldu. Bu uzaklığı ve Güneşin görünürdeki açısal çapını (yaklaşık 0,5 derece) kullanarak Anaksagoras Yunanistan'ın güney yarımadasının büyüklüğünü kabaca hesapladı. Kabul edilmiş dinsel dogmaları gözden düşürmeğe çalışan dine karşı biri olmak suçuyla tutuklandı ve kenti olan Atina'dan ebediyen kovuldu.

Anaksagoras'ın matematiksel tartışmalarının doğru olmasına karşın yeryüzünün düz olduğu konusundaki varsayımları yanlıştı ve öne sürdüğü fikirler, ikiyüz yıl sonra, yaz gündönümünde İskenderiye ile Syene'de öğle Güneşinin konumları arasındaki farkı Güneşin bize yakınlığına değil yeryüzünün eğriliğine bağlayan Eratosthenes adlı bir başka Yunanlı filozof tarafından altüst edildi. Güneşin, yeryüzüne gelen ışınlarının birbirlerine hemen hemen paralel olacağı kadar uzaklıkta olduğunu varsayarak Eratosthenes bir başka geometrik şema çizdi (Şekil 1b). Bu şema dünyanın yaklaşık 6 000 km. yarıçapında bir küre olduğu sonucuna yol açıyordu ve bu değer bugünkü değer olan 6 376 km.'ye şaşılacak kadar yakındı.

Eratosthenes'in Dünya'nın yarıçapı için bulduğu değerin Anaxagoras tarafından düz dünya yüzeyinden Güneşin yüksekliği için bulduğu değere eşit olmasının nedeni, Şekil 1a'daki θ açısının Şekil 1b'deki θ' açısına eşit olmasına dikkat edildiğinde kolaylıkla anlaşılabilir. Bu da, temellerindeki fiziksel varsayımlara dayanarak matematik formüllerinin nasıl tamamen yanlış ya da tamamen doğru sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir.

Anaxagoras'ın Güneşin uzaklığı olduğuna

inandığı şeyin aslında Dünya'nın yarıçapı olduğunun anlaşılmasından sonra Güneşin gerçekte ne kadar uzakta olduğunu bulmak için yeni çabalara girişildi. Bu yönde cesur bir atılım, çoğu kez çağdaş gökbiliminin babası olarak kabul edilen Hipparchus (M.Ö. 160 - 125) tarafından gerçekleştirildi. Zorlu projesi hem



ŞEKİL 2. Dünyadan aya ve güneşe uzaklığı hesaplamak için Hipparchus'un kullandığı yöntem

Ayın hem de Güneşin uzaklıklarının aynı anda belirlenmesini içermektedir ve şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Grafiksel nedenlerden dolayı bu şemada tüm açılar fazlasıyla abartılmış, tüm uzaklıklar ise kısaltılmıştır. Bu şekil Ayın, Dünyanın boşluğa düşen konik gölgesine girmesinin oluşturduğu ay tutulmasının birbirini izleyen aşamalarını göstermektedir. Koyu yakınsak CDN konisi Dünyanın oluşturduğu gölgedir **(umbra)**. Koninin içindeki herhangi bir noktadan hiçbir güneş ışını görülemez ve bu zamanda Ayın yüzeyine gidecek olan astronotlar Güneşin Dünya tarafından tamamen örtülmesini gözleyeceklerdir. Daha açık renkteki ıraksak M C D O konisi bir yarıgölgedir **(penumbra)** ve içindeki herhangi bir noktadan Aydaki astronotlar yalnızca kısmî bir güneş tutulması gözleyeceklerdir. Hipparchus, merkezi bir ay tutulması sırasında Ayın yarı gölgeye girdiği (F'de) ilk an ile yüzeyinin yeniden Güneşin ışınları tarafından aydınlatıldığı (L'de)'ana kadar yaklaşık on saat geçtiğini biliyordu. Ay gökte bir saatteki görünürdeki açısal çapına (yaklaşık 0,5 derece) yakın bir hızda hareket ettiğine göre F E L açısı 5 derecedir. Öte yandan Ayın tamamen kararması (G'den K'ya kadar) yalnızca 5 1/2 saat sürer ve bu da G E K açısının 2 2/3 derece olduğunu gösterir. Güneşin Dünya'dan görülen açısal çapını temsil etmelerinden dolayı A C B ve A D B açıları da bilinmektedir ve bu nedenle her biri 0,5 derecedir. Bu açılar ve de C D uzaklığı (Dünyanın çapı) bilinerek Ayın ve Güneşin uzaklıkları basit geometrik hesaplamalarla bulunabilir.

Bunu yapmak için Ayın uzaklığı için mantıklı bir değer varsayılır ve dairesel yörüngesi çizilir. Bu yörüngenin α, β, γ, δ, ve ε noktalarının E F, E G, E K ve El çizgileriyle ke-

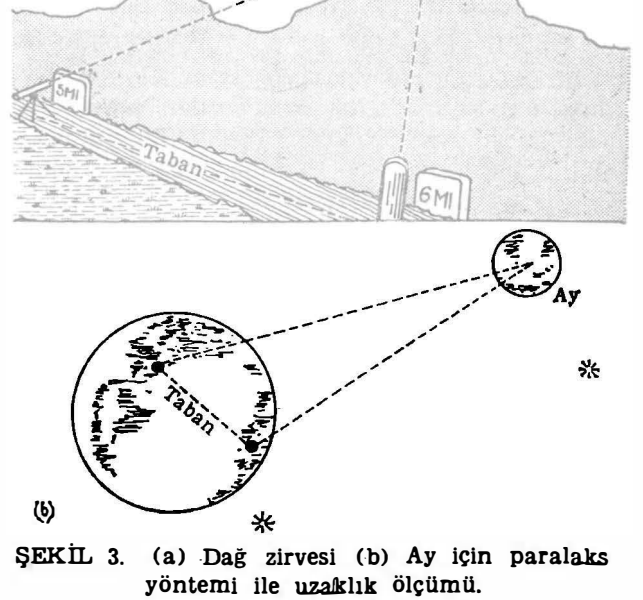
sişmelerinden, açıların yukarıda verilen sayısal değerlerine göre Yer küresinin yüzeyine MC, NC, ND ve OD teğetleri çizilebilir. Bunların kesişmeleri ile A ve B, Güneşin konumunu ve büyüklüğünü belirleyecektir. Ancak, Ayın uzaklığının gelişigüzel varsayılan değeri için ACB ve ADB açıları olmaları gerektiği gibi 0,5 dereceye eşit çıkmayabilir. Bu nedenle bir yakıştırma elde etmek için Ayın varsayılan uzaklığının uygunluk sağlanıncaya dek değiştirilmesi gereklidir.

Bu yöntemi kullanarak Hipparchus, Dünyanın yarıçapı r ise, Ayın uzaklığının 67r olduğunu bulmuştur —bu değer 60,267r olarak verilen bugünkü kesin değer oldukça yakındır. Ancak Güneşin uzaklığını tahmin edebilmekte daha az başarılı olmuştur. Bunun nedeni de Güneş çok daha uzakta olduğu için MC ve ND çizgi çiftleri ile NC ve OD çizgi çiftlerinin hemen hemen paralel olması, dolayısıyla da A ile B'nin kesişme noktalarını çok belirsiz yapmasıdır. Bu incelemeye dayanarak Hipparchus'un varabileceği tek sonuç Güneşin Ay'dan en azından 37 kez daha uzakta, çapının ise Dünya'nın çapından en az 12 kez daha büyük olduğuydu. Gerçi bu rakamlar doğru değerlerden çok daha küçüktü ama onyediyüzyıl boyunca değişmeden kaldılar ve doğru değerler yalnızca iki yüzyıl önce, teleskopun bulunması ve hassas gökbilim aletlerinin gelişmesi ile elde edildi.

Paralaks Yöntemi

Güneş sistemi içinde uzaklık ölçümleri için çağdaş gökbiliminde kullanılan standart yöntem gök cisimlerinin **paralaktik yer değiştirmeleri,** ya da sadece bunların **paralaksı** diye adlandırılan gözlemlere dayanır. Paralaks kavramını anlayabilmenin en kolay şekli bir dikiş

iğnesine iplik geçirmektir. Eğer bu işi bir gözünüz kapalı yapmaya çalışırsanız, bunu beceremiyeceğinizi hemen farkedeceksiniz —ipliği iğnenin ya çok ardına ya da çok önüne getireceksiniz— ve işlem ancak bir şans eseri başarıya ulaşacaktır. Ama eğer, bir çok terzinin de doğrulayabileceği gibi, iki gözünüzü kullanırsanız, bu işi kolaylıkla yapalabilirsiniz. Bir şeye iki gözle yakından bakarken otomatik olarak her iki gözü de cisme yöneltir, böylece geçici olarak şaşı olursunuz. Cisim ne denli yakınsa gözleriniz birbirine o denli yaklaşacak ve böylesine bir uyumdan doğan adele hissi uzaklık hakkında size oldukça iyi bir fikir verecektir. Eğer, iki gözle bakacağınız yerde, önce bir gözünüzü sonra da diğerini kaparsanız, uzaktaki fona (örneğin odanın



ŞEKİL 3. (a) Dağ zirvesi (b) Ay için paralaks yöntemi ile uzaklık ölçümü.

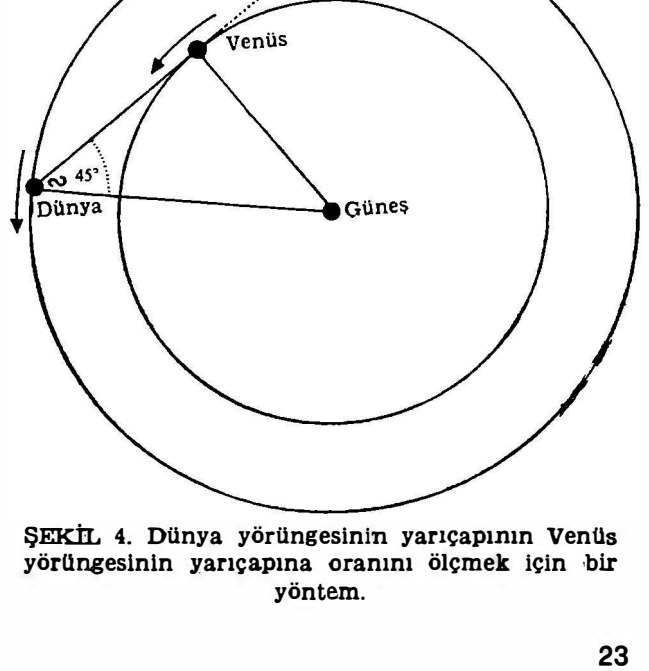
öbür tarafındaki bir pencere) göre cismin konumu (bu durumda iğne) değişiyormuş gibi görünecektir: sol göz iğneyi pencereye göre daha sağda görürken sağ göz onu daha solda görür. Bu açısal yer değiştirmeye **paralaks** denir ve cismin, gözlemcinin burnunun ucundan uzaklığına bağlıdır. Paralaktik yer değiştirme uzaklıkla azalır ve iki-gözle ikiligörme kol uzaklığından öteye geçmez.

Bu yöntemle daha büyük uzaklıklar ölçmek için iki göz birbirinden çok uzağa yerleştirilmelidir. Bu da pratikte birbirlerinden oldukça uzak noktalara iki teodolit yerleştirilip iki gözlemciden, yalnızca bir göz kullanarak, bu aygıttan uzaktaki bir cisme, örneğin yakınlardaki bir tepedeki bir işarete (şekil 3a) bakmaları istenerek yapılabilir. Her iki teodolitin üzerindeki açıölçeğinde yapılacak okumalardan paralaktik yer değiştirme, böylece de cismin uzaklığı hesaplanabilir.

Gökbilimsel paralaks ölçümleri için uzak fon rolünü gerçekten de çok uzakta olan yıldızlar oynarlar. Böylece, örneğin, Dünya üzerinde birbirinden uzak iki yerden aynı anda çekilmiş iki Ay fotoğrafı (Şekil 3b) arkadaki yıldız fonuna göre ay diskinde gözle görülebilir bir yerdeğiştirme gösterirler. Dünya ekvatorunun iki karşı noktasında ('ekvatoral paralaks') iki gözlem yapıldığında Ayın yıldızlara göre farklı konumunun 1 derece, 24 dakika, 5 saniye olduğu bulunmuştur ki bu da en yakın kozmik komşumuza uzaklığımızın Dünya'nın ekvator çapının 30,14 katı, yani 384 403 kilometre ya da 238 857 mil olduğu sonucuna yol açar.

Ancak, iki gözlem dünya çevresinin iki karşı noktasından yapılmış olsa bile Güneşin paralaktik yer değiştirmesi çok küçüktür ve açıların ölçülmesindeki olası gözlem hataları si-

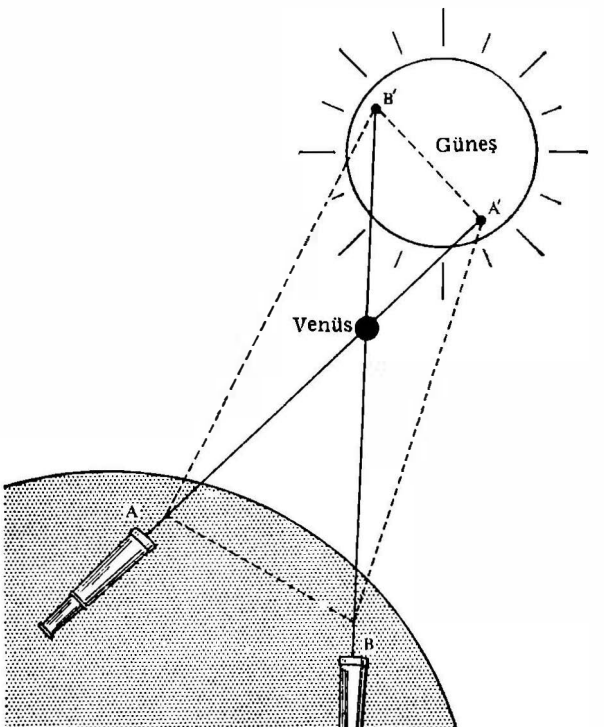
nırlarına yakındır. Bu nedenle, usta gökbilimciler bu durumda Dünya ile Güneş arasında bulunan bazı 'atlama taşları'nı kullanmayı tercih ederler. Bu iş için en elverişli atlama taşlarından biri, zaman zaman, Dünya ile Güneşi ayıran uzaklığa göre Dünya'ya epeyce yaklaşan Venüs gezegenidir. Dünya ile Venüs'ün Güneşe uzaklıklarının oranı, gök küresinde Venüsün Güneşe olan açısal uzaklığının yaklaşık 45 derecelik bir açıyı, ya da daha kesin olarak, 43 derece, 37 dakika, 30 saniyeyi hiçbir zaman geçmemesi olgusundan kolaylıkla çıkartılabilir. Güzel Venüs'ün parlak Apollo'dan bu en büyük açısal uzaklığı görünüşte Şekil 4'de gösterilen duruma karşılık gelmektedir. Burada DV çizgisi Venüs'ün yörüngesine teğettir, yani GV çizgisine diktir. Trigonomet-



ŞEKİL 4. Dünya yörüngesinin yarıçapının Venüs yörüngesinin yarıçapına oranını ölçmek için bir yöntem.

rik cetveller bize bu durumda GV uzaklığının, GD uzaklığının 0,7233 kadarı olduğunu söylemektedir. Böylece Venüs, yörüngesel hareketi sırasında Dünya ile Güneş arasından geçtiğinde bizden uzaklığının, Güneş'e olan uzaklığımızın 1 — 0,7233 = 0,2767 kadarı olduğu sonucuna varabiliriz.

Eğer güneş sistemindeki tüm geezgenler aynı düzlemde hareket etselerdi, Venüs'ü her 19,2 ayda bir Güneş diskinin tam karşısından geçerken görecektik. Ancak gezegen yörüngelerindeki eğim farklılıklarından dolayı Venüs'ün, Güneş'in yüzeyinden bu «geçiş»leri oldukça nadir olaylardır. Son iki geçiş 1874 ve 1882'de olmuştur ve 8 Haziran 2004 ve 6 Haziran 2012'ye dek başka hiçbir geçiş olmayacaktır. Venüs'ün 1752'deki geçişi sırasında Fransız gökbilimcisi Nicolas Louis de Lacaille, Dünya yüzeyindeki iki farklı konumdan görüldüğü biçimiyle Venüs'ün Güneş diski üzerindeki izdüşümünü gözleyerek onu ilk kez bir atlama taşı olarak kullanmıştır. Bu durum, tüm açıların fazlasıyla abartıldığı Şekil 5'de şematik olarak gösterilmiştir. (Yeryüzü çevresinin çapı üzerindeki iki karşı noktadan gözleneceği şekilde Venüs'ün gerçek yer değiştirmesi yalnızca 20 açısal saniye, yani görünür güneş çapının yüzde 1'i kadar olacaktı). B'AA' açısını gözlemlerden saptayarak ve AB'V üçgeninde B'V ve AB' kenarlarının oranlarının Dünyaninkine göre Venüs'ün Güneşten uzaklığına (yani 0,7233) eşit olduğuna dikkat edilerek Dünyanın Güneşe uzaklığı kolaylıkla hesaplanabilir. Lacaille bu yöntemi kullanarak Hipparchus'un ilk değerini yaklaşık bir 10 faktörü kadar geçerek Güneşe uzaklığın ilk mantıklı yaklaşık değerini buldu. Kimi zaman güneş uzaklığının altıda biri kadar bize yaklaşan asteroid Eros bir atlama taşı olarak kullanılarak



ŞEKİL 5. Dünyanın yüzeyi üzerinde farklı konumlardan gözlendiği şekliyle güneşin yüzeyi üstünde Venüsün izdüşümünün paralaktik kayması.

Güneşin uzaklığı için daha kesin değerler elde edilebilir. Ortalama güneş paralaksının doğru değeri şimdi 8,80 açısal saniye (8,80") olarak bilinmektedir ve bu ortalama 149 540 000 ± 17,000 kilometreye karşılık gelmektedir. Bu uzaklık ve Güneş diskinin görünür açısal çapı (31'59,3") kullanılarak Güneşin çapı 1 390 600 kilometre ya da Dünya çapının 109,1 katı olarak bulunur.

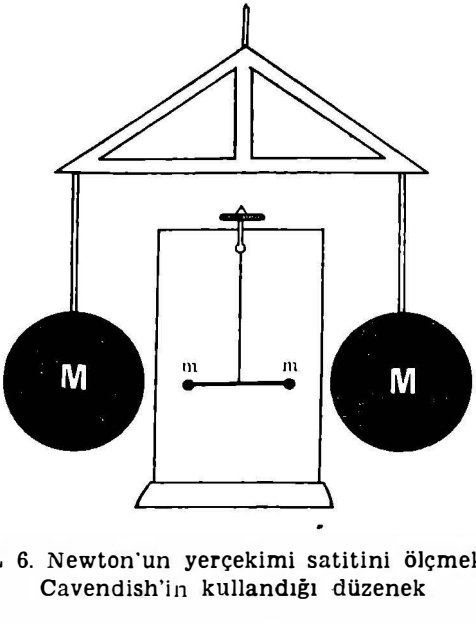
Kütle Belirlenmesi

Newton'un evrensel çekim yasasına göre birbirlerinden R uzaklıkta M_1 ve M_2 kütleli iki cisim arasındaki F çekici kuvvet şu formülle verilir:

$$F = G \frac{M_1 \times M_2}{R^2}$$

Burada G, kütle çekimi (Gravitasyon) sabiti diye adlandırılan büyüklüktür. Çekim sabitinin ilk ölçümleri, Şekil 6'da şematik olarak gösterilen bir düzeneği kullanan İngiliz fizikçi Henry Cavendish (1731-1810) tarafından yapılmıştı. Her ikisi de m kütleli iki küçük küre, çok ince bir iplikle asılmış olan ince bir çubuğun iki ucuna yerleştirilmiştir. Bunların yakınına da, düşey bir eksen üstünde haraket ettirilebilen, ikisi de M kütleli iki ağır küre yerleştirilmiştir. Baştaki durumda iki ağır küreyi birleştiren çizgi, iki hafif küreyi tutan asılı çubuğun denge durumu ile çakışır. Eğer, ağır kütlelerin desteği belli bir açı kadar döndürülürse, m ile M kütleleri arasındaki çekim kuvvetlerinin etkisi altında asılı olan çubuk çok yavaş dönecek, asma ipliğini bükecek ve çekim kuvvetlerinin asma ipliğinin dönme momenti ile dengelendiği yeni bir konum alacaktır. Artık iyi donanımlı herhangi bir fizik dersanesinde standart gösteri aygıtı olan bu düzenek Cavendish'in iki cisim arasındaki kütle çekiminin varlığını basit bir laboratuvar deneyi ile göstermesini sağlamakla kalmadı, çekim sabiti G'nin sayısal değerini, uzunluk için santimetre, kütle için gram ve zaman için saniye birimleri ile 6,664 x 10^{-8} (*) olarak belirlemesini de sağladı.

G'nin değerinin bilinmesiyle, bir cismin kütlesi, Dünyanın cisim üzerine yaptığı çekim kuvveti (yani ağırlığı) ve dünya merkezinden uzaklığı (yani Dünya'nın yarıçapı) Newton formü-



ŞEKİL 6. Newton'un yerçekimi satitini ölçmek için Cavendish'in kullandığı düzenek

lünde yerine konularak Dünya'nın kütlesi kolaylıkla hesaplanabilir. Bu da Dünya'nın kütlesi için (5,966 ± 0.001) 10^{27} gm. ve suya göre ortalama yoğunluğu için 5,52 değerlerinin elde edilmesine yol açar.

Güneşin kütlesini bulmak için, Dünyanın Güneş etrafındaki yörüngesel hareketi sırasında dönme hareketinden ileri gelen merkezkaç kuvvetin iki cisim arasındaki çekim kuvvetine

( ) Çok büyük ya da çok küçük sayıları yazarken on sayısının kuvvetlerini göstermek için üstel ifadeler kullanılır. Buna göre 3 X 10^4 = 3 X 10 000 (yani dört sıfır) ya da 30 000; ve 6 X 10^6 = 6 X 1 000 000 (yani altı sıfır) ya da 6 000 000 olur. Öte yandan 6 X 10^{-6} = 6 X 0,000001 (yani altı ondalık yer) ya da 0,000006 olur. Bu kitapta kullanılan «milyar» bin milyon, ya da 1 000 000 000 ya da 10^9 demektir. (İngiltere'de ise 1 milyar 1 milyon milyon, yani 10^{12} demektir.)

eşit olduğunu hatırlamak gereklidir. Merkezkaç kuvvet hesaplanarak (ki bu Dünyanın kütlesi ile hızının karesinin çarpımının Güneşe uzaklığına bölünmesine eşittir) ve Newton formülünde yerine konarak güneşin kütlesi $1{,}983 \times 10^{30}$, yani Dünyanın kütlesinin 331 950 katı olarak bulunur. Bu kütle değerini Güneşin hacmine bölersek Güneşin ortalama yoğunluğunu, suya göre, 1,41 olarak buluruz. Bu rakamın Güneş yoğunluğunun yalnızca **ortalama** değerini ifade ettiği unutulmamalıdır. Daha sonra göreceğimiz gibi, Güneşi oluşturan maddenin yoğunluğu yüzeye alan uzaklığı ile değişir; dış kısımlarda atmosferik havanın yoğunluğundan daha az olan yoğunluğu iç kısımlarda su yoğunluğunun birkaçyüz katına çıkar.

Güneşin Yüzey Sıcaklığı

Güneşin yüzeyinin çok sıcak olması gerektiği açıktır ama bu sıcaklığın kesin değeri nasıl belirlenebilir? Bunun bir yolu Güneşin yaydığı ışık ve ısıyı sıcaklığın isteğe göre değiştirilebildiği laboratuar koşulları altındaki sıcak cisimlerinkiyle karşılaştırmaktır. Sıcaklıkları suyun kaynama noktasının (100°C) altında olan ev ısıtma aygıtlarının önemli ölçüde ısı yaydıklarını ama hiçbir ışık yaymadıklarını biliyoruz. 600°C ilâ 700°C arasındaki elektrikli mutfak ısıtma aygıtları daha çok ısı neşrederler ve donuk kırmızı bir ışıkla parıldarlar. 2 000°C'daki elektrik ampulleri filamanları, 3 000° ve 4 000°C arasındaki bir sıcaklıkta çalışan bir elektrikli ark lambasıyla karşılaştırıldıklarında yine biraz sarımsı görünen, parlak bir beyaz ışık yayarlar. Ark lambası önemli miktarda mor ötesi ışınlar da yayar.

İlk kez Isaac Newton tarafından gösterildiği gibi, beyaz ışık, bir cam prizmadan geçiri-

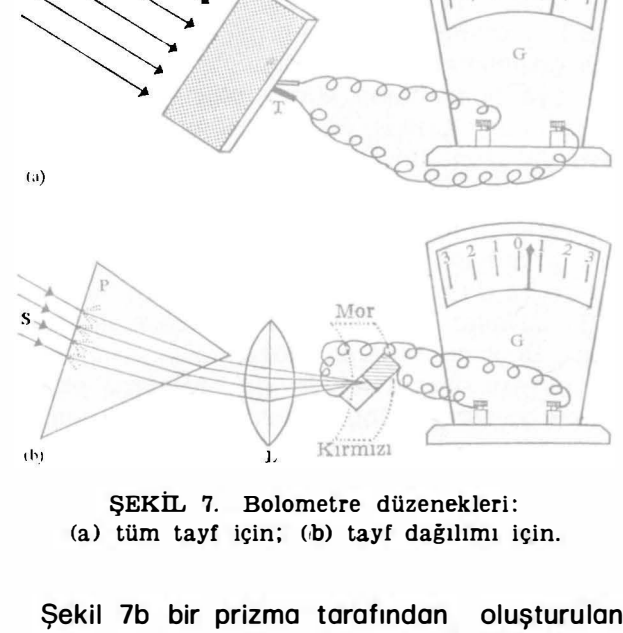
lerek ayrıştırılabilen çeşitli gökkuşağı renklerinin bir karışımından oluşmaktadır ve farklı renkler, yayılan ışımanın farklı dalga boylarına karşılık gelirler. Gözümüz, yalnızca gökkuşağının iki ucundaki **mor** ve **kırmızı**ya karşı gelen 0,4 ile 0,7 mikron (*) arasındaki dar bir dalga boyu aralığına karşı duyarlıdır. Görülebilen tayfın mor ucunun ötesinde, göze görünmeyen ama fotoğraf plakalarının karartılması ve insan teninin koyulaşması gibi çeşitli fotokimyasal tepkimelerin oluşturulmasında çok etkin olan daha kısa dalga boyları, **mor-ötesi** ışıma bölgesi bulunur. Kısalan dalga boyları yönünde ilerlemeye devam edersek radyoaktif maddeler tarafından yayılan X-ışınları ve gama-ışınları ile karşılaşırız. Görülebilen tayfın öteki tarafında, çoğunlukla ısı etkilerinden dolayı gözlenebilen ve bu nedenle de «ısı ışıması» diye adlandırılan **kırmızı-ötesi** ışıma bölgesi bulunur. Kırmızı ötesi bandın ötesinde de kısa ve uzun radyo dalgaları bölgesi vardır.

Mor-ötesi, görünür ve kırmızı-ötesi ışımalar arasındaki nicel farklılıklar yalnızca dalga boyları arasındaki nicel farklılıklardan gelmektedir ve bu da ışıma ile bu ışımanın üzerine düştüğü cisimler arasında farklı etkileşmelere yol açar. Böylece, örneğin, gözümüzün kırmızı ışığa duyarlı olması karşısında fotoğraf plakalarının olmaması (bu nedenle karanlık odalarda kırmızı ışık kullanılır) ya da fotoğraf plakalarının gözle görülmeyen mor-ötesi ışımaya karşı duyarlı olmaları olguları tamamen göz retinası ile fotoğrafik emülsiyonun kimyasal yapıları arasındaki farklılıklardan dolayıdır.

Belli bir dalga boyundaki ışımanın tek aslî niteliği taşıdığı enerji miktarıdır ve bu da tüm

(*) μ işareti ile gösterilen bir mikron bir milimetrenin binde biri, ya da 10^{-4} santimetre kadardır.

enerji ısıya dönüştürülüp sonuçta meydana gelen sıcaklık artışı ölçülerek belirlenebilir. Bu ölçüm, gelen ışımanın küçük bir metal tabaka tarafından neredeyse yüzde yüz soğrulduğu **bolometre** diye adlandırılan özel aygıtlarla yapılır. Tabakanın ısınması, sıcaklıktaki artışla orantılı bir elektrik akımı yaratan duyarlı sıcaklık pilleri ile (termoçift, termoeleman) ölçülür. Şekil 7'de gelen toplam ışıma miktarının ölçülmesi için kullanılan bir bolometrenin şeması verilmiştir. Burada S ışıma kaynağı, P kararan soğurma plakası, T ısıya duyarlı pil, G de elektrik akımını ölçen galvanometredir.



ŞEKİL 7. Bolometre düzenekleri:
(a) tüm tayf için; (b) tayf dağılımı için.

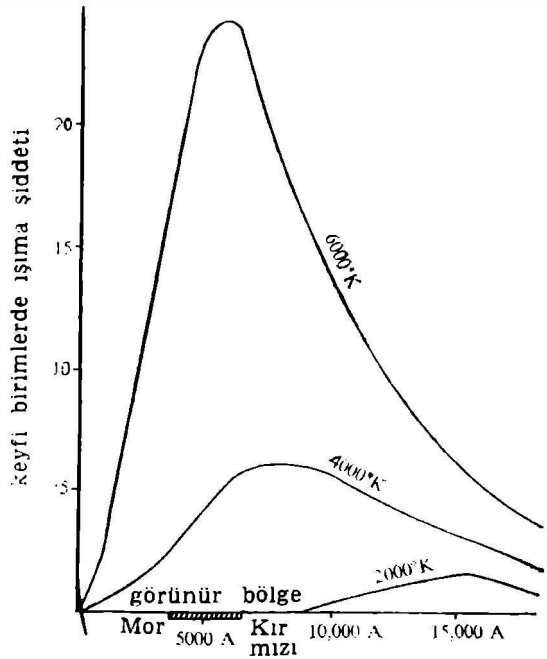
Şekil 7b bir prizma tarafından oluşturulan bir tayfdaki enerji dağılımının ölçülmesi için kullanılan geliştirilmiş bir bolometre göstermektedir. Buradaki fark P levhasının yerine, tayfın farklı bölgelerine yerleştirilebilen, böy-

bir sıcaklık pili (termofilaman) konulmuş olmasıdır.

Şekil 8'deki eğriler üç farklı sıcaklıktaki sıcak cisimler tarafından yayılan tayflardaki enerji dağılımını göstermektedir. Bu tür çalışmalar, yayılan ışımanın, yayan cismin sıcaklığına bağımlılığı ile ilgili iki önemli yasanın oluşturulmasına yol açmıştır.

1. Stefan-Boltzmann Yasası; (*) **sıcak bir cisim tarafından birim zamanda birim yüzeye yayılan toplam enerji miktarı mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır. (**)**

Toplam enerji miktarını kalori (bir gram suyun sıcaklığını bir derece santigrat yükselt-



ŞEKİL 8. Değişik sıcaklıktaki üç cisim tarafından salınan tayflarda ışıma şiddetinin dalgaboyuna göre değişimi.

lece de farklı dalga boyları tarafından taşınan enerji miktarını ölçen **karartılmış** tel biçiminde mek için gerekli enerji miktarı), sıcaklığı da derece Kelvin (-273°C'dan başlayan derece) cinsinden ifade edersek, bu yasa şöyle yazılabilir:

$$E = \sigma T^4$$

Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti olarak bilinir ve E, saniyedeki kalori olarak ifade edildiğinde σ sayısal olarak $1{,}34 \times 10^{-12}$'ye eşittir.

2. Wien yasası: (***) **belli bir T sıcaklığındaki sıcak bir cisim tarafından yayılan bir tayfdaki enbüyük şiddeti taşıyan dalgaboyu bu sıcaklıkla ters orantılıdır.** Bu yasa şöyle yazılabilir:

$$T \quad W$$

Burada W sabiti 0,289 santimetre derece Kelvin'e eşittir.

Wien'in yasası, daha önce söylenen olguyu, yani sıcaklık arttıkça cisimlerin önce uzundalga kırmızı-ötesi ışıma, sonra kırmızı ışık, sonra beyaz ışık ve çok yüksek sıcaklıkta da mor ötesi ışıma yayacakları olgusunu yinelemektedir.

Bu yasaların her biri Güneşin yüzey sıcaklığını elde etmek için kullanılabilir. Eğer Stefan-Boltzmann yasasını kullanırsak birim yü-

(*) Deneysel olarak Alman fizikçi Joseph Stefan (1835 - 93) tarafından keşfedilmiş ve daha sonra yine bir Alman fizikçi Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) tarafından kuramsal olarak çıkartılmıştır.

(**) Mutlak sıcaklık, moleküllerin tüm termal / ısısal / hareketlerinin durduğu mutlak sıfır derecesinden (0° K = — 273°C) itibaren ölçülen sıcaklıklır.

(***) Alman fizikçi Wilhelm Wien (1864 - 1928) tarafından açık şekliyle ifade edilmiştir.

zeyinin saniyede yaydığı toplam enerjiyi bilmemiz gereklidir. Bu da, dünya atmosferinin sınırlarının ötesinde Güneş ışınlarına dik olarak yerleştirilecek bir santimetre karelik bir alana bir saniyede düşen gözlenen Güneş enerjisi miktarı üzerinden kolaylıkla elde edilebilir. Yakın zamana dek, uzaya roket gönderebilmemizden önce «Güneş sabiti» diye adlandırılan bu hesaplar, ölçümlerin yapılmak zorunda olduğu Dünya yüzeyine hiçbir zaman ulaşamayan, Dünya atmosferi tarafından yansıtılan ya da soğrulan Güneş ışıması yüzdesinin bilinmesini gerektiriyordu. Şimdi, Güneş ışımasının ilk şiddeti ile ulaşabildiği, atmosferin dış saçaklarının ötesine gönderilen ve üzerlerine düşen ısı miktarını ölçecek biçimde yapılmış olan duyarlı bolometreler sayesinden doğrudan ölçümler yapılabilmektedir. Dikkatli deneyler bu miktarın bir dakikada, bir santimetre kare başına 1,94 kaloriye ya da saniyede 0,032 kaloriye eşit olduğunu göstermektedir. İster ışık, ister ısı ya da herhangi bir tür ışın olsun, her türlü ışımanın şiddeti uzaklığın karesi ile azaldığına göre Güneş yüzeyinin bir santimetre karesinin, saniyede 0,032 kalori çarpı Dünyanın yörüngesinin yarıçapının Güneşin yarıçapına oranının karesi kadar ışıma yaptığı sonucuna varırız. Daha önce gördüğümüz gibi, Dünyanın Güneşe uzaklığı 149 450 000 kilometre, Güneşin yarıçapı ise 695 300 kilometredir. Böylece güneş yüzeyinin bir santimetre karesinin saniyede,

$$3{,}2 \times 10^{-2} \left[\frac{149\,450\,000}{695\,300}\right] = 1{,}5 \times 10^{3}$$

kalori yaydığını buluruz. Bu değeri Stefan-Boltzmann denkleminde yerine koyarsak Gü-

neşin yüzey sıcaklığı için yaklaşık 5 800 derece Kelvin değerini elde ederiz.

Wien'in formülünü kullanırsak Güneş tarafından yayılan toplam enerji miktarının değerini bilmemize gerek yoktur. Bu durumda yalnızca Güneş tayfındaki enerji dağılımını bilmek bizim için yeterlidir. Bir prizmanın oluşturduğu Güneş tayfı boyunca bolometre ile yapılacak dikkatli ölçümler enbüyük şiddetin tayfın bölgesinde, yaklaşık $0{,}48\ \mu = 4{,}8 \times 10^{-5}$cm dalga boyunda olduğunu göstermektedir Wien yasası ile Güneşin yüzey sıcaklığı için yaklaşık 6 000 derece Kelvin elde ederiz. Bu da daha önceki yöntemle elde edilen değerle oldukça iyi bir uyum içindedir.

Wien yasasına dayanan yöntem özellikle uzaklıkları ve yarıçapları bilinmeyen yıldızların yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi için pratiktir. Bir yıldızın tayfındaki tüm enerji dağılımı eğrisinin elde edilmesi yerine, iki farklı dalga boyunun şiddetlerinin oranını ölçmek tüm pratik amaçlar için yeterlidir. Çünkü bu oran yıldızın yüzey sıcaklığına kesin bir biçimde bağlıdır. Bunu ölçmenin alışılagelmiş yolu bir yıldızın, **görsel** gözlemle elde edilen göreli parlaklığını, **fotoğrafik** yöntemle elde edilen parlaklığı ile karşılaştırmaktır. Göz ençok sarı ışığa duyarlıyken, bir fotoğraf plakası ençok mavi ve mora karşı duyarlı olduğu için bu iki yöntemle elde edilen parlaklıkların oranı yıldızın yüzey sıcaklığının iyi bir göstergesidir. Bu oranın değeri nispeten daha soğuk, kırmızımsı yıldızlar için büyük, ışıkları mavi ve mor ışınlar açısından daha zengin olan kızgın, mavimsi yıldızlar için küçüktür. Pratikte bu oranın logaritması kullanılır ve buna **renk indeksi** denir. Böylece, örneğin, Betelgeuse adıyla bilinen, kırmızı bir yıldız olan Alpha Orionis'in renk indeksinin 2,3 olması yüzey sıcaklığının yalnızca 3 190°K ol-

duğunu gösterir. Öte yandan Achernar diye bilinen parlak mavi yıldız Alpha Eridani'nin renk indeksi -0,18 (*)dir. Bu da 15 000 derecelik bir sıcaklığı gösterir. Güneşin renk indeksi 0,65'dir ki bu da Güneşin sıcaklığı için daha önceki yöntemlerle elde edilen değerlere yaklaşık bir sonucun elde edilmesine yol açar.

Gerçi Güneşin yüzey sıcaklığı için tanımlanan her üç yöntemle elde edilen sonuçlar birbiriyle oldukça iyi bir uyum içindedir ama bir iki ondalık hane içindeki uyumlara alışık olan gökbilimciler ile fizikçileri tatmin etmekten uzaktır. Bu durumdaki farklılıkların nedeni gerek Stefan-Boltzmann, gerekse Wien formüllerinin, teknik olarak «kara cisimler» diye bilinen ideal ışıma kaynakları için doğru olması, Güneş yüzeyi ile laboratuarlarda kullanılan ısı yayıcılarının pek ideal kaynaklar olmamasıdır. Güneşin ve öteki yıldızların yüzey sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan en iyi yöntem çok daha karmaşık olan tayf sınıflaması yöntemidir ve ayrıntılı olarak 3. Bölümde ele alınacaktır.

Güneşte Enerji Üretimi

Diyelim ki birine doğum gününde, Güneşin içinde üretilen oranda ısı üretiyor diye reklamı yapılan bir elektrikli çaydanlık hediye ediliyor. Suyun kaynaması ne kadar sürecektir? Birçok okuyucu bunun çok kısa bir zaman olduğunu, belki de bir saniyenin ihmal edilebilir bir bölümü kadar olacağını söylecektir. Ama bu doğru değildir. Bu çaydanlıktan bir fincan sıcak çay elde etmek için aylar boyu, hattâ

(*) Buradaki eksi değerin nedeni gökbilimcilerin renk indeksleri ölçeğini, yüzey sıcaklığı 11 000°K olan Sirius'un (Alpha Canis Majoris) renk indeksini 0,00 olacak şekilde ayarladıkları içindir.

bir yıl bile beklemek gerekebilir; tabiî, eğer çaydanlık, ısıtma aygıtı tarafından üretilen ısıyı hiçbir şekilde dışarıya kaçırtmayacak kadar iyi yalıtılmış ise. Gerçekten de daha önce verilen sayılar kullanılarak Güneşin gövdesinde üretilen ortalama ısı hızını kolaylıkla hesaplıyabiliriz. Yarıçapı $6{,}95 \times 10^{10}$cm. olduğuna göre toplam yüzey alanı $6{,}07 \times 10^{22}$ cm²'dir. Daha önce belirtildiği gibi, Güneş yüzeyinin bir santimetre karesi saniyede $1{,}5 \times 10^{3}$ kalori yayar, böylece Güneşin toplam ışıması saniyede $8{,}8 \times 10^{25}$ kaloridir. Böylece, Güneşin kütlesi 2×10^{33} gm. olduğuna göre Güneşin içinde üretilen ısı, Güneş kütlesinin bir gramı için saniyede $4{,}4 \times 10^{-8}$ kaloridir. Bu da metabolik işlemlerden dolayı insan vücudundan çıkan ısı miktarının yüzde birinden de küçüktür.

Peki öyleyse Güneş neden o denli sıcaktır? Bunun açıklaması çok basit. Belirli bir hacim içinde enerji üretimi miktarı o hacimle, yani boyutunun **kübü** ile orantılıdır. Öte yandan, ısı kayıpları, yüzeyi ile, yani yalnızca boyutunun **karesi** ile orantılıdır. Bu nedenle cisim ne denli büyük olursa sıcaklığını korumak için gerekli olan ısı üretim miktarı o denli azdır. Böylece bir filin vücudu bir serçeninkinden otuz kat daha yavaş ısı üretir. Bu böyle olmasaydı, vücudunda biriken ısı filin vücut sıcaklığını bir fırınınki kadar yükselteceğinden, ormanda kızarmış filler dolaşırdı. Güneş bir filden çok, çok daha büyük olduğundan yüzeyi hacmine göre çok küçüktür. Bu nedenle Güneşin içindeki ısı üretim miktarı çok küçük olmasına karşın, bütün bu ısıyı yayabilmesi için yüzeyinin 6 000 derecede korunması gereklidir.

Gerçi Güneş'te üretilen enerji miktarı nispeten küçüktür ama Güneşin var olduğu süre içinde ürettiği toplam miktar oldukça büyüktür. Tarihsel jeoloji ve paleontoloji bize Güne-

şin bugünkü şiddeti ile en azından 500 000 000 yıldır, yani geriye canlı organizmaların tanınabilir fosillerinin kaldığı jeolojik çağlardan bize kadar geçen zaman boyunca parıldadığını söylemektedir. Yaklaşık 5 000 000 000 yıl önce Güneş sisteminin oluştuğu zamandan beri, Güneşin hiç değişmemiş olması çok olasıdır.

Eğer Güneşin ısısının oksidasyon (ya da günlük deyişle yanma) gibi kimyasal bir tepkime sonucu geliştiği varsayılırsa bu olgu kolaylıkla anlaşılabilir. Aslında 1 gm.'lık benzin oksijen karışımı (jet yakıtı) toplam 200 kalori açığa çıkartır. Eğer Güneş «yanıyor» olsaydı ve bir gram için saniyede $4{,}4 \times 10^{-8}$ kalori açığa çıkartsaydı, yalnızca 4×10^{7} saniye ya da 100 yıl dayanırdı ki bu da kuşkusuz yeterince uzun değildir!

Geçen yüzyılın ortasında iki ünlü fizikçi Lord Kelvin (kuşkusuz İngiliz!) ve von Helmholtz (bu da besbelli bir Alman) Güneş enerjisinin kökeni konusunda yeni bir kuram öne sürdüler. Bu bilginler Güneşi, kendi çekim kuvvetlerinin altında yavaş yavaş büzülen dev bir gaz küresi olarak düşündüler. Bu süreç içersinde açığa çıkan kütle çekimi enerjisinin ısıya dönüşerek Güneşi sıcak ve parlak tuttuğunu düşünüyorlardı. Güneşin geçmiş tarihi sırasında açığa çıkmış olan toplam kütle çekimi enerji miktarı şu formülle verilebilir:

$$E = \frac{G \times M^2}{R}$$

Burada G, daha sonra ele alınacak olan kütle çekimi sabiti, M ve R Güneşin kütlesi ve şimdiki yarıçapıdır. Sayısal değerler yerine konulursa E için şu değeri elde ederiz:

$$\frac{(6{\cdot}6 \quad 10^{-8})\,(4 \quad 10^{66})}{7 \times 10^{10}} \simeq 4 \quad 10^{48}$$

Burada birim **erg** diye bilinen mekanik enerji birimidir. Bunu ısı birimine (kalori) çevirmek için bu sayıyı «ısının mekanik eşdeğeri» diye bilinen sayıya bölmemiz gerekir: 1 kalori 4,18 x 10^7 erg'e eşittir. Sonuç olarak Güneş büzülüp bugünkü büyüklüğüne gelinceye dek açığa çıkarmış olabileceği toplam ısı miktarı için,

$$\frac{4 \times 10^{48}}{4{\cdot}18 \times 10^{7}} \cong 10^{41} \text{ kalori}$$

değerini elde ederiz. Bunu da açığa çıkan güneş enerjisi miktarı ile bölersek,

$$\frac{10^{41} \text{ cal.}}{10^{26} \text{ cal./sec.}} \sim 10^{15} \text{ sec.} \sim 3 \times 10^{7} \text{ yıl}$$

elde ederiz.

Kelvin ile Helmholtz'un bu hesapları yaptıkları dönemde bu değerin oldukça tatmin edici olmasına karşın, gezegen sisteminin ve Dünya üstünde canlıların evriminin daha yakın zamanlarda yapılan tahminî hesaplarına göre bulunan zamanlardan çok küçüktür.

Güneşin enerji arzı sorusuna doğru yanıt ancak atom çekirdeğinin içinde büyük miktarda enerji depolanmış olduğunun ortaya çıktığı radyoaktivitenin keşfedilmesinden sonra verilebildi. Gerek Güneş ve diğer yıldızların içindeki nükleer enerjinin açığa çıkmasının tartışılması, gerekse bu nükleer dönüşümlerden sonuçlanan yıldız evrimi konusundaki çağdaş kuramlar bu kitabın temel konusudur.

Güneş Tutulmaları

Doğruyu söylemek gerekirse ne Ayın hareketinden dolayı Güneş tutulmasının ne de her yirmidört saatte bir olan ve gece diye adlandırılan, Güneşin Dünya tarafından örtülmesinin bu kitapta yeri var. Ama her gün, Güneşin doğuşuna ve batmasına alışık olmamıza karşın Güneşin Ay tarafından örtülmesi, eski za-

manlarda birçok batıl inanışa ve kitle paniklerine yol açan, günümüzde ise (özellikle koronograf'ın [taççeker] keşfinden önce) kalın Dünya atmosferinin dibinden Güneşin profilini incelemek için gökbilimcilere Tanrının bahşettiği nadir bir fırsattır. Bir kosmogonik rastlantı sonucu Güneşin ve Ayın dünyadan görülen çapları hemen hemen aynıdır ve yaklaşık olarak 2 metre uzağa konan bir telefon jetonunun yarıçapına eşittir. Dünyanın ve Ayın yörüngelerinin elips şeklinde olmasından dolayı Ay diski, Güneşinkinden kimi zaman biraz daha büyük, kimi zaman ise biraz daha küçük görünür. Birinci durumda Güneş diskinin tamamen örtülmesini **(tam güneş tutulması)** gözleyebiliriz; ikinci durumda ise her zaman Ayın karanlık gövdesinin ardından çıkan parlak bir güneş çemberi vardır **(halka tutulma).**

Eğer Ayın Dünya etrafındaki yörüngesinin düzlemi Dünyanın Güneş etrafındaki yörüngesinin düzlemi (ekliptik, tutulum) ile çakışsa idi her ay bir Güneş tutulması olacak, her ay ortasında da Ay tutulmaları gözlenecekti. Ancak iki düzlemin birbirlerine göre 5 dereceden fazla eğik olmasından dolayı gök düzlemindeki aylık karşılaşmalarında Güneş ile Ay çoğu kez birbirlerinin, görünürdeki çaplarından daha büyük bir uzaklıkta üstlerinden geçerler. Böylece bir Güneş tutulması, ancak her ikisi de aynı anda, gök küresindeki dairesel yollarının kesişmesini temsil eden **bir düğüm noktası**'ndan geçtiklerinde gerçekleşir. (*) Bir düğüm noktasından diğerine kadar Güneşin bir tam dön-

(*) Güneşin gökküresi üzerindeki yolu olarak tanımlanan ekliptiğin (tutulum) dünyanın Güneş etrafındaki hareket düzlemi olduğunu okuyucuya anımsatmaya pek gerek yok.

me peryodu 346,62 (*) gün iken, Ayınki 29,5306 gündür. Şu iki çarpıma dikkat edelim:

346,62 x 19 = 6585,78 gün

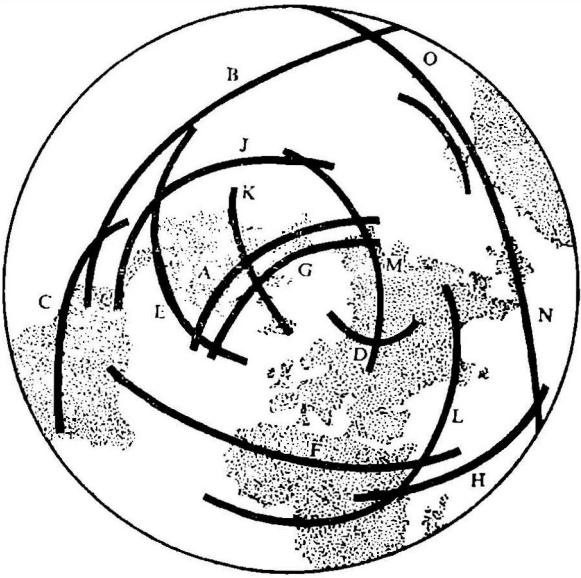
29,5306 x 223 = 6585,32 gün

Sonuçlar önemli ölçüde birbirine yakındır. Böylece eğer Güneş ve Ay bir düğüm noktasında bir kere karşılaşmışlarsa, aynı noktada 6585,5 gün, ya da 18 yıl 11,3 gün sonra karşılaşacaklar demektir. Güneş tutulmalarında, **saros** diye bilinen bu belirli aralarla (periyodik) oluşma ilk kez onyedinci yüzyılın sonlarında, Edmund Halley adlı bir İngiliz tarafından farkedilmişti. Eski Mısırlılar, ile Asurlu ve Babillilerin bu konuda neden onu aşmadıkları merak edilebilir. Bir örnek olarak İspanya ve Mısır'da 30 Ağustos 1905'te görülen Güneş tutulmasını ele alalım. Saros'a dayanılarak bir sonraki Güneş tutulmasının 10 Eylül 1923'te olması beklenirdi. Gerçekten de olmuştur ancak ne İspanyollar ne de Mısırlılar bunu gözleyebilmişlerdi. Ayın gölgesi Kaliforniya ve Meksika'dan geçmiştir. Bu durumun açıklaması basittir. Saros periyodunda bir tam sayı olan gün sayısının yanısıra bir de bir günün üçte biri vardır. Böylece Ayın gölgesi Dünyaya düştüğünde Dünya 1905'teki konumuna göre 1/3 x 360° = 120° batıya doğru dönmüştü.

Geçmişte ve gelecekteki Güneş tutulmalarının hesabı gökbiliminin en kesin, ama ayni zamanda en sıkıcı dallarından biridir. Güneş tutulmalarının incili, M.Ö. 1207'den M.S. 2167'e dek tüm Güneş tutulmalarını veren ve 1887'de Avusturyalı gökbilimcisi Theodor Ritter von

( ) Bir ekinokstan (ılım) diğerine Güneşin görünürdeki dolanmasının gerçek süresi 365,24 gündür ama Güneşin çekim eyleminin sonucu Ayın yörüngesinin yavaş dönmesinden dolayı, Ayın yörüngesinin ekliptik ile iki kesişmesi arasında güneşin hareketinin süresi biraz daha azdır.*

Oppolzer tarafından yayımlanan **Canon der Fünsternisse** adlı çok ciltli bir eserdir. Kayıt-



ŞEKİL 9. Oppolzer'in yaptığı hesaplara göre 1963'den itibaren yirmi yıl için güneş tutulmalarının görüleceği yerler.

A	1963 20 Temmuz	H	1976 23 Ekim
B	1965 30 Nisan	J	1977 12 Ekim
C	1966 12 Kasım	K	1979 26 Şubat
D	1968 22 Eylül	L	1980 16 Şubat
E	1970 7 Mart	M	1981 31 Temmuz
F	1973 30 Haziran	N	1983 11 Haziran
G	1973 10 Temmuz	O	1984 22 Kasım

lara geçmiş ilk Güneş tutulması M.Ö. 22 Ekim 2137'de, Oppolzer'in cetvellerinin başlangıcından çok önce olmuştur. Eski Çin'in tarihi belgeler kitabı **Shu King**'e göre bu Güneş tutulması gün ışığında Güneşi yutacak olan canavarı korkutmak amacıyla dinsel törenler yapmak için çok önceden hazırlanmış olmaları gereken iki kraliyet gökbilimcisi Hsi ile Ho'ya kötü talih getirmişlerdi. Nasıl olmuşsa Hsi ile Ho

çok fazla pirinç rakısı içmişler ve görevlerini yerine getirememişlerdi. Bu nedenle, bir Güneş tutulmasının gerçekten olduğu zamandan daha çok önce olacağı konusunda tahmin yürüten gökbilimcilerin bekletilmeksizin asılacağını, daha sonra olacağı konusunda tahmin yürütenlerinse affedilmeksizin asılacağını söyleyen yasaya göre asıldılar.

Oppolzer'in cetvellerinde verilen tarihle çakışan, tarihî olarak kaydedilmiş bir Güneş tutulması Lidyalılar ile Medyalılar arasındaki çetin bir savaş sırasında olmuştu. İnsanların davranışlarından tanrıların hoşnut olmadığı bu ilahî gösteriyle belli olunca, her iki taraf ta öylesine korkmuştu ki askerî harekâta hemen son verilmiş ve barış imzalanmıştı. Benzer biçimde 28 Haziran 1451'deki Güneş tutulması Mohawk ve Seneca yerlileri arasında bir savaşın çıkmasını engellediği söylenir; 29 Şubat 1504'teki Güneş tutulması Kristof Kolomb'un asî yerli taşıyıcılarını yumuşatabilmesine yardım etmişti; M.S. 21 Haziran 528'de öğle vaktini üç dakika geçe gerçekleşen Güneş tutulması (Oppolzer'in cetvellerinde yok) Mark Twain'in Connecticut Yankee'sinin ünlü büyücü Merlin'i gözden düşürmesine ve Kral Arthur'un sarayında saygınlığını yeniden kazanmasına yardım etmişti. Belki de en çok anımsanan Güneş tutulması 29 Mayıs 1919'da olandı. Bu tarihte biri Afrika'ya, diğeri Brezilya'ya giden iki İngiliz araştırma grubu Güneşin çevresindeki yıldızların fotoğrafını çekmiş ve görünürdeki konumlarının, Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı'nın tahminleriyle kesin bir uyum içinde, hafifçe radyal yönde kaymış olduğunu bulmuşlardı.

Bir Güneş tutulmasını şahsen gözlemek isteyen okuyucular için 1963 ve onu izleyen yirmi yıl içindeki güneş tutulmalarının bir haritasını sunuyoruz (Şekil 9).

II. BÖLÜM

ATOMLAR VE TAYFLARI

Gökkuşağı ışınlarının o çizgileri
Bir katedral penceresinden içeri düştüklerinde
Ay ışınları gibidirler, ama renklerinin
Bulunmaz dünyada eşi.
Percy Bysshe Shelley

Fraunhofer Çizgileri

Daha önce sözü edildiği gibi, cam bir prizmadan geçen Güneş ışığının teknik olarak beyaz ışığın tayfı diye bilinen renkli bir gökkuşağı kurdelesi oluşturduğunu ilk kez Isaac Newton bulmuştu. Ama ancak bir yüzyıl kadar sonra Alman fizikçi Joseph von Fraunhofer (1787-1826) daha iyi optik teknikler kullanarak, Newton'un gökkuşağı demetinin çok sayıda ince karanlık çizgilerle kesildiğini farketti. (Resim 1). Fraunhofer, şimdi kendi adıyla bilinen, yaklaşık altı yüz bu tür çizginin bir listesini yayımladı. Güneş ışığı yüzeylerinden yansıdığı için parlak olan Ayın ve gezegenlerin tayflarında da aynı çizgilerin göründüğünü de farketmişti. Öte yandan laboratuvar beyaz ışık kaynakları tarafından yayılan ışığın tayfı, tayfölçerde (spektroskop) hiçbir karanlık çizgi olmadan, sürekli bir gökkuşağı demeti olarak görünüyordu. Bu da Fraunhofer çizgilerinin Güneş kökenli olduğunu kanıtladı.

Fraunhofer çizgilerinin açıklanması elli yıl sonra yapılabildi. Bir başka Alman fizikçi Gus-

tav Kirchoff (1824-87) çoğu kez D ile gösterilen Fraunhofer çizgisinin, Güneş ışığı tayfölçere girmeden önce, bir sodyum bileşeni (örneğin, sofra tuzu) katılması ile sarartılan bir gaz-yakıcısının alevinden geçirildiğinde çok daha karardığını gördü. Kirchoff, Fraunhofer çizgileri ile bozulmayan, bir laboratuar kaynağının beyaz ışığının aynı sarı alevden geçirildiğinde Güneş tayfındaki D çizgisi ile tam aynı noktada oldukça karanlık bir çizgi gözledi. Ama karanlık bir odada bir tayfölçerden sodyum renkli bir aleve baktığında Kirchoff, karanlık fon üzerinde aynı noktada parlak bir sarı çizgi buldu. Bu buluşlar Resim 1'de gösterilmiştir.

Bu deneylerden elde edilecek sonuç açıktı. Görünüşe göre Güneşin sıcak yüzeyi (fotosfer-ışıkyuvarı) tarafından yayılan beyaz ışık, dışarı çıkarken, baştaki sürekli tayfdaki belirli dalga boylarını soğuran gerek sodyum gazları gerekse diğer kimyasal maddeleri içeren seyrekleştirilmiş gaz tabakasından (kromosfer renkyuvarı) geçiyordu. Eğer Güneş ışığı daha sonra sodyum gazı alevinden geçerse karanlık D-çizgisi daha da koyulaşıyor. Öte yandan sodium alevi karanlık bir odada gözlendiğinde alevin tayfında aynı dalga boyunda parlak bir salma çizgisi görünüyor. Sodyumun D-çizgısi için doğru olan, diğer elementler tarafından yayılan ve soğrulan çeşitli çizgiler için de doğru olmalı.

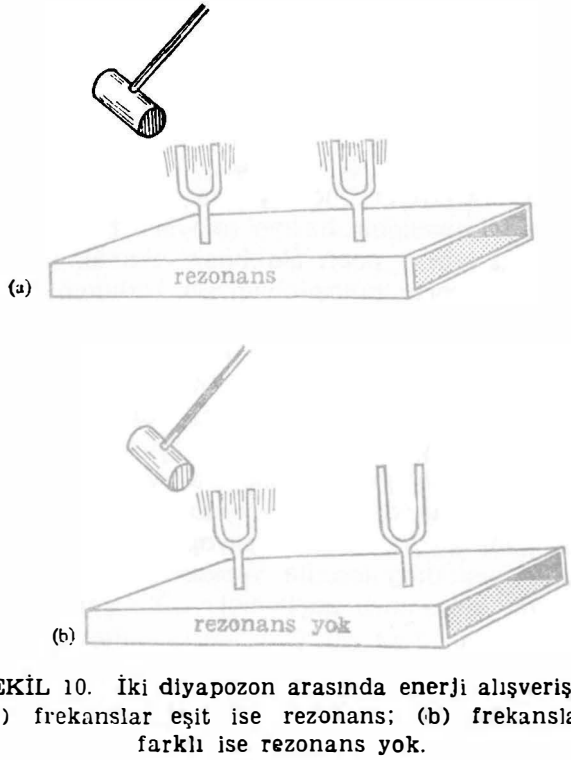
Sıcak gaz (ya da buhar) halindeki her elementin kendi yayabildiği aynı tayf çizgilerini soğurduğunu söyleyen Kirchhoff yasası optiğin temel yasalarından biri haline geldi ve oluştukları maddeden bir örnek alıp imbikleri ve deney tüpleri ile incelemeleri için kimyacılara vermelerine gerek kalmadan gökbilimcilerin Güneşin ve uzak yıldızların kimyasal ya-

pılarını öğrenmelerini sağlayan **tayf çözümlemesi**'nin gelişmesine yol açtı.

Rezonans Olayı

Işığın yayılması ve soğrulması arasındaki ilişkiyi veren Kirchhoff yasası, **rezonans** diye bilinen önemli bir fiziksel olayın özel bir durumunu temsil eder. Bu basit akustik örneklerle kolaylıkla anlaşılabilir. Bir levhanın üstüne tutturulmuş, aynı frekansa, yani saniyede aynı sayıda titreşime sahip iki özdeş diyapozon ele alalım (Şekil 10). Birine bir çekiçle vurursak, belli bir frekansta ses yayarak titreşmeye başlayacaktır. Eğer titreşimler sönmeden önce diyapozona elimizle dokunup titreşimi durdurursak, öteki diyapozondan bir ses çıktığını duyarız. İkinci diyapozon birinciden gelen ses dalgaları ile «uyarılmış» ve kendi başına titreşmeye başlamıştır. Öte yandan iki diyapozon farklı titreşim frekanslarına sahipseler, ikinci diyapozon birincinin titreşimlerinden kesinlikle etkilenmeyecektir. Aynı durum radyo dalgaları durumunda da geçerlidir ve belli bir radyo yayın istasyonunu alabilmek için alıcıyı «ayarlamak», yani kendi elektrik salınım frekansını yayın yapan istasyonunun salınım frekansına eşitlemek gerektiğini herkes bilir. Aynı şekilde alevin içinden geçen ışıma ile aynı frekansta salınım yapan alevin içindeki gaz atomları, kendileri ile ayni frekansa sahip olan gelen dalgalarla rezonans halinde olacaklardır.

Enerjinin korunması gerektiğinden osilatörler (bir atom, radyo seti ya da diyapozon gibi titreşim yapan cisimler) geçen dalgaların içindeki belli enerjileri soğuracak, böylece tayfın içindeki belli dar-dalga boyları bölgelerinin şiddetini azaltacaktır. Sodyum atomlarını içe-



ŞEKİL 10. İki diyapozon arasında enerji alışverişi: (a) frekanslar eşit ise rezonans; (b) frekanslar farklı ise rezonans yok.

ren bir alevden gelen, tüm frekanslara sahip bir beyaz ışık demetini ele alan bizim örneğimizde bu sodyum atomları geçen ışık dalgalarının içindeki kendi titreşim frekanslarına karşılık gelen enerjiyi, yani D-çizgisine karşılık gelen frekansı soğuracaklardır. Ancak, alevin yüksek sıcaklığı tarafından «uyarılan» sodyum atomları tarafından salınan ışık sodyum atomlarının karakteristik frekansına sahip olacak ve bir tayfölçerde bir parlak sarı D-çizgisi oluşturacaklardır. Böylece Fraunhofer çizgileri Güneşin atmosferinde var olan elementlerle ilgili bilgiyi taşırlar ve bunların görece şiddetlerinden Güneşin maddesi içinde var

olan farklı kimyasal elementlerin görece miktarları hakkında sonuçlar elde edebilmemiz gerekir.

Bu noktada sözde bir üniversitedeki bir fizik sınavında geçen, büyük olasılıkla doğru olmayan, bir olayı anlatmak yerinde olacak. Fraunhofer çizgilerinin ne olduğu sorusunu bir öğrenci şöyle yanıtlamış: «Bunlar Güneş tayfını bölen ve Güneşte **bulunmayan** kimyasal elementlere karşılık gelen karanlık çizgilerdir.» Şaşıran profesör bu yanıtı açıklamasını istediğinde öğrenci, anlıyabildiği kadarıyla, beyaz ışığın sürekli tayfının tüm doksaniki kimyasal elementin tayf çizgilerinin sınıflandırılmasından oluştuğunu söylemiş. Böylece, eğer Güneşte bazı elementler yoksa, bu çizgilerin olması gerektiği yerlerde karanlık boşluklar olacaktır. Eğer bu kitabın okuyucusu öğrencinin bu açıklamasına gülüyorsa, Fraunhofer çizgilerinin gerçek anlamını kavradığı konusunda rahat edebilir.

Karanlık Fraunhofer çizgileri Güneş ışıkyuvarı tarafından yayılan sürekli beyaz ışığın dış katmanı içindeki soğrulmasının bir sonucu olduğuna göre, eğer bir mucize sonucu, bir saniye için olsun, Güneş ışıkyuvarının köreltici beyaz ışığını durdurabilseydik, aynı dalga boylarını siyah bir fon üzerinde parlak emisyon çizgileri olarak gözleyebilmemiz gerekirdi. Bu tür «mucizeler», arada sırada, tam güneş tutulmalarında olurlar. Sadece kozmogonik bir rastlantı sonucu Güneşin görünürdeki dairesel çapı Ayın görünürdeki dairesel çapına çok yakındır. Bu da, tabiî ki, bu iki gök cisminin çaplarının Dünyadan uzaklıklarına orantılı oldukları anlamına gelir. Böylece Ay tam olarak Güneşle aramıza girdiğinde Güneşin parlak yüzünü örter ve onun zarif profilini incelememize olanak sağlar. Bu durum bir anda gelir ge-

çer ve bu kısa an içinde fotoğrafı çekilen emisyon tayfı, bu nedenle, Güneşin **ışıltı (flaş) tayfı** diye bilinir. Parlak fon üstünde karanlık Fraunhofer çizgileri yerine karanlık fon üzerinde göze çarpan renkyuvarının parlak emisyon çizgilerini gösterir. Güneşin ışıltı tayfı ile hergünkü parlak-yüzlü tayfı arasındaki ilişki, fotoğrafçılıktaki negatif ile pozitif gibidir.

Atomlar Bölünmez Değildir

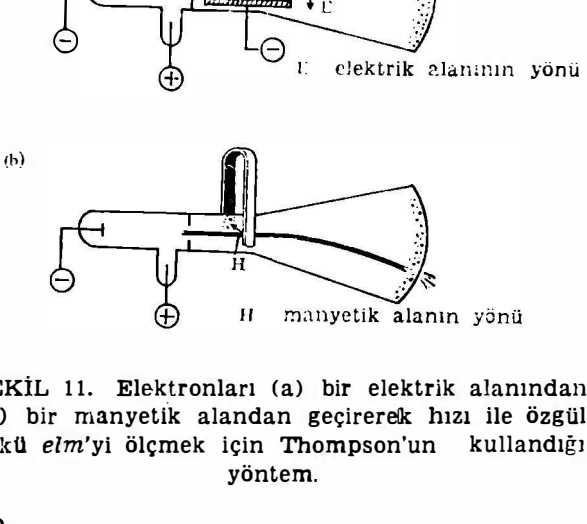
Atom kavramının yirmiüç yüzyıl önce Democritus tarafından geliştirilmesinden geçen yüzyılın sonuna dek, atomlar maddeyi oluşturan bölünmez madde birimleri olarak düşünülmüş, çeşitli kimyasal elementlerin atomlarının özellikleri arasındaki farklılıkların biçimlerindeki farklılıklardan ileri geldiği sanılmıştı. Bu görüş, atomların fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgili hızla artan malzemeyi atomların geometrik biçimlerine dayanarak açıklamaya çalışan İsveçli fizikçi J.R. Rydberg'in eserlerinde doruk noktasına ulaşmıştır. Rydberg, tüm atomlar içinde en basit olan hidrojen atomlarının kusursuz küresel biçime sahip olduklarını, kimyasal ve optik özellikleri açısından hidrojene benzeyen alkali metallerinin (lityum, sodyum, potasyum, vb.) atomlarının çeşitli derecede uzunluklarda elipsoid biçimlerde olduklarını düşünmüştü. Su molekülü, H_2O'nun kararlılığını açıklamak için Rydberg oksijen atomunun toroid biçiminde (simit gibi) olduğunu, böylece küre biçimindeki iki hidrojen atomunun boşluğun iki tarafına sığabileceğini varsayıyordu. $H_2O + Na = NaOH + H$ tipindeki etkileşmeler uzatılmış alkali metal atomlarının oksijen atomunun boşluğuna, küresel hidrojen atomlarından daha iyi uyabilecekleri varsayı-

mı ile yorumlanıyordu. Atomları çeşitli biçimlerde esnek cisimler olarak düşünen Rydberg çeşitli kimyasal elementlerin gözlenen çizgi tayflarını atomların esnek titreşimlerinin farklı modları olarak yorumlamaya çalışmıştı. Ama kürelerin, elipsoidlerin, toroidlerin, vb. hesaplanan esnek titreşim frekansları çizgi tayflarındaki gözlenen frekanslara hiç benzemiyordu.

Atomun tümüyle farklı bir biçimde incelenmesi geçen yüzyılın sonunda, dostları ve öğrencileri tarafından sadece J.J. diye çağrılan ünlü İngiliz fizikçi Joseph John Thomson (daha sonra Sir Joseph) tarafından ele alındı. J. J. Thomson, alçak basınçta farklı gazlarla doldurulan ve yüksek bir elektrik gerilimi altında kullanılan gaza özgü parlak tayf çizgileri oluşturan Crookes tübünün (bu tüp daha eski bir tarihte Sir William Crookes tarafından keşfedilmişti) içinde ne olduğunu anlamaya çalıştı. Crookes tüplerinin pratik olarak geliştirilmesi, hava kararıktan sonra kent sokaklarında çeşitli renklerde parıldıyan gece kulüpleri, sinema ve diğer kültürel kuruluşların isimlerinin gösterilmesinde çağdaş bir reklamcılık tekniği olarak kullanılırken, elektriğin gazların içinden geçmesi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar fizikçilerin atomun yapısı ve gizli özellikleri hakkında daha derin bilgiler edinmesini sağladı. Thomson, Crookes tübündeki gazın basıncı belli bir sınırın altına düşürüldüğünde gazın sürekli parıltısının kaybolduğunu, elektrik gerilimi sağlayan eksi kutbun (katod) karşısındaki cam duvarın soluk yeşilimsi bir ışıkla parıldadığını gördü.

Thomson, artı kutbun (anod) kenara taşındığı ve katodun karşısındaki dipteki duvarın çok daha fazla büyütüldüğü bir başka tüp yaptı. Bu durumda tüm arka duvar floresans özel-

liğine sahip oluyordu ve araya Malta haçı gibi metal bir cisim konduğunda keskin bir gölge gözlenebiliyordu. Görünüşe göre katoddan bazı gizemli ışınlar çıkıyor ve bunlar hızla tüp boyunca hareket ederek öteki uca gidiyorlardı. J.J. bunlara **katod ışınları** adını verdi. Ancak katod ışınları, aynı zamanda Alman fizikçi Wilhelm Röntgen tarafından bulunan X-ışınlarına hiç benzemiyordu. X-ışınları manyetik alan tarafından hiç etkilenmezken, ki bu onların ışık ışınlarına benzediklerini gösteriyordu, katod ışınları, tübün yakınına bir mıknatıs yaklaştırıldığında fazlasıyla sapıyorlar ve sapmanın yönü bunların eksi yüklü parçacıklardan oluşan bir demet olduğunu gösteriyordu. Bunlar ne tür parçacıklardı? Yükleri, kütleleri ve hızları neydi? Thomson, Şekil 11'de şematik olarak gösterilen bir düzeneği kullanarak gizemli katod ışınlarının elektrik ve manyetik alanlar tarafından saptırılmalarını incelemeye başladı. Işık demetinin elektriksel sapmasını sağla-



ŞEKİL 11. Elektronları (a) bir elektrik alanından (b) bir manyetik alandan geçirerek hızı ile özgül yükü *elm*'yi ölçmek için Thompson'un kullandığı yöntem.

mak için tübün içine farklı yükler taşıyan iki metal plaka yerleştirdi. Eksi yüklü katod-ışını parçacıkları, **e** diyeceğimiz elektrik yükleri ile orantılı bir kuvvetle artı yüklü plaka tarafından çekiliyor ve eksi yüklü plaka tarafından itiliyorlardı. Mekaniğin temel bir yasasına göre (Newton'un ikinci yasası) belli bir kuvvet altındaki bir parçacığın doğrusal hareketi bu kuvvetle doğru, parçacığın kütlesi, **m** ile ters orantılı idi. Böylece bu deneyde katod-ışınları parçacıklarının sapması **e/m** oranı ile orantılı olmalıdır. Manyetik sapma durumunda, çok hızlı giden elektrik yüklü bir parçacık bir elektrik akımı olarak düşünülmelidir. Bu akımın kuvveti de parçacığın yükü **e** ile hızı **v**'nin çarpımına orantılıdır. Belli bir manyetik alanının bir elektrik akımı üzerine etkidiği kuvvetin o akımın gücüne orantılı olduğu bilindiği için bu durumda katod ışınlarının sapması **ev/m**'ye orantılı olmalıdır.

Bu iki deneyi birleştirerek Thomson hız **v** ile **e/m** oranını birbirlerinden bağımsız olarak bulabilmişti. **v**, tüpe uygulanan elektrik potansiyeline bağlı iken, parçacığın **özgül yükü** olarak bilinen **e/m** oranı tabiî ki her zaman aynıydı ve yük elektrostatik birimle (*) ve kütle de gram ile ölçüldüğünde Thomson bunun sayısal değerini $5{,}23 \times 10^{17}$ olarak buldu. Bu sayı hidrojen iyonunun (yani yüklü bir hidrojen atomunun) özgül yükünden 1840 kez daha büyüktü ve her iki durumda da aynı temel elektrik yük ile çalışıldığı düşünüldüğünden (**) bundan katod ışınlarını oluşturan parçacıkların tüm atom-

(*) Bir elektrostatik birim, kendisinden bir birim uzaklığa yerleştirilen bir eşit yük üzerine bir birim kuvvetle etkiyen elektrik miktarı olarak tanımlanır.
(**) Bu varsayım daha sonra deneyle doğrulanmıştır

ların en hafifinden 1 840 kez daha hafif olduğu sonucuna varıldı. Thomson bunlara **elektron** adını verdi ve bunların atomun önemli bir bölümünü oluşturdukları hipotezini oluşturdu. Atomu, tüm atomun içinde düzgün bir biçimde dağılmış artı elektrik yük ile atomun içine girmiş belli sayıda eksi yüklü elektronun bir bileşimi olarak düşündü. Elektronlar arasındaki elektrik itmenin, artı yükün merkezine doğru olan çekime karşılık geldiği varsayılıyor, böylece de tüm sistem doğal olarak denge halinde oluyordu. Kuvvetli elektrik alanları (yüksek voltaj) uygulandığında atomun elektriksel yapısı bozuluyordu; elektronlar katoddan anoda uçuyorlar, bir ya da daha fazla elektron yitiren atom artı yük (artı iyon) kazanıyor ve ters yönde hareket ediyordu.

Thomson bu modeli kullanarak çizgi tayfının nedenini, artı yüklü atomun ana gövdesi içinde atom elektronlarının denge durumları etrafındaki titreşimlerinin sonucu olarak açıklamaya çalıştı. Ancak bu model de, gözlenen tayfları çeşitli biçimlerdeki esnek cisimlerin titreşimleri ile açıklamaya çalışan daha önceki çabalardan daha verimli olmadı. Gerçi çeşitli elektriksel titreşim frekansları J.J. Thomson'un modeli ile hesaplanabiliyordu ama bu frekanslar ile gözlenen frekanslar arasında hiçbir ilişki bulunamıyordu.

Rutherford Modeli

Sir Joseph Thomson, geliştirdiği modeli çeşitli atom özelliklerinin açıklanması için başarısızca kullanmaya çalışırken bir başka İngiliz fizikçi, bilimsel buluşları için daha sonra Nelson Lordu Rutherford ünvanını alacak olan Ernest Rutherford çok farklı bir yaklaşım içindeydi. Atom içindeki artı ve eksi elektrik yük-

lerin dağılımı ile ilgili bilgi edinmek amacıyla atomları, ağır radyoaktif elementler tarafından yayılan çok yüksek enerjili parçacıklar olan alfa parçacıkları ile bombardıman etti.

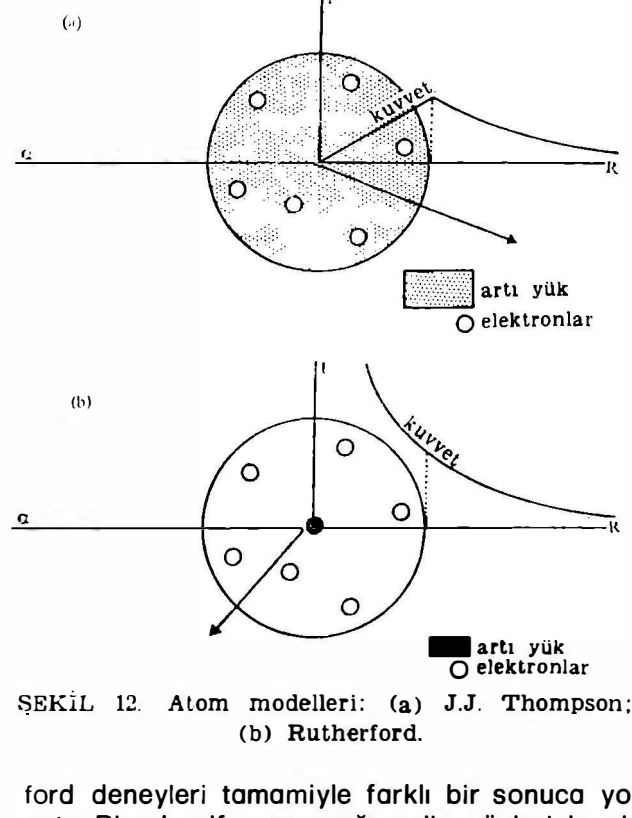
Alfa parçacıkları artı yüklü olduklarından (her biri iki temel yük taşıyordu) atomun eksi yüklü bölümü tarafından çekilmeli, artı yüklü bölümleri tarafından itilmeliydiler. Ama atom yapısının eksi yüklü bileşenleri hidrojen atomundan 1840 kez daha **hafif** olan elektron iken alfa parçacıkları (elektronsuz helyum atomları) hidrojen atomundan 4 kez daha **ağırdır.** Eğer elektronları pinpon topu ile gösterseydik, bir alfa parçacığı 12 cm. çapında bir gülleye özdeş olurdu. Böylece bir alfa parçacığı bir atomun içinden ya da yakınından geçtiğinde, o atomun elektronları, alfa parçacığının hareketini hiç etkilemeden tüm yönlerde dağılırlar. Hızla hareket eden bir parçacık tarafından atomun elektron sisteminin bozulması atomun **iyonizasyonu** diye bilinir. Bu yöntem, bombardıman parçacıklarının yollarının izlenmesinde çok işe yarar. Aslında, yine bir başka İngiliz bilgini C.T.R. Wilson tarafından gösterildiği gibi, havadaki su buharı, elektrik yüklü atomlar (iyonlar) üzerinde yoğunlaşma ve böylece de hızla hareket eden atom parçacıklarının yolları üzerinde ince sis çizgileri oluşturma eğilimine sahiptir. Bu durum, bir jet uçağının kendisinin zar zor görülmesine karşın, gökyüzünde bıraktığı izin kolaylıkla görülebilmesine benzer.

Alfa parçacıklarının hareketi, atomun içindeki elektronlarla etkileşmelerinden hemen hemen hiç etkilenmezken atomun artı yüklü ağır bölümleriyle etkileşmesinden fazlasıyla etkilenebilirdi. J.J. Thomson'un modeline göre atomun artı yükünün ve kütlesinin tümünün atom hacmi içinde düzgün bir biçimde dağılmış ol-

duğu varsayılıyordu. Artı yük dağılımının bir atomun içinden geçen bir alfa parçacığı üzerindeki etkisi ne olabilirdi? Kütleçekimi kuvvetleri ile ilgili benzer bir sorun ilk kez Newton tarafından ele alınmıştı. Her ikisi de ters kare yasasına uydukları için, yani, sözü edilen kuvvet birbirlerini çeken kütleler ya da elektrik yüklü parçacıklar arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğu anlamda bu çekim kuvvetleri elektrik kuvvetlerine benziyordu. Newton, yüzeyinin dışında bir konumda olan bir cismin (ister Ay, ister yapay bir uydu, ister bir ağaçta asılı bir elma olsun) üzerine Dünyanın etkidiği toplam kuvvetin, Dünyanın tüm kütlesi merkezinde olsaydı da aynı olacağını göstermişti. Ancak Dünyanın içindeki bir parçacık, söz gelimi, derin bir kuyuya atılan bir taş için durum farklıdır. Kuyunun dibi seviyesinin üstünde kalan Dünya kütleleri tarafından taşın üstüne etkinen kuvvetler birbirini yok edecek ve toplam etki sıfır olacaktır. Öte yandan kuyunun altında kalan kütlelerin etkileri birbirine eklenecek ve toplam kuvvet, bütün bu kütleler dünyanın merkezinde olsalardı ortaya çıkacak kuvvetle aynı olacaktır. Böylece kuyuyu daha da derinleştirirsek dibindeki çekim kuvveti, Dünyanın merkezine yaklaştıkça azalacaktır.

Aynı ilkeleri J.J. Thomson'un modelinde olduğu gibi, düzgün bir artı elektrik yük dağılımına sahip olan bir atoma yaklaşan ve içine giren bir alfa parçacığına uygularsak kuvvetin (bu durumda itici bir kuvvet) Şekil 12a'da gösterildiği gibi olmasını bekleriz; en büyük değeri alfa parçacığının atoma tam girdiği anda olacaktır. Bu kuvvetin hesaplanan değeri ile gelen alfa parçacığının kinetik enerjisi karşılaştırıldığında, alfa parçacığının baştaki yönünden sapmasına karşın bu sapmanın çok

küçük olacağı anlaşılır. Farklı metallerden yapılmış ince levhaların hızlı bir alfa parçacıkları hüzmesi ile bombardıman edildiği Ruther-



ŞEKİL 12. Atom modelleri: (a) J.J. Thompson; (b) Rutherford.

ford deneyleri tamamiyle farklı bir sonuca yol açtı. Birçok alfa parçacığı geliş yönleriyle oldukça büyük açılar yaparak saçılıyorlardı ve hatta bazıları sanki bir duvardan yansıyorlarmışcasına gerisin geriye gidiyorlardı. Atomun içindeki artı yük tarafından alfa parçacıkları üzerine uygulanan böylesine büyük bir kuvvet ancak bu yükün (ve de kütlenin büyük bir kısmının) atomun tüm hacmi içinde yayılmış olması yerine atomun merkezinde çok küçük bir bölgede yoğunlaşmış olduğunun varsayılma-

sıyla açıklanabilir, (Şekil 12b). Rutherford, bu artı yükün ve de kütlenin yoğun olduğu bölgeye **atom çekirdeği** adını verdi.

Merkezden uzaklıkla ters orantılı olarak değişen itici kuvvetin etkisi altında alfa parçacıkları hiperbolik yörüngeler (*) çizerler ve farklı yönlerde dağılmış olan bu parçacıkların sayısı gözlenerek artı çekirdek yükünün değeri hesaplanabilirdi. Bu şekilde, farklı çekirdeklerin yüklerinin her zaman temel elektrik yükünün tam sayı katları olduğu bulunmuştu. Daha da ötesi, bu tam sayı değerler elementlerin peryodik cetvelinde, o elementlerin yer numaralarına (atom numaralarına) tamamen uyuyordu. Böylece, örneğin hidrojen atomunda çekirdek (proton), tek bir elektronla aynı, tabiî ters işaretli yüke sahiptir. Peryodik sistemde onüçüncü element olan aluminyumun çekirdek yükü + 13 e, uranyumunki (doksanikinci element) ise + 92 e'dir. Atomlar, normal durumlarında elektriksel olarak yüksüz olduklarından dolayı bu buluş, herhangi bir kimyasal elementin atom sayısının, çekirdeği etrafında dönen elektron sayısına eşit olduğu anlamına geliyordu.

Rutherford'un atom modeli bir anda, fazlasıyla ciddî kuramsal zorluklara yol açmıştı. Aslında yüksek bir elektrik yüküne sahip olan ve çekirdeğin etrafında hızla dönen elektronların, etraflarını saran uzaya elektromanyetik dalgalar yayan, ufacık birer yayın istasyonu gibi davranmaları bekleniyordu. Bu ışımanın hesaplanan dalgaboyu ışığın dalga boyuna uyuyordu ki bu da güven vericiydi. Ama bir türlü açıklanamayan durum, elektronların bu

(*) Çekici ters-kare kuvvet durumunda ise yörüngeler güneş sisteminin gezegenlerinde olduğu gibi elipstir.

yörüngelerde kalabilmeleriydi. Klâsik teoriye göre, elektromanyetik ışımanın, yörüngedeki atomik elektronların enerjisini tüketmesi ve bunun sonucu olarak da elektronların daralan bir spiral hareketiyle 10^{-8} saniye içindeki çekirdeğe düşmeleri gerekirdi. Böylece deneyler sonucu elde edilen Rutherford modeline göre atomlar saniyenin yüzmilyonda biri kadar bir süreden daha fazla varolamazlardı. Halbuki bunların sınırsızca yaşadıklarını pekâlâ biliyoruz. Bu nasıl olur? Atomlar neden çökmezler ve Rutherford modeli bunların iyi bilinen optik ve kimyasal özelliklerini nasıl açıklayabilir? Bu sorular, Rutherford'un modeli görünüşte çelişkili etkilere yol açtığı bir anda Rutherford ile birlikte çalışmaya gelen genç Danimarkalı kuramsal fizikçi, Niels Bohr tarafından yanıtlandı. Bohr'un kuramını anlamak için önce bu yüzyılın başında yer alan önemli olaylara bir göz atmak gereklidir.

Işınan Enerji Kuvantumu

Ondokuzuncu yüzyılın sonunda, temel olarak Newton'un mekanik kavramlarına dayanan klâsik fizik gelişiminin doruk noktasına vardı. Newton'un mekanik yasalarının maddeyi oluşturan küçücük moleküllerin hareketine uygulanması gaz yasalarının ve ısının kinetik yorumunun tümüyle anlaşılmasına yol açtı. Işık kısa elektromanyetik dalgalar olarak açıklandı ve maddeyle etkileşmesi birçok ayrıntılarıyla anlaşıldı. Elektromanyetik alanların yapısı, bir sıvı ya da bir katı olarak tanımlanmaktan ısrarla kaçınılan, ama yine de klâsik mekaniğin yasalarına uyan bir tür maddî ortam olarak kabul edilen esir içinde titreşimler şeklinde anlaşılır gibi görünüyordu.

Sonra, 1890'ların sonlarında, söylediğimiz

gibi oldukça iyi giden klâsik mekaniğin ufuklarında kara bulutlar belirmeye başladı. Lord Rayleigh ve Sir James Jeans, gazların kinetik kuramına çok iyi uygulanan istatistik modeli, iç duvarları kusursuz ayna olan bir kutunun içindeki elektromanyetik dalgalara uygulamaya çalıştılar. Kuşkusuz kusursuz ayna diye birşey yoktur ve en iyi aynalar bile ışığı yansıtmadan önce bir kısmını soğururlar. Ama genel kuramsal sorunlar için sınırsal ideal durumu ele almak ve duvarları ışığı hiç soğurmadan yüzde yüz yansıtan kapalı bir kutu düşünmek mümkündür. Eğer böyle bir kutunun içine bir miktar ışık gönderirseniz (Jeans'in kübü) ve sonra kutunun kapağını kapatırsanız ışık dalgaları bir duvardan ötekine sonsuza dek gidip gelecek ve bir saniye, bir yıl ya da yüzyıl sonra kapak tekrar açıldığında aynı şiddette dışarı çıkacaktır. Işık dalgaları için böylesine ideal yansıtıcı bir kap, içindeki gazı kaçırmayan, sıkı sıkıya kapalı bir gaz kabı ile aynı şeydir.

Klâsik fiziğin zaferlerinden biri olan gazların kinetik kuramı toplam enerjisi E olan ve hiç sızıntı yapmayan bir kutuya kapatılmış çok sayıda (N tane) molekülle ilgiliydi. Enerjinin eş paylaşımı yasası diye bilinen temel istatistik teoremine göre, var olan enerji moleküller arasında eşit olarak dağıtılacak, böylece her molekülün ortalama enerjisi E/N olacaktır. **Ortalama** enerji diyoruz çünkü istatiksel açıdan kesin veriler değil ancak ortalama değerler elde edilebilir. Aslında bu örnekte moleküllerin çoğunluğu E/N kadar enerjiye sahipken her zaman daha yüksek ve daha düşük enerjili bir miktar molekül olabileceği gösterilebilir.

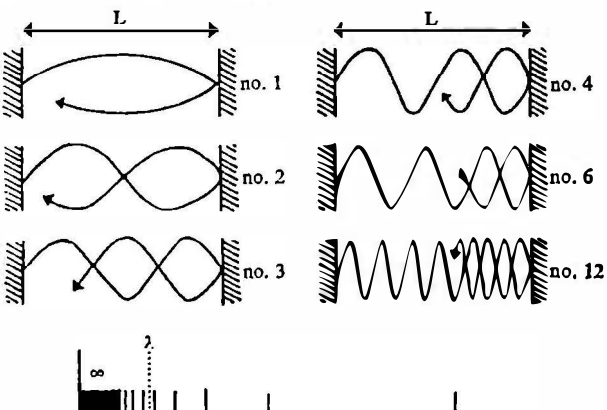
Rayleigh ve Jeans aynı istatiksel yöntemi duvarı ayna olan bir kabın içindeki elektromanyetik dalgaların farklı modları arasındaki

enerji dağılımı problemine uygulamaya çalıştılar. Ama burada temel bir zorlukla karşılaştılar. Bir kabın içindeki toplam molekül sayısı çok büyük ama sonlu olmasına karşın, kabın içindeki farklı titreşim tiplerinin sayısı gerçekten sonsuzdur. Gerçekten de, işi basitleştirmek için Jean kübünün yalnızca sağ ve sol duvarları arasında gidip gelen dalgaları ele alalım. Bu dalgalar, duvarlarda genliğin kaybolacağını (tıpkı iki ucundan tutturulmuş bir keman teli gibi) söyleyen sınır koşullarına uymalıdırlar. Olası titreşim durumları Şekil 13'de gösterilmiştir. En uzun dalganın yalnızca iki uçta düğüm noktası (dalga genliğinin kaybolduğu noktalar) olacaktır. İkinci dalganın ortada bir düğüm noktası daha olacaktır: toplam üç düğüm noktası. Üçüncünün dört düğüm noktası, dördüncünün beş düğüm noktası, vb. olacaktır. Elektromanyetik dalgaların uzunluğu için bir salt sınır olmadığı için binlerce, milyonlarca, milyarlarca, vb. düğüm noktasına sahip, olası dalga biçimlerinin de sınırı olmayacaktır. Kabın içinde aşağı yukarı, ileri geri ya da herhangi garip bir açıda gidip gelen dalgaları toplarsak yalnızca «daha da sonsuz» bir sayıda dalga çeşidi elde edeceğiz. (*)

Eğer enerjinin eşpaylaşımı yasası aynalı kutunun içindeki elektromanyetik dalgalar için geçerliyse (ve klâsik mekaniğe göre geçerli olmaması için hiçbir neden yoktu) kabın içindeki dalgaların toplam enerjisi E, sonsuz sayıdaki farklı titreşim modları tarafından paylaşılacak, böylece herbir modun (düğüm noktası sayısı tarafından tanımlanan) payına düşen

(*) Bilindiği gibi sonsuz herhangi bir büyük sayı ile ya da hatta bir başka sonsuz ile çarpılırsa yine aynı sonsuz elde edilir. (Yazarın One, Two, Three... Infinity, [*New York, The Viking Press, 1961*] *adlı kitabına bakınız.)*

enerji E/∞ = O olacaktır. Aşağıdaki tartışmadan anlaşılabileceği gibi bu durumun sonuçları felâket olacaktır.



ŞEKİL 13: Yalnızca bir boyut için Jeans kübündeki elektromanyetik titreşimlerin farklı modları ve bu modların dalga boylarını gösteren tayf.

Belli bir titreşim modu, diyelim ki 200 düğüm noktası olduğunu varsayalım. Bu durumda daha az düğüm noktası olan 199 mod, daha fazla düğüm noktasına sahip modların sayısı ise sonsuz olacaktır. Böylece eşpaylaşım yasasına göre eldeki tüm enerji daha kısa dalga boylu, ya da aynı şey olan daha yüksek frekanslı (saniyedeki titreşim sayısı) titreşim modlarına gidecektir. Fiziksel deyişle bu şöminede yanan kömürün kırmızı korluğu sarı, yeşil, mor, morötesi, X-ışını, gama ışını ve sonsuz yüksek frekanslı ve sonsuz kısa dalga boylu dalgalara dönüşecek demektir. Kuşkusuz bu saçma sapan bir sonuçtur ve doğanın yasaları şöminedeki tahta parçalarını tutuşturduk diye radyasyondan ölmekten bizi kurtarmaktadır!

Bir kuram cisimlerin doğası ile ilgili bilgilerimizle çeliştiği zaman cisimlerin yapısı değil

kuram yanlış olmalıdır. Açıkçası durumu düzeltmek için bazı ek, o zamana dek bilinmeyen, unsurlar işin içine katılmalıdır. O günlerde «mor-ötesi felâket» diye bilinen bu zorluğu çözüm yolu geçen yüzyılın son ayının son günü Alman Fizikçi Max Planck (1858-1947) tarafından önerildi. Planck, enerjinin eşit dağılımı yasasının, tek bir titreşim modunun sahip olabileceği enerji miktarının **ışınan enerjinin bir kuvantumu** diye adlandırılacak belli bir değerden daha az olamıyacağı koşulu ile düzeltilmesinin paradoksu yok edebileceğini önerdi. Planck, kuramsal enerji dağılımı eğrilerinin, sıcak cisimlerin deneysel emisyon eğrisine uydurulabilmesi için bu enküçük ışınım enerjisinin

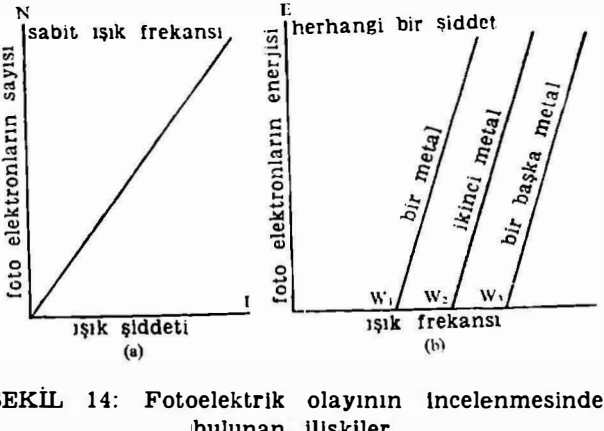
$h\nu$'ya

eşit olarak kabul edilmesi gerektiğini kanıtladı. Burada ν frekans, **h** da kuvantum ya da Planck sabiti diye bilinen evrensel sabittir. Planck'ın düzeltmesi kullanılarak, bir önceki bölümde sözü edilen iki temel ışıma yasasını, Stefan-Boltzmann ve Wien yasalarını elde etmek mümkündür.

Kuvantum sabitinin sayısal değeri fazlasıyla küçüktür (santimetre —gram— saniye birimlerinde 10^{-27}); bu nedenle bir ışık kuvantumundaki enküçük enerji miktarı, algılıyabildiğimiz ışık şiddeti ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Böylece, 60 Watt'lık bir elektrik ampülü saniyede 10^{20} ışık kuvantumu yayar.

Bu yüzden bu yazıyı elektrik ya da güneş ışığı altında okurken, ışığın çok küçük enerji paketleri olduğu gerçeği sizi rahatsız etmemeli; tıpkı suyun çok sayıda tek moleküllerden olması onu içen kişiyi endişelendirmediği gibi.

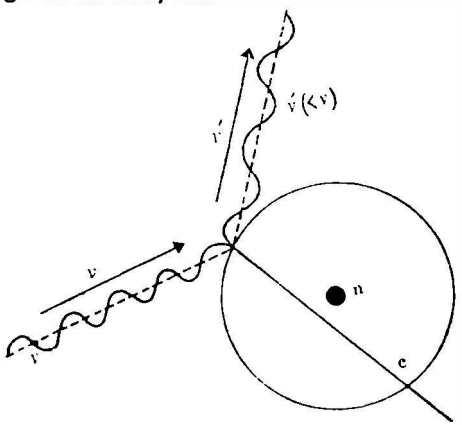
Bu yüzyılın ilk on yılı içinde Planck'ın ışınım kuvantumu (bugün bunlara foton deniliyor) kuramı ışıma ile madde arasındaki etkileşme ile ilgili çeşitli durumların incelenmesinde parlak



ŞEKİL 14: Fotoelektrik olayının incelenmesinde bulunan ilişkiler.
(a) Fotoelektronların sayısı N, ışığın şiddeti I'ya bağımlı.
(b) Fotoelektronların enerjisi E ışığın frekansı ν'ya bağımlıdır.

bir başarı elde etti. 1905'de Albert Einstein, fotoelektrik olayının, yani mor ve morötesi ışıkla aydınlatılan metalik yüzeylerden elektronların çıkması olgusunun, ancak ışığın Planck'ın öngördüğü şekilde tek tek paketler halinde geldiği varsayımıyla anlaşılabileceğini gösterdi. Aslında fotoelektrik olay üzerinde yapılan deneysel çalışmalar belli bir frekansta ışımanın çıkarttığı elektronların sayısının ışımanın şiddeti ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir (Şekil 14a). Kuşkusuz bu, metalden bir elektron çıkarmak için kesin bir biçimde tanımlanan bir miktar ışınım enerjisi gereklidir demektir. Ancak değişik frekanslarda enerji kullanıldığında fotoelektronların enerjisi frekansla doğrusal olarak artmakta, bu da her durumda bir elektrona iletilen enerjinin frekansla orantılı olduğuna işaret etmektedir (Şekil 14b). Orantı katsayısının sayısal değerinin, çok farklı bir fiziksel olgunun açıklanması için Planck

tarafından kullanılan **h** kuvantum sabitine eşit olduğu bulunmuştur.



ŞEKİL 15: Yüksek enerjili bir kuvantumun (ν) bir atomdan bir elektron fırlattığı ve daha az enerji ile (ν') geri sıçradığı Compton olayı. Işık kuvantumlarının enerjisi öylesine yüksektir ki elektron ile çekirdek arasındaki zayıf bağlanma ihmal edilebilir.

1923 yılı sıralarında Amerikalı fizikçi Arthur Compton, X-ışınlarının serbest elektronlarla etkileşmesi sonucu ortaya çıkan ve şimdi kendi adıyla bilinen bir olay keşfetmişti. Compton, gerek X-ışınlarının saçılmasının gerekse elektronların tepmesinin tıpkı iki esnek topun çarpışmasında olduğu şekilde gerçekleştiğini gösterebilmişti. Bu durumdaki iki esnek top bir foton ve bir elektrondur (Şekil 15). Bu ve diğer deneyler ışınan enerjinin tek tek paketler biçiminde yayıldığı, her paket tarafından taşınan enerji miktarının frekansa orantılı olduğunu kanıtlamıştı.

Bohr'un Kuvantum Yörüngeleri

Rutherford'un atom modelinin saniyeden çok küçük bir zamanda neden çökmediğini

açıklamak için Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, Planck'ın ışınan enerji ile ilgili hipotezini atom çekirdeği etrafından dolanan elektronların mekanik enerjilerini de kapsayacak şekilde genişletti. Eğer ışınan enerji kuvantize ise, yani çok iyi tanımlanmış büyüklükteki paketler halinde elde edilebiliyorsa, diyordu Bohr, atom elektronlarının hareketini de kuvantize etmeliyiz. Böylece, daha önce minyatür bir gezegen sistemine benzetilen atom daha çok bir otomobildeki vites kutusuna benzemeye başlamıştı. Arabanız birinci (en düşük) viteste, ya da ikinci, üçüncü ya da dördüncü viteste gidebilir ama birbuçuk ya da iki ve dörtte üç viteste gidemez. Aynı şekilde Bohr'a göre bir atomdaki bir elektron ancak, kuvantum sayıları diye bilinen 1, 2, 3 vb. gibi tamsayılarla numaralanabilecek ayrık hareket durumlarında bulunabilir. Bu modelin bir özelliği de Bohr'un atomik vites kutusunun boş vitesi olmamasıdır. Bir atomun elektronu hiçbir zaman duramaz. Elektronun en düşük enerji seviyesi çekirdeğe en yakın olan birinci dairesel yörüngeye (kuvantum sayısı 1) karşılık gelir. Daha yüksek enerji durumları yarıçapları daha büyük olan dairesel yörüngelere karşılık gelir.

Atom elektronunun «izin verilen» yörüngelerinin seçilmesi için kullanılan kuvantum koşulları ışıma olayındakilerden çok daha karmaşıktır ve bu konuda ayrıntıya inmemiz gereksizdir. Mekanik sistemler durumunda tam sayı değerleri alması gereken niceliğin, Planck sabiti **h** birimleriyle «eylem» diye adlandırılan nicelik olduğunu, yani bu niceliğin, Planck sabitinin tam sayılı katları h, 2h, 3h, vs. dışında değerler alamayacağını belirtmek yeterlidir. Kuramsal mekanik konusunda herhangi bir özel eğitim görmemiş biri için hareket eden bir cismin hızı ve enerjisi kolay anlaşılır kav-

ramlarken eylem kavramı kendisine oldukça garip gelebilir. «Eylem», basit olarak, eldeki enerji ile bu enerjinin elde olduğu sürenin çarpımı olarak tanımlanabilir. Bir elektrondaki bir atomun herhangi bir yörüngesel hareketi için mekanik hareket bir sayıdır ve Bohr'un önerisine göre bu niceliğin kuvantum sabiti **h** ile bölünmesinin sonucu bir tamsayı olmalıdır. Bu koşul bir atom elektronunun olası tüm yörüngelerinden yalnızca ayrık bir dizi izin verilen yörüngeyi seçer ve atom az çok bir otomobilin vites kutusu gibi davranır.

Hidrojen atomu «normal» durumundayken, yani, en düşük enerji durumundayken elektronu çekirdeğe en yakın olan dairesel yörüngede dolanır. Atom «uyarılınca» yani dışardan enerji alınca (örneğin, bir deşarj lambasında atoma bir elektron çarpınca) elektron daha yüksekteki yörüngelerden birine gider. Eski bir deyişi hatırlayalım: «Her çıkışın bir inişi vardır». Böylece uyarılmış olan elektron eski yörüngesine düşer ve fazla enerji ışıma biçiminde açığa çıkar. Ama ışınan enerji ancak foton biçiminde var olabildiğinden elektronun daha yüksek mekanik enerji durumu E_2'den daha düşük mekanik enerji durum E_1'e geçişi, aşağıdaki koşulla tanımlanan frekansta bir ışık dalgasının yayılması ile sonuçlanır:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

ya da,

$$\nu = \frac{1}{h}(E_2 - E_1)$$

Böylece bir atomun içindeki farklı kuvantum durumları arasında bir elektronun geçişleri, iyi tanımlanmış frekanslarda farklı ışık dalgalarının salınmasına yol açacak, bunlar da bir tayfölçerde keskin çizgiler halinde belirecektir

Bohr, bir hidrojen atomunda, çeşitli izin verilen dairesel yörüngelerde dolanan elektronların enerjilerinin bunların yörünge numaralarının kareleri ile ters orantılı olduğunu gösterebilmişti. Böylece, 1'inci (en içerdeki) yörüngedeki elektronun enerjisi E_0 ise, 2'inci, 3'üncü, 4'üncü ve 5'inci yörüngelerin enerjileri,

$$\frac{E_0}{4};\quad \frac{E_0}{9};\quad \frac{E_0}{16};\quad \frac{E_0}{25};\quad \text{vb.}$$

olmalıdır. Bu sayıları daha önce verilen formüle koyarsak **n** inci kuvantum yörüngesinden **m** inciye geçerken bir elektron tarafından yayılan ışığın frekansı için şu değeri elde ederiz:

$$= \frac{E_0}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Bu kuramsal sonuç yirmi, otuz yıl önce tayf-ölçümcüler tarafından keşfedilen ve bir hidrojen atomu tarafından yayılan farklı tayf çizgilerinin gözlenen frekanslarının, **m** ve **n** tamsayılar olmak üzere,

$$\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

eşit olduğunu söyleyen ampirik yasaya tamamen uyuyordu.

m = 1 alır, n'ye de 2,3,4, vb. değerlerini verirsek frekansları aşağıdaki değerlere orantılı bir dizi tayf çizgisi elde ederiz:

$$\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}$$
$$\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}\right) = \left(1 - \frac{1}{9}\right) = \frac{8}{9}$$
$$\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2}\right) = \left(1 - \frac{1}{16}\right) = \frac{15}{16}.$$

Aslında İngiliz tayfölçümsü Theodore Lyman tarafından bulunan bu çizgiler hidrojen tayfının morötesi tarafındadır ve Lyman serisi diye bilinirler.

$m = 2$ alır, n'ye de 3, 4, 5, vb, değerlerini verirsek, Resim 1'de gösterilen hidrojen tayfının görülür kısmındakine benzer çizgiler elde ederiz. 1885'de yayınlanan ve görülür hidrojen çizgilerinin aşağıdaki çizgilerle gösterile bileceğini açıklayan ünlü yazının yazarı J.J. Balmer adlı bir Alman öğretmendi:

$$\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \quad \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right) = \frac{5}{36}$$

$$\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) \quad \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}\right) = \frac{3}{16}$$

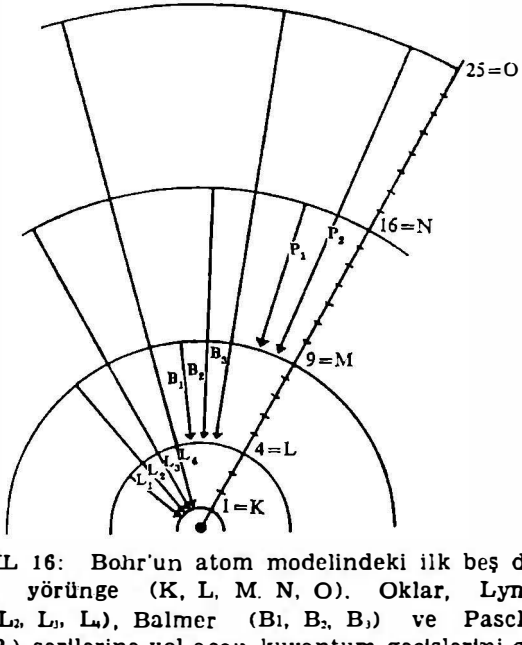
$$\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right) = \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right) = \frac{21}{100}$$

m = 3 ve **n** = 4, 5, 6, vb. için tayfın kırmızı ötesi kısmında bir dizi çizgi elde ederiz. Bu dizi Friedrich Paschen tarafından keşfedilmiştir ve onun adını taşımaktadır.

Şekil 16'da değişik **m** ve **n** değerleri için bir hidrojen atomundaki elektronun enerji seviyeleri gösterilmiştir. Düşey oklar, çeşitli olası geçişlerle, her geçişe karşılık gelen frekanstaki ışık kuvantasının yayılışını göstermektedir. İlk beş dairesel yörüngenin enerji seviyeleri, geleneksel tayfölçüm tanımlamalara göre K, L, M, N ve O harfleri ile gösterilmiştir. En içteki birinci yörünge olan K'da sona eren geçişler Lyman serisi, ikinci yörünge L'de biten geçişler Balmen serisi, M'de biten geçişler ise Paschen serisi olarak bilinir.

Böylece tek bir sezgisel darbeyle Bohr deneysel tayfölçümünün karmaşık sonuçlarını çözmeyi ve atom elektronlarının mekanik momentumlarının temel kuvantum sabiti **h**'nın tamsayı katları olması gerektiğini belirten tek

bir varsayımla tüm gözlenen emisyon frekanslarını açıklayabilmeyi başarmıştı.



ŞEKİL 16: Bohr'un atom modelindeki ilk beş dairesel yörünge (K, L, M, N, O). Oklar, Lyman (L_1, L_2, L_3, L_4), Balmer (B_1, B_2, B_3) ve Paschen (P_1 P_2) serilerine yol açan kuvantum geçişlerini göstermektedir.

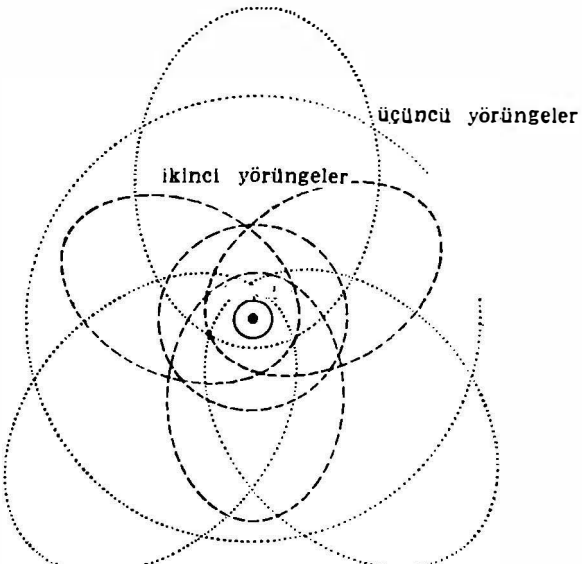
Bohr'un fikirleri, dairesel kuvantum yörüngelerinin yanısıra eliptik yörüngelerin de olabileceğini öne süren Alman fizikçi Arnold Sommerfeld tarafından geliştirildi. Bir daire tek bir kuvantum sayısı ile tanımlanabilirken bir elipsi tanımlamak için iki kuvantum sayısı gereklidir. Sommerfeld'in kuvantum yörüngeleri seti Şekil 17'de gösterilmiştir. Bununla birlikte, bir Sommerfeld eliptik yörüngesi boyunca hareket eden bir elektronun enerjisinin yalnızca, biri atomik elektronun açısal hareketi, diğeri de radyal hareketini tanımlayan iki tamsayıyla belirlenen enerjilerin toplamına eşit olduğu ortaya çıktı. Böylece Bohr'un dairesel

yörüngeler sisteminden daha gelişkin olmasına karşın Sommerfeld'in sistemi pratik olarak Bohr'un başlangıçtaki kuramı ile aynı ampirik sonuçlara yol açtı. Ama iki kuram arasındaki küçük farklar deneysel olarak gözlenen tayf çizgilerinin ayrışmasının açıklanması ile sonuçlandı.

Elementlerin Peryodik Sistemi

Bohr tarafından geliştirilen atomun kuvantum modeli atom tayfının açıklanmasının yanısıra, atomların kimyasal özelliklerinin açıklanmasına da yol açtı. Geçen yüzyılın ikinci yarısında Rus kimyacı Dimitri Mendeleev (1834-1907) ile Alman kimyacı Lothar Meyer (1830-95) birbirlerinden bağımsız olarak kimyasal elementlerin, atomik ağırlıklarına göre bir dizi halinde düzenlendikleri takdirde çeşitli kimyasal özelliklerin dizi boyunca peryodik olarak tekrarlandığını buldular. Bu dizinin çağdaş düzenlenmesindeki temposu helyum, neon, argon, kripton, xenon, vb. gibi asal (ya da soy) gazların peryodik olarak ortaya çıkmaları ile belirlenmiştir. Bu gazlar ne başka kimyasal elementlerle olağan bir kimyasal tepkimeye girerler ne de kendi türlerinden iki-atomlu moleküller oluşturabilirler. Dizide herbir asal gazı, birbirlerine çok benzer kimyasal özellikleri olan **alkali metalleri** (lityum, sodyum, potasyum, vb.) diye adlandırılan grubun bir temsilcisi izler. Her peryodun sonunda da, yine birbirlerine çok benzeyen halojenler (flor, klor, brom, iyot, vb.) adlı grubun bir elementi vardır. En elverişli şekilde bir silindirin yüzeyinde gösterilebilen elementlerin peryodik sistemi Şekil 18'de verilmiştir.

Bohr'dan önce elementlerin kimyasal ve fiziksel niteliklerinin peryodikliği gerek klmyacı-

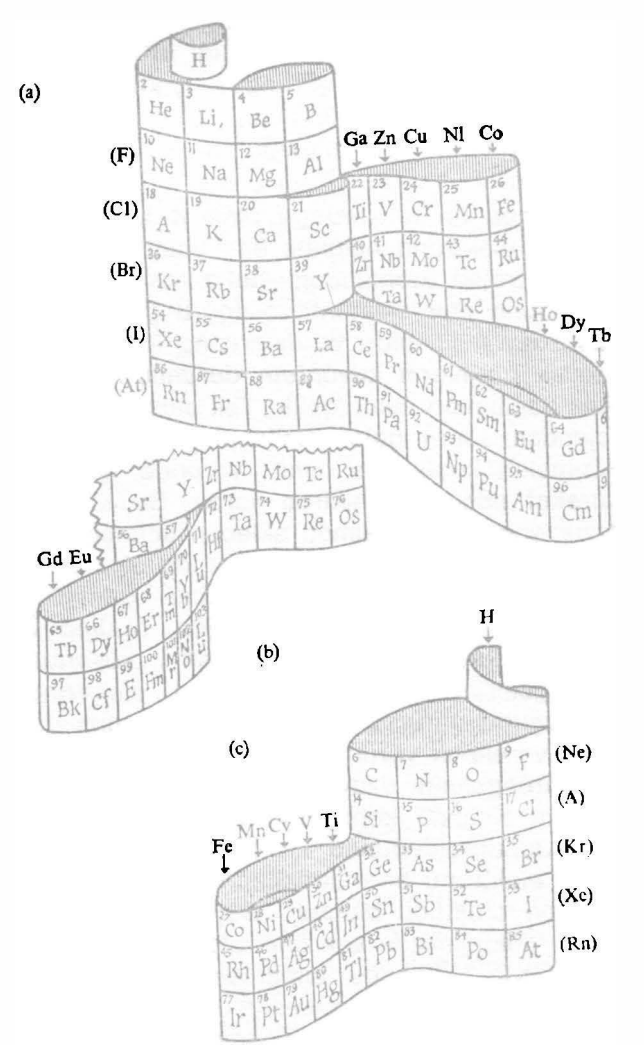


ŞEKİL 17: Bir hidrojen atomundaki Sommerfeld yörüngeleri. Birinci dairesel yörünge (düz çizgi) en düşük enerji durumuna karşılık gelmektedir. Ondan sonraki biri dairesel, üçü eliptik (kesikli çizgiler) dört yörünge bir yüksek duruma karşılık gelmektedir. Şekilde yalnızca dördü gösterilen daha sonraki dokuz yörünge (noktalı çizgiler) daha da yüksek enerjiye (dokuzu için de aynı) karşılık gelmektedir.

lar gerekçe fizikçiler için derin bir giz olmuştu. Ama atomda elektronların ayrık enerji seviyelerinde bulunduklarının anlaşılması ile bu olgu bir anda açıklık kazanıverdi. Bohr'un öğrencisi Wolfgang Pauli, atom elektronlarının «yerleşme kuralı» diye adlandırılabilecek, şimdi herkes tarafından Pauli dışarlama ilkesi diye bilinen bir kural geliştirdi. Bu kurala göre kuvantum yörüngelerinden herbiri iki elektrondan fazlasını barındıramaz ve bir yörünge dolunca öteki elektronlar daha yüksek kuvantum sayılı yörüngelere giderler. Daha sonra, elek-

tronların kendi etraflarında dönen ufacık toplar olarak düşünülmesi gerektiği ortaya çıkınca, Pauli ilkesi aynı yörüngeyi işgal eden iki elektronun zıt (saat yönünde, ya da aksi) yönlerde dönmeleri zorunluluğu da katılarak genişletildi.

Yalnızca en iç yörünge olan K kabuğunda bir tek elektronu bulunan en basit atomdan, yani hidrojen atomundan daha çok elektronu olan daha ağır elementlere doğru gittikçe kuvantizasyon yasaları ve dışarlama ilkesi kullanılarak atomların kuvantum durumları arasındaki dağılımları çıkarılabilir. Tek elektronlu hidrojenden sonra gelen Helyum'da zıt yönlerde dönmeleri koşulu ile aynı yörünge boyunca hareket eden iki elektron vardır. Bu K kabuğunu doldurur. Lityumda eklenen üçüncü elektron, oldukça daha yüksek enerjide olan L seviyesine ait yörüngelerden birine gitmelidir. Berilyum, boron, karbon, nitrojen, oksijen ve flor atomları boyunca gidersek L kuvantum yörüngelerine giderek daha çok elektronun konduğunu görürüz. L yörünge grubunun dairesel ve eliptik yörüngelerden oluştuğu ve eliptik yörüngelerin uzayda farklı fakat yine kuvantize biçimde konumları olacağı göz önünde bulundurulduğunda L kabuğunun toplam sekiz elektronu barındırabilecek dört farklı durumdan oluştuğu bulunur. Böylece neon atomuna geldiğimizde sekizinci elektronun da eklenmesiyle L kabuğu tamamen dolar. Bu nedenle neonu izleyen element olan sodyumdaki bir fazla elektron, üçüncü seviye grubu M'ye yerleşmiştir. Elementler dizisi boyunca daha daha da ilerledikçe bu seviyeye de dolana dek, daha çok elektron eklenir. Bu süreç doğal kimyasal elementler sisteminin sonuna dek, biraz daha karmaşıklaşarak devam eder.



ŞEKİL 18: Sarılı bir şerit üzerine yerleştirilmiş elementlerin peryodik sistemi. Ortadaki şekil, düzenli peryodikliğin dışında kalan element kuşağının öteki yüzünü (nadir toprak elementlerini ve aktinidleri) göstermektedir.

Dış kabuk tamamen dolduğunda bir asal gazla karşılaşıldığına dikkat edelim. Bu koşullar altında atom yalnız olmaktan «memnundur» ve başkaları ile birleşmek «istememektedir». Dolu olmayan kabuklarda durum farklıdır. Bir lityum atomunda üçüncü elektron L kabuğunda yapayalnız otururken florun L kabuğundaki yedi dış elektronun rahatça doymuş bir konfigürasyon oluşturabilmek için bir elektrona ihtiyaçları vardır. Böylece lityumdaki dış elektron yalnız kabuğunu terkederek florun yedi dış elektronuna katılır. Sonuç olarak lityum atomu bir artı elektrik yükle yüklenirken (artı iyon olur) flor ise bir eksi yükle yüklenir (eksi iyon olur). Aralarındaki elektrik kuvvetin etkisi altında iki iyon birbirlerine yapışarak lityum hidrat molekülünü oluştururlar. Peryodik cetvelden görülebileceği gibi oksijen atomunun dış kabukta yalnızca altı elektronu vardır ve doyuma ulaşmak için iki hidrojen atomu ile birleşerek bir su molekülünü oluşturur. Benzer şekilde öteki kimyasal elementlerin valans özellikleri de açıklanabilir. Bir hidrojen atomundaki tek elektronla ilgili olan Şekil 16'da aynı kabuğa ait enerji seviyeleri tek bir çizgi ile gösterilmiştir, çünkü aynı kabuğa ait çeşitli daire ve elipsler aynı enerjiye sahiptir. Ancak bu cümle tam olarak doğru değildir; duyarlı optik çözümler K-kabuğu hariç bütün kabukların birbirlerine çok yakın seviyelerden oluştuğunu göstermektedir. Bu ayrışımın nedeni elektron kütlesinin hızına bağlı olarak rölativistik değişimi ve elektron spininin (kendi etrafında dönmesi) etkisidir. Bu etkiler hidrojende fazlasıyla küçüktür.

Lityum atomunu ele alalım. Burada iki iç elektron çekirdeğe çok yakın hareket ederlerken üçüncü elektron çok dışardadır. Böylece bu elektron, çekirdeğin ünlü artı yükünün çeki-

mi ile iki K-kabuğu elektronunun çifte itişini «hissedecektir». Çekim kısmen itişle dengelenir ve sonuç olarak dış elektron kendini tek bir artı yükün yaratabileceği bir kuvvet alanından sadece çok az farklı bir alanda hareket eder bulur. Böylece hareketi ve enerjisi hidrojenin tek elektronundan fazla farklı olmayacaktır. Aynı şey dış kabukta doyum için yalnızca bir tek elektronu eksik olan öteki alkali metalleri için de doğrudur. Bir atomun optik uyarılmasında daha yüksek enerji seviyesine çıkan ve geri gelirken ışık yayan en dıştaki elektron olduğundan, alkali metallerinin optik tayfının hidrojeninkine benzer olması beklenir. Gerçekten de öyledir. Atomları, dış kabuklarında iki ya da daha fazla elektrona sahip olduğu elementlerde durum daha karışıktır ama genel kuramsal ilkeler ve doğrudan optik gözlemler kullanarak tayfölçümcüler bunların tayflarındaki karmaşık sistemleri çözümleyebilirler

Dalga Mekaniği

Varlığının ilk on yılında Bohr'un atomik yapı kuramı maddenin anlaşılmasında şanlı bir başarılar destanı oldu. Ama bu olaylı dönemin sonuna doğru, kuramın gelişim sürecinde ciddî zorluklar birikmeye başladı ve Bohr'un atom modelinin atomun yalnızca iskeletini temsil ettiği, buna biraz da et eklemek gerektiği giderek daha çok ortaya çıktı. 1924 yılında bir Fransız kuramsal fizikçi, Prens Louis de Broglie, harika bir fikir ortaya attı: Bohr'un atom modelindeki farklı kuvantum yörüngeleri, atom çekirdeğini saran bir tür «sanki bu dünyaya ait olmayan» bir akışkanın içindeki farklı titreşim modlarına karşılıktı. Böylece atom bir otomobilin vites kutusundan çok bir borulu orga ya da bir saksafona benzemeye başlamıştı.

Ayrık enerji durumları farklı vitesler yerine bir müzik aletinin değişik tonlarına ve armoniklerine benzetilmeye başlamıştı. Herhalde atom yapısı üzerindeki çağdaş görüşlere en yakın akustik benzetme bir yüzyıl önce küresel rezonatörleri inceleyen Alman fizikçi Hermann von Helmholtz tarafından sunulmuştu. Bunlar basitçe duvarlarına küçük bir delik açılmış değişik büyüklüklerdeki metal kürelerdi. Bir diyapozon deliğin yakınına konulduğuna kürenin içindeki hava titreşmeye başlar ve diyapozonun frekansı kürenin içindeki havanın olası titreşim modları ile çakışırsa, seste bir artış (rezonans) olur. Metal yüzey boyunca uzanan hava tabakası, tıpkı bir piyano telinin iki ucu gibi katı duvar tarafından tutulduğu için hareketsiz kalır. Burada, akustik dalgaların bir düğüm yüzeyi var deriz. Havadaki küresel simetriden dolayı merkez de hareketsiz kalır ve burada bir düğüm noktası var deriz. Birinci armonik durumunda merkez ile yüzey arasında bir düğüm küresi vardır; ikinci armonikte iki tane vardır. Radyal dalgalara ek olarak, kürenin ekvatoru ya da meridyenleri boyunca hareket eden dalgalar bulunur. Bu dalgalar da merkezden geçen düğüm düzlemlerinin farklı sayılarına karşılık gelen ayrık frekanslara sahiptirler. Matematiksel olarak bir Helmholtz rezonatörü içindeki havanın hareketi iki fonksiyonun çarpımı olarak ifade edilir: açısal konuma bağlı küresel harmonikler ile merkezden uzaklığa bağlı olan Bessel fonksiyonları. Matematiksel olarak hesaplanan çeşitli birleşik

(*) «Küresel harmonikler» ve «Bessel fonksiyonları», sinüs ve kosinüs gibi tanıdık trigonometrik fonksiyonlara benzerler. Ancak üç boyutta titreşim hareketi ile ilgili olduklarından biraz daha karmaşıktırlar.

tonlar deneysel olarak ölçülen rezonans frekansları ile çakışırlar.

Atom çekirdeğini saran gizemli ortamın titreşimleri benzer şekilde hesaplanabilir. Kuşkusuz atom, elektronları tutan katı bir küresel kabukla çevrilmemiştir ama atom elektronları ile çekirdek arasındaki elektriksel çekim (bu durum çok dik bir yokuşa benzetilebilir) elektronların uzaklaşmasını engellediğinden aynı rolü oynar. Bu durumdaki açısal çözümler katı küredeki ile aynı kalırken (yani küresel harmonikler) radyal bağımlılık Lagranj polinomları diye bilinen başka fonksiyonlar ile verilir. De Broglie'nin orijinal fikrini genelleştirerek ve dalga mekaniği denklemi diye bilinen denklemi yazarak Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger 1926 yılında, bir hidrojen atomundaki protonu çevreleyen elektron dalgalarının uygun titreşim frekanslarının, yine gözlemlere tamamen uyan ve Bohr'un kuramı temel alınarak hesaplanan enerji seviyeleriyle tamamen çakıştığını kanıtlamıştı.

De Broglie dalgalarının fiziksel anlamı ve bunların Bohr yörüngeleriyle ilişkisi nedir? Kabul edilen yoruma göre uzayda bağlı bulundukları herhangi bir noktada bu dalgaların en yüksek şiddetleri bize, bu amaç için tasarlanmış özel bir deney yaptığımız takdirde, elektronu o noktada bulabilme olasılığını vermektedir. Bunlar, bir anlamda, «olasılık dalgaları»dır ve örneğin ses dalgalarının fizikselliği gibi hiçbir fiziksel gerçekliğe karşılık gelmemektedirler. En yakın benzetme belki de bir hedefe atış yapma durumudur. Belki yalnızca bir ya da iki kurşun tam hedefe isabet edecekken diğerleri hedefin etrafındaki içiçe halkalar arasında dağılacaktır. Çeşitli halkalara isabet etmesi beklenen kurşun sayısı çok uzun zaman önce Alman matematikçi Karl Friedrich Gauss

tarafından çıkartılan ünlü «hata formülü» ile verilmektedir. Gauss'un formülü kâğıt üzerine yazılabilir ama bir tüfekle atılamaz. Yine de bir hedefe ateş etmek, piyangoda kazanmak ya da kâğıt oyunları gibi kişinin belli bir amaca ulaşmak için çabaladığı tüm süreçlerde sonuçlar hep bu formülle tanımlanır. Birçok atıştan sonra insanın her bir kurşun deliğinin hedefe olan ortalama uzaklığını belirleyebildiği anlamda Bohr'un kuvantum yörüngelerinin yarıçaplarının da atom elektronlarının çekirdeğe **ortalama uzaklıkları** olduğu ortaya çıktı. Böylece de Broglie dalgaları Bohr'un yörünge iskeletinin üzerine et koymuş oldu.

De Broglie olasılık dalgaları atomik elektronlar için var iseler uzayda serbest dolaşan elektronlar için de var olmalıdırlar. Ve eğer böyleyse vakum tüplerindeki elektron hüzmeleri ışık dalgaları gibi kendine özgü bir optik kırınım olgusu göstermelidir. De Broglie'nin önerisinden hemen sonra iki Amerikalı fizikçi C.J. Davisson ve L.H. Germer ile bir İngiliz, George Thomson (daha sonraları Sir George) tarafından yönetilen deneyler gerçekten de elektron hüzmelerinin karakteristik bir kırınım olgusuna sahip olduklarını gösterdi. Dalga mekaniği diye bilinen yeni kuram Bohr'un daha eski kuramının tüm tahminlerini doğruluyor, aynı zamanda da Bohr'un kuramının başa çıkamadığı çok sayıda olguyu da açıklıyordu. Dalga mekaniğinin maddeyi anlayışımıza getirdiği bir ilerleme de çekirdek dönüşümleri ile ilgilidir ve gelecek bölümlerden birinde ele alınacaktır.

Olasılık dalgalarının bütün ölçme süreçlerine getirdiği temel sınırlama Alman fizikçi Werner Heisenberg tarafından ünlü «belirsizlik ilkesi» ile verilmiştir. Bu konunun incelenmesi bizi bu kitabın konusundan çok uzaklaştıra-

caktır. İlgili okuyucular tümüyle fiizkle ilgili başka kitaplara başvurabilirler. (*)

(*) Örneğin yazarın Biography of Physics *adlı kitabı, [New York, Harper, 1961.]*

III. BÖLÜM

GÜNEŞİN ÇALKANTILI YÜZEYİ

Kaynaşır alev dalgaları orada,
Arayan, ama hiçbir zaman bir kıyı bulamayan;
Söner akkor rüzgârlar orada
Çok eski çağlarda olduğu gibi, ama çok;
Taşlar su gibi kaynar orada; ve yağar
Kıvılcım yağmurları herşeyin üstüne sonsuza dek.
- Mikhail Lomonosov

Güneş Nelerden Oluşmuştur?

Birinci bölümde belirtildiği gibi Güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 derece Kelvin'dir ve yüzeyden derine indikçe sıcaklığın hızla arttığı sanılmaktadır. Bu sıcaklık tüm kimyasal elementlerin buharlaşma noktalarının çok üstündedir. Bu nedenle Güneş maddesinin tümüyle gaz halinde olduğu sonucuna varabiliriz. Ancak Güneşin suya göre ortalama yoğunluğu 1.4 olduğu için bu gazlar fazlasıyla sıkıştırılmış olmalı, atomları da bulabildikleri yerde yan yana sıkışmış bir durumda bulunmalıdırlar. Yan yana sıkışık bir halde duran atomlar armonik optik tonlar yani belli dalga boylarında ışık yayma yeteneğini yitirir. Bunların yüksek ısıda uyarılmaları bir optik gürültüye, yani sürekli beyaz ışık tayfına yol açar. Tıpkı bir elektrik ampülünün sıcak filamanından yayılan ışık bir gaz alevinin ateşinden geçerken olduğu gibi, iç tabakaların (fotosfer-ışıkyuvarı)

sürekli tayfı daha ince dış tabakalardan (kromosfer-renkyuvarı) geçerken, bazı karakteristik dalga boylarının seçilip soğrulması gerçekleşir. Bunun sonucu da, güneş atmosferinin kimyasal yapısı hakkında bize bilgi veren Fraunhofer çizgileridir. Dünya yüzeyinde oldukça bol miktarda bulunan tüm elementlerin tayf çizgileri, renkyuvarının soğurma tayfında da bulunmuştur. Bu da Güneşin temel olarak Dünyamız ile aynı kimyasal elementlerden yapılmış olduğunu kanıtlar.

Ama Güneş üzerindeki çeşitli elementlerin bolluğu bunlara karşılık gelen Fraunhofer çizgilerinin göreli şiddeti ile verildiği sonucuna varmak yanlış olur. Aslında çeşitli atomların soğrulma şiddeti büyük ölçüde bunların içinde bulundukları fiizksel koşullara bağlıdır. Örneğin neon atomlarını ele alalım. Beyaz ışığı, içinde neon gazı bulunan bir cam tüpten geçirir ve tayfölçerde buna bakarsak hiçbir karanlık soğrulma çizgisi olmayan, sürekli bir tayf görürüz. Öte yandan, neon reklam panolarında olduğu gibi neon gazından anî bir elektrik akımı geçirildiğinde neon parlaklaşır ve parlak bir kırmızı ışık yayar. Bu Kirchoff'un yasasıyla çelişiyor mu? Hiç de değil. Elektrik akımı yokken tüm neon atomları normal durumları olan en düşük enerji seviyesinde kalırlar ve beyaz ışığın kuvantumlarındaki enerji elektronları bu durumdan daha yüksekteki durumlara çıkarmaya yeterli değildir. Böylece tübün içinden geçen ışığın hiçbir kuvantumu soğrulmaz ve tayfta hiçbir karanlık çizgi görülmez. Ancak, neon dolu bir tüpten yüksek gerilimli bir akım geçirildiğinde tüp boyunca hızla hareket eden elektronlar neon atomlarıyla çarpıştıklarında onları uyaracak ve atomların elektronlarını daha yüksek enerji seviyelerine çıkartacak yeterli enerjiye sahiptirler.

Neon atomlarındaki uyarılmış elektronlar temel duruma dönerken ışık kuvantumları yayar ve tayfölçümde neonun özelliği olan parlak bir kırmızı çizgi oluştururlar. Eğer yüksek şiddette beyaz ışığı parlak bir neon tübünün içinden geçirirsek tayfölçerde sürekli bir parlak fonun üzerinde, tıpkı Kirchoff yasasının söylediği gibi, neonun kırmızı emisyon çizgisinin olacağı yerde karanlık bir çizgi görürüz. Öte yandan neon atomları, yüksek gerilimli bir elektrik akımı yerine gazın sıcaklığı birkaçbin dereceye çıkartılarak da uyarılabilirler. Bu sıcaklıkta atomlar arasındaki ısısal çarpışmalar bu uyarıyı oluşturacak kadar şiddetlidir. Güneşin renkyuvarında Fraunhofer çizgilerine neden olan işte bu ısısal uyarılmadır.

Bu uyarılmış durumda neon atomları neon gazına özgü kırmızı çizgiyi salmaya başlarlar. Işıkyuvarından gelip buradan geçen şiddetli beyaz ışık sonuçta karanlık bir Fraunhofer çizgisi gösterir, çünkü sürekli tayfdan soğrulan o dalga boyundaki ışık miktarı neon gazının nispeten zayıf olan emisyonundan daha fazladır.

Kuşkusuz neon için doğru olan diğer tüm kimyasal elementler için de doğrudur. Ancak farklı atomlar farklı **uyarılma potansiyellerine** (*) sahip olduklarından tayfları sıcaklıktan farklı biçimde etkilenecektir.

Daha güçlü etkiler altında elektron atomun tamamen dışına atılabilir. Bu durumda madde «ısısal olarak iyonize» olmuştur. Burada yine çeşitli kimyasal elementlerin atomları arasında büyük farklılıklarla karşılaşıyoruz. Tablo 1, astrofizikte önemi olan bazı elementlerin **iyo-**

(*) Uyarılma potansiyeli, atomun temel durumundan uyarılmış duruma çıkması için gereken enerjidir. — (Çev.)

nizasyon potansiyelleri (yani, bir elektronun atom dışına çıkartılması için yapılan iş) değerlerini göstermektedir. I ,II, III, vb. sütunlar belirtilen atomdan birinci, ikinci, üçüncü, elektronu koparmak için gerekli işi (enerjiyi) vermektedir. Böylece de geriye bir, iki, üç, vb. artı yüklü iyon kalır. Verilen değerler «elektron volt» denilen birim cinsindendir. Bir elektron volt, bir voltuk bir gerilimden bir elektronun elde ettiği enerji miktarıdır. Aynı yoğunluk ve basınç altında, daha düşük iyonizasyon potansiyeline sahip atomlar, daha yüksek iyonizasyon potansiyeline sahip atomlara göre, daha düşük sıcaklıklarda yani pek şiddetli olmayan ısısal çarpışmalarla iyonize olurlar.

Önce asal gazların (helyum, neon, ve bir bakıma argon) iyonizasyon potansiyellerinin çok yüksek olduğu gözümüze çarpıyor çünkü bunların atomları parçalanması pek de kolay olmayan, tamamlanmış elektron kabuklarına sahiptirler. Öte yandan tüm metallerin özellikle düşük iyonizasyon potansiyelleri vardır ki bu da bunların dış elektronlarının çok gevşek bir biçimde bağlı olduklarına işaret etmektedir. Bu da tüm metallerin iyi elektrik iletkenleri oldukları olgusuna güzelce uymaktadır. Gerçekten de metallerin elektriksel iletkenliğinin nedeni, atomlarından ayrılmış olan ve iki ucuna bir elektrik potansiyeli uygulandığında metal bir tel boyunca akan bu «serbest elektron» diye adlandırılan elektronların varlığıdır. Ancak metallerde gevşek bağlanmış elektronların serbest kalmaları, sıcaklıktan değil, metal kristalinde atomların düzenli, sıkışık koumlarından kaynaklanır. Atomdan ikinci, üçüncü de daha fazla elektron koparmanın da giderek zorlaştığına dikkat edelim.

Basit hidrojen örneğinde gösterilebileceği gibi Fraunhofer çizgilerinin yorumlanmasında

farklı elementlerin farklı iyonizasyon potansiyellerine sahip olmasının büyük bir önemi vardır. Güneşin 6000 derece Kelvin'lik yüzey sıcaklığında hidrojen atomları hemen hemen tamamiyle iyonize olurlar, yani sahip oldukları tek elektronu da yitirirler. Daha çok elektronu olan diğer atomlar bir, iki ya da daha fazla elektron yitirdikten sonra da hâlâ bir miktar

TABLO I Başlıca bazı elementlerin İyonizasyon Potansiyelleri (ev olarak)

	İyonizasyon derecesi						
Element	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*
Hidrojen, H	13.530						
Helyum, He	24.46	54.14					
Karbon, C	11.212	24.26	47.64	64.17	390.12	487.55	
Nitrojen, N	14.46	29.44	47.20	77.04	97.40	549.08	663.73
Oksijen, O	13.55	34.94	54.63	77.03	113.30	137.42	735.20
Neon, Ne	21.47	40.91	63.30	97.00			
Sosyum, Na	5.11	47.06	71.30				
Magnezyum, Mg	7.61	14.96	79.74				
Alüminyum, Al	5.96	18.73	28.31				
Sillkon, Si	8.11	16.26	33.33	44.92	165.66		
Sülfür, S	10.31	23.3	34.9	47.08	63.00		
Argon, A	15.69	27.49	40.48	61.00	78.00		
Potosyum, K	4.32	31.67	45.5				
Kalsiyum, Ca	6.09	11.82	51.0				
Titanyum, Tl	6.81	13.6	27.6				
Vanadyum, V	6.72	14.1	29.6				
Kromiyum, Cr	6.74	16.6	31				
Maganez, Mn	7.41	15.56	34.4				
Demir, Fe*	7.83	16.16	30.48				
Kobalt, Co	7.84	16.9					
Nikel, Ni	7.61	18.4					
Strontiyum, Sr	5.67	10.98					

(*) Güneşin korona tayfının bölümde daha sonra göreceğimiz yorumu için çok önemli olan demirin daha yüksek derecede iyonlaşma potansiyelleri şöyledir:
Fe VIII, 150,4; Fe IX, 233,5; Fe X, 261,0; Fe XI, 288,9; Fe XV, 454,0.

elektrona sahipken, bir kere iyonize olan tek elektronunu yitiren hidrojen ışık dalgalarıyla etkileşmeyen çıplak bir çekirdek (bir proton) haline gelir. Böylece hidrojenin soğurma çizgileri Fraunhofer tayfında tümüyle yok olmalıdırlar. Çok zayıf da olsalar bu çizgilerin yine de gözlenmeleri olgusu hidrojenin Güneşte bol miktarda var olduğuna işaret etmektedir. Gerçekten de daha kesin hesaplar hidrojenin ağırlık açısından güneş atmosferinin yaklaşık yüzde 50'sini oluşturduğunu göstermektedir.

Bir başka ilginç örnek, atomları normal olarak iki elektrona sahip olan helyum atomudur. Güneşin yüzey sıcaklığında bu iki elektrondan biri çoğu kez kopar ve helyum, iki temel yük ($Z = 2$) taşıyan bir çekirdek ile bunun etrafında dolanan bir elektrondan oluşan artı iyon, $He+$, biçiminde bulunur. Bohr'un kuramına göre $He+$'nın enerji seviyeleri aşağıdaki formülle verilir:

$$E_n = Z^2 R \frac{1}{n^2} = 4R \frac{1}{n^2}$$

Burada **R** bir sabit, **n** de yörünge kuvantum sayısıdır. Bu formülü kullanarak, **n**'nin değerini iki katı olarak aldığımızda hidrojen durumundaki çizgilerle aynı tayf çizgilerini elde ederiz. Yani hidrojen atomunda belli bir **n** enerji serviyesi, $He+$'da 2n kuvantum sayılı enerji seviyesiyle aynıdır. (*)

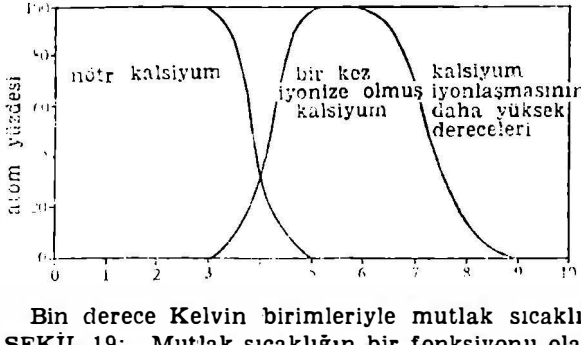
Böylece Fraunhofer tayfında iyonize olmuş helyumun neden olduğu çizgiler iyonize olmamış hidrojen çizgileriyle karıştırılabilir (gerçekten de karıştırılmıştır). Bu çizgilerin doğru bir biçimde tanımlanması, çizgilerin dalga boyla-

(*) *Gerçekten de*

$$4R \frac{1}{(2n)^2} = 4R \frac{1}{4n^2} = R \frac{1}{n^2}$$

rında, helyum ve hidrojen çekirdeklerinin kütleleri arasındaki farktan ileri gelen küçük fark bulunduktan sonra yapılabilmiştir. Güneş tayfındaki iyonize olmamış helyum çizgileri ise gerçekten de çok zayıftır. Bu durum başlangıçta güneşin atmosferinde helyumun çok az olduğu sonucuna varılmasına yol açmıştır. Bu da oldukça hoş bir durumdur çünkü helyum elementi ilk önce Güneşin atmosferinde keşfedilmiştir ve adı, Yunanca Güneş demek olan **helios** sözcüğünden gelmektedir. Bu sonucun tümüyle yanlış olduğunu biliyoruz. Güneşin atmosferinde helyum, hidrojen kadar boldur ama ısısal iyonizasyonun yüksek derecesinden dolayı Fraunhofer tayfındaki normal helyum çizgileri çok zayıftır.

Üçüncü bir örnek olarak, normal koşullarda her atomunda 20 elektron bulunan kalsiyumu ele alalım. 3000 derece Kelvin'lik bir sıcaklığa dek kalsiyum buharındaki atomlar 20 elektronu korumaya devam ederler. Sıcaklık arttıkça kalsiyum atomları arasındaki ısısal çarpışmalar bunların bir elektronunu kopartarak artı kalsiyum iyonlarını, $Ca+$, oluşturur. Yaklaşık 4000 derece sıcaklıkta kalsiyum atomlarının yarısı kalsiyum iyonları olmuşlardır ve 5000 derecede iyonize olmamış kalsiyum atomlarının sayısı sıfıra düşer. Güneş yüzeyinin sıcaklığı olan 6000 derecede tüm kalsiyum bir kere iyonize olmuş atomlar biçiminde bulunur. Sıcaklık daha da yükselirse (bazı daha sıcak yıldızların durumunda olduğu gibi) ikinci kalsiyum elektronları kopmaya başlar ve bu süreç 9000 derecede sona erer. Bu sıcaklıkta kalsiyum atomlarının çoğu iki kez iyonize olmuş durumda, yani $Ca++$ iyonları şeklinde bulunurlar. Sıcaklığın daha da artışıyla $Ca+++$, $Ca++++$, vb. iyonları oluşur. Şekil 19'da gazın sıcaklığının artması ile farklı kalsiyum



Bin derece Kelvin birimleriyle mutlak sıcaklık

ŞEKİL 19: Mutlak sıcaklığın bir fonksiyonu olarak 1 Nötr, bir kez ve daha fazla iyonize olmuş kalsiyum atomlarının yüzdesi. Bu eğriler elektron gazının basıncının 0.000001 atmosfer olduğu durum içindir.

iyonlarının göreli miktarlarındaki değişiklikleri göstermekteyiz.

İyonlaşmamış kalsiyum atomlarıyla, farklı sayılarda elektron yitirmiş çeşitli kalsiyum iyonlarının farklı ışık soğurma özellikleri olduğuna göre, içinde belli oranda kalsiyum bulunan bir gazın sıcaklığı arttıkça, kalsiyum miktarı değişmediği halde, tayfında büyük değişiklikler görülecektir. Aynı şey tabiî ki bütün diğer elementler için de geçerlidir.

Sıcaklığın yanısıra atomların iyonizasyonunda önemli bir unsur gazların basıncıdır ki kuşkusuz bu da gazın etkisi altında olduğu basınca bağlıdır. Yüksek yoğunlukta atomlardan kopan elektronların hareket edebilecekleri daha az yer vardır, bu da doğal olarak ısısal iyonizasyon derecesini aazltır. Böylece, aynı sıcaklıkta, artan basıncın sonucu olarak yoğunluk arttıkça, herhangi bir tür atomun iyonizasyon derecesi düşecektir. Örneğin Şekil 19'da verilen ve dünya üstündeki atmosfer basıncının yaklaşık yüzbinde biri kadar bir basınçta hesaplanan kalsiyum iyonizasyon eğrileri gaz

basıncı arttırıldığı takdirde sağa kayacaktır Değişen sıcaklığın ve basıncın, bütün kimyasal elementlerin bir karışımından oluşan bir gazın iyonizasyon durumu üzerindeki etkisinin görünümü fazlasıyla karmaşıktır ama atom yasalarını bilen ve bu konuda biraz zaman harcamak isteyen birinin anlama yeteneğinin ötesinde değildir.

Tablo 2 Güneş atmosferindeki elementlerin bolluğu

	Yüzdesi Hacim	Güneş yüzeyinin santimetre karesindeki miligram olarak gaz kütlesi
Hidrojen	81.760	1,200
Helyum	18.170	1,000
Karbon	0.003000	0.5
Nitrojen	0.010000	2.0
Oksijen	0.030000	10.0
Sodyum	0.000300	0.1
Magnezyum	0.020000	10.0
Alüminyum	0.000200	0.1
Silikon	0.006000	3.0
Sülfür	0.003000	1.0
Potasyum	0.000010	0.003
Kalsiyum	0.000300	0.2
Titanyum	0.000003	0.003
Vanadyum	0.000001	0.001
Kromyum	0.000006	0.005
Manganez	0.000010	0.01
Demir	0.000800	0.6
Kobalt	0.000004	0.004
Nikel	0.000200	0.02
Bakır	0.000002	0.002
Çinko	0.000030	0.03

Bu önemli sorun, 1920'lerin başında Hintli gökbilimci Meghnad Saha tarafından çözümlenmiştir. Saha, Fraunhofer çizgilerinin karmaşık bilmecesini çözebilmiş ve Güneşin atmos-

ferindeki farklı elementlerin doğru oranlarını bulabilmişti. Yeni çalışmalarla düzeltilen sonulçarı Tablo 2'de gösterilmiştir.

Güneş Lekeleri

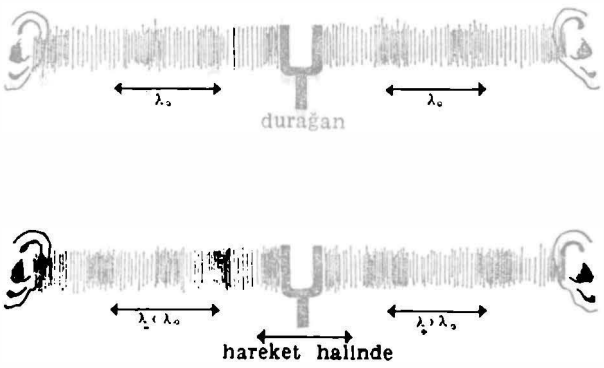
Eski zamanlarda Güneş kutsal bir ateş olarak düşünülmüş, bu nedenle de kusursuz ve hatasız olduğu kabul edilmişti. Güneşin parlak yüzeyinin kimi zaman karanlık lekelerle bozulduğu biliniyordu ama bunların uzayda, Güneş ile Dünya arasından geçen cisimler olduğu sanılıyordu. İşte bu nedenle ilk gökbilimsel teleskobu yapan ve böylece gök cisimlerinin incelenmesinde yeni bir çağ açan Galileo vardığı sonucu açıklamadan önce uzun bir süre tereddüt etmişti: «Yinelenen gözlemler en sonunda, bu lekelerin güneş cisminin yüzeyinde oldukları, kimi daha uzun kimi ise daha kısa dönemlerde olmak üzere burda oluştukları ve yine burada kayboldukları konusunda beni inandırmıştır. Ve yaklaşık bir ay süresinde tamamlanan Güneşin dönme hareketi ile Güneşin etrafında taşınırlar. Bu bizzat önemli bir olaydır ve anlamı daha da önemlidir.»

Galileo'nun teleskobundan görmüş olabileceği şey Resim 2'de gösterilmiştir. Güneş lekeleri büyüklükleri açısından çok çeşitlidirler. «Gözenek» denen en küçüklerinin çapı yalnızca birkaçyüz kilometredir ve teleskopla görülemeyen daha da küçük lekeler olması çok olasıdır. Daha büyüklerin çapı onbinlerce kilometreyi bulabilir ve büyük bir leke gurubu 160 000 kilometrenin ötesinde olabilir. Bugüne dek kaydedilen en büyük leke grubu 1947 Nisanında olmuştur; toplam alanı 15 000 000 kilometre kareydi ki bu güneş diskinin görünürdeki toplam yüzeyinin yüzde biridir. Bu bölümde daha sonra göreceğimiz gibi güneş lekelerinin

çiftler ya da daha büyük gruplar halinde belirme eğilimleri bunların kökeninin çözümlenmesinde çok önemli bir unsurdur.

Lekelerin büyük çoğunluğu güneş ekvatorunun kuzey ve güneyinde 5 ile 30 derece enlemler arasında, Güneşin «tropik» bölgeleri diye adlandırılabilecek bölgelerde oluşurlar. 35 derecenin üstünde güneş lekelerine çok ender olaark rastlanır. 40 derecenin de üstünde Güneş lekeleri hemen hiç görülmezler. Bununla birlikte 1956 Ağustos'undaki yüksek Güneş hareketliliği döneminde Güneş ekvatorundan 50 derece uzaklıktaki enlemde daha önce hiç görülmemiş bir biçimde bir gruj leke belirmişti.

Ekvatordan farklı uzaklıklarda beliren lekelerin hareketi gözlenerek Güneşin katı bir küre halinde dönmediği bulunabilir. Ekvatora çok yakın olan lekeler Güneşin etrafını 25,14 günde dolaşırlarken 15 derecelik enlemde olanlar 25.50 günde, 30 derecede olanlar ise 25.53 günde dolaşırlar. Resim 3'de büyük 1947 güneşlekesi grubunun, Güneşin dönmesi ile disk yüzeyini iki kez geçişini gösteren birbirini izleyen günlerde çekilmiş fotoğraflarını görüyorsunuz.



ŞEKİL 20: Ses dalgalarında Doppler olayı.

Ekvatordan uzakta Güneş yüzeyinin dönmesini inceleyebilmek için «Doppler olayı» diye adlandırılan bir olaya dayalı bir yöntem kullanmak zorundayız. Doppler olayı, kaynağın hareketinin, yaydığı ışık ya da ses dalgasının boyu üzerindeki etkisini belirler. Örneğin, Şekil 20'de gösterildiği gibi size doğru hareket eden bir diyapozon tarafından yayılan ses dalgaları hareket yönünde kısalacaktır. Dalga boyunun kısalması, ses titreşimlerinin frekansının artması ve böylece de daha tiz bir ses oluşması demektir. Bunun tersi olarak, eğer diyapozon sizden uzaklaşıyorsa ses dalgaları uzar, frekans azalır ve siz daha düşük bir perdeden ses duyarsınız. Aynı durum ışık dalgalarında da oluşur. Yalnız ışık sesten çok daha hızlı yayıldığından bu etki çok daha yüksek hızlarda gözlenebilir.

Belli bir frekansta ışık yayan hareket halinde bir kaynak ve biri hareket yönünde diğeri ise aksi yönde yerleştirilmiş iki tayfölçer düşünün. Işık kaynağı durağan olsaydı her iki tayfölçerde de tamamen aynı konumda Fraunhofer çizgileri izlenecekti. Ancak kaynak hareket halinde olduğundan hareket yönünde salınan ışık dalgaları «sıkışacak» ve bu nedenle de o yönde duran bir gözlemciye daha kısa, başka bir deyişle, görünür tayfın mor ucuna doğru kaymış görünecektir. Öte yandan kaynak hareketinin ters yönünde salınan ışık dalgaları «uzayacak», böylece bu yönde yerleştirilmiş tayfölçer, tayfın kırmızı ucuna doğru bir kayma kaydedecektir. Dalga boyundaki göreli değişme, $\Delta \lambda / \lambda$'nin kaynağın hızı ile ışığın hızının oranına, yani v/c'ye eşit olduğu gösterilebilir.

Böylece, tayf çizgilerinin Doppler kaymasını ölçerek yalnızca ışık kaynağının bize yaklaştığını ya da uzaklaştığını belirleyebilmekle

kalmayacak radyal yöndeki hızı için kesin bir değer de elde edebileceğiz. Doppler kayması yöntemi gökbiliminin tüm alanlarında, örneğin yıldızların, gaz halindeki bulutsuların, ve milyarlarca ışık yılı uzaklıktaki galaksilerin hareketinin incelenmesinde geniş bir biçimde kullanılmaktadır.

Güneş diskinin farklı noktalarından gelen ışıktaki Doppler kaymasının incelenmesi Güneşin doğu (sol) kenarının bize yaklaştığını, batı (sağ) ucunun ise uzaklaştığını ortaya çıkartır. Aynı inceleme, lekelerin gözlenmesine dayanılarak çıkartılan ve Tablo 3'de gösterildiği gibi, dönme peryodunun ekvatordan uzaklıkla arttığını belirten sonucu da doğrulamaktadır.

Durum, akıntı hızının ortada büyük, kıyı yakınlarında ise küçük olduğu geniş bir nehre benzemektedir ve güneş lekelerinin, farklı hızlarla hareket eden su akıntılarının oluşturduğu girdaplara az da olsa benzediği izleniminden kaçınmak zordur. Ancak, Güneşin açısal dönmesinin neden ekvatordan uzaklıkla değiştiğini anlamadığımız sürece böyle bir benzetme hiçbir şeyi açıklamaz. Aslında girdapların oluşması enerji harcayacak ve farklı güneş enlemlerindeki açısal hızları eşitleme eğiliminde olacaktır Buna göre güneş lekelerinin sürekli oluşumu için enerjiyi sağlayan unsur nedir?

TABLO *Güneşin Dönmesi**

Ekvatordan Uzaklık	Dönme Peryodu (Gün)
0°	24.64
15°	25.41
30°	26.45
45°	28.54
60°	30.99
75°	33.07

(*) Doppler olayı yöntemi ile belirlenmiştir.

Güneş yüzeyinin geri kalan kısmından farklı oldukları için karanlık bölgeler halinde göründükleri halde lekeler oldukça parlaktır. Sıcaklıkları güneş yüzeyinin geri kalan kısmından yalnızca birkaç bin derece daha azdır ve oldukça büyük bir güneş lekesi grubunun dışında tüm yüzeyi örtebilseydik bu lekeler tek başlarına Dünyayı yüz tane Ay kadar aydınlatacak, bunlara çıplak gözle bakmak zor olacaktı.

Güneş lekelerinin ayrıntılı yapısı çok karmaşık ve tuhaftır. Ama bunlar her zaman güneş yüzeyinin geri kalan kısmından oldukça parlak bir çemberle (penumbra-yarıgölge) ayrılan daha karanlık bir merkezi bölgeyi (umbra-gölgeli alan) içerirler. Yarı gölge, gölgeli alan ve dıştaki yüzey arasındaki sınırlar oldukça düzensizdir ve hızla değişir. Kimi zaman lekenin merkezine doğru yayılan kanat şeklinde biçimler görülebilir; kimi zaman parlak köprüler tüm lekeyi bir uçtan öteki uca katederler. Resim 4, bir güneş lekesi grubunun, insansız bir balon içersinde bir teleskop ve fotoğraf makinasını atmosferin çok üstüne, 24000 m.lik bir yüksekliğe göndererek elde edilen enfes bir fotoğrafı göstermektedir. Bu fotoğraf Princeton Üniversitesinden Martin Schwarzschild tarafından elde edilmiştir.

Güneş lekelerindeki parlak gazların hareketini incelemek için apaçık bir yol bunların farklı bölgelerinden salınan ışıktaki Doppler olayını ölçmektir. Lekeler Güneş diskinin merkezine yakın olduğunda Doppler kaymasının ihmal edilir olduğu bulunmuştur. Bu da lekelerdeki parlak gazların hiçbir düşey hareketleri olmadığına işaret eder. Ancak gölge Güneşin kenarına yakın olduğunda Fraunhofer çizgilerinde çok büyük Doppler kaymaları gözlenir. Bu da gölgenin gözlemciye daha yakın olan

tarafının yaklaştığı, öteki tarafının ise uzaklaştığı anlamına gelir. Bunlar sıcak gazların lekenin merkezinden çıkarak Güneşin yüzeyine az çok paralel bir şekilde yayıldıklarını kanıtlamıştır. Bununla birlikte daha sonra diğer bazı elementlerin Fraunhofer çizgilerinin tamamiyle ters bir davranış gösterdiklerini, yani lekenin merkezine doğru geldikleri bulunmuştur. Gözlemlere göre merkeze gelen akıntılar, uzaklaşanlara göre, Güneşin yüzeyinde daha büyük yüksekliklerde hareket eder gibidirler. Tüm manzara bir purodan çıkan ve puro içen kişinin başının üstündeki tavana yansıtılan düz bir dumandan halka gibidir.

Yüzeyin Ayrıntıları

Güneş lekeleri bize, Güneş yüzeyindeki huzursuzluğun en etkileyici kanıtlarını verirken gözlemler lekelerden bile ötede, güneş maddesinin, şiddetli, çalkantılı bir hareket içinde olduğunu, harekete geçmiş bir yanardağın kraterinin içindeki lavlar gibi girdaplar yaparak döndüğünü, fışkırdığını ve kaynadığını göstermektedir. Bu olgu **bulgurlanma** (granulation) diye bilinir ve teleskopta, bir gökbilimcisinin dediği gibi fokur fokur kaynayan pirinç çorbasındaki pirinç tanelerine benziyen, hızla değişen, parlak ve karanlık bölgelerden oluşmuş bir ağ gibi görünür. Bulgurcukların her biri yalnızca birkaç yüz mil genişliğindedir ve yalnızca birkaç dakika içinde tamamiyle değişen düzenleri hızlarının saniyede 160 km.ye kadar çıktığını göstermektedir. Yakın zamanlara dek Güneş yüzeyinin bulgurlanması, teleskoba gelen güneş ışığının içinden geçmesi gereken yer atmosferi nedeniyle gözlem imkânlarının sınırındaydı. Yakın zamanda havaya gönderilen teleskopla Schwarzchild tarafından çe-

kilen fotoğraflar Güneşin yüzeyindeki bulgurlanmanın daha önce gösterilebildiğinden çok daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Resim 5). Görünüşe göre parlak pirinç taneleri daha derin ve sıcak bölgelerden yüzeye yükselen sıcak gaz akımlarıdır. Resim 4, komşu güneş lekelerindeki bulgurlanmayı da göstermektedir.

Güneşin yüzeyinde oldukça sık rastlanır bir görüntü oluşturan bulgurcukların yanısıra zaman zaman yerel yüzey parlaklığında büyük artışlar görülür. Bunlara **benek** (meşale-faculae), **püskülcük** (pul-flocculi) ve özellikle parlak olanlarına da **püskürtüler** (flares) denir. Bunlar çoğunlukla güneş lekelerinin yakınında görünürler ve kuşkusuz bu bölgelerdeki çalkantılı hareketin artışı ile ilgilidirler. Polis tarafından ya da başka bir nedenle aranan bir insanı tanımlamak için yüzden ve profilden iki fotoğraf gereklidir. Güneşin günlük gözlemlerinde çalkantılı yüzeyinden yükselen sıcak gazların hareketini temel olarak görüş çizgimiz doğrultusunda görürüz. Bu da, diyelim ki ünlü Old Faithful gayserinin, o metrelerce fışkıran sıcak su kaynağının resmini tepesinde uçan bir helikopterden çekmeye benzer. Gerçi bu tip fotoğraflar ilginç ve bilgi vericidir ama profilden, yani, maddenin hareketine dik yönde çekilmiş fotoğraflar da gereklidir. Güneşin profilden fotoğrafının çekilmesi, incelemek istediğimiz gaz akımları parlak Güneşin diskinin değil de göğün karanlık fonu üstüne geleceği için de yararlıdır. İlk bakışta bu sorun kolaymış gibi görünebilir. Madenî bir parayı gözünüzün önüne, öylesine bir uzaklığa koyun ki Güneş diski ile tam olarak çıkışsın. Diskin kenarının arkadan göründüğünü göreceksiniz.

Bu basit yöntem gözlemci yapay bir uydu bir uzay gemisi ya da Ay üstünde olsaydı işe

yarayabilirdi ama etrafında kalın bir atmosfer tabakası olan Dünya üstündeki bir gözlemci için pek kullanışlı değildir. Havadaki küçük istatiksel yoğunluk farklılıkları tarafından güneş ışığı tüm yönlere saçıldığından gündüzleri gök mavidir. Aynı tür yoğunluk farkları yüzünden, atmosferden geçen yıldız ışığı kırpışır. Buna ek olarak Dünya yüzeyinin yakınlarında her zaman bir miktar toz vardır ki bu da güneş ışığının saçılmasına katkıda bulunur. Göğün Güneş diskin kenarına yakın bölgesine baktığımızda bu unsurların oluşturduğu aşırı parlaklık daha da artar ve Güneş madenî para ile örtüldüğü halde Güneşin profilinin gözlenmesini engeller. Havanın daha az olduğu, tozun ise hemen hemen hiç bulunmadığı yüksek bir dağın tepesine çıksak bile koşullar hâlâ gözlem için yeterince elverişli değildir. Teleskop merkezlerinin yapıldığı en iyi optik camlar bile içinden geçen Güneş ışınlarının saçılmasını ortadan kaldıracak kadar homojen değildir ve merceklerin içindeki mikroskopik çatlaklar, hava kabarcıkları ya da yüzeyindeki önemsiz çizikler Güneşin kenarının ince ayrıntılarının gözlenmesini önleyecek kadar bir göz kamaştırma oluştururlar.

1930'a kadar Dünya atmosferinin içinden bakıldığında Güneşi çevreleyen aşırı parlaklığın engellenmesinin olanaksız olduğu konusunda genel bir kanı vardı ve gökbilimciler Güneş profilini gözlemek için sadık Ay'ımızın Güneş yüzeyini tamamiyle örttüğü tam Güneş tutulmalarını özellikle bekliyorlar, tutulma gözlemleri için Dünyanın bir ucundan öbür ucuna gidiyorlardı. Bu tür gözlemler Güneş yüzeyinden 160 000 km. yükseğe çıkan ve **çıkıntı** (protuberance) ya da **fışkırma** (prominence) diye bilinen uzun alev dillerinin varlığını ortaya çıkarmıştı. Dünya yüzeyinin herhangi bir nokta-

sından görülen tam Güneş tutulmasının ortalama toplam süresi yılda yalnızca yaklaşık 3 dakika olduğu için böylesine bir gözlem için çok uzun bir süre bekleniyor ve astronomların ağır aletleriyle uzun yolculuklar yapmaları gerekiyordu. Bu seyahat sorunlarını çözümleyen Bernard Lyot adlı bir Fransız astronomu oldu. Lyott, Ayın yerine madenî bir para koyan böylece, tabiî bulutlu günlerin dışında, istediğimiz zaman, istediğimiz yerde yapay bir güneş tutulması izleyebilmemizi sağlayan bir alet geliştirdi. Yalnızca renkyuvarını değil, Güneşin yüzeyinden çok dışarlara kadar yayılan çok daha nazik ve daha az parlak ışık aylası olan **Güneş tacı**'nı (bir sonraki bölüme bakın) da görmemize olanak verdiği için Lyot bu aletine **koronagraf** (taççeker) adını verdi. İlkesel olarak Lyot'un aleti Güneş diskini örten bir madenî paradan başka birşey değildir. Ama pratikte koronagraf, özel olarak yapılmış mercekler, polaroidler ve ancak iyi bir optik atölyede yapılabilecek diğer başka karmaşık aygıtlar kullanarak Güneş diskinin etrafındaki aşırı parlaklığı olabildiğince azaltmak için yapılmış marifetli ve karmaşık bir alettir.

Tüm yararlarına karşın koronagraf deniz seviyesinde kullanıldığında pek etkili değildir; yüksek bir dağın tepesine kurulmalıdır. Lyot'un ilk koronagrafı Fransız Pirenelerinde, 2 850 m. yüksekliğindeki Pic du Midi tepesindedir. Colorado Üniversitesi Yüksek Gözlemevinin Koronagrafı Mount Climax'da 3 400 m. yükseklikte, bir başka koronagraf da Sacramento Peak, New Mexioca'da, 2 800 m. yüksekliktedir. Bu aletler yapay olarak örtülen Güneşin profilini her gün, sürekli olarak izler ve Güneşin çalkantılı yüzeyi hakkında bize çok değerli bilgiler verirler. Güneşin «doğal» tam tutulmalarının ortalama sürelerinin yılda ancak 3 da-

kika olduğu düşünüldüğünde ve koronagraf görevlilerinin 8 saatlik bir işgünü boyunca çalıştıkları varsayıldığında bu alet tarafından yapılan bilgi birikimi eski moda Güneş tutulmaları seferlerinde elde edilenden 60 000 kez daha hızlı olabilir.

Güneş profilinin en bilinen görünümü, Ayın karanlık kenarının ardından fışkıran çok sayıda küçük alevlerdir. Bunlar rüzgârlı bir günde bir buğday tarlasına benzerler ve **spikül** diye bilinirler. Spiküllerin bulgurcuklarla aynı olması çok olasıdır. Ama arasıra, özellikle Güneş yüzeyinde çok sayıda leke belirdiği dönemlerde, güneş lekelerini çevreleyen gözkamaştırıcı ışıkla ilgili gibi görünen daha büyük fışkırmalar ya da çıkıntılar gözlenir. Bu tür en büyük patlama 4 Haziran 1946'da olmuştur. Resim 7, o gün Mount Climax'taki Gözlemevinden çekilen uzun bir filmden birkaç fotoğrafı göstermektedir. Sıcak gazlar, kırılıp tekrar yüzeye yağmadan önce, Güneş yarıçapının yüzde 70'ine eşit bir yüksekliğe varan bir kavis biçiminde fışkırmışlardır.

Güneş Tacı

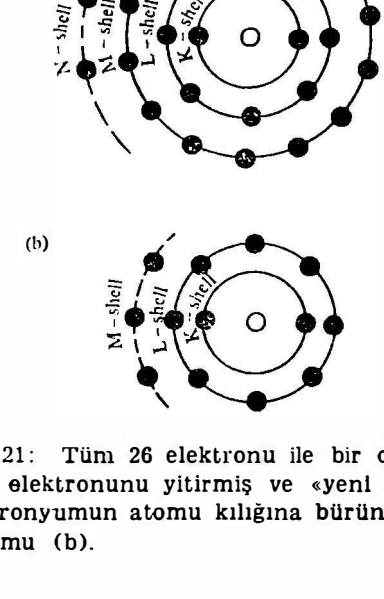
Her kralın bir tacı olduğu gibi, en azından bizim görüş açımızdan, Göklerin Kralı olan Güneşin de bir tacı vardır. Güneşin aydınlattığı göğün aşırı parlaklığı eski kuşak gökbilimciler tam Güneş tutulmalarının dışında Güneş tacını gözlemelerini engellemiştir. Ama bugün Güneş tacı «halka açıktır». Koronagraf gözlemevlerinden birini ziyaret etmek için izin alan ve dik bir dağa tırmanmayı da göze alan herkes haftanın yedi günü onu gözleyebilir. Resim 8, tam bir Güneş tutulması sırasında Güneş tacının görünümünü göstermektedir. Estetik kayguları olan gökbilimciler Güneş tacı-

nın güzelliğini, kimi zaman on Güneş çapı kadar uzaklığa uzanan ışınlarının ince, yelpazemsi yapısına atfederler. Bu kitabın yazarına göre ise yaşlı Albert Einstein'ın saçlarına daha çok benzemektedir.

Güneş tacının ışığı üzerine parlak emisyon çizgileri eklenmiş, sönük bir sürekli tayf göstermektedir. Sürekli tayf Güneşin tayfına çok benzemektedir. Bu ışık, Güneş tacı maddesinden, büyük bir olasılıkla, bunu oluşturan iyice iyonize olmuş seyrek gazda yeterince bulunan serbest elektronlar tarafından saçılan güneş ışığıdır. Güneş tacı tayfında en belirgin olan parlak emisyon çizgileri uzun bir süre Güneşle uğraşan gökbilimciler için bir giz olmuştu. Aslında bu çizgiler Dünya yüzeyinde bilinen hiçbir kimyasal elementin tayfı ile çakışmıyordu. Bu durum gökbilimcilerin, «koroniyum» diye adlandırılan ve görünüşe göre Dünya üzerinde bulunmayan yeni bir elementin bu tayfa neden olduğuna inanmalarına yol açtı. Ama böylesine bir varsayım atomlar hakkında bilinen herşeyle çelişiyordu. Gerçekten de Mendeleev'in periyodik sisteminin çağdaşlaştırılmış şekli bilinen tüm kimyasal elementleri kapsıyordu ve koroniyumun yerleştirilebileceği hiçbir boş yer yoktu. Bu giz, çeşitli atomların emisyon tayfları ile ilgili usta deneysel çalışmaları, atom yapısının kuvantum kuramı ile birleştirerek gizemli koroniyum çizgilerine aslında Dünya üzerinde oldukça sık rastlanan elementlerin **fazlasıyla iyonize olmuş** atomlarının neden olduğunu kanıtlayabilen İsveçli fizikçi B. Edlén tarafından 1940'ta çözümlendi.

Bu bölümün başında, Güneş ışıkyuvarının çok yüksek sıcaklığında (6000°K) birçok helyum atomunun iki elektronundan birini yitirdiğini ve çizgi tayfında hidrojenin normal atomu kılığına büründüğünü, aynı koşullar altın-

da tüm kalsiyum atomlarının da bir elektronlarını, kimi zaman da dış elektronlarından iki tanesini yitirdiğini görmüştük. Daha da yüksek sıcaklıklarda şiddetli ısısal çarpışmalar tarafından giderek daha çok dış elektron atomdan kopar ve bunların atom tayfları, onları normal laboratuvar koşulları altında incelemeye alışmış olan bir gözlemci için tanınmaz bir hal alır. Bu nedenle Edlén çok rastlanan elementlerin atomlarını yoğun yüksek enerjili elektrik deşarjı altında bırakarak elde edilebilecek aşırı iyonizasyon (elektron yitirme) koşulları altında bunların tayflarını incelemeye karar verdi. Demir atomlarının 26 elektronundan 13'ünü yitirmiş bir durumda bulundukları buhar halleri ile çalışarak bu tayfın içinde Güneş tacı emisyonun özgü olan ve daha önceleri yal-



ŞEKİL 21: Tüm 26 elektronu ile bir demir atomu (a), 13 elektronunu yitirmiş ve «yeni bir elementin», koronyumun atomu kılığına bürünmüş bir demir atomu (b).

nızca Güneşte bulunduğu sanılan hayalî elemente atfolunan ünlü yeşil çizgiyi, 5303 Angstrom birimi dalga boyundaki yeşil çizgiyi gözledi. Öteki Güneş tacı çizgileri 12, 10, ya da 9 elektron yitirmiş demir atomları ile fazlasıyla elektron yitirmiş nikel (normal olarak 28 elektron) ve kalsiyum (normal olarak 20 elektron) atomlarının varlığıyla açıklandı. Yüksek derecede iyonizasyonun atomik emisyon tayfını nasıl etkilediği oldukça şematik bir biçimde Şekil 21'de gösterilmiştir. Yukarda, 26 atomu 4 kuvantum kabuğuna dağıtılmış halde demir atomu görülmektedir. Üç iç kabuğu (K, L ve M) işgal eden 24 elektron atom gövdesine sıkı sıkıya bağlı otururlarken, geriye kalan iki elektron dördüncü (N) kabukta nispeten gevşek olarak bağlı bir durumdadırlar. Atom hafifçe uyarıldığında dış elektronlardan biri dıştaki boş kuvantum yörüngelerinden birine atılır. N kabuğundaki normal yörüngesine dönerken bu elektron standart demir tayfındaki tanıdık çizgilerden birini salar. Aşağıdaki şekil aynı demir atomunu yüksek bir iyonizasyon durumundaki çılgın bir striptiz dansı içinde göstermektedir. Dış elektron eteği tamamiyle çıkartılmış ve onun hemen altındakindeki ise yalnızca 3 elektron kalmıştır. Böylece atomun uyarılması bir elektronun M kabuğundaki kuvantum durumundan daha önce dolu olan daha yüksekteki enerji seviyesine yükselmesi ile sonuçlanacaktır. Dönüşte bu elektron, atomun normal iyonize olmamış durumunda rastlanmayan frekanslarda ışık yayacaktır.

Edlén'in Güneş tacı emisyon çizgileri gizine getirdiği çözüm aynı derecede şaşırtıcı bir başka soruna yol açtı. Demir atomlarını böylesine yüksek miktarda iyonize edebilmek için yaklaşık 1 000 000°K'lik bir sıcaklık gereklidir. Güneş tacı çizgilerinin renkyuvarından kaynak-

lanan normal Fraunhofer çizgilerininkinden çok daha büyük olan genişliklerinin incelenmesi de aynı sonuca yol açar. Tayf çizgilerinin genişliği çoğu kez, daha önce tartışılan Doppler olayına atfedilir. Uyarılan atomlar çoğunlukla bir stektrografta (tayfölçerde) çok ince çizgiler halinde beliren çok belirli dalga boyları yayarlar. Ama sıcak bir gazın içindeki atomlar durağan değildir ve sıcaklıkla artan bir hızla çeşitli yönlerde hareket ederler. Böylece Doppler olayından dolayı gözlemciye doğru hareket eden atomlardan gelen ışık karşı yönde hareket eden atomlarınkinden daha uzun dalgaboyunda olacaktır. Görüş çizgisine göre çeşitli yönlerde hareket eden atomlar orta derecede Doppler kaymaları gösterecek, böylece baştaki ince çizgilerin yerine gözlemci bunları oldukça genişlemiş bir biçimde görecektir. Bu genişleme sıcaklıkla artar; böylece çizgilerin genişliğini ölçerek gazın ne kadar sıcak olduğunu söyleyebiliriz. Güneş tacı çizgilerinin genişliği gazın sıcaklığının yaklaşık 1 000 000 derece olduğunu göstermektedir ki bu da demir atomlarının iyonizasyon derecesine dayanılarak elde edilen sayı ile tamamen uyum içindedir.

Güneş tacını bu denli sıcak yapan nedir? Sıcaklığı yalnızca 6000 derece Kelvin olan Güneş ışıkyuvarı tarafından ısıtılmış olamayacağı açıktır. Bir süre gökbilimciler ısıtmanın, gelecek bölümde göreceğimiz gibi 20 milyon derecelik bir sıcaklığa sahip olan Güneşin derindeki iç bölgelerinden geldiğini düşündüler. Ama hiç kimse ısının, güneşin iç bölgelerinden çok daha soğuk olan dış bölgelerinin dışına nasıl taşındığını açıklayabilmek için mantıklı bir mekanizma öneremiyordu. Sorunun en olabilir çözümü, Güneş tacındaki gazların, Güneş ışıkyuvarının çalkantılı hareketinin oluşturduğu

«gürültü» tarafından ısıtıldığını ileri süren Martin Schwarzschild tarafından önerildi. Tıpkı köpüklü dalgalarla kaplı çalkantılı bir deniz kıyıdan çok uzakta homurdanıp gümbürdediği gibi bulgurlanma ile ilgili çalkantılı girdaplar Güneş yüzeyinin üstündeki seyrekleşmiş renkyuvarı gazlarının içine ses dalgaları gönderirler. Daha yoğun bir ortamdan daha seyrek bir ortama doğru yayılan ses dalgalarının yavaş yavaş, bir kırbacın şaklayışına, bir tabanca sesine, ya da bir bombanın patlamasına özgü şok dalgalarına dönüştüğü ses kuramından bilinmektedir. Bir müzik notası bile düzgün şekilde birbirini izleyen bir dizi sıkışmalar ve gevşemeler yerine ilerleyen dar bir cephe içinde ısıtma ve sıkıştırma ile bir şok dalgasına dönüştürülebilir. Schwarzschild'a göre ışıkyuvarının yüzey çalkalanması sonucu oluşan ses Güneş tacının çok seyrekleşmiş gazlarının içine giderek daha çok yayıldıkça aynı olgu gerçekleşir. Aslında Schwarzschild doğrudan yaptığı hesaplamalarla bu tür dalgalar tarafından sağlanan enerjinin Güneş tacını yüksek sıcaklığında tutmaya yeterli olduğunu kanıtlayabilmişti. (*)

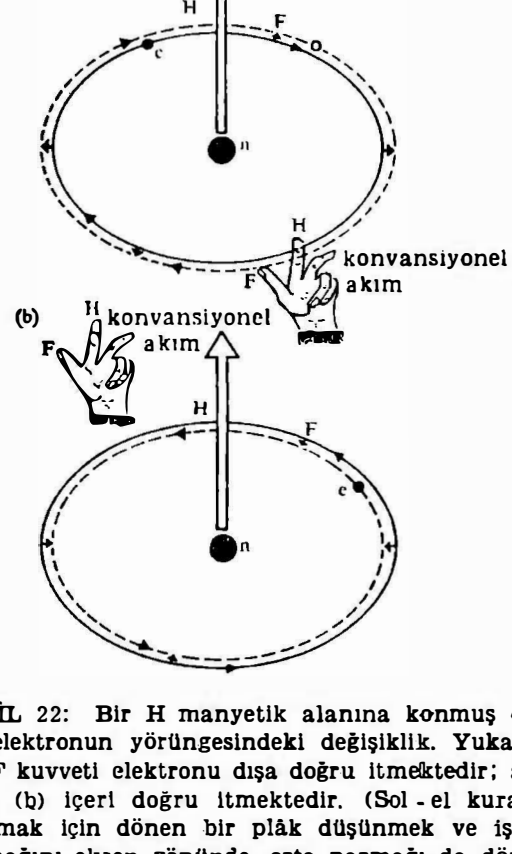
(*) Dalgaların enerjisi ile bu ölçüde ısınmış bir taç oluşumunun ancak güneş ve yapısı ona çok yakın yıldızlarda görülebileceği hesaplanıyor. Oysa Heao - II - Einstein uydusu ile 1979 ve 1980 de yapılan X - ışını gözlemleri bu sıcaklıklarda taçların pek çok farklı türden yıldızda da bulunduğunu ortaya koydu. Böylece bu genel olguyu açıklamak için yalnız yüzey dalgalarının yetmediği, tacın enerji kaynağının muhtemelen yıldız yüzeyindeki mıknatıs alanı olduğu anlaşıldı. (Çev.)

Güneşin Mıknatıs Alanı

Güneş lekeleri ile ilgili, bunların varlığının kanıtlanmasından sonra belki de en önemli buluş 1908'de Amerikalı gökbilimci George Ellery Hale tarafından yapıldı. Güneş lekeleri tarafından salınan ışığın tayfındaki Fraunhofer çizgilerini inceleyen Hale her çizginin birbirine çok yakın birkaç bileşene ayrıştığını farketti. Bu durumu keşfeden Hollandalı fizikçinin adından dolayı **Zeeman olayı** diye bilinen bu olgu Hale'in çalışmalarından önceki on yıl içinde fizik dünyasınca bilinmekteydi ve güçlü bir elektromıknatısın kutupları arasına yerleştirilen bir alevin yaydığı çizgi tayfında her zaman gözlenmişti. Tayf çizgilerindeki Zeeman ayrışmasının düzeni elementten elemente değişmektedir ama her durumda bileşenler arasındaki ayrılık manyetik alanın (mıknatıs alanının) kuvvetine bağlıdır. Böylece bir çizgi tayfındaki Zeeman olayının varlığı ışık kaynağının bir manyetik alanın etkisi altında kaldığına işaret eder ve bileşenler arasındaki ayrılık ölçülerek bu alanın kuvveti bulunabilir.

Zeeman olayının kökeni basit bir biçimde şöyle anlaşılabilir: Çekirdek etrafında dairesel bir yörüngede dolanan bir elektron düşünün. Bu atomu bir elektromıknatısın kutupları arasına yerleştirirsek elektron yörüngesinin düzlemi manyetik kuvvet çizgilerine dik bir duruma gelecek ve elektron, yörüngesinde saatyönünde ya da ters yönde dönecektir (Şekil 29). Hareket eden bir elektron basit bir elektrik akımı oluşturur; aslında bir üretecin iki kutbunu birleştiren normal bir telden geçen elektrik akımı iletkenin atomlarından kopan ve tel boyunca uygulanan elektrik gerilim vasıtasıyla hareket ettirilen bir elektron akışından başka birşey değildir. Ondokuzuncu yüzyılın başların-

da Fransız fizikçi André Ampére, elektrik akımı taşıyan bir telin, manyetik bir alanın içine yerleştirilmesi durumunda, hem akımın hem de manyetik alanının yönüne dik bir kuvvetin etkisi altında kalacağını bulmuştu. Bu kuvvetin büyüklüğü akımın ve alanın şiddetine orantılıydı. Kuvvetin hangi yönde olduğunu bulmak için çok basit bir kural olan sol elin üç parma-

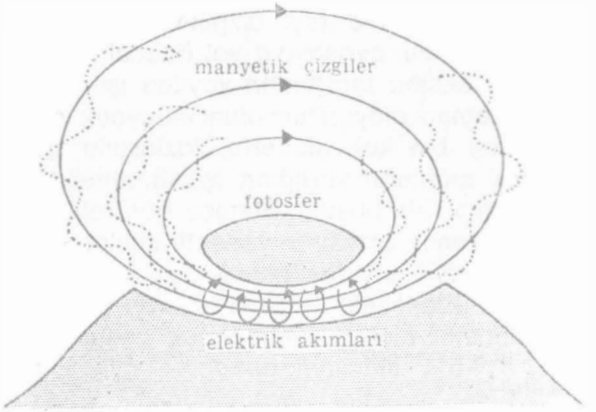


ŞEKİL 22: Bir H manyetik alanına konmuş olan bir elektronun yörüngesindeki değişiklik. Yukarıda (a) F kuvveti elektronu dışa doğru itmektedir; aşağıda (b) içeri doğru itmektedir. (Sol - el kuralını anlamak için dönen bir plâk düşünmek ve işaret parmağını eksen yönünde, orta parmağı da dönme yönünde tutmak yararlı olabilir.)

ğı kuralını kullanabilirsiniz: işaret parmağınızı alan, orta parmağınızı da akım yönünde tutarsanız başparmağınız kuvvetin yönünü gösterecektir. Normal bir elektrik akımı Ampére'in zamanında inanıldığı gibi artı değil de eksi yüklü bir elektronlar akışını temsil ettiğinden, sol el kuralı atoma, orta parmak elektronun hareketine **ters** yönde tutularak uygulanabilir. Böylece manyetik bir alan içindeki bir atom elektronunun hareketi çizimlerde olduğu gibi gösterilebilir. (a) durumunda elektron çekirdekten uzağa çekilirken (b) durumunda çekirdeğe doğru itilecektir. Bu da atom elektronunun iki farklı enerji durumuna karşılık gelen iki farklı yörüngesine (çizimlerde kesikli çizgilerle gösterilen) yol açacaktır. Manyetik alan ne denli kuvvetli olursa elektronun saat yönünde ve saate ters yöndeki hareketleri arasındaki enerji farkı o denli büyük olacaktır. Bölüm 2'de gördüğünüz gibi atom içindeki çeşitli kuvantum geçişleri sırasında yayılan ışığın frekansı o elektronun baştaki ve sondaki kuvantum durumları arasındaki enerji farkıyla belirlenir. Böylece atom elektronlarının saat ve saat tersi yöndeki hareketlerinden dolayı enerji seviyelerindeki ayrışma tayf çizgilerinde de bunlara karşılık bir ayrışmaya yol açacaktır.

Güneş lekeleri tarafından yayılan ışıkta gözlenen Zeeman olayı, Dünyanın manyetik alanının birkaç bin katı şiddette, fazlasıyla güçlü manyetik alanların varlığına işaret etmektedir. Eğer normal bir pusula Güneşe götürebilseydi ve bir lekenin ortasına yerleştirilebilseydi iğneyi gösterdiği yönden ancak çok kuvvetli bir insan saptırabilecekti. Güneş lekeleri dev elektromıknatıslar olarak düşünülerek bunları besleyen elektrik akımının birkaçbin milyar amper olması gerektiği hesaplanabilir. Elektromıknatısla yapılan benzetme, Güneş lekeleri-

nin çoğunlukla çiftler halinde bulunmaları ve bu durumda da çiftin iki üyesinin her zaman zıt manyetik kutba sahip olmaları olgusuyla da güçlenmektedir. Sanki iki ucu ışıkyuvarının yüzeyinin içinden açılan silindir biçiminde dev bir elektrik yüklü madde girdabı ile karşı karşıyayız (Şekil 23). Dikkate değer bir olgu kuzey yarıkürede Güneş lekeleri çiftelerinin polarizasyonunun her zaman güney yarıküredeki çiftlerin polarizasyonunun tersi olmasıdır. Böylece, örneğin, Güneşin kuzey yarıküresinde bulunan bir Güneş lekesi çiftinde sağdaki leke N-manyetik kutbuna, soldaki leke de S-manyetik kutbuna karşılık gelir. Güney yarıkürede bulunan bir çiftte ise S-manyetik kutbu sağda, N-manyetik kutbu ise solda olacaktır. Eğer kutuplar elektrik taşıyan girdapların ağızları ise iki yarıküredeki girdaplar tersine dönüyorlar demektir. Bu bölümde daha sonra göreceğimiz gibi Güneş lekelerinin sayısı zamanla, onbir yıllık peryodlarla, belirgin değişmeler göstermektedir. Güneş lekelerinin ardarda en büyük sayıya ulaştığı yıllarda Güneş yüzeyinin



ŞEKİL 23: Hale'e göre güneşlekelerinin yapısı

aynı görünüme sahip olmasına karşın, tayfölçüm çalışmaları kuzey yarıkürede onbir yıl önceki N-S düzenine karşın bir S-N düzeni, güney yarıkürede ise bunun tersi ile karşılaştığımızı göstermektedir. Kutuplaşmadaki bu değişimler de Güneş lekelerinin kökenleri kadar esrarengizdir.

Güneş lekeleri ile ilgili manyetik alanların fotosfer yüzeyinin çok üstüne fırlatılan iyonize olmuş Güneş gazlarının hareketi üzerinde çok belirgin bir etkisi vardır. Elektrik yüklü parçacıklar manyetik alanın yönünü izleme eğilimindedirler ve Şekil 23'te kesikli çizgilerle gösterildiği gibi kuvvet çizgilerinin etrafında spiral şeklinde bir hareket içindedirler. Fışkırmaların şeklini gösteren 6 ve 7 numaralı resimlere bir göz atmak bu varsayımı şiddetle destekler.

Manyetohidrodinamik

Güneş lekeleri bir bakıma dünya atmosferinde arktik ve antartik bölgelerdeki soğuk hava hortumları ile daha ılımlı bölgenin ılık hava kitleleri arasındaki sınırlarda kaynaklanan siklonlara benzetilebilir. Zaman zaman soğuk hava kütlelerinin, bunları ılımlı bölgelerin ılık hava kitlelerinden ayıran cephe boyunca düzgün akışları çalkantılı bir hal alır, bu da kendilerini kutup cephesinden koparan ve doğu yönünde daha aşağıdaki enlemlere yayılarak soğuk rüzgârlar, yağmur, kar ve Dünya yüzeyinin bu bölgelerinde yaşıyan insanlar için pek hoş olmayan hava koşulları getiren küçük girdapların (siklonlar) oluşmasına yol açarlar. (*)

(*) Dünya atmosferinin dolaşımı konusunda daha ayrıntılı bilgi için yazarın «A Planet Called Earth» [New York, Viking Press, 1963] adlı kitabına bakınız.

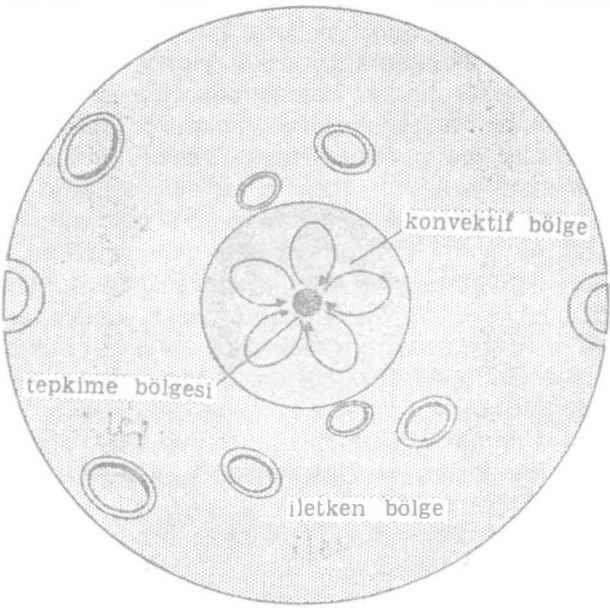
Yerküresinin kalınlığı çapına göre çok küçük olduğundan, dünya atmosferi durumunda temel olarak iki-boyutlu bir durumla karşı karşıya olduğumuz halde, merkezinden yüzeyine dek gaz halinde olmasından dolayı Güneşteki dolaşımın anlaşılması üç boyutlu bir problemdir.

Dünya yüzeyinde kutupsal hortumların siklonların oluşmasına neden olan rolünü Güneşte, derin iç bölgelerindeki kuvvetli konvektif (*) bölgeler oynar. Aslında, 4. Bölümde göreceğimiz gibi, Güneşin merkezini çevreleyen Güneş maddesinin yaklaşık yüzde 10'u, merkezde üretilen nükleer enerjiyi yüzeye taşıyan sıcak gaz akımları ve termonükleer tepkime bölgesine çöken taze «nükleer yakıtı» taşıyan soğuk gazlarla fazlasıyla konvektif bir halde bulunmaktadır. Tıpkı dünya atmosferindeki siklonların Dünyanın dönmesinden dolayı merkezleri etrafında spiral bir harekette bulunmaları gibi Güneşin içindeki konvektif akımlar da Güneşin dönmesinden dolayı radyal hareketten bir sapma gösterirler. Bu da Güneşin merkezi etrafında hızla dönen çok girift bir konvektif akım dolaşım sistemine yol açarlar. Bu merkezî konvektif bölgenin ötesinde, ısının daha çok ısı iletimi biçiminde (madde hareketi olmadan) yüzeye doğru yoluna devam ettiği Güneş içinin sessiz bölgeleri bulunur. İki İsveçli gökbilimci H. Alfven ile C. Walen'in yakın zamanlardaki araştırmalarına göre Güneşin içlerindeki konvektif ve iletken bölgeler

(*) Konveksiyon, ısının, maddenin kütlesel hareketi ile taşınmasıdır. Buna karşılık ısı iletkenliğinde moleküller, kendileri sadece mikroskopik hareketlerde bulunurlarken, ısılarını birbirlerine iletirler. Bir ucu ısıtılan metul bir çubuğun öteki ucunun ısınması iletkenliğe, ısınan havanın yükselmesi ise konveksiyona bir örnektir. (Çev).

arasındaki sınırda yer alan türbülans, (*) yüzeye doğru yükselen ve fotosferde açılarak gördüğümüz şekilde Güneş lekeleri çiftlerine neden olan simit biçiminde dönmelere yol açar (Şekil 24).

Sürtünmesiz bir sıvı içindeki simit biçimindeki fırıldakların özellikleri bir yüzyıl kadar önce von Helmholtz tarafından incelenmişti. Helmholtz bir sıvı içinde böylesine bir fırıldak oluştuktan sonra bunun kaybolmadığını ve gerçek bir maddî cisimmiş gibi hareketine devam ettiğini gösterebilmişti. Güneşin iç bölgelerinde oluşan ve yüzeye yükselen benzer fırıldakların özellikleri Güneş maddesinin kuvvetli bir



ŞEKİL 24: Alfven ve Walen'a göre güneş lekelerinin kökeni.

(*) Türbülans hareketinin ayrıntılı açıklaması için 6. Bölümde, «Gezegenler ve Çiftyıldızlar» kısmına bakınız. (Çev.)

biçimde iyonize olması ve bu nedenle de oldukça yüksek bir elektrik iletkenliğe sahip olmasından dolayı çok daha karmaşıktır. Güneşin içindeki iyonize olmuş gazların oluşturduğu elektrik akımları kuvvetli manyetik alanlar oluştururlar. Bu alanlar da gazların hareketini etkiler, bu da manyetik alanları değiştirir, bu da...

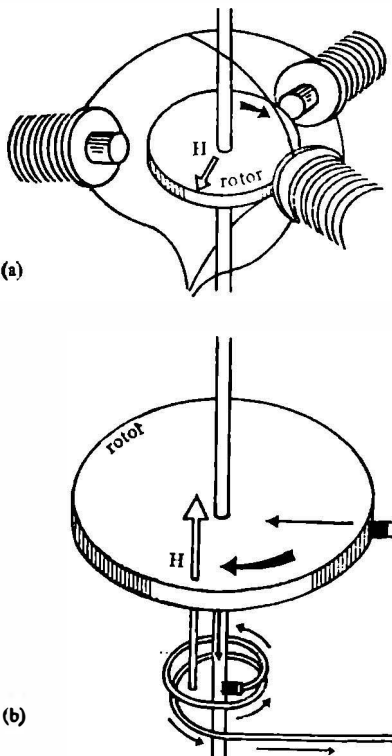
Elektromanyetik ve hidrodinamik olguların bu karşılıklı etkileşmelerinin incelenmesi söylenmesi pek de kolay olmayan bir adla, elektromanyetohidrodinamik (kısaca manyetohidrodinamik) bilinir. Okuyucu, aşağıdaki basitleştirilmiş tartışmadan gelişmeye başlayan bu yeni bilim dalı hakkında bir fikir edinebilir 1820'de Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted tarafından keşfedildiği gibi bir telden geçen bir elektrik akımı yakınına konan bir mıknatıs (bir pusula iğnesi) üzerine bir kuvvet etkiler. Newton'un etki ve tepkinin eşitliği yasasının genelleştirilmesine göre mıknatıs da elektrik akımı taşıyan tel üzerine eşit bir kuvvet uygulamalıdır. Örneğin, gevşek bir şekilde asılmış, elektrik akımı taşıyan bir telin yakınına bir mıknatıs getirirsek tel baştaki konumunu değiştirecektir. 1831'de İngiliz fizikçi Michael Faraday değişen bir manyetik alanın bir telde bir elektrik akımı oluşturduğunu bulmuştur. Bu durum **elektromanyetik indüksiyon** diye bilinir.

İndüksiyon akımının etkileyici bir örneği, ilk kez Amerikalı kâşif Nikola Tesla tarafından yapılan özel bir tip elektrik motorudur. Bu elektrik motoru birbirlerine 120 derecelik bir açıyla yerleştirilmiş üç tel bobinden oluşmuştur (Şekil 25a). Bunlar trifaze denen bir akımla, yani üç tel tarafından taşınan, her birinin fazı bir diğerine göre bir peryodun üçte biri kadar kaymış olan alternatif akımlarla besle-

nirler. Böylesine bir düzenlemenin sabit kuvvetli, ama akımın peryodu ile uzayda dönen bir manyetik alana neden olduğu gösterilebilir. Üç mıknatıs arasında, mıknatısların düzlemine dik bir eksen etrafında dönebilen bakır bir disk vardır. Disk durağan haldeyken dönen manyetik alan diske Foucault akımları indükler. Bu akımlar diskin, alanın döndüğü yönde dönmesine neden olurlar. Sonuç olarak disk bir trifaze akımın peryodu ile kendi etrafında dönmeğe başlar. Bu cihaz, hareket eden bir manyetik alanın elektrik iletkenliğe sahip maddî cisimleri nasıl beraberinde sürüklediği konusunda iyi bir örnektir.

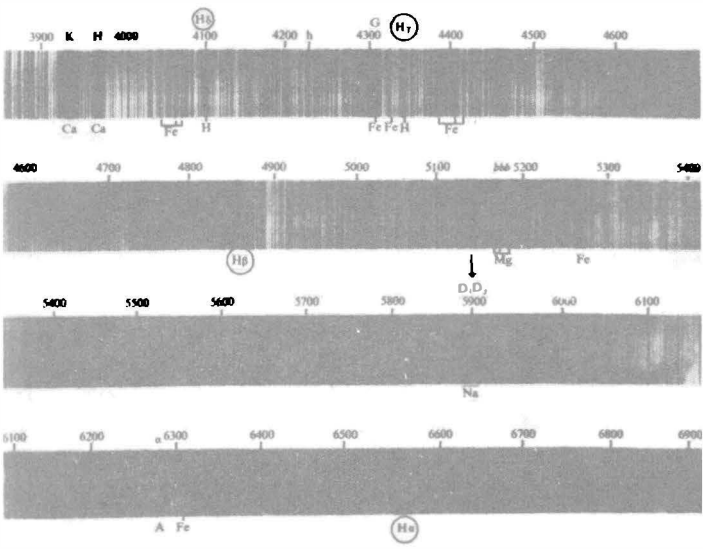
Tesla motorunun tersi, Şekil 25'te gösterilen, dinamodur. Sabit bir eksen etrafında dönen bakır bir disk ile iki ucu eksen ve tekerleğin ucu ile kaygan bir temas halinde olan tel bir bobinden oluşur. Diski döndürürsek Dünyanın manyetik alanı, bakırda, diyelim ki, kenardan eksene doğru akan bir akım indükliyecektir. Akım bobinden geçerek kendisini indükliyen alanla aynı yönde bir başka manyetik alan daha oluşturacaktır. Bu da diskin içinde döndüğü manyetik alanı kuvvetlendirecek, böylece indüksiyon akımı artacak ve bu da manyetik alanın kuvvetini arttıracaktır. Böylece, kısa bir süre içinde dinamo işlemeye başlayarak kuvvetli bir elektrik akımı ve kuvvetli bir manyetik alan oluşturacaktır.

Sözünü ettiğimiz iki cihaz da, özel şekillerde yapılabilen ve istenildiği biçimde birbirinin içine oturtulan katı parçalardan yapılmışlardır. Oysa kuşkusuz Güneşin içinde tel, bakır disk, vb. yoktur. Ama Güneşin içi **elektrik ileten** maddeden yapılmıştır ve gaz halinde şiddetli konveksiyon **akıntılarını** içerir. Böylece elektrik akımları ile manyetik alanların etkileşmesi ve maddî cisimlerin hareketi hakkında bütün söy-

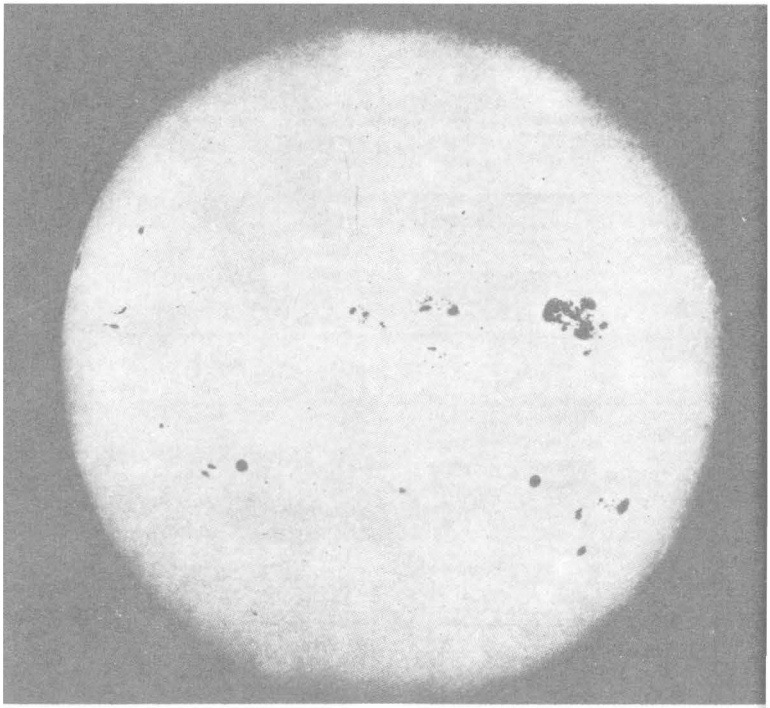


ŞEKİL 25: İletken maddenin hareketi ile manyetik alan arasındaki etkileşmeler: (a) Dönen bir manyetik alanın iletken bir diski döndürdüğü Tesla motoru; (b) iletken bir diskin döndürdüğü özindükliyen dinamo. (Beyaz ok manyetik alanı, koyu siyah ok iletkenin hareketini; ince oklar, elektrik akımını göstermektedir).

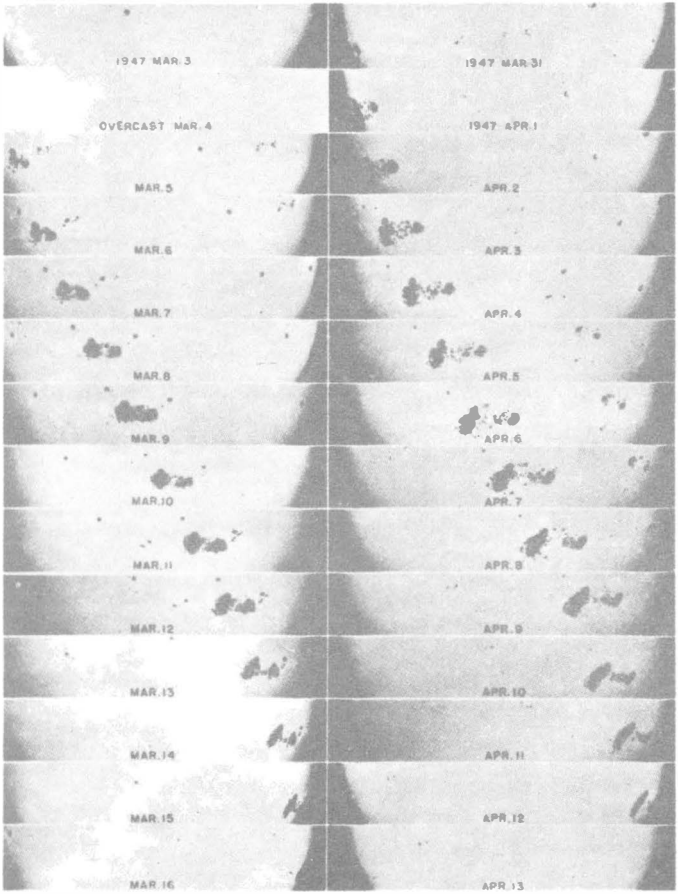
lediklerimiz daha az katı bir biçimde, başka bir deyişle, daha akışkan bir biçimde güneş maddesi için geçerli olmalıdır. İşte bu bölümün başında sözü edilen elektromanyetihidrodinamik adının nedeni budur. Elektromanyetik alanların yasalarını akışkanların hareket yasaları ile birleştirerek, en yetenekli matematikçi-



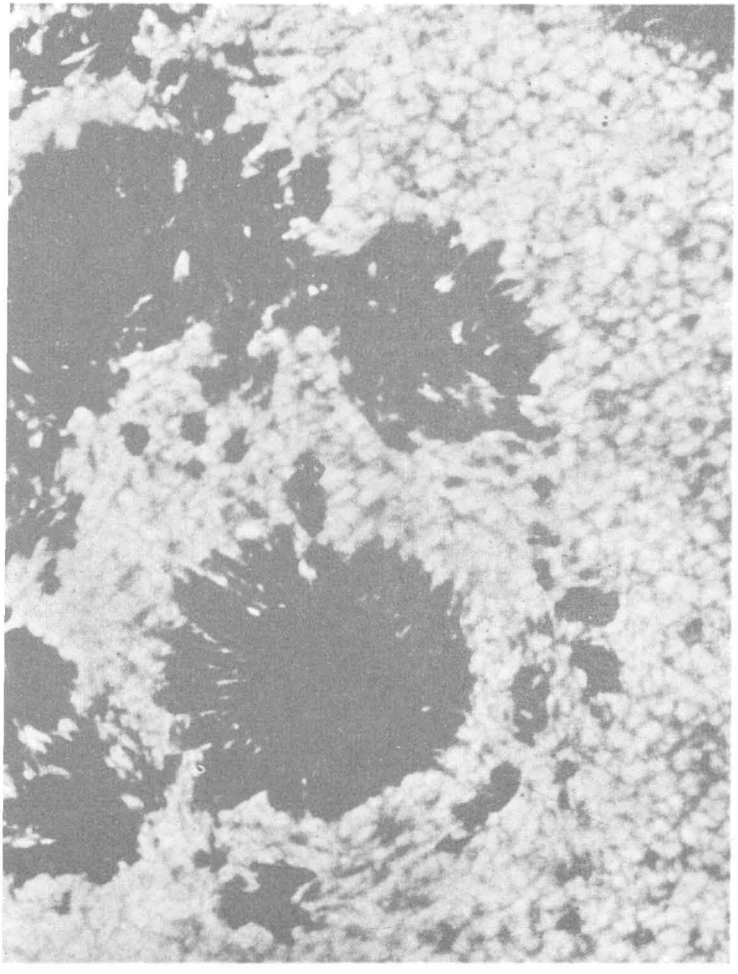
RESİM 1. Mount Wilson'daki 4 m.'lik spektroheliograf ile çekilen, güneş taytının görünür kısmındaki Fraunhofer çizgilerinin fotoğrafı. Sosyumun neden olduğu, sarı bölgesindeki ünlü D çizgisine ve bir dizi hidrojen - soğrulma çizgisine ya da Balmer serisine (daire içinde) dikkat ediniz. Rakamlar dalga boylarını angstrom birimi cinsinden vermektedir.



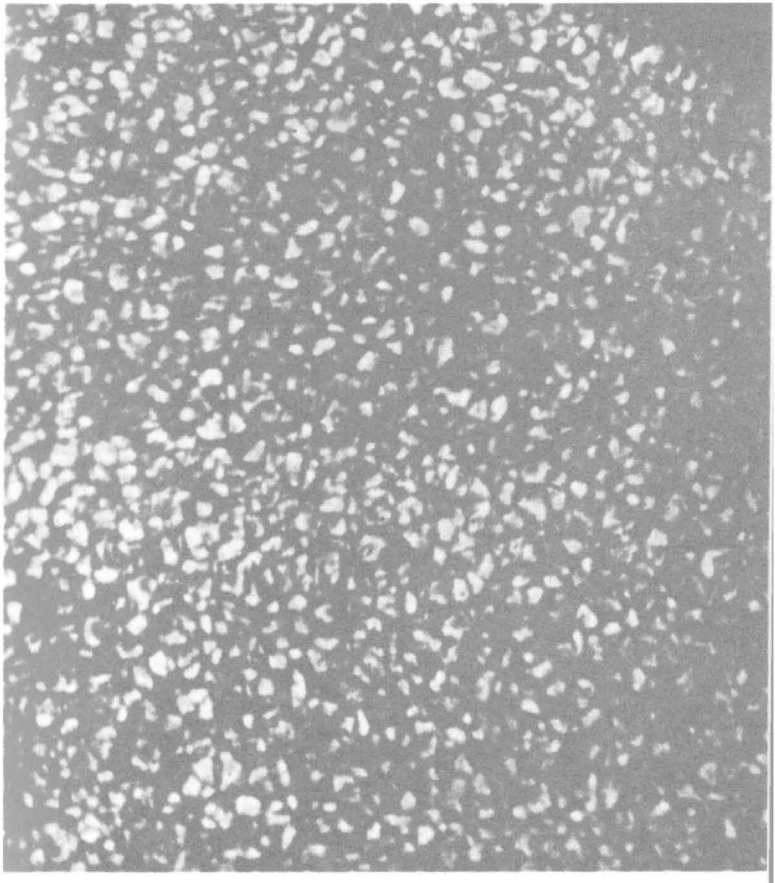
RESİM 2. Mount Wilson'daki 18 m.'lik kule teleskobuyla 12 Ağustos 1917'de çekilen Güneş diski ve güneş lekelerinin fotoğrafı. (Mount Wilson gözlemevi)



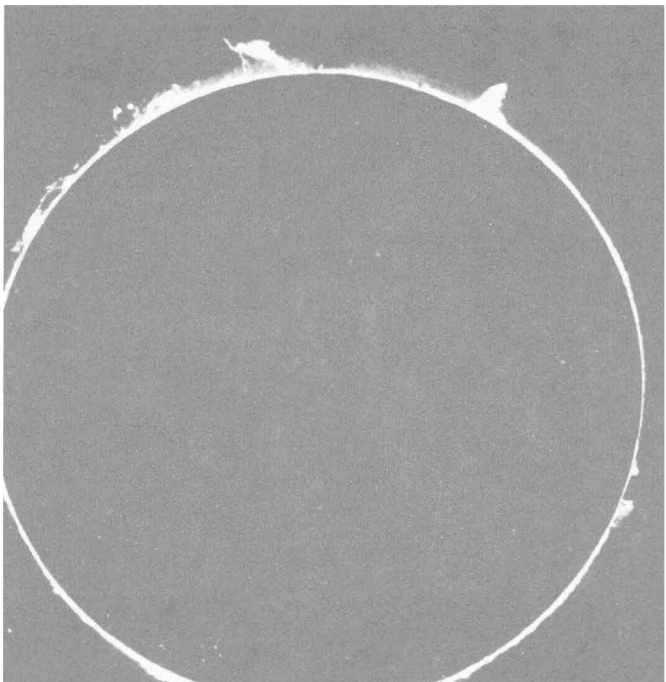
RESİM 3. 1947 yılının büyük güneş lekesi gurubunun güneş çevresinde iki turunu izleyen bir dizi fotoğraf.



RESİM 4. Princeton Gözlemevi'nden Martin Schwarzschild tarafından çekilen bir fotoğraf: bir grup güneşlekesi. (Stratosvoge Projesi)

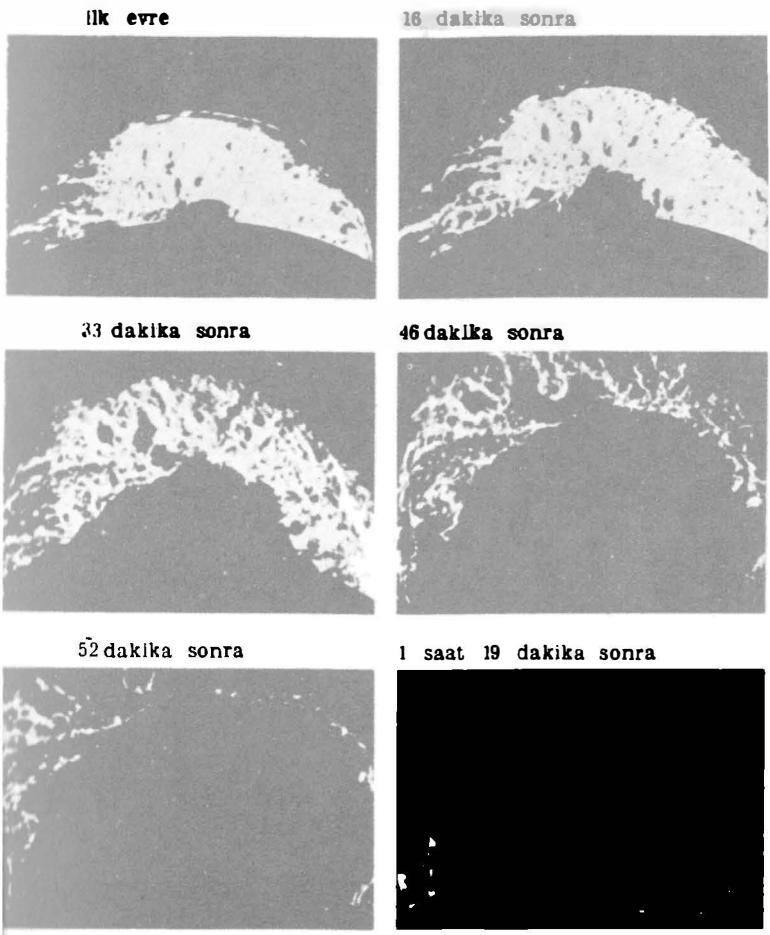


RESİM 5. Güneşin temiz yüzeyindeki bulgurcuklanma. Fotoğraf, Princeton Gözlemevi'nden Martin Schwarzschild tarafından çekilmiştir. (Stratosvoge Projesi)

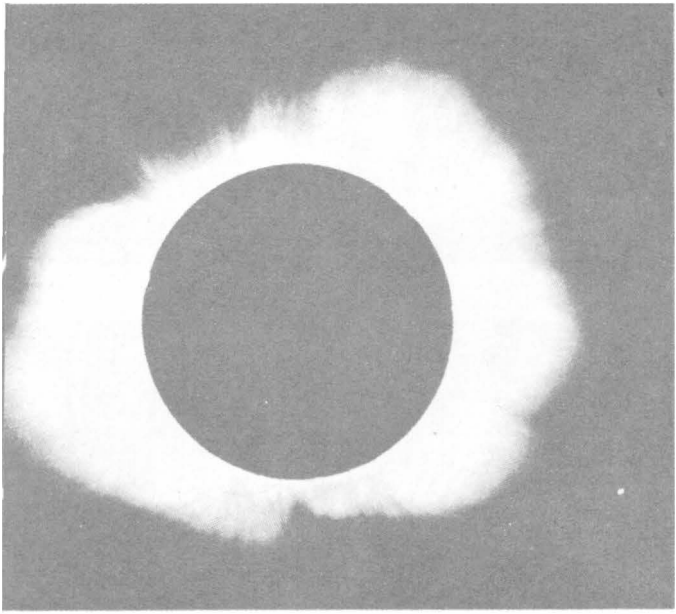


RESİM 6. 9 Aralık 1929'da bir güneş tutulması sırasında Güneş yüzeyindeki püskürmelerin fotoğrafı (Mount Wilson ve Palomer Gözlemevleri).

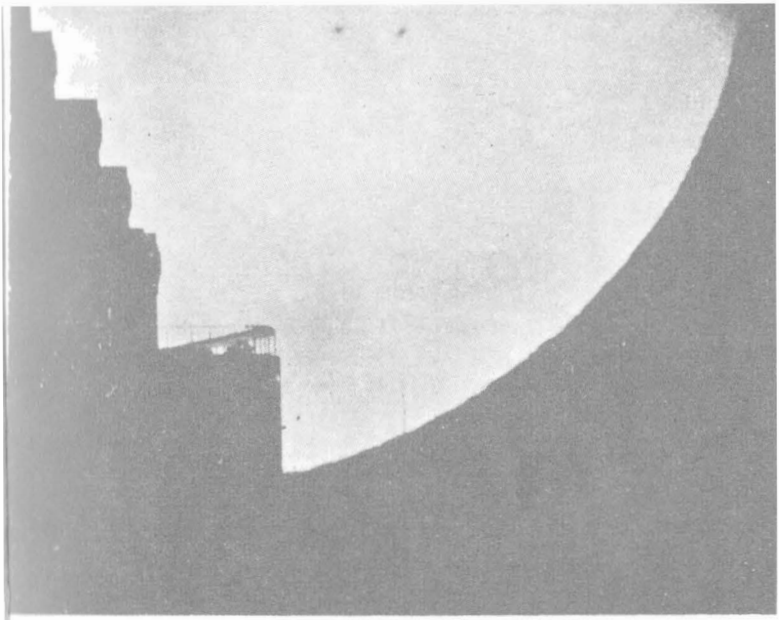
İlk evre — 16 dakika sonra
33 dakika sonra — 46 dakika sonra
52 dakika sonra — 1 saat 19 dakika sonra



RESİM 7. Güneş yüzeyinde 4 Haziran 1946'daki dev fışkırma. Fotoğraf, Colorado Üniversitesi'nin Yüksek Gözlemevi'ndeki kronografla çekilmiştir (Dr. Harold Zirin'in izniyle).



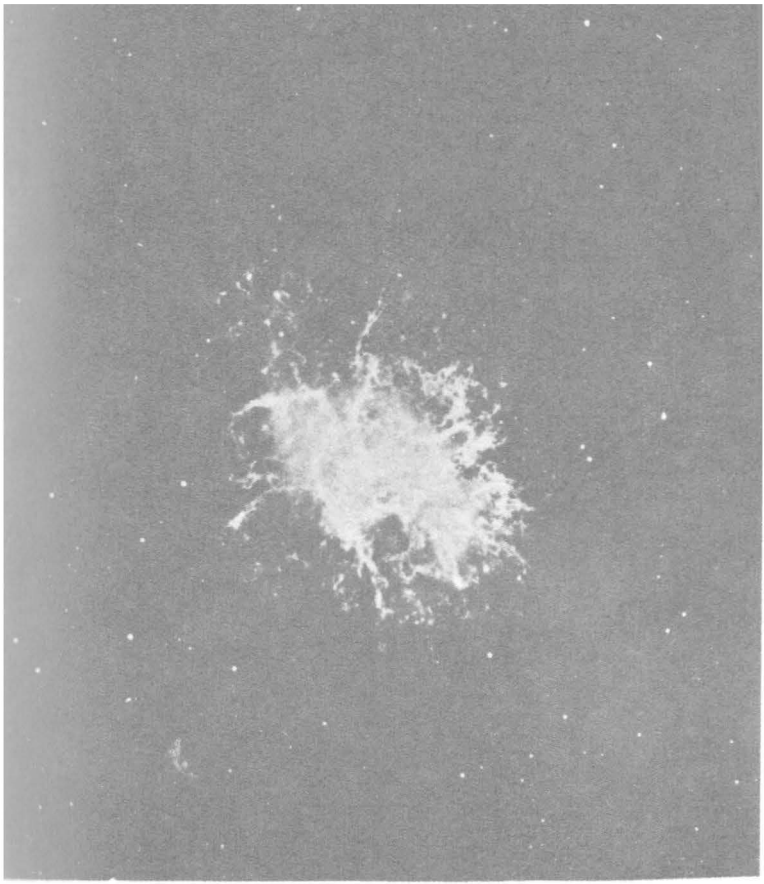
RESİM 8. Güneş koronasının 8 Haziran 1918'deki bir güneş tutulmasında çekilen fotoğraf. (Mount Wilson ve Palomar Gözlemevleri).



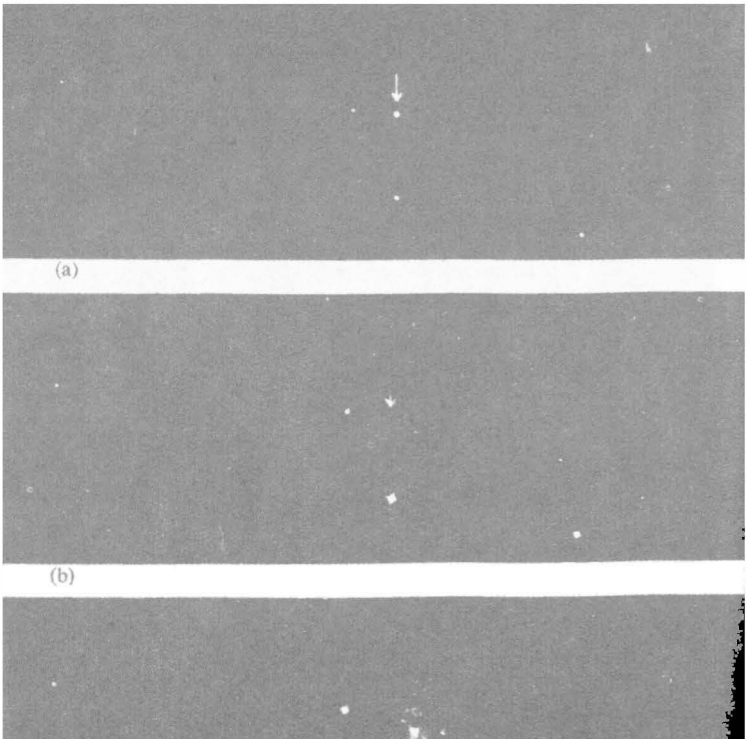
RESİM 9. Bundan beş milyar yıl sonra Güneş genişlemeye başlayınca Empire State Building'in arkasından böyle görünecek. Bu fotoğraf amatör bir gökbilimci olan Charles Cuevas tarafından Empire State Building'den beş kilometre uzaklıkta, Long İsland City, New York'daki evinin çatısındaki kendi yaptığı bir teleskopla çekilmiştir. Bu mesafeden bina çok küçük ve ona kıyasla Güneş çok büyük görünmektedir (Charles Cuevas'ın izniyle).



RESİM 10. Lyra'daki «Halka» nebulası. 5 metrelik teleskopla alınmış fotoğraf (Mount Wilson ve Palomar Gözlemevleri).



RESİM 11. Yengeç nebülası. Bu nebula, Çinli gökbilimciler tarafından dokuz yüzyıl önce kaydedilen, Taurus takım yıldızındaki şiddetli yıldız patlamasından kalan ve hâlâ genişleyen parlak bir gaz kütlesidir. 5 metrelik teleskopla çekilmiş fotoğraf. (Mount Wilson ve Palomar Gözlevevleri).



RESİM 12. IC-4182'deki Supernova (a) 1937, en büyük parlaklık; (b) 1938, sönük, (c) 1942, gözlenemeyecek kadar sönük. 2.5 metrelik teleskopla çekilmiş fotoğraflar (Mount Wilson ve Palomar Gözlemevleri).

lerin beyinlerini patlatacak, en ileri bilgisayarların dişlerini kıracak (*) fazlasıyla karmaşık matematik sistemler elde edilebilir. Ama bu zorlu dalda önemli gelişmeler kaydedilmiştir ve güneş lekeleri, fışkırmalar, vb. gibi durumları dinamolar ve trifaze Tesla motorları gibi daha basit «madenî eşya» modelleriyle giderek daha iyi anlamaktayız.

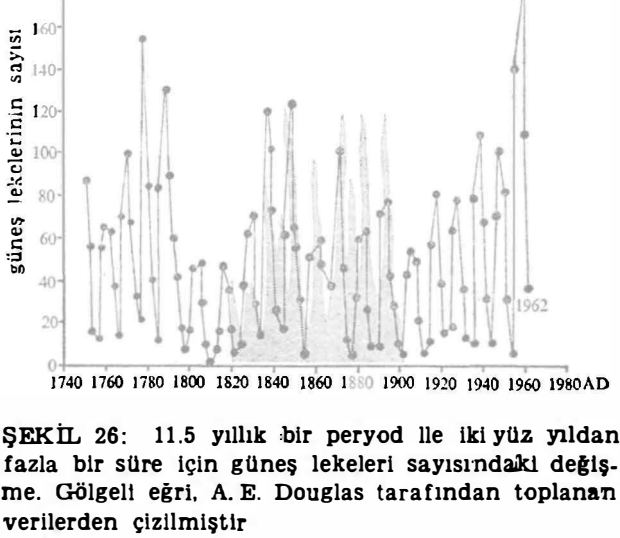
Güneş Etkenliği ve Dünya Üzerindeki Etkisi

«Güneş etkenliği» bilmin her dalında karşılaşılan yanlış terminolojinin bir örneğidir; aslında Güneş yüzeyinde yer alan fenomenlerin periyodik (dönümlü) olması anlamına gelir. İlk kez 1843 yılında güneş lekeleri için, Alman gökbilimci Heinrich Schwabe'nin lekelerin sayısı üstüne onyedi yıllık çalışmasının sonucunu yayınlamasıyla farkedilmiştir. Bu çalışma bunların sayısının onyedibuçuk yıllık bir dönüm ile değiştiğini öneriyordu. Schwabe'nin bulguları ile heyecanlanan, ancak bunları doğrulamak için birkaç onyıl beklemek de istemeyen İsviçreli gökbilimci Rudolf Wolf geçmiş onyıllarda güneş lekeleri ile ilgili kayıtları inceledi ve tek bir peryod için Schwabe tarafından bulunan periyodik değişimin gerçekten de doğru olduğunu gördü. Kuşkusuz o zamandan beri güneş lekelerinin sayısı günümüze dek gökbilimciler tarafından dikkatle kaydedilmiştir. Şekil 26'daki eğri son 213 yıl için güneş lekeleri sayısındaki değişimleri göstermektedir. Bu eğriden ortalama güneş lekeleri peryodunun 11,2 yıl olduğu sonucuna varılmakta-

(*) «Diş atmak» deyimi eski dişle çarklı bilgisayarlardan gelmektedir ama dişleri, elektron tüpleri ile tranzistörlerin temsil ettiği modern makinalar için de kullanılabilir.

dır. Ancak iki komşu enbüyük değer arasındaki tek zaman araları 7,5 yıl kadar kısa ve 16 yıl kadar uzun olabilmektedir. Güneş etkenliğinin enbüyük olduğu çeşitli zamanlarda görülen en büyük leke sayısı da bir seferden diğerine önemli ölçüde değişmektedir.

Güneş, Dünyanın enerji kaynağı olduğu için falcılığa inanmasak da güneş lekelerinin sayısındaki değişikliğin, insan yaşamı için önemli olan çeşitli olgulara yansımasını beklememiz doğaldır. Güneş lekelerinin sayısı ile kesilen



ŞEKİL 26: 11.5 yıllık bir peryod ile iki yüz yıldan fazla bir süre için güneş lekeleri sayısındaki değişme. Gölgeli eğri, A. E. Douglas tarafından toplanan verilerden çizilmiştir

ağaçların yıl halkalarından elde edilen ağaçların büyümesi verileri arasındaki korelasyon Şekil 26'daki gölgeli eğri ile gösterilmektedir. Bu eğri güneş lekelerinin enbüyük değerlerini aldığı yıllarda ağaçların daha hızlı büyüdüklerini göstermektedir. Güneş lekelerinin sayısı ile buğday fiyatları arasında da benzer bir ko-

relasyon var gibidir: güneş lekeleri ne denli küçükse buğdayın fiyatı o denli yüksek olmaktadır. Bu durum zayıf Güneş lekeleri yıllarında dönüm başına daha az buğday yetiştiği için fiyatın yükseldiği iddia edilerek açıklanabilir. Güneş lekeleri ile Hudson's Bay Şirketi tarafından getirilen çakal ve tilki kürklerinin sayısı arasındaki korelasyonu anlamak ise daha zordur: güneş lekeleri ne denli çok olursa iş hacmi o denli büyük olmaktadır. Bu beklenmeyen korelasyon parlak kuzey fecri ile aydınlatılan kutup gecelerinde avcıların daha şanslı olabilecekleri ve güneş lekelerinin enbüyük olduğu yılarda kuzey fecri olaylarının daha parlak olduğu ve bunlara daha sık rastlanıldığı bilimsel olgusu ile belki de açıklanabilir.

Güneş lekeleri ile politik olaylar arasında da bir bağıntı kurma çabaları olmuştur. Böylece, örneğin, Fransız Devrimi (1789) ve Rus Devrimi (1917) leke sayısının keskin bir maksimum gösterdiği yıllarda olmuştur. Amerikan Devriminin (1776) leke sayısının en az olduğu bir yılda yer alması, eğer böylesine bir korelasyon gerçekten varsa, bunun yalnızca bazı devrim tipleri için geçerli olabileceğini ima etmektedir!

Kuşkusuz doğru olan birşey varsa o da, güneş lekelerinin, parlamaların, fışkırmaların ve bunlarla ilgili diğer olguların sayılarındaki değişikliklerin dünya atmosferinin üst tabakalarını çok güçlü bir biçimde etkiledığidir. Bu, o büyük etkenliği sırasında Güneş'ten fırlatılan yüklü parçacıkların, çoğunlukla proton ve elektronların, artan sayısı ile açıklanabilir. Güneş lekeleri zamanla hızla değişebilen güçlü manyetik alanlara sahip olduklarından bu manyetik alanların yüklü parçacıkların hızlarını çok fazla arttırması beklenebilir. Bu durum nükleer dönüşümlerin incelenmesi için kulla-

nılan çağdaş siklotronların güçlü manyetik alanlarındaki yüklü parçacıkların hızlanmasına az çok benzer. (*) Ama siklotronlar, istenen enerjide dar parçacık hüzmeleri oluşturmak için dikkatle tasarımlanmışlardır ve sözcüğün eski anlamıyla bir «madenî eşya» olarak kabul edilebilirler. Oysa Güneşin çalkantılı yüzeyindeki parçacık hızlanması göz önünde canlandırması ya da ayrıntılı olarak tanımlanması çok zor olan gelişigüzel bir manyetohidrodinamik olgudur. Kimi zaman «güneş rüzgârı» diye adlandırılan bu parçacık akımları Dünyaya yaklaştıklarında, Dünyanın manyetik alanına girerler ve Arktik ve Antartik bölgelerine doğru sapan kuvvet çizgilerini izleyerek çok parlak kuzey fecri (kutup ışığı) gösterilerine neden olurlar. Güneşten gelen daha hızlı ve daha az saptırılabilen parçacıklar atmosfere daha aşağı enlemlerde girip iyonosfer diye adlandırılan yukarki katmanlarının iyonizasyonunda değişikliklere neden olurlar. Kuşkusuz, bu tabakaların iyonizasyonuna daha çok Güneşin morötesi ışıması neden olduğundan iyonosfer bu ışımadaki değişikliklerden de etkilenir ki bu durum da Güneş etkenliğinin şiddetine bağımlıdır.

Bütün bunlar Dünya'nın yüzeyinin çok üstünde yer almaktadır ve bizleri, başımıza çarpmadan önce atmosferin üst tabakalarında tamamen yanan göktaşlarından daha fazla etkilememelidir. Ancak Dünya çevresindeki radyo iletişimi için atmosferin üst tabakalarını kullandığımız için bu olaylar radyo iletişimini etkiler. Dünya yüzeyindeki iki uzak nokta arasında radyo sinyallerl gönderebilmemizin tek

(*) Siklotronların ve diğer parçacık hızlandırıcıların daha ayrıntılı bir incelemesi için 5. Bölüme bakınız.

nedeni elektromanyetik dalgaların sırasıyla Yerin yüzeyinden bir üst atmosferin iyonize olmuş tabakalarından yansıyarak Dünya yüzeyi etrafında bükülmeleridir. Bu tabakaların iyonizasyonu değiştiğinde her zamanki yansımanın biçimi bozulur ve örneğin Londra, Moskova ya da Tokyo'daki radyo operatörleri için New York'tan yapılan yayın sönüp gider. Bu da radyo iletişimini oldukça aksatır.

Telefon ve telgraf iletişimi bile Güneş etkenliğinden etkilenir. İyonosferdeki elektrik akımları Dünyanın erimiş maden özündeki konveksiyon akımlarının neden olduğu Dünyanın düzenli manyetik alanı üstünde, üst üste binen düzensiz manyetik alanlar (manyetik fırtınalar) oluştururlar. (*) Pusula iğneleri oynaşır, telefon ve telgraf telleri ile kablolarda, sigortaları attıran ve başka hasarlara yol açan güçlü akıblar oluşabilir.

Son olarak Güneşin önemli bir etkenliğinden, İkinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz erken uyarı radar tesisleri tarafından keşfedilen Güneş «radyo gürültüsü»nden söz etmeliyiz. Bir akşamüstü geç vakitlerde İngiltere kıyılarında, Alman borbardıman uçaklarının yaklaşışını gözleyen tüm radar istasyonları tek bir yönü gösterdi: Atlantiğin batısını. Luftwaffe'nin yaklaşmak için o yönü seçmesi pek mümkün görünmüyordu. Gerçekten de hiçbir bombardıman uçağı görünmedi. Kaydedllen güçlü radyo dalgaları, günün o saatlerinde okyanus sularının ötesinde batan Güneş'e atfedildi. Aslında o gün Güneş yüzeyinde dev bir sıcak gaz patlaması olmuştu. Batıdan gelen güçlü radyo sinyallerinin sorumlusu bu olay olmalıydı.

(*) Yazarın A Planet Called Earth *adlı kitabına bakınız.*

IV. BÖLÜM

GÜNEŞİN SICAK İÇİ

Serinlemek için girdiğimde içeri,
İçine atabilirdim kendimi erimiş canım;
Kudurdu ateşli kütle
Öylesine azgın.

— Dante Alighieri

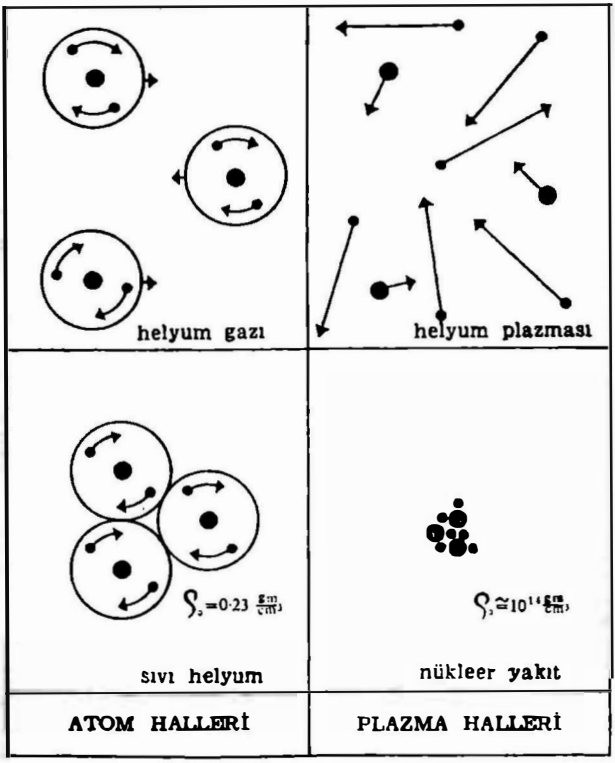
Parçalanan Atomlar

Bir Yunan efsanesine göre Prometeus ölümlülere bir parça kutsal ateş getirebilmek için Güneşe dek uçmuştu. Ama Prometeus bile altında ne olduğunu görebilmek için Güneşin fotosferine dalmayı göze alamazdı. Ancak bu kahramanca iş, Cambridge Üniversitesindeki rahat odasını terketmeden Güneşin ve diğer yıldızların iç bölgeleri hakkında herşeyi ortaya çıkartmayı başarabilen Sir Arthur Eddington tarafından gerçekleştirildi. «Bir yıldız gibi basit birşeyi anlayabilmek çok zor olmamalı» diyordu Sir Arthur. Ve bu lafı hiç de boş değildi. Gerçekten de jeofizikçiler ayağımızın altından yalnızca dörtbin mil aşağıda olan Dünyanın merkezindeki sıcaklığın kesin değeri üzerinde hâlâ anlaşamazlarken, gökbilimciler Güneşin ve diğer birçok yıldızın merkezindeki sıcaklığı yüzde bir-iki hata payı ile söyleyebilir ve verdikleri sayılardan da emin olabiliyorlar. Bu nasıl oluyor?

Bunun sebebi, Dünyanın katı ve erimiş maddelerden oluşmasına karşın, Güneş ve diğer yıldızların, oldukça basit ve kolaylıkla kestirilebilir özellikleri olan **plazma**'dan yani «maddenin dördüncü hali»nden yapılmış olmalarıdır. Klasik fizik maddenin üç halini tanımlar. Katı ve sıvı hallerde moleküller bir konserve kutusundaki sardalya balıkları gibi tıkış tıkış bir durumdadırlar ve ya moleküller arası kuvvetlerle sıkı sıkıya birbirlerine bağlıdırlar (katılarda olduğu gibi) ya da birbirleriyle olan teması yitirmeden birbirlerine göre kayabilirler (sıvılarda olduğu gibi). Gaz halinde ısısal hareketin kinetik enerjisi moleküller arasındaki bağları kopartacak kadar yüksektir. Bunlar birbirlerinden uzaklaşarak, çılgın bir şekilde oraya buraya hareket ederek boş buldukları uzayı doldururlar. Yoğunlaşmış (katı ya da sıvı) hal ile gaz hali arasındaki geçiş sıcaklığı moleküller arasındaki çekimin kuvvetine bağlıdır. Böylece, örneğin, helyum —269°C'da sıvılaşırken demir ancak + 3,000°C'da gaz haline dönüşür. Yoğunlaşmış haldeki madde, moleküllerin elektrik yüklü kısımları içiçe girmeye inatla karşı koyduklarından, çok az bir sıkıştırılabilme özelliğine sahiptir. Gaz halinde, moleküller kaplayabilecekleri uzayda serbestçe dolaştıklarından madde, kolaylıkla sıkıştırılabilir. Çünkü belli bir miktardaki gazın hacmindeki azalma bu moleküllerin dolaşabildikleri serbest uzaydaki bir azalmadır.

Şekil 27'de sol üst köşedeki çizim, moleküller arası uzayda serbestçe dolaşanabilen tek helyum molekülleri (helyum molekülü, tek bir atomdur, tek helyum atomu ise bir çekirdek ve iki elektrondan oluşur) ile helyum gazını göstermektedir. Sol aşağıdaki çizim, atomların sıkı sıkıya yerleşmiş olduğu ve daha fazla sıkıştırılmaya karşı koydukları sıvı helyumu gös-

termektedir. Ancak madde, ısısal hareketin kinetik enerjisinin atomlardaki elektronların bağ enerjisiyle karşılaştırılabilecek kadar yükseldiği bir sıcaklığın etkisi altında kaldığında durum çok değişmektedir. Bu durumda atomlar arasındaki çarpışmalar o denli şiddetlidir ki tüm atom elektronları çekirdek etrafındaki normal yörüngelerinden kopar ve farklı kimyasal elementlerin atomlarından oluşan olağan bir gaz yerine çıplak çekirdekler ile uzayda çılgınca hareket eden serbest elektronlardan oluşan bir plasma-gaz oluşur (bakınız Şekil 27,



ŞEKİL 27: Maddenin dört hali.

sağ üst). Bu tür koşullar altında madde yeniden sıkıştırılabilir hale gelir, çünkü, maddeyi oluşturan parçacıklar çapları yaklaşık 10^{-8} santimetre olan atomlar ya da moleküller değil yalnız 10^{-12} santimetre olan çekirdekler ve serbest elektronlardır. Böylece atomlar bir kez çözüldü mü, parçacıkların, aralarındaki uzaklık herzamanki yoğunlaşmış maddelerdeki atomlar arasındaki uzaklıkların yüzbinde biri kadar azalana dek hareket edebilecekleri yeterli yerleri vardır. Maddenin yoğunluğu, santimetre küpte 10^{14} gram olan atom çekirdeklerinin yoğunluğu ile karşılaştırılabilir bir hale gelene dek plazmayı bir gaz olarak ele alabiliriz. Bu yoğunlaşmış plazma ya da nükleer yakıtın bir santimetre kübü yüz milyon ton kadardır ama nükleer yakıtın bugün evrenin herhangi bir yerinde var olduğuna dair hiçbir kanıt yoktur. (*) Böylece, Güneşin merkezi bölgelerinde var olan 100 gr./cm^3'lük yoğunluklarda ya da hattâ beyaz cüceler diye bilinen bazı yıldızlarda bulunan 10^6 gr./cm^3'lük yoğunluklarda plazma, kusursuz gaz yasasından sapmaların beklenebileceği yoğunluğun hâlâ çok altındadır.

Burada normal maddenin yalnızca çok yüksek sıcaklıklarla değil, çok yüksek basınçlarla da plazmaya dönüştürülebileceği belirtilmeli-

(*) Bu kitabın yazıldığı tarihten beri durum değişmiştir. 1967'de keşfedilen pulsarların ve 1970'lerden beri bulunan X-ışını kaynaklarının çoğunun nötron yıldızları oldukları artık biliniyor Nötron yıldızları, 10 Km. çapında, fakat güneş kadar kütlesi ve santimetre küpte 100 milyon ton yoğunluğu olan yıldızlardır. Gamow'un sözünü ettiği «nükleer yakıt»ın varlığı günümüzde yüzlercesi bilinen bu nötron yıldızları ile kanıtlanmıştır. «Bilim ve Teknik» dergisinin Ekim-Kasım 1980 sayılarına bakınız. (Çev.)

dir. Tıpkı bilardo topu yerine taze yumurta kullanmak (küresel olsalar bile) pek yerinde olmadığı gibi yumurta dolu bir sepetin üstüne oturmak da pek tavsiye edilebilecek birşey değildir. Maddenin sıcaklığı oldukça düşükken bile çok yüksek basınç elektron kabuklarını kıracak ve maddeyi, serbest elektronlarla çıplak çekirdeklerden oluşan bir karışıma dönüştürecektir. Bu durum basınç iyonizasyonu diye bilinir ve bunu yapmak için gerekli olan basınçlar laboratuvarlarımızda bulunan tüm yüksek basınç cihazlarının oluşturabildiği basınçların çok üstündedir. Dünyanın merkezinde bile basınç atomları ezecek kadar yüksek değildir ama Jüpiter gibi daha büyük gezegenlerde madde gezegenin büyük bancı altında kısmen iyonize olabilir. 7. Bölümde bundan daha çok söz edeceğiz.

Plazma Yasaları

Plazmanın durum denklemi, yani yoğunluğu (ρ), basıncı (P) ve sıcaklığı (T) arasındaki ilişki, tamamen normal gazların, örneğin atmosferdeki havanın durum denklemine benzer. Newton'un arkadaşı olan İngiliz bilgini Robert Boyle bir gazın yoğunluğunun etkisi altında kaldığı basınçla doğru orantılı olarak arttığını göstermişti. Daha sonra Fransız fizikçi Jacques Charles belirli bir hacmin içine kapatılmış olan gazın basıncının mutlak sıcaklığa, yani mutlak sıfırı $-273°C$ olan Kelvin derecesiyle, doğru orantılı olduğunu kanıtlamıştı. Bu iki yasayı birleştirirsek, basınç (P) formülü şöyle yazılabilir:

$$P = \frac{R}{\mu} \rho T$$

Burada R, sayısal değeri tüm gazlar için ay-

nı olan ve gaz sabiti diye bilinen evrensel sabittir. Bu formüldeki Yunan harfi μ, elimizdeki gazın moleküler ağırlığını göstermektedir. Böylece her bir molekülü iki atomdan oluşan hidrojen (H_2) için μ, 2'ye eşittir. Oksijen için (O_2) $\mu = 2 \times 16 = 32$ almalıyız çünkü oksijenin atomik ağırlığı 16'dır. Yüksek sıcaklıklarda ısısal çarpışma hidrojen ve oksijen moleküllerini atomlarına ayırır (ısısal ayrışma). Bu durumda μ'yı kullanmalıyız. Bu değer de bileşenlerin, karışımdaki yüzdeleri ile, moleküler ağırlıkları birleştirilerek elde edilir. Orrtalama moleküler ağırlık, parçacıkların türüne bakılmaksızın gazın parçacık başına ağırlığı olarak tanımlanır.

Bir kimyasal elementin plazma durumu için ortalama moleküler ağırlığı nasıl buluruz? Bu gerçekten de çok basittir. μ'nun oda sıcaklığında 2, molekülün atomlarına ayrıştığı birkaç bin derecede ise 1'e eşit olduğu hidrojeni ele alalım. Ama daha önce belirttiğimiz gibi çok yüksek bir sıcaklıkta herbir hidrojen atomu bir proton ve bir elektrona bölünür. Bu durumda elimizde toplam atom ağırlığı (1) paylaşan iki parçacık var demektir. Böylece plazma durumunda hidrojenin ortalama moleküler ağırlığı ½'dir. Benzer şekilde helyum plazmasında her atom üç parçacığa bölünür: bir helyum çekirdeği, ve iki serbest elektron. Helyumun atomik ağırlığı 4 olduğu için, helyum plazmasının ortalama moleküler ağırlığı 4/3'tür. Genel olarak atom ağırlığı A ve atomik sayısı **Z** olan bir kimyasal elementin plazmasının ortalama moleküler ağırlığı $\frac{A}{Z+1}$'dir çünkü her atom bir çekirdek ile Z elektrona bölünür. Elementlerin peryodik sistemine şöyle bir göz atarsak, atom ağırlığının atom sayı-

sı ile aşağı yukarı doğru orantılı arttığını ve atom ağırlığının, atom sayısının kabaca iki misli olduğunu görürüz (oksijen için Z = 8, A = 16, silisyum içinse Z = 14, A = 28). Büyük Z'ler için formüldeki 1 ihmal edilebileceğinden helyumdan ağır olan tüm kimyasal eleentler için ortalama moleküler ağırlığın yaklaşık 2 olacağı anlaşılır. Daha ince bir hesaplama, gerçek göreli bolluklarına oranla helyumdan daha ağır en bol elementlerden oluşan «Russel Karışımı»nın kesin ortalama moleküler ağırlığı kullanılarak yapılabilir. Russel Karışımının tarifi ağırlığı oranlarıyla şöyledir: O = yüzde 50; Na ve Mg = yüzde 25; Fe = yüzde 13; Si = yüzde 6; K ve Ca = yüzde 6. Bunun ortalama molekül ağırlığı 1,85'tir yani 2'den biraz azdır.

Böylece, söz gelimi; alüminyum buharının, demir buharının ve kurşun buharının moleküler ağırlıkları birbirlerinden oldukça farklı oldukları halde (27, 56 ve 210) plazma halinde tümünün ortalama moleküler ağırlıkları 2'ye yaklaşık olacaktır. Bu nedenle yıldızların içini incelerken yalnızca basit gaz formülünü kullanabilme değil, helyumdan ağır tüm elementlerin göreli bolluklarının ayrıntıları ile de uğraşmama avantajına sahibiz. Böylece Tablo 4'ü elde ederiz.

Tablo 4 Tamamen İyonize olmuş Elementlerin Ortalama Moleküler Ağırlıkları

Element	*Ortalama Moleküller Ağırlık*	*Göreli Bolluk*
Hidrojen	1/2	X
Helyum	4/3	Y
Diğerleri	Yaklaşık 2	1 - X - Y

Bu nedenle, bir yıldızdaki hidrojen ve helyumun yüzdelerini biliyorsak doğru bir durum

denklemi yazabilmek için gerekli olan tüm bilgiye sahibiz demektir.

Şimdi bir başka probleme bakalım: yıldızların içinde ortaya çıkan enerji, çevredeki uzaya ışımak üzere yüzeye doğru nasıl yayılır? Burada da maddenin plazma halinde bulunması, kuramı oldukça basitleştirmektedir. Çeşitli elektron kabukları ile oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan maddenin molekülleri tarafından ışığın soğrulması fazlasıyla karmaşık ve zor bir problemdir. İlkede yapıları bilinen atomlar ve moleküller tarafından farklı dalga boylarının soğrulmasını kuramsal olarak hesaplamak kuşkusuz mümkündür. Sülfür kristallerinin sarı, bakır sulfatın mavimsi, klorofilin yeşil ve hemoglobinin kırmızı olacağı prensip olarak hesaplarla bulunabilmelidir. Ama bu sorunların çözümünde günümüzün en ileri elektronik hesap yöntemleri bile bizlere parmak hesabından daha fazla yardımcı olamamaktadır.

Maddenin plazma halinde, atom ya da molekül yerine yalnızca serbest elektronlarla çıplak çekirdekler karışımı vardır. Çekirdekler, ilgili dalga boylarının ışıması ile hemen hemen hiç etkileşmezler. Böylece bütün yapacağımız elektronların ışık kuvantumlarıyla etkileşmeleri problemini göz önünde bulundurmaktır. Bu problem dalga mekaniği yöntemleriyle kesin olarak çözülebilir ve belirli sıcaklıklarda farklı yapılardaki plazmaların (yani hidrojen, helyum ve diğerleri) ışımayı ne miktarda geçireceğini gösteren tablolar elde edilebilir. İçinden geçen ışıma için plazmanın opaklığını veren ve ilk kez H.A. Kramers tarafından bulunan formül çok basittir ve şöyle yazılabilir:

$$K = K_0 \rho^2 T^{-3.5}$$

Burada K opaklıktır (ya da ışık soğurma fak-

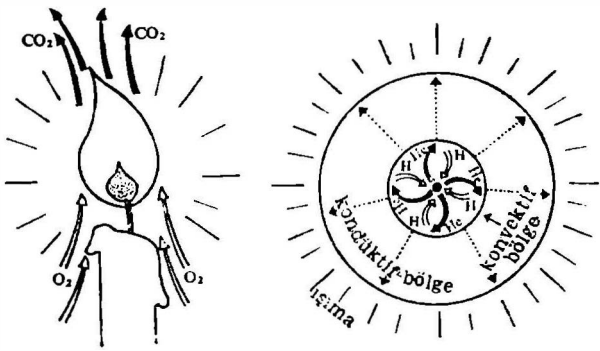
törüdür); K_0 yıldız maddesinin kimyasal yapısının bir fonksiyonudur (aslında X ve Y'nin bir fonksiyonu), P yoğunluk ve T de mutlak sıcaklıktır.

Bir yıldızın içini incelemek için ihtiyacımız olan üçüncü denklem merkezden uzaklığın artması ve gaz basıncındaki düşme ile kütleleri merkeze doğru çeken çekim kuvvetleri arasındaki ilişkidir. Bu denklem, Dünya yüzeyinin üstündeki atmosfer basıncındaki değişiklik için meteorologların her gün kullandıkları «barometrik formül»den pek farklı değildir.

Konvektif Bölge

Güneşin içinin hidrodinamiği ile dünya atmosferinin hidrodinamiği arasındaki benzerlik her iki durumda da konvektif akımların varlığı ile pekişmektedir.

Sıcak bir yaz gününde göğün mavi fonunun üstünde, kimi zaman bir insan yüzüne, kimi zaman bir canavara, kimi zaman ise bir mantaza benzeyen ve meteorologlar tarafından **kümülüs bulutları** diye bilinen güzel beyaz bulutlar gözleriz. Bu bulutlara Dünyanın Güneş ışınları tarafından aydınlatılan yüzeyinde ısınan ve yükseklere çıkan dikey akımlar neden olurlar. Soğuk tabakalara çıkınca hava nemini yitirerek, sis ya da buhar diye adlandırılabilecek büyük ve garip biçimler oluşturur. Bu aşağı doğru inen akımların nedeni yere yakın hava ile onun üstündeki hava arasındaki büyük sıcaklık değişimidir (sıcaklık gradyeni). Fizikçiler bu tür gaz (ya da sıvı) hareketine konvektif akım derler. Bunlar sıcak bir ocağın üstünde duran bir çaydanlıktaki su akımlarından pek farklı değillerdir. Konvektif akımlar için gerekli koşul, çok büyük bir sıcaklık gradyenidir (sıcaklığın yükseklikle hızlı değişimi) ki bu da ye-

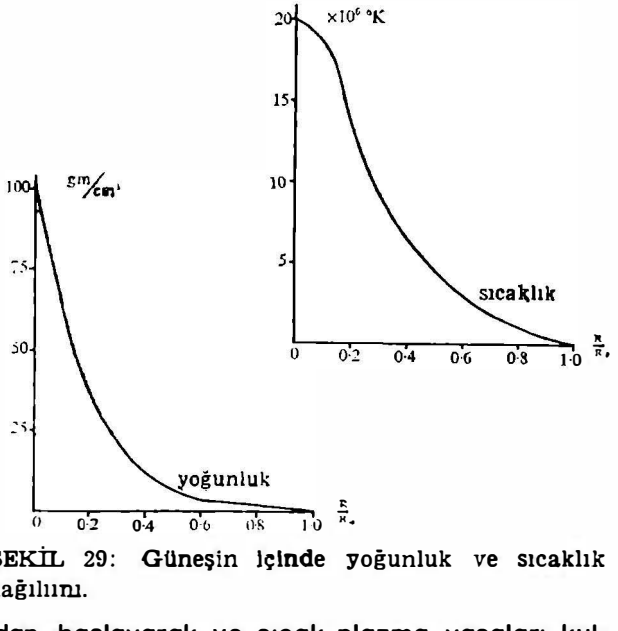


ŞEKİL 28: Bir mumda ve Güneşte konvektif süreçler.

rin Güneşten gelen doğrudan ışınlarla ısıtıldığı yaz günlerinde gezegenimizde gerçekleşir.

Güneşin içine dönersek, tüm ısının merkezin çok yakınlarında çok küçük bir bölgede nükleer dönüşümlerden kaynaklandığını görürüz. Bu ısıyı Güneşin gövdesi içinden yüzeye kadar taşımak için çok büyük sıcaklık gradyenlerine gerek vardır. Güneş merkezi yakınlarındaki sıcaklık gradyenlerinin çevresini saran Güneş maddesinin yaklaşık yüzde 10'unda konvektif akımlar yaratacak kadar büyük olduğu ilk kez İngiliz gökbilimci Thomas George Cowling tarafından gösterilmiştir. Bu akımların ikili görevleri vardır. Bunlar nükleer dönüşümlerin ürününü (helyum) merkezdeki ocaktan dışarı taşır ve taze yakıt (hidrojen) getirirler. Bir mum alevi etrafında aşağıdan taze oksijen getiren ve yanma sonucu ortaya çıkan karbondioksidi uzağa taşıyan hava konveksiyon akımları da aynı ilkeyle işlerler (Şekil 28). Konvektif akımlarla Cowling bölgesinin dış sınırına taşınan ısı dış zarftan Güneşin yüzeyine iletilir ve buradan da çevresini saran uzaya ışınarak Dünyada, insanlara hayat ve yaşama sevinci verir.

Güneşin yüzeyinde bilinen fiziksel koşullar-



ŞEKİL 29: Güneşin içinde yoğunluk ve sıcaklık dağılımı.

dan başlayarak ve sıcak plazma yasaları kullanılarak, sıcaklık, basınç ve yoğunluk değişikliklerini Güneşin merkezine dek matematiksel olarak izlemek mümkündür. Yorucu lise aritmetiği ya da en iyi durumda, ilkel hesap makinaları ile hesap yapan çok sayıda insanın yardımıyla Eddington bunu yapabilmişti. Bugün, modern bilgisayarları kullanarak bu işlemi çok, çok daha çabuk ve doğru olarak yapabiliriz. Şekil 29'daki eğriler bu tür hesaplamaların sonuçlarını göstermektedir. Bunlar Güneşin merkezinin yakınındaki maddenin sudan yaklaşık 100 kez daha yoğun ve yaklaşık 20 milyon derece sıcaklıkta olduğunu ortaya koymaktadırlar. Bu sıcaklığın muazzam değeri hakkında bir fikir verebilmek için, bir toplu iğne başının sıcaklığını 20 milyon dereceye çıkartabilseydik birkaç millik bir yarıçap içerisindeki herşeyi yakacağını belirtmek yeterli olur sanırız.

V. BÖLÜM

ÇEKİRDEKLER VE ENERJİLERİ

Yalım yalım yanan atom sellerini gördüm -
ve onun o bin yüzlü evreninde çağlayanlar,
Koşuyorlardı sınırlanamayan anlamsızlığı ezip geçerek
Yeniden buluşmaya, çarpışmaya ve eşyaya yeniden
Yeni bir biçim vermeye, sonra bir yeni biçim daha.
- Alfred Lord Tennyson -

İlk Buluşlar

1896 yılında Fransız fizikçi Antoine Henri Becquerel büyük bir buluş yaptı. Uranyum elementini içeren madenlerin gözle görülmeyen ama siyah kâğıda sarılı oldukları zaman bile fotoğraf plâkalarını karartan özel bir tip ışıma yaydıklarını buldu. Bu özelliğiyle bu yeni ışıma bir yıl önce Alman fizikçi Wilhelm Röntgen tarafından bulunan X ışınlarına benziyordu. Ama X ışınları oluşturmak için boşaltılmış bir tüpten sürekli bir yüksek gerilimli elektrik deşarjı geçirmek gerekirken yeni bulunan ışıma hiçbir dış uyarılma gerekmeden ve şiddetinde zamanla farkedilir hiçbir azalma eğilimi göstermeden uranyum cevherinden sürekli akıyordu. Daha da ötesi maden hangi fiziksel ya da kimyasal unsurların etkisi altında bırakılırsa bırakılsın şiddeti değişmiyor, erimiş kurşun ya da sıvı hava içine yerleştirildiği zaman da aynı oranla devam ediyordu. Becquerel bu yeni ve gizemli olguya **radyoaktivite** adını verdi.

Daha sonra bazı başka elementlerin de radyoaktif oldukları bulundu.

Becquerel'in buluşu ile heyecanlanan Fransız fizikçi Pierre Curie'nin Polonya asıllı karısı Madam Marie Sklodowska Curie radyoaktif maddeler üzerinde yoğun kimyasal çalışmalara başladı. Uranyum cevherinin radyoaktivitesini saf metalik uranyumunki ile karşılaştırarak uranyum cevherinin, içindeki saf uranyum oranından beklenen seviyeden yaklaşık beş kat daha radyoaktif olduklarını farketti. Bu eldeki cevherlerin bilinen analitik kimya yöntemleriyle belirlenemeyecek kadar az miktarda ama ışıması kolaylıkla farkedilecek kadar radyoaktif başka bir elementi içermeleri gerektiğine işaret ediyordu. Böylesine ender bir elementi ayırabilmek için kamyonlar dolusu pahalı uranyum cevherine ihtiyaç vardı. Neyseki bu malî sorun kolaylıkla çözümlendi. Uranyum cevheri Bohemia'da Joachischal yakınlarında çıkartılıyordu. Uranyum ayrıldıktan sonra hâlâ bilinmeyen nadir elementi içeren artıklar ekonomik değerleri olmadığından ayırma atölyelerinin yakınlarına yığılıyordu. Bu nedenle Avusturya — Macaristan hükümeti bu artıktan istediği kadarını Madam Curie'ye göndermekten fazlasıyla memnun olmuştu.

Madam Curie kocası ile çalışarak kimyasal özelliklerinde normal bizmuta benzeyen bu radyoaktif elementten küçük miktarlar ayırabilmeyi başardı ve buna, anavatanının şerefine, **polonyum** adını verdi. Ama polonyum sorunun çözümü değildi, çünkü radyoaktivitesi zamanla önemli ölçüde azalıyor, 140 günde başlangıçtaki radyoaktivitenin yarısına kadar düşüyordu. Curie'lerin laboratuarında bu artıklar üzerinde daha çok çalışıldı ve sonunda **radyum** adını verdikleri yeni bir elementin daha ayrıştırılması başarıldı. Curieler bunun

uranyumdan iki milyon kez daha radyoaktif olduğunu ve insan zaman ölçeğinde farkedilir bir biçimde bozunmadığını buldular (bozunma zamanı 1,840 yıl). Bu ilk başarıyı daha birçok radyoaktif elementlerin bulunması izledi. Gerek fizikçiler gerekse kimyacılar bunların incelenmesi ve sınıflandırılması ile uğraşmaya başladılar.

Ernest Rutherford adlı genç bir Yeni Zelandalı, bir başka İngiliz fizikçiyle, Frederick Soddy ile çalışarak radyoaktivite olgusuna, bir ağır elementin atomlarının kendiliğinden ağır bir dönüşümle başka bir elementin atomlarına dönüşmesinin neden olduğunu ilk kez önerdi — ortaçağ simyasılarının eski düşüydü bu. Rutherford daha sonra atomun, bir elektron kümesi tarafından sarılmış küçük bir merkezî çekirdekten oluştuğunu kanıtlayacak (Bölüm 2'deki tartışmaya bakınız) ve radyoaktivitenin bu merkezî fazlasıyla yoğun çekirdekten geldiği anlaşılacaktı.

Enerjinin Açığa Çıkması

Yeni keşfedilen ışımanın her türlü maddenin ta içine kadar nüfuz edebilme yeteneği taşıdığı oldukça yüksek enerjiye atfediliyordu. Bu enerji, ışımanın güçlü manyetik alanların içinden geçirildiği deneylerle ölçülebiliyordu. Yunan alfabesinin ilk üç harfiyle adlandırılan üç tip radyoaktivite olduğu ortaya çıktı:

Alfa (α) parçacıkları: bunlar çifte artı yük taşıyan ve ışık hızının yüzde 5 ilâ 7'si arasında bir hızla hareket eden helyum çekirdekleriydi.

Beta (β) parçacıkları: normal eksi yüklü elektronlar. Bunlar daha önce J.J. Thompson tarafından incelenmişti. Ancak çekirdekten gelen β parçacıkları o zaman deşarj tüplerinde ulaşılamıyan hızlarla hareket ediyorlardı.

Gamma (γ) ışınları: normal X ışınlarına çok benzeyen, ama çok daha kısa dalga boyuna ve bu nedenle de ışıma kuvantumu başına çok daha yüksek enerjiye sahip ışınlar.

Çekirdek fiziğinde parçacıkların enerjileri ve ışıma kuvantumları milyon elektron volt diye bilinen birimle ölçülür. Klâsik elektrostatik yasalarına göre belli bir elektrik yük taşıyan ve anod ile katod arasında belli bir potansiyel farkının oluşturduğu bir elektrik alan tarafından hızlandırılan bir parçacığın kazandığı enerji o yük ile potansiyel farkının çarpımına eşittir. Eğer bir elektron 1 voltluk bir potansiyel tarafından hızlandırılırsa kazandığı enerji 1 elektron volttur (ev). Potansiyel bin volt ise enerji bir kilo elektron volt, ya da kilo volt (kev) olacaktır. Potansiyel bir milyon voltsa bir milyon elektronvolttan (Mev) söz ediyoruz demektir. Kimyasal tepkimelerde molekül başına birkaç elektron volt enerji açığa çıkarken, nükleer değişimlerde bu enerji birkaç milyon elektron volttur. Böylece nükleer dönüşümler aynı miktarda madde için, kimyasal dönüşümlerden bir milyon kez daha çok enerji üretirler

Açık bir örnek vermek için bir kilogram uranyumda fisyon süreci ile ne kadar suyun donma noktasından kaynama noktasına getirilebileceğini ele alalım. (*) Bir kilogramda kaç tane U 235 çekirdeği vardır? Bir hidrojen atomu $1{,}66 \times 10^{-24}$ gm.dır; U 235 çekirdeğinin ağırlığı 235 kez daha büyüktür, yani, $= 2{,}56 \times 10^{-22}$ $3{,}9 \times 10^{-42}$ gm.dır. Böylece bir kilo uranyumda

$$\frac{10^3}{3{,}9 \times 10^{-42}}$$ atom vardır. Fisyon sürecinde bir uranyum çekirdeği 200 mev açığa çıkartır.

(*) Uranyum fisyonunun ne olduğunu bugün herkes bilmektedir. Bu konuyu bölümün sonunda daha ayrıntılı olarak ele alacağız.

Nükleer enerji birimi (yani mev) ile ısı enerjisi enerjisi birimi aarsında (yani kalori) şu ilişki vardır:

$$1 \text{ mev} = 3{,}8 \times 10^{-14} \text{ kalori}$$

Böylece bir kilogram uranyumun fisyonunda açığa çıkan enerji $200 \times 3{,}8 \times 10^{-14} \times 2{,}56 \times 10^{24} = 1{,}98 \times 10^{13}$ kaloridir ve 0°C'den 100°C'ye ısıtabileceği su miktarı $1{,}95 \times 10^{11}$ gm. ya da 200 000 tondur.

Radyoaktif Ömürler

Radyoaktiflik kararsızlık olan ağır çekirdeklerin kendiliğinden bozunumlarının bir sonucudur ve bunların her biri ya bir alfa parçacığı (bil helyum çekirdeği) ya da bir beta parçacığı (bir elektron) fırlatır. Gamma ışını alfa ya da beta salınmasından sonra kendini toparlamaya çalışan bir çekirdek tarafından salınan çok kısa elektromanyetik dalgadan başka birşey değildir. Gerek alfa, gerekse beta bozunumu çok basit bir olasılık yasasına uyarlar: belirli bir kısa zaman aralığında bozunan çekirdek sayısı o anda var olan henüz bozulmamış çekirdeklerin sayısı ile orantılıdır. Belirli bir radyoaktif elementin yarı ömrü T, baştaki miktarının yüzde elli oranında azaldığı (yani yarısının bozunuma uğradığı) süre olarak tanımlanır. Böylece 1 gm.lık bir radyoaktif elementi ile başlarsak, T kadar zaman sonra 1/2 gm., 2T kadar sonra 1/4 gm., 3T kadar sonra 1/8 gm. vs. kalacaktır.

Çeşitli radyoaktif elementler bir saniyenin ihmal edilebilir kadar küçük bir bölümünden milyarlarca yıla kadar değişen çok farklı yarı ömür sürelerine sahiptirler Salınan parçacıkların enerjisi ile bunlara karşılık gelen yarı ömür sürelerinden bazı örnekler Tablo 5'de gösterilmiştir.

Gerek alfa, gerekse beta bozunumunda dönüşümdeki enerjinin azalması ile yarı-ömrün arttığı dikkati çekmektedir. Ama alfa bozunumunda enerjide oldukça az bir farklılık yarı ömürde bir saniyenin birkaç binde birinden birkaç milyar yıla kadar çıkan bir değişiklik yaratırken beta bozunumunda ömürlerin değişimi çok daha azdır.

TABLO 5. Yarı - ömür Zamanları
Alfa bozunumuna uğrayan Elementler

Sembol	Yarı ömür	Enerji (mev olarak)
U^{238}	4.5×10^9 yıl	4.05
Ra^{226}	1,590 yıl	4.79
Rn^{222}	3.82 gün	5.49
Po^{218} (RaA)	3.05 dakika	6.11
Po^{214} (RaC)	0.0002 saniye	7.68

Beta bozunumuna uğrayan elementler

Sembol	Yarı ömür	Enerji (mev olarak)
Pb^{210} (RaD)	22.2 yıl	0.025
$Th^{234}(UX_1)$	24 gün	0.13
Pb^{214} (RaB)	26.8 dakika	0.65

Çekirdeğin İlk Bölünmesi ve Çağdaş Atom Parçalayıcıları

Birinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz Amiralliği tarafından savaşa yönelik çalışmalar yapması istendiğinde Rutherford Almanya'yı ezmekten çok daha önemli işleri olduğunu söyleyerek bu isteği reddetti: bir atomun çekirdeğini ezmeğe çalışıyordu. Bu gerekçe gerçekten yerindeydi: 1919 yılında Rutherford bir nitrojen atomunun çekirdeğini, radyoaktif bir kaynaktan gelen alfa parçacıkları ile bombardıman ederek parçaladığını açıkladı. Bir nitrojen atomu ile çarpışan hızlı bir alfa parça-

cığının zaman zaman atomun içine girdiğini ve bir proton salarak çekirdeğin içinde kaldığını gözlemişti. Bir «simya» formülü ile bu süreç şöyle ifade edilebilir:

$$_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1}$$

Yukardaki formülde alt indisler atom sayılarını, üst indisler ise çekirdeklerin atomik ağırlıklarını vermektedir. Böylece bir nitrojen atomu yapay olarak bir oksijen atomuna dönüştürülmüştü — ancak bu Dünya atmosferinin büyük bir kısmını oluşturan sıradan oksijen değil havada çok az ama belirlenebilir bir miktarda bulunan daha ağır bir oksijen izotopuydu (yani atom sayısı aynı ama atom ağırlığı farklı olan bir atom). Nükleer dönüşümler üzerine yapılan bu ilk deneyde enerjinin açığa çıkmayıp soğrulmuş olması ve salınan protonun gelen alfa parçacığından daha az enerji taşıması biraz ters görünebilirdi. Daha sonraki deneylerde Rutherford enerji bilançosunun artı olduğu reaksiyonlarla alüminyum ve magnezyum gibi daha hafif diğer bazı elementleri dönüştürmeyi de başardı.

Farklı enerjilerde alfa parçacıkları kullanarak ve bunları çeşitli elementlerden oluşmuş hedeflere göndererek Rutherford yapay nükleer dönüşümlerin iki temel kuralını buldu:

1. Fırlatılan protonların sayısı azalan alfa parçacığı enerjisi ile hızla azalır ve Polonyum 214'den (RaC') (Tablo 5'e bakınız) gelen yüksek enerjili alfa parçacıkları mükemmel sonuçlar verirken Uranyum 238'in yavaş parçacıkları'nın çekirdeği kıracak kadar enerjileri olmadığı ortaya çıkar.

2. Aynı enerjili alfa parçacıkları farklı hedeflere gönderildiğinde proton sayısı, kullanılan elementin artan atom sayısı ile azalır. Periyodik sistemin başındaki elementler için bu etki

gözlenebilir. Diğer elementlerde böyle bir ilişki gözlenmez.

Bütün bu öncü deneylerde nükleer bombardıman için yalnızca doğal radyoaktif elementlerin saldıkları alfa parçacıkları kullanılmıştı. Bununla birlikte kuramsal çalışmalar bir tek elektrik yükü taşıdıkları ve bu nedenle de çekirdek tarafından çifte yüklü alfa parçacıklarından daha az itildikleri için yüksek enerjili protonların daha kullanışlı olacağını gösteriyordu. Rutherford'un isteği üzerine bu kitabın yazarı kuramsal hesaplamaları yaptı ve protonların fırlatma parçacıkları olarak kullanıldığı takdirde bunların enerjilerinin aynı verimi sağlamak için alfa parçacıklarının enerjisinin yalnızca yarısı kadar olması gerektiğini kanıtlayabildi. Bu tahminden şevk alan Rutherford iki çalışma arkadaşından, John Cockroft ve E.T.S. Walton'dan birkaç mev enerjili proton hüzmeleri oluşturacak bir makina yapmalarını istedi. 1931 yılında bu ilk atom parçalayıcısı hazırdı ve Cockcroft ile Walton ilk proton hüzmesini, proton bombardımanına karşı en duyarlı olacağı tahmin edilen bir lityum hedefine gönderdiler. Ve lityum çekirdeği çatır, çatır çatırdıyarak her biri bir helyum çekirdeği olan iki parçaya ayrıldı. Tepkime şöyleydi:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow 2\ {}_2He^4$$

ve çok büyük bir miktarda nükleer enerji açığa çıkmıştı.

Bugün Cockcroft ve Walton ilk evde-yapılmış atom parçalayıcısının yerini herhangi bir çekirdeği paramparça edebilecek çeşitli dev atom parçalayıcıları almışlardır. Kâşifi olan Amerikalı fizikçi Robert J. van de Graaff'ın adıyla anılan bu tip harika makinaların birinde parçacıklar çok kuvvetli elektrik alanları tarafından hızlandırılır. Amerikalı fizikçi Ernest O. Lawrence tarafından keşfedilen bir başka

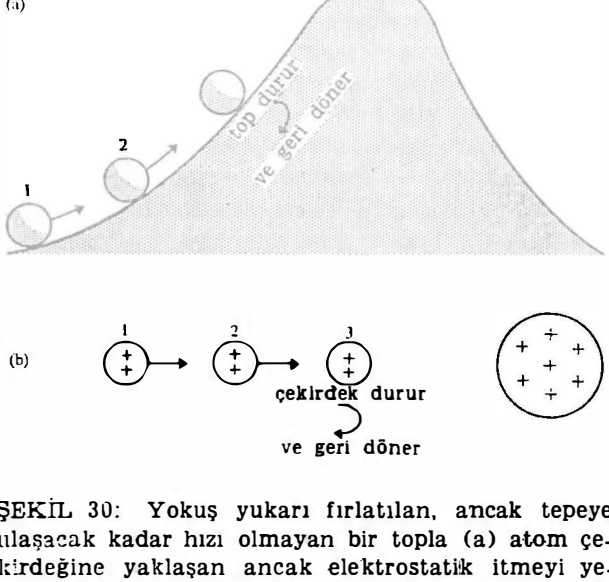
tip, dev elektromıknatısların kutupları arasında parçacıkların spiral şeklindeki hareketlerine dayanmaktadır. Parçacık hızlandırıcılarının modern tiplerinin siklotron, sinkroton, bevatron, kozmotron, vs. gibi garip adları vardır ve çekirdek parçacıklarını birkaç milyar elektron volt'a kadar hızlandırırlar.

Potansiyel Enerji Engeli

1928 yılında Rutherford, bir uranyum hedefini, polonyum 214 (RaC') tarafından salınan ve 7.68 Mev'lik enerjiye (Tablo 5'e bakınız) sahip olan çok hızlı alfa parçacıkları ile bombardıman ettiği yeni deneyini anlatan çok ilginç bir makale yayımladı. Alfa parçacıklarının hemen hemen tamamiyle geriye sıçradıkları uranyum çekirdeği ile hedeften çarpışmalarında bile basit elektrostatik itme kuvvetlerinin dışında hiçbir kuvvetin etkisi altında kalmadıklarını bulmuştu. İtici elektrostatik kuvvetlere karşı, çekirdeğe doğru hareket eden alfa parçacığının durumu belli bir hızla dik bir yokuştan yukarı yuvarlanarak çıkan bir topun hareketi ile karşılaştırılabilir (Şekil 30). Eğer topun ilk hızı nispeten küçükse, tepeye ulaşamadan duracak ve geri yuvarlanmaya başlayacaktır. Ancak hız yeterince yüksekse tepeye ulaşacak ve öteki taraftan aşağı yuvarlanacaktır. Böylece Rutherford'un deneyi uranyum çekirdeğini çevreleyen ve nükleer çekimin iç bölgesini dıştaki elektrostatik itme bölgesinden ayıran «tepe»nin yüksekliğinin 7.68 Mev'den daha büyük olduğunu kanıtlamıştı. Bu sonuç alfa parçacıklarının radyoaktif uranyum çekirdeklerinden dışarı «yuvarlandıkları» ve enerjileri yalnızca 4.05 olduğu halde «tepeyi aştıkları» olgusuna tamamen tersti (Tablo 5'e bakınız).

Rutherford'un makalesini okuduktan sonra

bu kitabın yazarı klasik mekanikte ortaya çıkan bu açık paradoksun ancak iki yıl önce geliştirilen dalga mekaniğine dayanılarak açıklanabileceğini düşündü. (Bölüm II'ye bakınız).



ŞEKİL 30: Yokuş yukarı fırlatılan, ancak tepeye ulaşacak kadar hızı olmayan bir topla (a) atom çekirdeğine yaklaşan ancak elektrostatik itmeyi yenecek kadar enerjisi olmayan bir alfa parçacığı (b) arasındaki benzerlik.

Aslında, 1930'da Royal Society of London'ın bir toplantısında bu konu tartışılırken İngiliz matematikçi R.H. Fowler tarafından öne sürüldüğü gibi, «Dalga Mekaniğine göre insan kapıdan çıkmadan ya da pencereden atılmadan bu odayı terkedebilir». Klasik mekanik açısından tamamiyle olanaksız olan şeyler, olasılıkları ihmal edilecek kadar küçük olsa bile kuvantum mekaniğinde olası bir hale geliyorlardı. Dalga mekaniğini kullanarak yazar radyoaktif çekirdeklerin alfa bozunumu «paradoksu»nu açıklıyabilmeyi ve salınan alfa

parçacıkları ile Tablo 5'de gösterilen radyoaktif elementlerin yarı ömürleri arasındaki bağımlılığın kusursuz bir kuramsal yorumunu yapabilmeyi başarmıştı. Bilimin ön saflarında çalışan herkesin başına sık sık geldiği gibi aynı fikir aynı zamanda ve tamamen bağımsız olarak Amerikalı fizikçi Edward Condon ile beraber çok benzer şeyleri kapsayan bir makale yayınlayan İngiliz fizikçi Ronald Gurney'in aklına gelmişti.

Enerjisi nükleer potansiyel enerji engelinin yarısı kadar olduğu halde bir alfa parçacığı çekirdekten çıkabiliyorsa yetersiz enerji ile dışardan gelen bir alfa parçacığı da potansiyel engelini geçerek çekirdeğe girebilir ve bu şekilde de iç yapıyı bozarak bir kimyasal elementten diğerine yapay bir dönüşüm oluşturabilir. Yazar tarafından yapılan hesaplar bunun gerçekten doğru olduğunu göstermiş, ve bu bölümün baş tarafında sözü edilen Rutherford'un yapay çekirdek dönüşümleri ile ilgili iki yasası potansiyel enerji engeli kuramı temeline dayanılarak tüm ayrıntıları ile açıklanmıştır.

Termonükleer Tepkimeler

Çekirdek fiziğinde bu gelişmeleri izleyen yıl içinde Avusturyalı fizikçi Fritz Houtermans ile İngiliz gökbilimcisi Robert Atkinson Güneşin ve diğer yıldızların içindeki enerji üretiminin içlerindeki aşırı yüksek sıcaklıkların neden olduğu çekirdek dönüşümleri ile açıklanıp açıklanamayacağını anlamak için kafa kafaya verdiler. Güneşin içindeki 20 milyon derecelik sıcaklık yalnızca 3.5 kev'lik bir ısı enerjisine karşılık gelmektedir ki bu yapay çekirdek dönüşümleri için laboratuvar deneylerinde kullanılan parçacık enerjilerinden çok azdır. Ama işin

bir de öbür yüzü var. Bir siklotronda ya da başka bir parçacık hızlandırıcısında üretilen birkaç milyon elektron voltluk bir nükleer bombardıman parçacığı çabucak yavaşlayıp durur. Oysa ısısal hareket, madde sabit bir yüksek sıcaklıkta tutulduğu sürece durulmaz. Böylece çekirdekler arasındaki ısısal çarpışmalar, şanslı bir vuruşma sonucu, iki çarpışan parçacık birbirlerinin içine girip çekirdek enerjisinin gizli hazinesini açığa çıkartana dek binlerce, milyonlarca ve milyarlarca yıl sürer gider.

Çarpışan iki çekirdeğin içiçe girme olasılığını veren kuvantum formülünü ve Eddington'un yıldızların içindeki fiziksel koşul verilerini kullanarak Atkinson ve Houtermans yıldızların içinde var olan koşullarda farklı elementlerin termonükleer tepkime hızlarını (saniyede tepkimeye giren madde oranı) hesaplayabilmişlerdi. Bu hesaplarla, gözlenen ışımayı koruyabilmek için yeterli enerjiyi açığa çıkartabilen tepkimelerin yalnızca hidrojen çekirdekleri ile başka hafif çekirdekler arasındaki tepkimeler olduğunu bulmuşlardı. Ancak o zamanki veri azlığından dolayı hidrojenle tepkimeye giren bu hafif elementin ne olduğunu belirleyememişlerdi. Sürecin belirlenemeyen bu çekirdek tarafından dört protonun birbiri ardından yakalanmasından ve büyük bir enerji taşıyan bir alfa parçacığının ortaya çıkmasından oluştuğunu önermişlerdi. Böylece belirlenemeyen çekirdek, kimyacıların katalist dedikleri rolü oynuyor, dört hidrojen atomunun bir helyum atomuna dönüşmesi sürecine yardım ediyordu. Makalelerine geçici olarak «Potansiyel Kabında bir Helyum Çekirdeği Nasıl Pişirilir» adını vermişlerdi ama makale **Zeitschrift für Physik**'de yayınlandığında fazla espirili biri olmayan editör makalenin adını daha ciddî bir adla değiştirdi. Tablo 6, daha sonra George Ga-

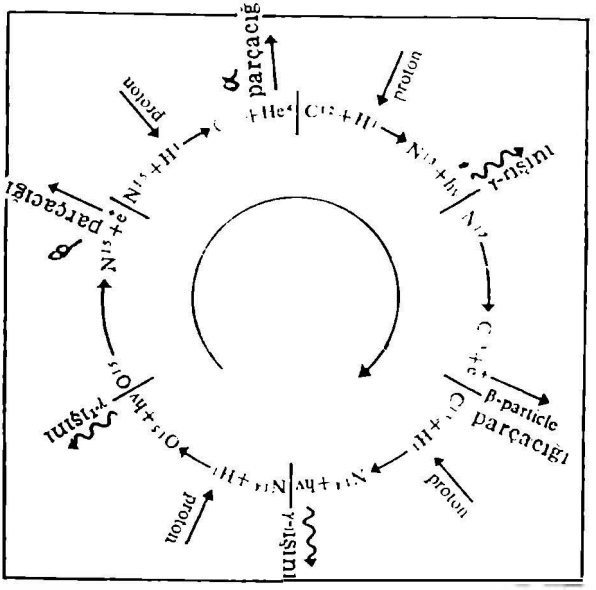
mow ve Edward Teller tarafından çıkartılan daha kesin formüller ve çekirdek özellikleri ile ilgili daha yeni veriler kullanılarak elde edilen, yıldızların iç bölgelerinde oluşabilecek çeşitli termonükleer tepkimelerin hızlarını vermektedir.

Bu tablo incelendiğinde yıldızlardaki enerji üretimini açıklayabilecek tepkimeler için oldukça dar bir seçim bölgesi olduğu görülür. Gerçekten de $H^2 + H^2$ (hidrojen bombasında kullanılan) ya da $Li^7 + H^1$ (ilki deneysel olarak Cockcroft ve Walton tarafından elde edilen) gibi çok hafif elementler arasındaki tepkimeler çok hızlı oluşur ve yıldızların ömürleri kadar uzun bir süre devam etmeleri mümkün değildir. Öte yandan $O^{16} + H^1$, ya da $Si^{30} + H^1$ gibi daha ağır elementleri içeren tepkimeler çok yavaş oluşur ve yıldız ışımasını sağlayacak kadar enerjiyi üretmeleri mümkün değildir. Böylece geriye yalnızca hidrojen ile karbon ve nitrojen arasındaki tepkimeler kalıyor. 1938 yılında bu olasılıkların ayrıntılı bir incelemesi aynı zamanda ve tamamiyle bağımsız olarak

TABLO 6. Ortalama tepkime süreleri ve çeşitli Termonükleer tepkimeler için Enerji Üretimi Hızı

Tepkime		*Enerjinin açığa çıkmasının hızı Cal. / Gm. Sn.*		*Tepkimeye giren elementin yarısının tükendiği süre*
$H^2 + H^1 \rightarrow He^3$	γ	1	10^{13}	saniye
$H^2 + H^2 \rightarrow He^3$	n	2·5	10^{6}	0·00003 saniye
$Li^7 + H^1 \rightarrow 2He$		2·5	10^{10}	1 dakika
$B^{11} + H^1 \rightarrow 3He^4$		4	10^{6}	3 gün
$C^{12} + H^1 \rightarrow N^{13}$	γ	1·5		2·5 10^{6} yıl
$C^{13} + H^1 \rightarrow N^{14}$	γ	2·5	10^{-3}	5 10^{4} yıl
$N^{14} \quad H^1 \rightarrow O^{15}$	γ	2·5	10^{-2}	4 10^{6} yıl
$N^{15} \quad H^1 \rightarrow C^{12}$	He^4	5	10^{2}	20 yıl
$O^{16} + H^1 \rightarrow F^{17}$	γ	1·5	10^{-12}	10^{12} yıl
$Mg^{26} + H^1 \rightarrow Al^{27}$		7·5	10^{-11}	10^{17} yıl
$Si^{30} + H^1 \rightarrow P^{31}$	γ	1·5 ×	10^{-17}	3 10^{2} yıl

Amerika Birleşik Devletleri'nde Hans Bethe ve Almanya'da Carl von Weizsäcker tarafından yapılmıştır. Bu kişiler karbon ve nitrojen içeren tepkimelerin, hidrojen dayandığı sürece, durmadan tekrarlanan bir **devir** oluşturduğunu bulmuşlardı. Karbon ve nitrojen çekirdekleri bir dizi dönüşümden geçiyor ve her devrin sonunda küllerin arasından fırlayan Anka kuşu gibi yeniden ortaya çıkıyorlardı. Karbon devri diye bilinen (bu devre rahatlıkla nitrojen devri de denebilirdi) bu devir Şekil 31'de gösterilmiştir. Devrin toplam süresi, tabiî ki, süreçteki adımların sürelerinin toplamına eşittir ve $6{,}5 \times 10^6$ yıl kadardır. Eğer her devrin sonunda karbon ve nitrojen yeniden ortaya çıkmasaydı on ya da onbeş milyon yıl içinde Güneşte bu her iki element de yok olacak ve termonükleer tepkimeler duracaktı. Oysa Karbon devrinin net sonucu olarak, karbon ve nitrojen miktarı



ŞEKİL 31. Karbon devri.

değişmezken yalnızca hidrojen tüketilerek helyuma dönüşür. Güneşte ve diğer yıldızlarda milyarlarca yıl yetecek kadar hidrojen vardır.

Görüyorsunuz ki Atkinson ve Houtermans bu sürece «potansiyel kabında helyum pişirmek»adını vermekte tamamen haklıydılar.

Beta Bozunumu ve Nötrino

Şimdi radyoaktif çekirdeklerin bir başka önemli yönünü tartışmalıyız: beta bozunumu süreci. 1914'de bir İngiliz bilgini James Chadwick, çeşitli radyoaktif elementler tarafından salınan beta parçacıklarını inceleyerek şaşırtıcı bir buluş yaptı. Belli bir radyoaktif element tarafından salınan alfa parçacıklarının hepsi aynı enerjiye sahipken beta parçacıkları sıfırdan birkaç milyon elektron voltluk bir üst sınıra kadar değişen oldukça geniş bir enerji dağılımı gösteriyorlardı. Sanki enerji korunumu yasası çekirdeğin iç bölgelerinden salınan elektronlara uygulanamıyordu ve gerçekten de Niels Bohr gibi büyük fizikçiler bu olasılığı ciddi bir şekilde göz önünde bulundurdular. Ancak Alman fizikçi Wolfgang Pauli beta parçalanması sürecindeki anlaşılmaz enerji kaybını düşünürken çok daha tutucuydu. Enerjinin korunumu gibi fiziğin temel yasalarından birini iptal etmek yerine enerji dengesinin beta parçacığı ile birlikte çekirdekten çıkan ama deneysel olarak belirlenemiyen gizemli bir parçacık tarafından sağlandığını düşünmeyi yeğledi. Daha sonra **nötrino** diye adlandırılan bu parçacığın hiçbir elektrik yükü taşımadığı ve eğer varsa, çok az bir kütleye sahip olduğu varsayılıyordu. Pauli bu parçacığın madde ile çok az etkileşmede bulunacağını ve onu yakalamaya çalışan deneycilerin parmaklarının arasından kolaylıkla kaçacağını gösterdi.

İtalyan fizikçi Enrico Fermi, 1934'de, bu öneriye dayanarak beta bozunumunu aynı anda bir elektron ile bir nötrinonun çıkışı olarak veren matematiksel bir kuram yayımladı. Fermi'nin kuramı gözlenen olgularla kusursuz bir uyum içindeydi ve özellikle çeşitli beta bozunumlarının ömürleri ile enerjileri arasındaki ilişkiyi ayrıntılı olarak açıklıyordu. Ama kuramsal olarak iyi bilinmelerine ve yılların akışı içinde çeşitli çekirdek süreçlerindeki katkıları konusunda bazı dolaylı kanıtlar toplanmasına karşın nötrinolar deneysel belirlemelerden hâlâ kaçıyorlardı. Ancak 1955'te iki Amerikalı fizikçi, Fred Reines ve Cloyd Cowan, nötrinoları yakalamakta başarılı olan bir nötrino tuzağı yaptılar. Bu tuzak, yarısı yalnızca elektronları, diğer yarısı ise yalnızca nötronları sayan Geiger sayıcıları ile çevrili ve hidrojen dolu kocaman bir odadan oluşuyordu. Oda, Atom Enerji Komisyonunun Savannah Nehri Projesindeki atomik birikintilerden bir tanesinin etrafını çevreleyen kalın koruma duvarının dışına yerleştirilmişti. Duvar birikintide oluşan uranyum fisyonu süreçlerinden gelen çeşitli çekirdek radyasyonu durdurabilecek kadar kalındı ama nötrinoları durdurabilecek kadar değil. Bu parçacıklar, sivrisineklerin kafesli telden geçmeleri gibi kalın beton duvarlardan kolaylıkla geçebilirler. Deneycilerin vücudundan, sonra da Dünyanın içinden hiç durmadan geçip uzaya gittiklerinden dolayı zararlı da değildirler. Ama birkaç tanesi (çok azı!) odanın içindeki hidrojen atomlarının protonları ile çarpışarak aşağıdaki denkleme göre protonları nötrinolara ve artı yüklü elektronlara dönüştürüyorlardı:

$$\text{proton} + \text{nötrino} \rightarrow \text{nötron} + \text{elektron} +$$

Ve ne zaman bir nötron ve bir elektron sayıcısı aynı anda bir işaret verse Cowan ile

Reines bir nötrinonun çarptığını biliyorlardı. Elde edilen sonuçlara göre nötrinonun maddenin içine girme yeteneği öylesine fazlaydı ki birkaç ışık yılı kalınlığında bir kurşun duvarın bir nötrinoyu durdurma olasılığını ancak yüzde elliydi.

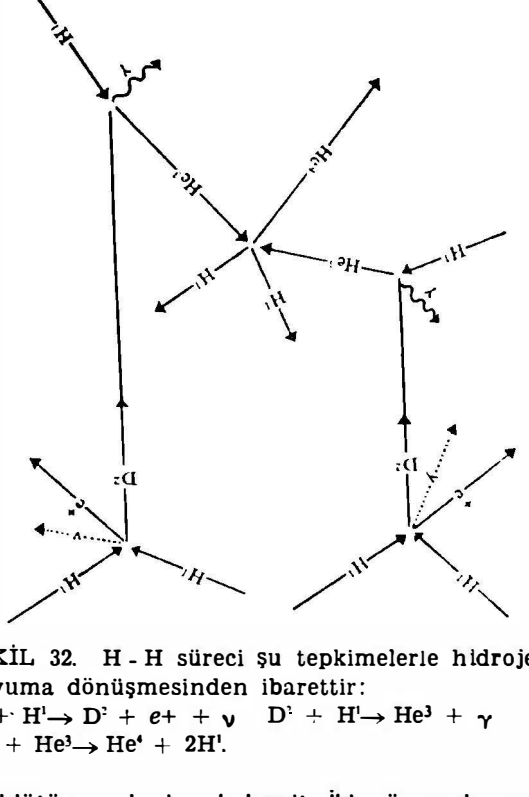
Şimdi 1938 yılına ve yıldızlardaki enerji üretimi tartışmalarına dönüyoruz. Bethe ve Weizsäcker karbon devri kuramlarını geliştirirken genç bir fizikçi, o zaman George Waşhington Üniversitesi'nde yazarın öğrencisi olan Charles Critchfield tamamiyle farklı bir fikir geliştirdi. Hızla hareket eden iki protonun çarpışmasında, çok ender de olsa, protonlardan birinin artı yükünü yitireceğini ve böylece bir nötrona dönüşüp bir başka protona bağlı kalarak bir döteron, yani ağır hidrojen çekirdeği oluşturabileceğini farketti. Bu tepkimenin «simyasal» formülü şöyle:

$$H^1 + H^1 \rightarrow H^2 + e +$$

Burada e+, artı yüklü elektronu göstermektedir. Daha sonra döteron çekirdeği (H^2, çoğu kez de D^2 olarak gösterilir) başka protonlarla birleşerek sonunda bir helyum çekirdeği (He^4) oluşturur. Böylece H-H füzyonu karbon devri ile aynı genel sonuçlara yol açar, ancak ara adımlar oldukça farklıdır (Şekil 32). En önemlisi H-H füzyonu saf hidrojen içinde gerçekleşebilir ve karbon devrinde olduğu gibi kataliste ihtiyacı yoktur.

Critchfield Fermi'nin beta bozunumu kuramını kullanarak Güneşin içinde var olan koşullarda bu süreçteki enerji üretimi hızını hesapladı ve bu sürecin karbon devri ile yarıştığını buldu. Ondan sonraki on yıl içinde H-H füzyon ile C-devri kuramları başabaş gitti. 1938'de ilk önerildiğinde H-H füzyonu geride gibi görünüyor, C-devrinden yirmi kez daha az ve-

rimli olduğu düşünülüyordu. Sonra, bazı çekirdek tesir kesitleri (tepkime olasılıkları) daha dikkatli bir şekilde yeniden ölçüldükten ve Güneşin merkezî sıcaklığı daha kesin olarak yeniden hesaplandığında C-devri ikincil duruma, H-H füzyonu başrole geçti. Daha sonra durum birkaç kez değişti ve sonunda Güneş için H-H füzyonunun temel enerji üretim süreci, C-devrinin ise ikincil süreç olmasına karar verilmesiyle sona erdi. İkl kuram arasındaki uzun te-



ŞEKİL 32. H - H süreci şu tepkimelerle hidrojenin helyuma dönüşmesinden ibarettir:
$H^1 + H^1 \rightarrow D^2 + e^+ + \nu \quad D^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma$
$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2H^1$.

reddütün nedeni çok basit. İki süreç de sıcaklık T'ye çok farklı bağımlılık göstermektedir ve

H-H füzyonu tepkime hızı $T^{3.5}$ gibi bir artma oranı gösterirken karbon devri tepkime hızı T^{17} gibi artmaktadır. Güneşimizin merkezî sıcaklığı ölçülen tepkime hızlarının kesiştikleri noktaya çok yakındır. Güneşin hesaplanan merkezî sıcaklığında veya tepkimelerin ölçülen hızlarında ufak değişimler, sonucu kuvvetle şu ya da bu yana itmektedir. Ama bunların tümü önemsizdir; çünkü her iki tepkime de aynı şeyin (He^4) üretilmesine yol açar ve bir yıldızın evrimi içte hangi tepkimenin hakim olduğundan bağımsız olarak aynı şekilde sürer gider. Sonuç olarak Güneşten daha parlak (ve bu nedenle de içleri daha sıcak) olan tüm yıldızlarda C-devri hakimken Güneşten daha soluk (bu nedenle de daha soğuk) olan tüm yıldızlarda H-H füzyonunun hakim süreç olduğu hesaplanmıştır. Burada da Güneşimizin çok ortalama bir yıldız olduğunu görüyoruz. (*)

(*) Günümüzde güneş ve yıldızlarda termonükleer tepkiler kuramının en önemli sorunu Güneş'ten beklenen nötrino akısıdır. Yukarıda anlatılan kuram bütün gözlemlerle başarılı bir uyum içindedir. Ancak güneşin yüzey ışıması ve sıcaklığını elde edebilmek için gereken tepkime hızlarından bu kurama göre hesaplanan nötrino akışı, Dünyada gözlenen nötrino akışı ile uyuşmamaktadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde, yeraltında tonlarca çamaşır suyu kullanılarak nötrinolar yakalanıp sayılmakta, Güneşten ancak kuramsal beklentinin yarısı kadar nötrino geldiği görülmektedir. Halen süren bu gözlemler, önümüzdeki yıllarda ya yıldız yapısı kuramında bir değişiklik gerektiğini gösterecek, ya da belki nötrinoların yapısı ile ilgili yüksek enerji fiziğinde yeni bazı kuramsal önermeleri kanıtlayarak, güneşten beklendiği kadar nötrino çıktığını ama bunların bir kısmının Dünya'ya gelirken yolda başka çeşit bir nötrinoya dönüştüklerinden bu gözlem sayaçlarıyla yakalanamadıkları açıklamasına götürecek bizi. (Çev.)

VI. BÖLÜM

YILDIZLAR ARASINDA GÜNEŞ

Issız ve sisli bir okyanusta
Kendi güçleriyle ve özgürce dolaşırlar.
Gök lambaları ve yüzerler aheste aheste,
Bir ağızdan türkü söyler gibi.

- Mikhail Lermontov

Kaç Yıldız?

Bir insanın bulutsuz bir gecede çıplak gözüyle kaç tane yıldız görebileceğini tahmin edebilir misiniz? Bir milyar? Hayır. Bir Milyon? Yine yanlış. Aslına bakarsanız her iki gök yarımküresinde çıplak görülebilecek yalnızca altıbin yıldız vardır. Gökte, belirli bir zamanda görülebilecek yıldızların sayısı ikibinden fazla değildir, çünkü bunların yarısı ufuk çizgisinin altında gizlidir, birçoğu da ufka yakın olduklarından kötü görüş koşullarından dolayı farkedilmezler. Sıradan bir dürbün kullanılırsa görünen yıldızların sayısı ellibine, bir amatörün 5 cm.'lik teleskobu ile ise üçyüzbine çıkar. Çağdaş dev teleskoplar görülebilen (daha da ötesi fotoğrafı çekilebilen) yıdızların sayısını sınırsız arttırır. Güneşimizin bir üyesi olduğu yıldız sisteminin yaklaşık yüzmilyar yıldızı kapsadığı tahmin edilmektedir.

1610 yılında Galile ilk gökbilimsel teleskobu yaptığında ve bu teleskobu göğü çevreleyen

o hafifçe parlayan kuşağa çevirdiğinde «kümeler halinde yanyana sayısız bir yıldız kütlesinden başka birşey» görmedi. Bu gözlem, Samanyolu'nun karnı acıkan küçük Herkül'ün hırsla bastırması sonucu tanrıça Hera'nın göğüslerinden fışkıran sütten oluştuğunu anlatan Yunan mitolojisinin eski efsanesini boş çıkarmıştı.

Ünlü İngiliz gökbilimcisi Sir Willian Herschel (1738-1822) Güneşimizin ait olduğu yıldız sisteminin mercimek şeklinde bir hacim işgal ettiğini ve Güneşin içerlerde, mercek düzlemine yakın bir yerde bulunduğunu ilk önerenlerdendi. Böylece bu düzlem içinde herhangi bir yönde Samanyolunun parlak bandına karışan uzak bölgelerde birçok yıldız görmekteyiz. Öteki yönlerde ise arkalarında karanlık bir fondan başka birşey olmayan çok daha az yıldız görürüz.

Yıldızlar Ne Kadar Uzakta?

Gökbilimciler çeşitli gökcisimlerine olan uzaklığı, bu kitabın başlarında tanımlanan «paralaktik yer değiştirme» yöntemi ile ölçerler. Ancak yıldızların uzaklığı güneş sistemindeki uzaklıklardan öylesine daha büyüktür ki yeryüzünün iki karşıt noktasından yapılan gözlemler bile daha da uzaktaki öteki yıldızlara göre farkedilir bir paralaktik yer değiştirmeyi ortaya koymamaktadırlar. Neyse ki yıldızların paralaktik yer değiştirmelerini Dünyanın çapından çok daha uzun bazlara göre yapabilmek mümkündür. Dünya Güneşin etrafında kendi çapından 23,000 kez daha büyük bir çapı olan bir yörüngede döner. Böylece altı ay ara ile (Dünya Güneş etrafındaki yörüngesinin iki karşıt noktasında iken) yıldızların yer değiştirmelerini gözleyerek paralaks ölçmelerinin has-

sasiyetini aynı oranda arttırabiliriz. Zamanının en hassas gökbilimsel aletini yapan ünlü Danimarkalı gökbilimci Tycho Brahe (1546-1601), yıldızların yarım yıllık paralaktik yer değişimlerini gözlemeye çalıştı ama sonuç olumsuzdu. Şimdi bunun kısmen Tycho'nun aletlerinin yer değişimini kaydedecek kadar hassas olmadıklarından kısmense kendisinin bize nispeten daha yakın yıldızları seçecek kadar şanslı olmadığından olduğunu biliyoruz. Ancak Tycho olumsuz sonuçlarını, bu ilk yıllarda bir yaşam savaşı veren Kopernik sistemine karşı, Dünyanın Güneşin etrafında **dönmediğinin** bir kanıtı olarak yorumladı. Ve ancak 1838 yılında Alman gökbilimcisi Friedrich Wilhelm Bessel 61 Cygni (Cygnus - Kuğu takımyıldızında) diye bilinen bir yıldız için ilk güvenilir paralaks ölçümünü yaptı ve 0,30 açısal saniyelik bir değer elde etti. Aynı yıl daha sonra İskoç gökbilimci Thomas Henderson parlak bir yıldızın, Centaurus takımyıldızının en parlak üyesi Alfa Centauri'nin paralaksını ölçerek 0,76 açısal saniyelik bir değer buldu. Bu sayılardan 61 Cygni ile Alpha Centauri'nin Güneşten uzaklıklarının sırasıyla 10,9 ve 4,3 ışık yılı olduğu anlaşılmaktadır. Daha sonraki yıllarda daha çok yıldız paralaksı ölçüldü ve bugün yaklaşık üçbin kadar yıldızın uzaklığını biliyoruz.

Yıldızlar Ne Kadar Parlak?

Yıldızlı göğe baktığımızda, kimi yıldızların zar zor görülebilmelerine karşın Sirius gibi kimi yıldızların ise olağanüstü parlak olduğunu farkederiz. Eski dünyanın iki büyük gökbilimcisi Hipparchus ve Batlamyus (Ptolemy) görülebilir yıldızları altı «büyüklük» içinde değerlendirmişlerdi. Birinci derece en parlak yirmi yıldızdan, altıncı derece ise çıplak gözle zar zor gö-

rülen yıldızlardan oluşuyordu (eski gökbilimcilerin gözleri tabiî ki her zaman çıplaktı). Yıldızların altı gruba bölerken komşu parlaklık gruplarının üyeleri arasında aynı **parlaklık farkı** olduğunu gözlemişlerdi. Şimdi algılama fizyolojisinin genel yasasına, Fechner yasasına göre, ister bir ışığın parlaklığı ister bir sesin gürültüsü olsun dış uyarının kuvveti yani taşıdığı enerji **geometrik dizi** şeklinde arttıkça bu bize **aritmetik dizi** halinde artıyormuş gibi gelir. Böylece 10, 100 ve 1000 desibelde (desibelde ses şiddeti birimidir) çalışan üç hoparlörümüz varsa duyularımız bize birinci ile ikinci arasındaki farkın ikinci ile üçüncü arasındaki farkla aynı olacağını söyleyecektir. Benzer şekilde 10, 100 ve 1000 wattlık üç elektrik ampülüne baktığımızda birinci ile ikinci arasındaki aydınlık farkının ikinci ile üçüncü arasındaki farkla aynı olduğunu hissedeceğiz.

Böylece Hipparchus ile Batlamyus'un gözlerine farklı parlaklık sınıflarındaki yıldızların ışığı arasında **eşit aralıklar** varmış gibi gelirken ışık şiddeti aslında sınıftan sınıfa **eşit oranlarla** artıyordu. Astronomide bu parlaklık sınıflarına «kadir» denir. Standart uygulamada birinci kadirden yıldızların altıncı kadirdeki yıldızlardan yüz kez daha parlak olduğu kabul edilir. Böylece aralarında bir Hipparchus — Batlamyus kadir farkı olan iki yıldız tarafından yayılan ışık miktarları arasındaki gerçek oran 100'ün beşinci kökü, ya da 2,512'dir. Özetlersek ikinci kadir yıldızlar birinci kadir yıldızlardan ikibuçuk (2,512) kez daha sönüktür; üçüncü kadir yıldızlar ikinci kadirdekilerden aynı oranda daha sönüktür, vb. Kuşkusuz eski moda yıldız kadirleri kavramını unutup bu ışığın insan gözü üzerindeki etkisi yerine doğrudan farklı yıldızlar tarafından yayılan ışığı karşılaştırmak daha mantıklı olur. Ama gökbi-

limciler bilimlerinin tarihi konusunda biraz eski kafalı ya da daha doğrusu duygusaldırlar. Daha mantıksal şiddet-oranları kavramına geçileceği yerde yıldız kadirleri kavramı korunmuştur.

Gözlemlerin gözle (yani yalnızca teleskoptan bakılarak) ya da **fotoğrafla** (yani telskopa takılan bir fotoğraf makinası tarafından çekilen fotoğrafın incelenmesiyle) ya da bolometreyle (yani belirli bir yıldızdan gelen toplam enerjinin duyarlı sıcaklık pilleri ile doğrudan ölçülmesi) yapılmasına bağlı olarak yıldız kadirleri değerlerinin biraz farklı olması karmaşıklığı daha da arttırmaktadır. Böylece gökbilimciler «görsel kadirlerden», «fotografik kadirlerden», ve «bolometrik kadirlerden» söz ederler ve bir kadirden diğerine geçmek için özel çevirme tabloları kullanırlar. Hâlâ bu karmaşık birimleri korudukları için gökbilimcileri yakın yıllara kadar penny, şilin, florin, sterlin ve guinea kullanan İngilizlerden daha fazla suçlayamazsınız. Şilini ve penny'yi kendi ondalık para biriminize çevrimeyi bir kez öğrendiniz mi hiçbir sorununuz yok demektir. Bugün yıldız kadirleri bir ondalık hanesine (onda bir kadir) kadar verilmektedir ki bu, yıldız parlaklıklarında insan gözü ile ayırdedilebilen en küçük farka karşılık gelmektedir. Gözle görülemeyecek kadar sönük olan yıldızlar için kadir ölçeği, altıncı kadirin ötesine uzatılmıştır. Bu ölçeğe göre Mount Wilson Gözlemevi'ndeki 254 cm.lik teleskop yirmibirinci kadire kadar olan yıldızların, Mount Palomar'daki 508 cm.lik teleskop ise yirmibeşinci kadirdekilerin fotoğrafını çekebilmektedir.

En parlak yıldızlardan daha parlak olan cisimler için eksi dereceler kullanılır. Böylece Venüs —4'üncü kadirde, Ay —12.5'uncu derecede ve Güneş —26.7'inci derecededir.

TABLO 7. Belli bir kadirden daha parlak olan Yıldız Sayısı

Kadir Sınırı	*Yıldız sayısı*	
	Fotografik	*Görsel*
4·0	360	530
5·0	1,030	1,620
6·0	2,940	4,850
7·0	8,200	14,300
8·0	22,800	41,000
9·0	62,000	117,000
10·0	166,000	324,000
11·0	431,000	870,000
12·0	1,100,000	2,270,000
13·0	2,720,000	5,700,000
14·0	6,500,000	13,800,000
15·0	15,000,000	32,000,000
16·0	33,000,000	71,000,000
17·0	70,000,000	150,000,000
18·0	143,000,000	296,000,000
19·0	275,000,000	560,000,000
20·0	505,000,000	1,000,000,000
21·0	890,000,000	

Tablo 7 belirtilen her kadir için o kadirden daha parlak olan yıldız sayısını vermektedir. İkinci ile üçüncü sütun arasındaki farklar sayfa 32'de sözünü ettiğimiz insan gözü ile fotoğrafik plâka arasındaki duyarlılık farkından gelmektedir.

Buraya dek yıldızların, gözlem platformundan, yani Dünyadan bize görünen parlaklığından söz ettik. Kuşkusuz bu sayılar yıldızların gerçek parlaklıklarını temsil etmemektedir, çünkü çok uzaklarda olan çok parlak bir yıldız bize, daha yakın olan bir yıldızdan daha sönük gelebilir. Ama paralaksını ölçerek bir yıldızın uzaklığını öğrenmişsek herhangi bir ışık kaynağının görünürdeki şiddetinin uzaklığının karesinin tersi ile azaldığını söyleyen temel optik yasasını kullanarak **gerçek** parlaklığını hesaplıyabiliriz. Yıldızların gerçek parlaklıkları, eğer tüm yıldızlar daha yakına getirilse ve Güneşten 10 parsec uzaklığa konulsaydı

dünyadaki gökbilimciler tarafından gözlenecek olan kadirler olarak tanımlanan mutlak kadirlerle ifade edilirler. Görünür kadirler m harfi (kullanılan gözlem yöntemine göre **vis, phot, phot-vis** ve **bol** gibi alt indislerle) ile gösterilirken mutlak kadirle M harfi (aynı alt indis çeşitleriyle) ile gösterilir. Bu kısaltmalar,

TABLO 8. Yıldızların Işık Fonksiyonu

Mutlak Büyüklük M	*Göreli Yıldız Sayısı*	*Güneşin Parlaklığı ısı cinsinde Yıldızın Parlaklığı*
−5	1	10,000
−2·5	90	1,000
0	3,300	100
+2·5	42,000	10
+5	200,000	1
+7·5	350,000	0·1
+10	500,000	0·01
+12·5	600,000	0·001

sırasıyla görsel, fotoğrafik ve bolometrik demektir.

Bir yıldızın görünür kadiri, Samanyolunda bize göre konumuna bağlı olarak tamamen öznel bir parlaklık ölçüsüdür. Oysa mutlak kadirler durumu yansıtırlar. Tablo 8 gerçek parlaklıklarını nitelendiren farklı mutlak kadirlere sahip yıldızların göreli sayısını vermektedir (bu bağımlılık «parlaklık fonksiyonu» diye bilinir). Bu tablodaki sayılar «gözlemsel seçim» diye bilinen durumdan dolayı Tablo 7'deki sayılardan oldukça farklıdır. Çok parlak yıldızlar daha az parlak olanlara göre çok daha uzak mesafelerden görülürler. Bu nedenle bunlar gerçekte olduklarından daha çokmuş gibi gelir bize. Böylece, Tablo 7, yalnızca, yıldızlı bir gece gökyüzüne baktığımız zaman edindiğimiz izlenimi aktarırken Tablo 8, farklı mutlak kadirdeki yıldızların gerçek sayılarını vermekte-

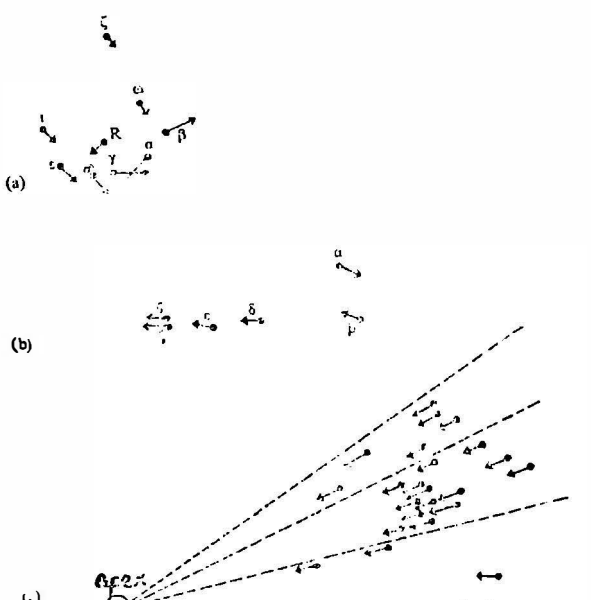
dir. Bu tablodan tüm **yıldızların yüzde** 97'sinin Güneşten daha sönük, yalnızca 3'ünün Güneşten daha parlak olduğunu görüyoruz.

Yıldızların Hareketi

Çok eski zamanlardan beri yıldızlı gök, sürekliliğin ve değişmezliğin bir simgesi olmuştur. Gerçekten de İ.Ö. ikinci yüzyılın ortasında İskenderiye'de Hipparchus tarafından derlenen ve 1080 yıldızın konumunu gösteren yıldız kataloğu yeterli bir duyarlılık ile bugün bile kullanılabilir. Asurlu, Babilli, Mısırlı ve eski Yunanlı gökbilimciler tarafından adlandırılan çeşitli yıldız takımları binlerce yıl önce olduğu gibi hâlâ yıldızlı gökte durmaktadırlar. Ancak çok duyarlı gökbilimsel aletlerle yapılan gözlemler, yalnızca birkaç bin yıl içinde önemli bir ölçüde değişikliğe yol açamayacak kadar yavaş da olsa yıldızların gökte hareket ettiklerini göstermektedir. Gökbilimciler yıldızların yavaş hareketine **öz hareket** (proper motion) adını vermişlerdir; aslında bu hareket yavaş değildir ama aradaki uzun mesafeden dolayı bize yavaş gibi gelir. Aynı şekilde çok yükseklerde uçan bir uçak bize çok yavaş hareket ediyormuş gibi gelir, halbuki aynı uçak başımızın hemen üstünden geçtiğinde çok hızlı gittiğini algılarız. Yıldızların çoğunlugu uzayda saniyede 5 ilâ 20 millik bir hızla dolaşırlar. Daha hızlı hareket eden yıldızlar da vardır.

Şekil 33a ve b'de Corona Borealis (Kuzeytacı) ve Ursa Major (Büyükayı) takımyıldızlarını oluşturan yıldızların hareketini gösteriyoruz. Oklar 50 000 yıl içinde beklenen yer değiştirmeleri göstermektedir. Corona Borealis'te hareketin gelişigüzel olduğunu farkediyoruz. Bu da bu takımyıldızı oluşturan yıldızların birbirlerine tümüyle yabancı olduklarına ve bir

rastlantı sonucu biraraya geldiklerine işaret ediyor. Öte yandan Ursa Major'un iki yıldızı hariç tümü yaklaşık aynı hızla ve yaklaşık aynı yönde hareket ediyorlar ki bu da bunların gerçekten de aynı takımda, bir arada olmaları olasılığını belirtiyor. Şekil 33c'de gösteril-



ŞEKİL 33: Önümüzdeki 50 000 yıl içinde Kuzeytacı ve Büyükayı yıldızdakımları ile Hyades kümesindeki yıldızların hareketi.

diği gibi Taurus (Boğa) burcundaki Hyades kümesini oluşturan birbirine çok yakın, çok sayıda yıldızın gözlenen öz hareketleri çok çarpıcı bir manzara sunmaktadır. Yıldızların hareketini gösteren oklar (kırık çizgiler) izlendiğinde bunların bir noktada birleştikleri görülür. Bu, ne çok ileri bir tarihte bu yıldızlar birbirleriyle çarpacaklar ne de çok eskiden bu yıl-

dızlar aynı noktadan yola çıkmışlar demektir. Aslında bu yıldızların tümü bize doğru ya da bizden öteye doğru paralel çizgiler boyunca hareket ederler ve gözlediğimiz, tıpkı uzakta birleşen demiryolu rayları gibi optik bir yanılsamadır.

Yıldızların öz hareketlerinin gözlenmesi görüş çizgisine dikey yönde bunların konumlarındaki değişiklikler hakkında bize bilgi verirken bu çizginin yönünde yıldız hızlarını belirlememizi sağlayan bir başka yöntem daha vardır. Bu yöntem Güneş yüzeyinin dönmesinin incelenmesi ile ilgili III. Bölümde sözü edilen Doppler olayına dayanır. Bir yıldız büyük bir hızla bize doğru hareket ettiğinde yaydığı ışık dalgaları biraz kısalarak gökkuşağı tayfının mor ucuna doğru kayarlar. Bir yıldız bizden uzaklaşırken ışık dalgaları uzar ve kayma kırmızıya doğrudur. Yıldızlarınki gibi büyük hızlarda bile kayma küçüktür ve hafif renk değişiklikleri ile bunu farketmek olanaksızdır. Neyseki tüm yıldızların (Güneş dahil) tayfları yıldız atmosferinde ışığın soğrulmasının neden olduğu karanlık çizgilerle kesilirler. Bu tayf çizgilerinin konumları çok kesin olarak ölçülebilir ve mora ya da kırmızıya doğru en küçük bir kayma belirlenebilir. Öz hareketlerde kullanılan yöntemlerle yıldız tayflarında Doppler olayı gözlemlerini birleştirerek gökbilimciler yıldızların uzaydaki hareketi ile ilgili bütün bilgiyi elde edebilirler. Bu noktada tayf çizgilerindeki kaymanın yıldızın bizden olan uzaklığından bağımsız olmasına karşılık görünürdeki öz hareketin uzaklıkla azaldığına ve çok çok uzaklardaki yıldızlar için farkedilmeyecek kadar küçüleceğine dikkat edilmelidir. Böylece çok uzak yıldızlar için bunların yalnızca radyal hareketi (bize doğru ya da bizden öteye doğru) ölçülebilir.

V. Bölümde gördüğümüz gibi Güneşimiz enerji gereksinimini sıcak iç bölgelerindeki nükleer tepkimelerden sağlar. Kimi durumlarda özel nükleer tepkimeler Güneşin içindekilerden farklı da olsa, gökteki tüm diğer yıldızların enerjilerini benzer şekilde sağladıklarını varsaymak doğaldır. Genç bir yıldızın sınırlı bir miktarda nükleer yakıtı olduğundan bu yakıt ancak sınırlı bir süre dayanabilir. Böylece her yıldızın doğumundan kaçınılmaz ölümüne dek sınırlı bir ömrü olmalıdır. Tıpkı bir kentin nüfusunu incelerken kucakta taşınan bebekler, okul çocukları, gençler, erişkinler ve yüzüncü yaşlarını kutlamış insanları içeren bir nüfus dağılımı ile karşı karşıya kaldığımız gibi Samanyolu ya da bir başka galaksideki yıldızlara baktığımız zaman da evrimsel yaşamlarının farklı aşamalarında çeşitli yıldızlarla karşılaşacağımızı tahmin edebiliriz. Çeşitli yaş gruplarındaki insanların yüzdeleri bize bir insanın özel evrimsel aşamasında geçirdiği süre hakkında güvenilir bilgi verir. Benzer şekilde bir galaksinin yıldız nüfusunu incelediğimizde yıldız, evriminin çeşitli aşamaları ile zaman içindeki göreli ömürleri hakkında kesin bilgi edinebiliriz.

Tüm insanlar aşağı yukarı aynı ortalama ömre sahip olduklarından insan topluluklarının incelenmesi çok daha basittir. Yıldızların ortalama ömürleri ise bir kelebeğin ömrü ile bir filinki arasındaki fark gibi, çok çeşitlidir. Sönük yıldızların parlak yıldızlardan daha çok yaşadıkları önce gözlemlerle bulunmuş, daha sonra kuramlarla doğrulanmıştır. Bu sonuç, iç yapısı açısından Güneşe benzeyen bir yıldızın parlaklığının kütlesinin kübü (üçüncü kuvveti) ile orantılı olarak arttığını belirten gözlemsel bir olguya dayanmaktadır. Böylece Gü-

neşin iki misli kütleye sahip bir yıldız Güneşten sekiz kez daha parlaktır, üç kez daha fazla kütleli bir yıldız yirmiyedi kez daha parlaktır, vb. Kuşkusuz bir yıldızın parlaklığı nükleer yakıtın tüketme hızına bağlıdır. Öte yandan, her yıldızın doğumunda sahip olduğu nükleer yakıt kütlesi ile orantılıdır (birinci kuvvet). Böylece Güneşin iki misli kütleye sahip bir yıldız iki misli yakıta sahiptir ama bu yakıtı sekiz kez daha hızlı tüketir. Bu nedenle ömrünün Güneşinkinden dört kez daha kısa olması beklenir. Benzer şekilde Güneşten on kez daha fazla kütleye, dolayısıyla da on kez daha fazla yakıta sahip olan ama bu yakıtı bin kez daha hızlı tüketen bir yıldız enerjisini Güneşten yüz kez daha çabuk tüketecektir.

Bu nedenle, eğer galaksimizdeki tüm yıldızlar aşağı yukarı aynı zamanda oluşmuşlarsa hâlâ gökyüzünde olan yıldızların parlaklıklarının bir üst sınırı olduğu sonucuna varırız. Başta çok daha büyük kütlelere sahip olan ve bu yüzden de nükleer yakıt harcamalarında çok daha hızlı olan yıldızlar şimdiye dek sönmüşlerdir. Öte yandan, yakıtlarını daha iktisatlı kullanan daha az kütleli yıldızlar bugün hâlâ doğduklarındaki gibi parlıyorlar. Yıldız parlaklıklarının incelenmesi gerçekten de Samanyolumuzu oluşturan yıldızlarının parlaklıklarının bir üst sınırı olduğunu göstermiştir. Bu üst sınır 5, hatta 10 milyar yıllık yaşları olan yıldızlara karşılık gelir ki bu sayı yıldız sistemimiz olan Samanyolunun yaşını belirler.

Bu cümleyi anlayabilmek için aynı gün doğan fare, ve köpek yavruları ile birkaç bebeği ele alalım. Biyolojik verilere göre fareler bir yıl, köpekler onbeş yıl, insanlar ise çok daha uzun yaşarlar. Böylece, doğumlarından bir süre sonra tüm farelerinin ölü, bazı köpeklerin sağ ve tüm bebeklerin ise gençliklerinin ilk yıl-

larında olduklarını görürsek doğumlarından sonra onbeş yıl geçmiş olduğu sonucuna varabiliriz.

«Kuralın geçerliliğini istisnalar gösterir» deyişi Samanyolunun yıldızlarına da uygulanabilir. **Mavi Devler** diye bilinen yıldızlar öylesine parlaktırlar ki yüz milyon yıldan daha fazla yaşamış olmaları olanaksızdır. Bunların varlığını açıklayabilmenin tek yolu bunların yıldızların çoğunluğundan çok sonra yaygın yıldızlararası maddeden oluşarak galaktik toplumumuzun yeni yıldızları olduklarını düşünmektir.

Tayf Sınıflandırması

Tıpkı Güneşte olduğu gibi yıldız tayflarında da, atmosferlerinde ışığın soğrulmasından sonuçlanan ve çeşitli kimyasal elementlerin varlığına işaret eden karanlık Fraunhofer çizgileri vardır. Yıldız tayflarındaki karakteristik dalga boyları Güneş tayfındakilerle aynı olmasına karşın bunların göreli şiddetleri çok değişir. Güneşimiz gibi kimi yıldızlar çeşitli metallerin, özellikle kalsiyum, sodyum ve demirin kuvvetli, keskin çizgilerini gösterirlerken diğerleri yalnızca kalın hidrojen çizgileri gösterirler. Kimileri de moleküller tarafından ışığın soğrulmasına özgü, sürekli gibi görünen karanlık bantlar oluşturan çok sayıda ince, dar aralıklı çizgilere sahiptirler. Bu yıldızların atmosferinde moleküllerin varlığı alçak yüzey sıcaklığının belirtisi olan kırmızı görünümleri ile tamamen uyum içindedir. Geçen yüzyılın sonunda Amerikalı gökbilimci Edward Charles Pickering, Harvard Gözlemevinden bir grupla birlikte farklı yıldızların tayflarını tek bir dizi halinde sınıflandırma işini üstlendi. Bu düzenlemede Fraunhofer çizgilerinin düzeni bir tayf sınıfından diğerine çok az değişecekti. Mümkün ol-

duğu kadar çok yıldız tayfı elde edebilmek için objektif prizma (teleskobun okülerinin değil de objektifinin önüne yerleştirilen büyük bir prizma) kullandı. Bu sınıflandırma işine başlanırken çeşitli tayf sınıflarını sırayla, alfabenin harfleri ile adlandırmak düşünülmüştü. Kuvvetli hidrojen çizgileri olan yıldızlar için A ile başlayan sınıflandırma hidrojen çizgilerinin hemen hemen hiç gözükmediği yıldızlar için kullanılan M harfi ile bitiyordu. Ama terminoloji saptandıktan sonra bazı sınıflar (C, D ve H) kaldırıldı, bazıları yeniden düzenlendi ve çok sıcak yıldızlar için yeni bir sınıf (O) eklendi. Böylece, şimdi kullanıldığı şekliyle, Harvard tayf sınıflandırması şöyledir:

O, B, A, F, G, K, M

Kırmızı yıldızlara üç de yeni sınıf eklenmişti:

R, N, S

Ancak, farklı yıldızların farklı tayflara sahip olmaları (eski zamanlarda olduğu gibi) bunların farklı kimyasal yapıları olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Bölüm 2'de gördüğümüz gibi herhangi bir elementin Fraunhofer çizgileri büyük ölçüde, soğuran gaz tabakasındaki sıcaklığa ve basınca bağlıdır. Atom yapısının kuvantum kuramını kullanarak Mehnad Saha yalnızca Güneş atmosferindeki elementlerin doğru oranını elde etmekle kalmamış, yıldız tayflarının çeşitli sınıflarının aynı element oranlarının ancak çeşitli yıldızların atmosferlerindeki farklı sıcaklıkları ve basıncı varsayarak açıklanabileceklerini göstermişti. Böylece tayf sınıfları dizesi basit olarak yıldızların yüzey sıcaklıkları dizesi haline gelivermişti. Tablo 9, Hollanda doğumlu Amerikalı gökbilimci Gerard

TABLO 9. Yıldızların Yüzey Sıcaklığı (Kuiper'e göre)

*Yıldızın Adı**	*Tayf Sınıfı*	*Sıcaklık*	*Renk*
Alpha Crucis	B1	23 000°K	mavimsi
Spica	B2	20 400	mavimsi
Ahernar	B5	15 500	mavimsi
Rigel	B8	12 300	mavimsi
Sirius	A0	10 700	beyaz
Alteyr	A5	8 530	beyaz
Procyon	F3	6 800	Saman rengi

Cüce Yıldızlar

Yıldızın Adı	*Tayf Sınıfı*	*Sıcaklık*	*Renkler*
Güneş	c G0	6 000°	sarı
Sigma Eridani A*	c G5	5 360	sarı
Epsilon Eridani	c K0	4 910	kavuniçi
61 Cygni A	c K7	3 900	kavuniçi
Lacaille 9352	c M2	3 200	kırmızı

Dev Yıldızlar

Yıldızın Adı	*Tayf Sınıfı*	*Sıcaklık*	*Renk*
Capella A	d G0	5 200°	sarı
Kuiper	d G5	4 620	turuncu
Arcturus	d K0	4 230	turuncu
Aldebaran	d K5	3 580	turuncu
Betelgeuse	d M2	3 200	kırmızı

A harfi çift yıldızların en parlak olanını göstermektedir. Tayf sınıfı sütunundaki c ve d harfleri, cüce ve dev demektir.

(*) Alteyr (uçan), Aldebaran (izleyen), Ahernar (ahîr - nahr - nehrin sonu), Arapça kökenli yıldız isimlerini dilimizde okunduğu şekilde yazdık. Sirius ve Procyon Yunan mitolojisinden kaynaklanan yıldız isimleridir. Betelgeuse (a Ononis) muhtemelen Yad - al - Cavza veya Bayt - al - Cavza şeklinde eski bir Arapça isimden bozmadır. Ancak, ismin Arapça orijinali artık kaybolmuş ve etimolojisi de tartışmalı olduğundan, batı dillerinde yaşayan Betelgeuse yazılışını çeviride de koruduk. (Çev.)

P. Kuiper'in incelemelerine dayanılarak tayf sınıfı, yüzey sıcaklığı ve görünen renk arasındaki ilişkiyi vermektedir.

O, B, A, F için tek kolu olan dizenin G, K, M için iki kola ayrılması okuyucuyu şaşırtabilir. Bu bölümde daha sonra göreceğimiz gibi belli bir tayf türü ve yüzey sıcaklığındaki sıcak yıldızlar yalnızca bir durumda bulunurlarken daha soğuk olan tayf türleri aynı yüzey sıcaklığına ama tamamiyle farklı parlaklığa sahip iki farklı durumdan kaynaklanabilir. Gökbilimciler bu tip yıldızlara Kırmızı Devler ve Kırmızı Cüceler adını verirler. Renklerinin dışında bu iki türün birbiriyle pek bir benzerliği yoktur. Bu yıldızların adını okumak da şaşırtıcı olabilir. Bunların kimisi, Achernar, Sirius, Procyon, Capella, Betelgeuse, vb. gibi eski gökbilimciler tarafından verilen tek bir yıldıza ait kişisel adlardır. Bunlar hem gökbilimcilerin hem de müneccimlerin dikkatini çeken gökteki en parlak yıldızlardır. Özel adları bulunmayan yıldızlar göreceli görsel parlaklıklarını belirtmek için Yunan alfabesi kullanılarak ait oldukları takımyıldızlarla adlandırılırlar; böylece Alpha Crucis, Crux (Güneyhaçı) takımyıldızının en parlak yıldızıdır. Yunan alfabesinde 24 harf vardır. Bu nedenle belirli bir takımyıldızın en parlak 24 yıldızı Yunan harfleri ile adlandırıldıktan sonra bir sonrakine gökbilimciler 25 adını verirler. Böylece, örneğin 61 Cygni (Kuğu) (ilk paralaks ölçümü bu yıldız için yapılmıştı) Kuğu takımyıldızında Yunan alfabesinin son harfi Omega'dan sonra 37'inci sönük yıldızdır. Ama Lacaille 9352 nedir? Bu da sadece Fransız gökbilimci Nicolas de Lacaille tarafından düzenlenen yıldız kataloğunda bu yıldızın sıra numarasıdır. Babil Kulesi karmaşıklığına karşın bu notasyon sistemi işlemektedir. Şimdiden sonra «daha mantıklı» bir sistemin kullanılması

ancak daha çok karışıklığa yol açardı.

Yazar burada çok ilginç bir öyküyü anlatamadan geçemeyecek — amaca uygun olsun diye de birinci şahsa geçecek. II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra ailemi Kanada Kayalık Dağlarındaki Louise gölü yakınlarında bir çiftliğe götürdüm. Uzun bir yolculuğa çıkmayı planladık ve çiftlikteki atlardan hangisinin beni uzun bir dağ yolculuğunda taşıyabilecek kadar güçlü olduğu sorunu ortaya çıktı (1 m. 90 cm. ve 100 kg. — atın değil **benim** boyum ve kilom). Bu iş için uygun tek at kovboylar tarafından, daha iyi bir isim bulamadıklarından dolayı, «Büyük Kırmızı» diye çağrılan bir aygırdı. Ona, Oriyon takımyıldızında tipik bir Kırmızı Dev yıldız olan Betelgeuse (Tablo 9'a bakınız) adını takmaya karar verdim. Yıldıza bu adı bin yıl önce Arap gökbilimciler vermişti ve Arapça «Betelgeuse» (beyt-el-cüz) «devin omuzu» demektir — atım için en uygun addı bu. Yolculuk çok başarılı oldu ve Betelgeuse beni hergün sadakatle, şafaktan gün kararana dek taşıdı. Birkaç yıl sonra çiftliğe tekrar gittik. Tüm kovboylar yeniydi ama benim Betelgeusem hâlâ oradaydı. «Bu atın adı ne?» diye sordum. «Battle Goose, (Savaş Kazı) efendim», diye cevap verdi seyis yamağı. «Ama neden Battle Goose?» «Bilmiyorum efendim, ama her zaman böyle çağrılırdı.»

Hertzsprung Russell Diyagramı

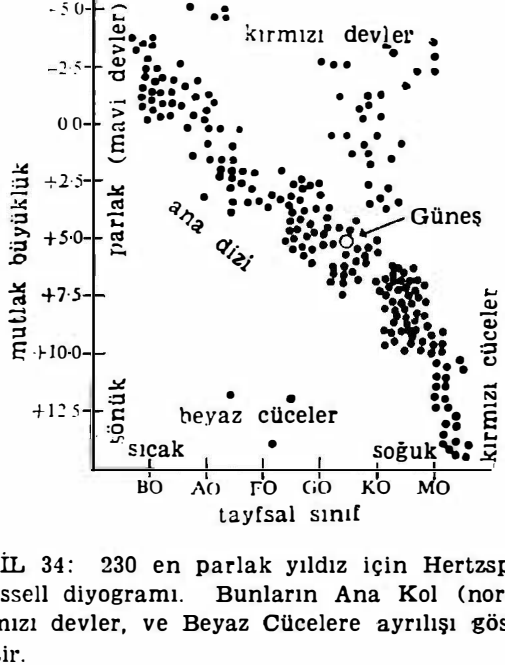
İlk Dünya Savaşı sırasında dünyanın iki farklı yerinde iki gökbilimci, Amerikalı Henry Norris Russell ile Hollandalı Ejnar Hertzsprung birbirlerinin çalışmalarından habersiz, çok önemli araştırmalara dalmışlardı. Her iki bilim adamı da farklı yıldızların yüzey sıcaklıkları (tayf sınıfı) ile gerçek parlaklıkları (mutlak ka-

dirleri) arasında nasıl bir ilişki olduğunu öğrenmek istiyordu. Sonuç olarak Şekil 34'te gösterilen ünlü Hertzsprung-Russell diyagramı ortaya çıktı. Burada ordinatta belirli bir yıldızın tayf sınıfı, absiste ise mutlak yıldız kadiri cinsinden aydınlatma gücü gösterilmiştir. Bu diyagramın en dikkati çeken yönü sol üst köşeden sağ alt köşeye giden oldukça dar banttır. Bu bant yıldız dağılımının **Ana Kolu** diye bilinir ve kabaca tam ortada bulunan Güneşimizi de içerir. Ana Kolun üst köşesi çok yüksek yüzey sıcaklıklarından dolayı mavimsi — beyaz bir ışık salan çok parlak yıldızları içerir. Bunlar, bu bölümde daha önce nükleer yakıtlarını yüksek bir hızda harcadıkları belirtilen Mavi Devlerdir. Ana Kolun aşağı ucu daha düşük yüzey sıcaklıklara sahip çok sönük kırmızı yıldızları içerir; bunlara Kırmızı Cüceler denir. Mavi Devlerle Kırmızı Cücelerin aşağı yukarı ortasında bulunan ve çoğunlukla sarı ışık salan Güneşimize Adî Sarı denebilir.

Ana Kol yıldızlarının yanısıra Hertzsprung-Russell diyagramının sağ üst köşesinde de birkaç yıldız vardır. Bunlar çok parlaktır ama yüzeyleri nispeten soğuktur ve çoğunlukla kırmızı ışık salarlar. Bunlar Kırmızı Devler diye bilinirler. «Dev» sözcüğü yanlızca bu yıldızların aşırı parlaklığı için değil büyük geometrik boyutlarından dolayı da kullanılmıştır. Aslında, yüzey sıcaklıkları düşük olduğundan birim yüzey başına nispeten az ışık salarlar. Böylece, bunların parlaklıklarını açıklamak için yüzeylerinin ve dolayısıyla çaplarının fazlasıyla büyük olduğunu varsaymalıyız. Şekil 35'te bazı Kırmızı Devlerin boyutları Güneşimizin boyutlarıyla karşılaştırılarak verilmiştir.

Hertzsprung-Russell diyagramının sol alt köşesinde çok yüksek yüzey sıcaklığına ve çok alçak parlaklığa sahip yıldızları gösteren üç

nokta görmekteyiz. Bu yıldızlar Beyaz Cüceler diye bilinir ve Kırmızı Devler için yürüttüğümüz fikirleri tersine çevirerek bunların çaplarının fazlasıyla küçük olduğu sonucuna varmamız gerekir. Gerçekten de keşfedilen ilk Beyaz Cüce parlak Sirius'un sönük bir yolda-

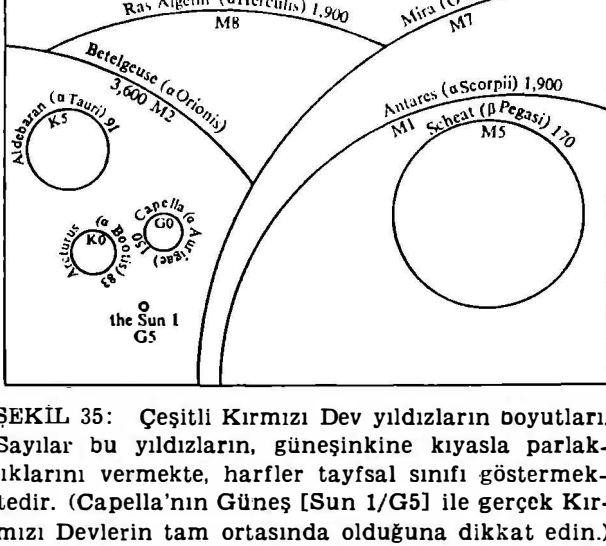


ŞEKİL 34: 230 en parlak yıldız için Hertzsprung - Russell diyogramı. Bunların Ana Kol (normal), Kırmızı devler, ve Beyaz Cücelere ayrılışı gösterilmiştir.

şıdır. Çapı Dünyanınki ile kıyaslanır bir büyüklükteyken kütlesi hemen hemen Güneşinkine eşittir. (Güneşinkinin yüzde 95'i kadardır). Sirius'un yoldaşının ortalama yoğunluğu suyunkinin 500 000 katıdır ve bir santimetre kübü yarım ton gelir.

Yıldızların doğuşu ve çocuklukları hakkında çok az şey bilinmektedir. Görünüşe göre bunlar Newton'un evrensel çekim yasası altında soğuk ve aşırı seyrek yıldızlararası maddeden

yoğunlaşmış ve yoğunlaşma süreci ilerledikçe daha küçük ve daha sıcak olmuşlardır. Yoğunlaşma için gerekli süre daha önce sözü edilen Thomson-Helmholtz kuramından hesaplanabilir. Bu süre yalnızca yüz milyon yıldır, yani astronomik zaman ölçeğiyle çok kısa bir süredir. Bu çok genç, oluşmakta olan yıldızlara, çok düşük bir parlaklığa sahip olduklarından ve yalnızca çok kısa bir süre için bu evrede kaldıklarından yıldız istatistiklerinde ender rastlanır. Benzer şekilde herhangi bir kentte yeni doğan bebeklerin sayısı okul çocuklarının ya da yetişkinlerin sayısına oranla çok küçüktür.



ŞEKİL 35: Çeşitli Kırmızı Dev yıldızların boyutları. Sayılar bu yıldızların, güneşinkine kıyasla parlaklıklarını vermekte, harfler tayfsal sınıfı göstermektedir. (Capella'nın Güneş [Sun 1/G5] ile gerçek Kırmızı Devlerin tam ortasında olduğuna dikkat edin.)

Çökmekte olan yeni doğmuş bir yıldızın içinde sıcaklık 20 milyon dereceye geldiğinde (termonükleer tepkimenin başlaması için bu sıcaklık gereklidir) durum tamamiyle değişir. Yıldızın merkezinden bol miktarda nükleer

enerji akarak hidrojen yakıtı yettiği sürece durumu böylece sürdürür. Hidrojen evrende fazlasıyla bol olduğundan bir yıldız bu dengelenmiş konumda, yıldızlararası gaz halinden yoğunlaşmak için gerekli olan zamandan çok daha uzun bir süre kalacaktır. Duruma göre, yeni doğan yıldızlar Güneşin kütlesinin küçük bir bölümünden bu kütlenin birkaç misline kadar değişen farklı kütlelere sahip olabilirler. Daha önce sözü edildiği gibi, nükleer enerji tüketiminin hızı yıldızın kütlesine bağlı olduğundan «yetişkin» yıldızların Hertzsprung-Russell diyagramı içinde çeşitli konumları olacaktır. Daha büyük kütleye sahip olanlar daha sıcak ve daha parlak, daha az kütleye sahip olanlar daha soğuk ve daha sönük olacaktır. Böylece, Hertzsprung-Russell diyagramındaki Ana Kol, farklı kütleli yıldızların dizilişidir sadece.

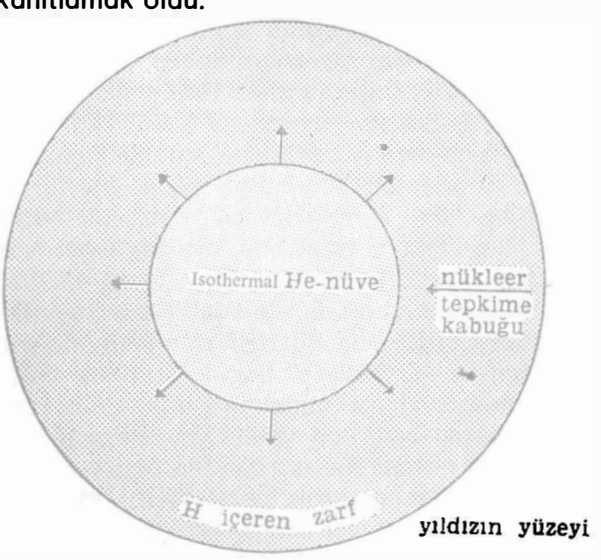
Kırmızı Devler

Ana Kol yıldızlarının özellikleri sıcak iç bölgelerinde oluşan hidrojen-helyum dönüşümlerine dayanılarak çok iyi anlaşılırken Kırmızı Devler uzun bir süre bir giz olarak kaldı. Neden böylesine korkunç büyük, çok enderdiler ve yüzeyleri nispeten bu denli soğuktu? Görünüşe göre Ana Koldaki normal yıldızlarla aynı yapıda olamazlardı. 1939 yılında bu kitabın yazarı öğrencisi, H-H tepkimesinin bulucusu, Charles Critchfield'in yardımı ile Kırmızı Dev yıldızların iç yapısı ile ilgili tümüyle yeni bir fikir öne sürdü. Daha önce görmüş olduğumuz gibi normal Ana Kol yıldızı modeli şu ana hatlardan oluşmuştur: 1) merkezî, nerdeyse nokta gibi küçük bir nükleer enerji kaynağı; 2) termonükleer tepkimelerin olduğu bölgeye taze hidrojen temin eden bir konvektif bölge; 3) dış kısımda, ışımanın içinden geçerek yü-

zeye doğru yayıldığı durgun bir zarf. Merkezî bölgede hidrojenin helyuma dönüşme süreci yer alırken bunu çevreleyen konvektif bölge yavaş yavaş hidrojen yakıtından yoksun kalır ve termonükleer tepkimede üretilen helyum açısından zenginleşir. Konvektif bölgenin hidrojeni sonunda sıfır olduğu zaman ne olur? Yıldızın merkezindeki tepkimeler yakıt yokluğundan sona erer ve bu bölgede artık enerji üretilmez. Öte yandan konvektif bölgenin sınırlarının ötesinde, bu dış bölgenin sıcaklığı karbon devrini ya da H-H tepkimesini koruyacak kadar yükselebildiği takdirde tepkimeye girecek yeterli hidrojen hâlâ vardır. Böylece, eski konvektif bölgenin sıcaklığı, hidrojendeki termonükleer tepkimeleri sürdürmek için gerekli olan 20 milyon derecelik bir değere yükselene dek yıldızın merkezi bölgesinin çökeceği tahmin edilmelidir. Bu sıcaklık ayarlamasının sonucu olarak yıldızın iç yapısı, Ana Kol yıldızlarının karakteristik yapısından oldukça farklı olan bir yapıya doğru yavaş yavaş değişecektir. Şimdi hidrojendeki termonükleer tepkimeler, hidrojenden yoksun eski konvektif bölge ile hidrojen açısından zengin olan dış zarf arasında, bir ara bölgede oluşacaktır. İç bölge tıpkı bir ocağın içi gibi sabit bir sıcaklıkta (izotermal) hemen hemen tamamen helyumdan oluşacaktır. Yıldızın iç yapısı böylece baştaki **noktasal kaynak modelinden,** Şekil 36'da gösterildiği gibi, nükleer enerjinin merkezde değil de bir küresel kabuk üzerinde üretildiği **kabuk-kaynağı** modeline doğru değişecektir. Sınırdaki hidrojen yakıtı yavaş yavaş termonükleer tepkime tarafından tüketilirken, «nükleer ateş» giderek merkezden yıldızın yüzeyine doğru yaklaşacaktır. Bu durum, dikkatsizce düşürülen bir kibritle, kuru bir ot tarlasının ortasından başlayan ateşin dışa doğru ilerleyerek geride kavrulmuş toprak bırakma-

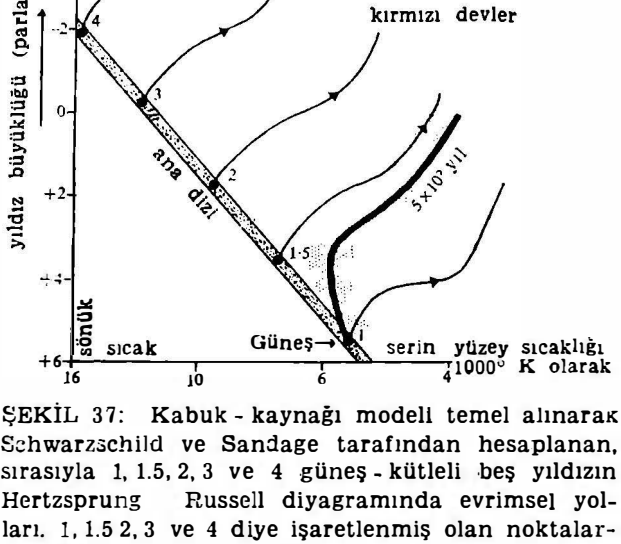
sına benzemektedir. Nükleer tepkimelerin oluştuğu yüksek sıcaklık bölgesi merkezden dışa doğru ilerledikçe yıldızın dış kütlesi giderek çok ısınacak ve genişleyecektir. Yıldız şişerek kocaman bir hacim kaplayacak ve yüzeyinin her biriminde daha az ısı yayıldığı için yüzey sıcaklığı düşecektir. Başka bir deyişle, yıldız bir Kırmızı Dev olur ve dış zarftaki hidrojenin çoğu kullanılana dek bu durumda kalır.

Evrimin Kırmızı Dev aşamasının bu nitel görünümünün oldukça açık olmasına karşın matematiksel hesapların, o yıllarda elle ya da küçük bilgisayarlarla yapılmaları gerektiğinden bu sürecin nicel ayrıntıları çıkartılamıyordu. Bu kitabın yazarının en fazla yapabildiği, önce Critchfield'le ve daha sonra Geoffrey Keller'le çalışarak, kabuk kaynak oluşturan bir yıldızın Hertzsprung-Russell diyagramında Kırmızı Dev bölgesine doğru gitme «eğilimi» gösterdiğini kanıtlamak oldu.



ŞEKİL 36: Bir Kırmızı Dev Yıldızda kabuk - kaynağı modeli. (G. Gamow ve C. Critchfield'e göre).

II. Dünya Savaşı sırasında çoğunlukla askerî nedenlerle geliştirilen elektronik bilgisayarların bilimsel araştırmalar için de kullanılmasıyla Schwarzschild ile A.R. Sandage, Princeton Üniversitesi'nin elektronik bilgisayarında bu hesabı yapmaya koyuldular. Baştaki beklentileri tamamen doğrulayan sonuçlar, 1, 1.5, 2, 3 ve 4 güneş kütleli beş yıldız için Şekil 37'de gösterilmiştir. Ana Koldan başlayarak, konvektif bölgedeki hidrojen tüketildikten sonra yıldız daha yüksek aydınlatma gücüne, düşük yüzey sıcaklığına ve çok daha büyük bir çapa doğru evrimleşir. Evrim çizgisindeki garip bü-



ŞEKİL 37: Kabuk - kaynağı modeli temel alınarak Schwarzschild ve Sandage tarafından hesaplanan, sırasıyla 1, 1.5, 2, 3 ve 4 güneş - kütleli beş yıldızın Hertzsprung Russell diyagramında evrimsel yolları. 1, 1.5 2, 3 ve 4 diye işaretlenmiş olan noktalardan başlayan ince çizgiler her bir yıldızın evrim yolunu göstermektedir. Kalın çizgi, yıldızlar oluştuktan 5 milyar yıl sonra Hertzsprung - Russell diyagramında yıldızların beklenen dağılımını temsil etmekte; Gölgeli bölge, bu tür yıldızların gözlenen dağılımını vermekte. Çok da güzel uyuyor hesaplara!

külmeye, kabuk kaynağı evrimi belli bir dereceye eriştikten sonra başlayan tamamiyle yeni bir tepkime neden olmaktadır. Bu yeni tepkimenin nedenini anlamak için, kabuk kaynağı modeli hesabının, yıldızın dış çapı artarken, merkezî helyum çekirdeğini çevreleyen enerji üreten kabuğun çapının küçüldüğünü gösterdiğini belirtmeliyiz. Böylece, kütlesi sürekli artan helyum çekirdek boyutsal olarak küçülür, çünkü yıldızın dışı şişerken içi çökmektedir bu da kuşkusuz maddenin yoğunluğunda hızlı bir artışa yol açar. Avustralyalı fizikçi Edwin Salpeter yaklaşık 100 milyon derecelik sıcaklıkta ve çok yüksek yoğunluklarda helyum çekirdeklerinin kendi aralarında tepkimeye girerek bir füzyon sürecinden geçtiklerini hesaplamıştır. Füzyonun ilk adımının şöyle olacağı düşünülebilir:

$$_2He^4 + {}_2He^4 \rightarrow {}_4Be^8.$$

Ancak, atom ağırlığı 8 olan bir berilyum izotopu doğada yoktur ve yapay olarak da hiçbir zaman elde edilememiştir. Doğal berilyum, bir fazla nötron içeren Be^9'dur. Bu fazla nötron da iki helyum çekirdeğinin birbirlerine yapışmasına yardım eder. Helyum çekirdekleri ile daha ağır elementlerin çekirdeklerini birleştirmenin tek yolu bir üçlü çarpışmaya dayanır:

$$_2He^4 + {}_2He^4 + {}_2He^4 \rightarrow {}_6C^{12}$$

Bu da adî karbonun oluşumu ile sonuçlanır. Ama üçlü çarpışmalar çok enderdir ve durum şanslı koşullar tarafından kurtarılmadığı sürece yıldızın ortasında helyumun çok yüksek yoğunluğa sahip olduğu durumlarda bile bu tepkimenin hızının ihmal edilebilecek kadar yavaş olması beklenir. İki helyum çekirdeğinin fazla uzun bir süre birbirlerine yapışık kalamadıkları deneysel olarak gösterilmiştir; birbirlerin-

den hemen ayrılmazlar ama bir arada kaldıkları süre bizim açımızdan çok kısa, nükleer zaman ölçeğine göre ise oldukça uzundur. İki helyum çekirdeği arasındaki bu geçici birleşme bunlara bir üçüncünün katılması ve kararlı bir karbon çekirdeği oluşması için çok daha iyi bir olasılık sağlar. Bu gerçekleştikten sonra füzyon sürecinin geri kalan kısmı oldukça kolaydır çünkü gerekli olan tek şey her adımda yanlızca bir helyum çekirdeğinin eklenmesidir. Bu tepkimeler şöyledir:

$$_6C^{12} \quad {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{16}$$
$$_8O^{16} \quad {}_2He^4 \rightarrow {}_{10}Ne^{20}$$
$$_{10}Ne^{20} \quad {}_2He^4 \rightarrow {}_{12}Mg^{24},$$

Bunlar iyi bilinen elementlerin kararlı izotoplarını oluşturur ve büyük miktarlarda nükleer enerji açığa çıkartırlar. Helyum «yanmaya» başlayınca yıldız enerjisinin üretilme alanı tekrar yıldızın merkezine kayar ve dışarda hidrojen yakan kabuk yavaş yavaş küçülür. Ancak Salpeter tepkimeleri uranyuma dek uzanmaz. Atom çekirdeklerinde en büyük bağenerjisinin demir grubu elementleri bölgesinde bulunduğu ve bağ enerjisinin peryodik sistemdeki peryodların başına ve sonuna doğru azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle füzyon süreci ancak demir çekirdekleri oluşana dek enerji açığa çıkarabilecek ve zaman geçtikçe yıldızın içinde giderek daha çok demir birikecektir. Bir yıldızın Kırmızı Dev evriminin en uç aşamasına ulaştığında içinin tamamiyle demir, krom ve nikelden oluşması mümkündür.

Sandage-Schwarzchild diyagramındaki eğrilerde görülen bükülmeler helyum füzyon tepkimesinin başlangıcına karşılık gelir. Farklı kütleli yıldızlar için evrimsel yolların birbirine çok benzemesine karşın bu aşamalardan çok farklı hızlarda geçildiği unutulmamalıdır. Gerçekten de daha önce belirttiğimiz gibi bir

yıldızın ömrü kütlesinin karesi ile azalır. Böylece diyagramın sol ucundaki yol, 1 güneş kütleli yıldızın evrim yolu, sağ uçtaki 4 güneş kütleli yıldızınkinden onaltı kez daha hızlı katedilecektir. Buna ek olarak Samanyolundaki çoğu yıldızın yaklaşık aynı zamanda, 5×10^9 yıl önce, doğmuş olmalarının çok olası olduğunu görmüştük. Bu, özellikle küresel kümeler diye bilinen yıldız grupları için doğrudur. Eğer tüm yıldızlar aynı zamanda doğmuş ama kütlelerine göre farklı hızlarda gelişmişlerse bu gün evrimlerinin farklı aşamalarında olmalılar. Şekil 37'deki kalın çizgi, evrimlerine 5×10^9 yıl önce başlamış olsalardı Hertzsprung-Russell diyagramı çerçevesinde yıldızların dağılımının nasıl olacağını göstermektedir. Gölgeli bölge tipik bir küresel kümede gözlenen Hertzsprung-Russell diyagramını şematik olarak vermektedir. Kuramla gözlem arasındaki uyum gerçekten harikadır!

Hesaplara göre Güneşimiz, normal bir Ana Kol yıldızı olarak bir beş milyar yıl daha dayanacak kadar hidrojene sahiptir. Ama bu dönemin sonunda mutlaka bir nükleer kabuk kaynağı oluşturacak ve Kırmızı Dev yıldız olmak için değişmeye başlayacaktır. Astronomi açısından çok kısa bir zaman içinde Güneşin kızgın diski, Resim 9'da gösterildiği gibi, gökyüzünün büyük bir kısmını kaplayacaktır. Okyanuslar kaynamaya başlayacak ve Yeryüzünde hiçbir hayat kalmayacaktır. Ama bu felâkete dek daha beş milyar yılımız var!

İkili, Üçlü,..... Yıldızlar

Çıplak bir göze yıldızlar gökte dağılmış tek tek parlayan noktalar gibi görünürler. Ama teleskopla yapılan gözlemle bunların yaklaşık yarısının, Newton'un çekim yasası altında ortak bir ağırlık merkezi etrafında dönen, birbi-

rine çok yakın iki, kimi zaman da üç ya da daha fazla bileşenleri olduğunu göstermektedir. Böylece, tüm yıldızların yalnızca üçte biri tek, diğer üçte ikisi ise ikili ve daha ender olarak üçlü, dörtlü, vb. biçimlerde yaşamaktadırlar. Bir karşılaştırma yapmak için Amerika Birleşik Devletleri'nde kadın ve erkeklerin beşte birinin bekâr olduğunu hatırlıyalım. Burada yıldız ailelerinin üç örneğini ele alacağız.

Parlak yıldız Alpha Centauri, birbirlerinin etrafında 80 yıllık bir peryodla dönen iki yıldızdan oluşmuştur. İki bileşenin yörüngeleri oldukça gariptir: kimi zaman bunlar 11 astronomik birim (*) (Satürn'ün Güneşten uzaklığı) kadar birbirlerine yaklaşırken diğer zamanlar 35 astronomik birim (yani Güneşin Pluto'ya uzaklığı) kadar birbirlerinden uzaklaşırlar. Çiftin parlak olanı, belki biraz daha fazla kütleli ve daha sıcak olduğu halde Güneşimizin nerdeyse ikizi gibidir. Sönük olanı ise daha az kütleli, daha soğuk ve daha az parlaktır. Yakın zamanlarda ailenin, daha soğuk ve daha sönük bir üçüncü üyesi daha olduğu ortaya çıkmıştır. Bu, parlak olandan 10 000 astronomik birim uzaklıktadır ve yörüngesini 1 milyon yılda tamamlar.

Bir başka çok bileşenli yıldız Alpha Ursae Majoris'tir. (Büyük Ayı'nın en parlak üyesi). Parlak bileşeni, birbirlerinin etrafında 1,83 yılda dolaşan iki yıldızdan oluşmuştur. Sönük bileşen de kendi içinde birbirlerinin etrafında dört günde dönen bir çiftten oluşur. Her iki çift birbirlerinin etrafında 60 yılda bir dolaşırlar. Bu dörtlü yıldız sisteminin toplam kütlesi, 2,27 Güneş kütlesi olarak hesaplanmıştır ve en parlak iki bileşenin kütleleri de sırasıyla 0,93 ve 0,35 Güneş kütlesidir.

(*) Bir astronomik birim, Güneşin Dünyadan uzaklığı olarak tanımlanır.

Bir başka çok bileşenli yıldız ünlü Kastor (Alpha Geminorum, İkizler burcunun parlak üyesi) yıldızıdır. Bunun bir çifte yıldız olduğu İngiliz gökbilimcisi James Bradley tarafından 1719'da kanıtlanmıştı. 1896'da Rus gökbilimci A. Belopolsky, Kastor'un sönük bileşeninin kendisinin de, 3 günlük bir peryodu olan bir çift yıldız olduğunu buldu. 1904'de İngiltere'de R.H. Curtis Kastor'un parlak bileşeninin de 9 günlük bir peryodu olan bir çift yıldız olduğunu kanıtladı. Nihayet, Mount Wilson Gözlemevi'nden Walter S. Adams iki ana çiftten pek uzakta olmayan ve Kastor ailesinin genel hareketine katılan bir başka çift yıldız buldu. Böylece Alpha Geminorum'un aslında altılı bir yıldız olduğu kanıtlandı.

Çoklu yıldızların bileşenleri arasındaki ortalama uzaklık 0,01 gök biriminden (Merkür ile Güneş arasındaki uzaklığın 1/40'ı) 100 000 birime (Güneşin Plütoya uzaklığının 3000 katı) dek değişmektedir. Gezegenlerin Güneşe olan ortalama uzaklığının çoklu yıldızlar arasındaki ortalama uzaklığa çok yakın olması gayet anlamlıdır.

Gezegen Sistemleri

Güneş sistemimizin üçüncü (Güneşten itibaren) gezegeninde yaşıyoruz. Bundan memnun olmalıyız. Aslına bakarsanız Merkür ya da Venüs'te olsak kavrulur, Jüpiter ya da onun ötesindeki gezegenlerde ise buz parçacıkları haline geliverirdik. Yalnızca Mars'ta yaşam olabilir ama elde edilebilen en iyi kanıtlara göre orada da yosun ve likenden başka birşey yoktur. (*)

(*) Bilindiği gibi 1977 yılında Mars'a giden Viking 2 adlı uzay aracı, oradan toprak örnekleri almıştı. Bu örneklerin incelenmesi Marsta hayat olmadığını göstermiştir. (Çev.)

Güneş sisteminin nasıl oluştuğu sorunu yüzyıllardır büyük düşünürlerin kafalarını meşgul etmiştir. Onsekizinci yüzyılın ortasında Fransız doğabilimcisi Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon, gezegenlerin, uzayda dolaşan bir kuyruklu yıldızın Güneşe çarpması sonucu oluştuğunu önerdi. Birkaç onyıl sonra oldukça farklı bir hipotez, birbirlerinden bağımsız olarak, ünlü Alman filozofu Immanuel Kant ve ünü ondan hiç de az olmayan Fransız matematikçi Pierre Simon, Marquis de Laplace tarafından öne sürüldü. Kant-Laplace hipotezine göre Güneş partenogenetik bir biçimde, yani başka bir cismin işbirliği olmadan, gezegenleri doğurdu. Bu bilginler yıldızlararası maddeden oluştuktan sonra Güneşin kendi ekseni etrafında döndüğünü, bu dönüşün, ilkel güneş gövdesi çekim kuvvetleri altında küçülürken hızla arttığını varsayıyorlardı. Bu büzülmenin belli bir aşamasında Güneş maddesi ekvator bölgesinden fışkırarak Güneşin etrafında bir gaz halkası (güneş nebulası) oluşturdu. Bundan sonra bu gaz halkası parçalara ayrıldı (yine Sir Isaac Newton'un çekim kuvvetleriyle) ve gezegenler olarak yoğunlaştı.

Bu görüşler daha sonra, Kant ve Laplace'ın hipotetik güneş nebulasının Sir Isaac'ın kuvvetlerinin etkisi altında gezegenler halinde yoğunlaşacak kadar yeterince kütleye sahip olmadığını (günümüzdeki bilgiden yoksun olduğu için yanlış biçimde) matematiksel olarak kanıtlayan İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell tarafından eleştirildi. Böylece yüzyılın sonunda kozmogoni Buffon'un eski hipotezine döndü, ancak kuyruklu yıldızın yerini Güneşe çarpan bir başka yıldız aldı. Çarpışma kuramı İngiltere'de Sir James Jeans ve Amerika Birleşik Devletleri'nde Thomas C. Chamberlin ve Forest Ray Moulton tarafından canlandırıldı.

Ama bu kuram da pek işe yaramadı ve II. Dünya Savaşı'nın son yılında Alman fizikçi Carl von Weizsäcker, yeni gökbilimsel bilgileri kullanarak, Kant ile Laplace'ın eski ve unutulmuş kuramını canlandırdı. Weizsäcker'ın kuramı Hollanda doğumlu Amerikalı gökbilimci Gerard P. Kuiper tarafından geliştirildi. Bugün Kant-Laplace kuramının temel olarak doğru olduğu hakkında hiçbir kuşku yoktur.

Gezegenler ve Çiftyıldızlar

Bu bölümün başında ikili ve çoklu yıldızların bileşenleri arasındaki ortalama uzaklıkla gezegenlerin Güneşten ortalama uzaklıkları arasında ilginç bir benzerlik olduğuna dikkati çekmiştik. Bu gerçekten bir rastlantı mıdır? Neden kabaca tüm yıldızların yarısı ikili ya da çoklu sistemlerdedir? Neden, en azından bir yıldız, Güneşimiz, bir gezegen sistemine sahiptir? Kuşkusuz gökbilimsel gözlemler başka yıldızların da gezegen sistemlerine sahip olup olmadıklarını bize söyleyecek durumda değildir, çünkü gezegenler en yakın yıldızlarda bile en büyük teleskoplarımızla saptanamayacak kadar küçüktür. Ancak Güneşimizin, Samanyolu sistemini oluşturan yüz milyar yıldızın içinde bir istisna olduğunu düşünmek bile garip olur.

Bir gezegen sisteminin oluşmasının bir ikili ya da çoklu yıldızın oluşmasına alternatif olduğunu varsaymak daha mantıklı gibi gözükmektedir. Çünkü bildiğimiz kadarıyla yayılmış yıldızlararası maddeden yıldızların oluşumunun nedeni hep bizim Sir Isaac ve çekim yasasıdır. Gerçekten de Sir James Jeans sonsuz (ya da en azından yeterince büyük) uzayda düzgün bir gaz dağılımının çekimsel olarak kararsız olduğunu ve çeşitli büyüklüklerdeki topaklar halinde kümeleşeceğini, bunların da eninde so-

nunda oldukça yoğun gaz küreleri halinde (yıldızlar) çökeceğini göstermişti.

Büyük gaz alanları yalnızca kararsız değil aynı zamanda da türbülent bir hareketin etkisi altındadır. **Türbülans,** yakın zamanlara dek yalnızca hidrodinamik ve aerodinamik mühendisleri tarafından kullanılan bir terimdi ama şimdi birçok astronomi ve kozmoloji araştırmasında büyük önem kazanmaktadır. Türbülans diye bilinen akışkan (sıvı veya gaz) hareketinin düzensizliği, bir uçağın kanadının tasarımlanmasından yıldızların ve gezegenlerin kökeninin açıklanmasına dek akışkanlar dinamiğinin tüm alanlarında çok önemli bir unsurdur. Bir köprüden aşağı baktığımızda hızlı akan nehrin yüzeyinde türbülent hareketi görebiliriz; benzer şekilde onu, yüzümüze karşı esen kesintili ve şiddetli bir rüzgârda hissedebiliriz. Bir akışkan ortamda türbülans, basit bir resim ya da şekille gösterilmesi pek kolay olmayan çok karmaşık ve tamamiyle düzensiz bir harekettir. Türbülansın gerçekte ne olduğunun belki de en yakın çizimi Şekil 38'de verilmiştir. Burada herbir türbülent akım farklı büyüklükteki oklarla şematik olarak gösterilmiştir. Bu diyagrama uzaktan baktığımızda önce birbirinin etrafında dönen büyük okları görürüz. Ancak daha yakından bakıldığında büyük okların çok sayıda küçük oklardan, bu küçük okların ise daha da küçük oklardan oluştuğu görülecektir. Bu resim, en büyük okların sıvının tüm hacmini kapsayacak, en küçükleri ise molekül taneleri kadar olacak şekilde, iki yönde genişletildiğinde türbülent hareketin ne olduğu daha iyi anlaşılacaktır. Bu resmi çizebilmek için her kategorideki ok Şekil 38'de aynı büyüklükte gösterilmiştir. Gerçekte türbülent akımların hiyerarşisi hem hareketin tüm yönlerini hem de tüm büyüklükteki okları kapsa-

maktadır. Bir akışkandaki türbülent hareket farklı unsurlarının gerek dönme gerekse ilerleme hareketlerini içerir. Dönme hareketlerinden dolayı türbülent akımlar daha çok «anafor» diye bilinirler. Türbülent anaforların biçimlerini uzun süre koruyacaklarını, uygun seçilmiş zaman aralıkları için farklı anaforların konumlarını vererek türbülent hareketi gösterebilmemize olanak sağlayacaklarını düşünmek



ŞEKİL 38: Anafor hiyerarşisi

yanlış olur. Aslında her bir anaforun hayatı çok kısadır; bunlar kendi çapları ile orantılı bir yol katettikten sonra kaybolarak tümüyle farklı bir yönde hareket edebilecek yeni anaforların oluşmasına yol açarlar. Hareket eden bir akışkanda türbülent hareketin varlığı, türbülent viskosite diye bilinen iç sürtünmesinde bir artışa neden olur. Örneğin, eğer bir motorun pervanesi arka tarafta yalnızca laminer (düz, türbülanslı olmayan) bir hareket oluştursaydı

kayık hemen hemen hiç itilmeyecek ve bir salyangoz hızıyla bile hareket edemeyecekti. Aynı şey bir uçağın pervanesi için de geçerlidir; öte yandan kanatlar yüzeydeki türbülent hareketten kaçınacak bir biçimde tasarımlanmalıdırlar ki mümkün olduğu kadar az dirençle karşılaşarak havanın içinde kayabilsinler.

İlk bakışta türbülent akış kadar karmaşık ve düzensiz bir hareket için tutarlı bir kuram geliştirmek olanaksız gibi görünmektedir ve çok yakın zamanlara dek türbülansın incelenmesi (çoğunlukla mühendislikte) tamamen ampirik bir temelde yapılmaktaydı. Ama son yıllarda İngiltere'de Geoffrey I. Taylor, Amerika Birleşik Devletleri'nde Theodore von Karman, Rusya'da A.N. Kolmogoroff ve Almanya'da Werner Heisenberg'in çalışmaları sonucu türbülans kuramı matematiksel bir temele oturtulmuştur. Bu araştırmanın başlıca sonuçlarından biri türbülent hareketin sözde «enerji tayfı»nın çıkartılmasıydı. Anaforların hareketi, akışkanın büyük çaptaki hareketinden akışkanı oluşturan parçaların moleküler hareketine dek, sürekli olarak büyük anaforlardan küçüklerine geçirilen büyük miktarda kinetik enerjiyi içerir. Tüm sürtünme çeşitlerinde hareketin kinetik enerjisinin ısıya dönüştüğünü biliyoruz; türbülent sürtünme durumunda bu dönüşüm, giderek küçülen anaforlar hiyerarşisi boyunca sürer. Burada şu soruyu sorabiliriz: farklı büyüklüklerdeki anaforlarda ne kadar enerji depo edilmiştir («enerji tayfları» nedir?) ya da, başka bir deyişle, türbülent hareketi oluşturan farklı düzensiz akımların hızları nedir? Çok karmaşık olduğundan burada hiç değinmeden geçeceğimiz kuramsal çalışmalar farklı büyüklükteki anaforlar arasındaki hız dağılımının Kolmogoroff yasasına uydukları sonucuna yol açmaktadır. Bu yasa, hızın büyüklüğün küp-

köküne orantılı olduğunu belirtmektedir — yani bir anafor ne denli küçükse ona karşılık gelen hız da o denli küçük olacaktır. Bir örnek olarak, genişliği 10 metre (1000 santimetre) olan bir tüneldeki hızlı bir türbülent su akıntısını düşünün. Kanalın genişliği ile karşılaştırılabilir büyüklükteki anaforlar akışın toplam hızı ile karşılaştırılabilir bir hıza sahip olacaklardır. 1 santimetre çapındaki anaforlar toplam hızın 1/10'u kadar $\sqrt[3]{1000}$ bir hıza, yalnızca 10 mikron çapındaki anaforlar ise ana akış hızının 1/100'üne sahip olacaktır.

Şimdi çok önemli bir soruya geldik: hangi koşullar altında bir akışkanın düzenli laminer akışı türbülent anaforlar halinde parçalanıyor? Bu koşullar tamamen ampirik olarak, farklı çaptaki tüplerden farklı hızlarda akan çeşitli akışkanları inceleyen İngiliz fizikçi Osborne Reynolds tarafından saptanmıştı. Reynolds bir akışkanın düzgün akışının, akış hızı belli bir sınırı aştığı zaman türbülent anaforlar halinde parçalandığını buldu. Bu sınır geniş tüpler ve düşük viskositeli sıvılar için daha düşüktü. Bu bulgular basit bir ampirik formül vasıtasıyla şöyle özetlenebilir:

$$R = \frac{\text{akışkanın yoğunluğu x akış hızı x akıntının (kanalın) genişliği}}{\text{akışkanın viskositesi}}$$

Burada R denen boyutsuz nicelik **Reynolds sayısı** diye bilinmektedir. Eğer bir akışkanın yoğunluğu, viskositesi, akışın hızı ve genişliği bu sayıyı yaklaşık 1000'den daha az yapacak gibiyse akış düzgün şekilde olacaktır; eğer sayı 1000'den büyükse türbülent hareket görülecektir. Türbülent hareketin ortaya çıkması için Reynolds tarafından elde edilen ampirik koşul Werner Heisenberg'in yakın zamanlardaki çalışmaları ile kuramsal bir temele oturtul-

muştur ama yine, bu kuram burada anlatılmak için fazlasıyla karmaşıktır. (*)

Çekimsel dengesizliğin bir sonucu olarak yoğunlaşan türbülent anaforlar, yıldızlararası uzayda, kimisi oldukça yavaş kimisi ise çok hızlı dönen gaz girdapları oluşturur. Bunlar giderek büzüldükçe (yine Sir Isaac'ın kuvvetleri) dönme hızları artar ve baştaki dönüşün ne denli hızlı olduğuna bağlı olarak çeşitli şeyler olabilir. Bunlar birkaç parçaya ayrışabilir ya da ekvator düzleminde uzanan bir gaz halkası halinde tek bir parça olarak kalır ve daha sonra daha küçük cisimler halinde yoğunlaşır. Birinci durumda çoklu bir yıldız, ikincisinde ise bir gezegen sistemi oluşur.

Bir gezegen sisteminin oluşma olasılığı nedir? Bu soruya ikililerde üye yıldızların gözlenen göreli kütlelerini göz önünde bulundurarak cevap verebiliriz. Kimi ikililerde bunların kütleleri birbirine yakın büyüklüktedir; başka ikililerde ise bir yıldız diğerinden çok daha az bir kütleye sahiptir. Gezegen sisteminin kökeni hakkındaki Weizsäcker-Kuiper kuramına göre başlangıçtaki güneş nebulası Güneşin kendisinden on kez daha fazla kütleye sahipti. Sönük bileşenin parlak olandan on kez daha küçük olduğu ikililerin göreli sayısı yaklaşık yüzde 10'dur. Bu nedenle, galaksimiz Samanyolunu oluşturan yüz milyar yıldız arasında her on yıldızdan birinin belki gezegen sahibi bir yıldız olabileceğini söyleyebiliriz. Ondabirlik bir emniyet unsurunu da işin içine katarak, Samanyolunda en azından bir milyar yıldızın gezegen sistemine sahip olduğu sonucuna varabiliriz.

(*) Yukarıda anaforlar üzerine yapılan açıklama daha önce yazarın «The Creaton of the Universe» (New-York, Viking, 1961) adlı kitabında yayınlanmıştı. Bu konuda ayrıntılar için o kitaba başvurulabilir.

VII. BÖLÜM

BİR YILDIZ ÖLÜNCE

Siz ey kısır güneşler
Sırf küllenmiş köz...

Charles Marie Leconte de Lisle

Son Kilometre

Bir yıldız Kırmızı Dev evresinin son aşamasına vardığında içindeki tüm nükleer enerji kaynakları tahminen tamamen tükenmiştir. Milyarlarca yıl boyunca çekim kuvvetlerine karşı koyan ve sona doğru yıldız gövdesini dev bir büyüklüğe ulaştıran termonükleer tepkimeler şimdi sona ermiştir. Gövdenin bölümleri arasındaki Newton çekimi yıldız maddesini merkeze doğru çekmeye başlar. Çökme çekim enerjisini açığa çıkardıkça, bu da ısıya dönüşerek iç bölgedeki yüksek sıcaklığı koruduğu için yıldız henüz ölmemiştir. Yıldız şimdi, bu kitabın birinci bölümünde sözü edilen Kelvin-Helmholtz modeli ile tanımlanır. Orada gördüğümüz gibi, çöken yıldız modelinin evrimi nükleer yakıt modelinin evriminden çok daha hızlı gider ve yıldızın kütlesine göre, yalnızca birkaç yüz milyon yıl, hatta daha da az sürebilir.

Evrimin bu son aşaması boyunca yıldızın çapı sürekli olarak azalır, aydınlatma gücü zayıflar. Öte yandan yüzey sıcaklığı ve içindeki

sıcaklık artar. Aydınlatma gücünün azalması yüzey sıcaklığının artması ile çelişmez; yıldızın her birim alanı giderek daha çok ışık salar ama yüzeyi öylesine hızla küçülür ki toplam enerji emisyonu düşer. Böylece yıldız Hertzsprung-Russell diyagramının sağ üst köşesinden sol alt köşesine düşer. Yıldızlar evrimlerinin bu aşamasından oldukça hızlı geçtiklerinden gökte bu aşamada görülen yıldızların sayısı oldukça azdır. Hertzsprung-Russell diyagramı çerçevesi içinde çökme evrimi çizgisinin olduğu yerde yalnızca seyrek, dağınık birkaç nokta vardır. Gerçi bu evrimsel aşamadaki yıldızların sayısı çok azdır ama pek gösterişli olduklarından gökbilimciler tarafından iyi bilinirler ve geniş araştırmalara konu olmuşlardır. Normal yıldızlar sabit bir parlaklıkla pırıldarken, çöken yıldızlar çok düzensizdirler. Gövdelerini şişirirler, birkaç hafta, hattâ birkaç gün içinde parlaklıklarını değiştirirler, bir dizi küçük patlama yaparlar ve nihayet dev bir kozmik fişek gibi patlarlar.

Zonklayan Yıldızlar

En ünlü yaramaz yıldızlar, bu nitelikleri gözlenen ilk yıldız olan Delta Cephei'nin adının verildiği **Sefeid (Cepheid) değişkenler,** ya da sadece, sefeidlerdir. Şekil 56a tpik bir sefeidin, Delta Cephei'nin aydınlatma gücü (parlaklık) eğrisini vermektedir. Ortak bir merkez etrafında dönen iki yıldızın peryodik olarak birbirlerini örttükleri örten çift yıldızların (Bölüm 6'ya bakınız) aksine, sefeidlerde parlaklık düzgün bir değişme göstermekte, oldukça keskin bir yükselişten sonra yavaş yavaş inmektedir. 1914'de Amerikalı gökbilimci Harlow Shapley sefeidlerdeki peryodik aydınlatma gücü değişmelerine gazdan oluşan dev gövdelerinin zonk-

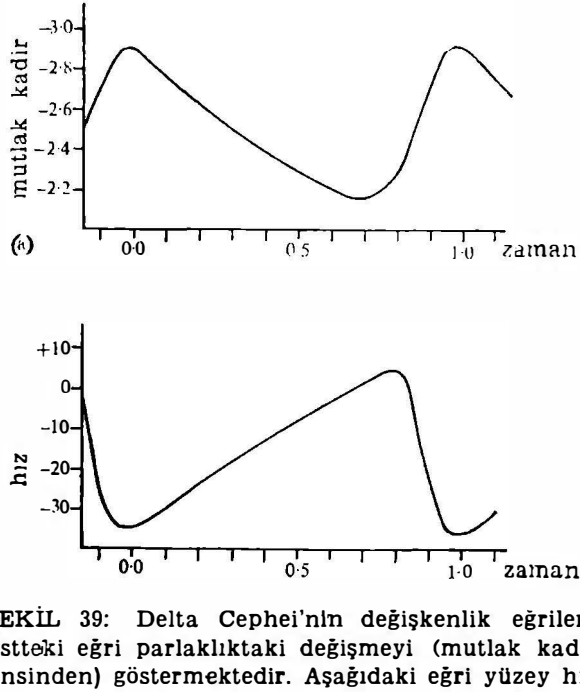
lamasının neden olduğunu önerdi. Bu öneri, bunların tayf çizgilerindeki Doppler kaymasının incelenmesi ile de doğrulandı. Eğer ışıkyuvarı peryodik olarak şişip iniyor, böylece bize doğru ve bizden öteye doğru hareket ediyorsa, çizgiler tayfın kırmızı ve mavi uçlarına doğru peryodik kaymalar göstermeliydiler. Böylesine peryodik bir kayma gerçekten de gözlenmiştir: Şekil 39b'da gösterilen Delta Cephei'nin yüzey tabakaları için tayf çizgilerinin Doppler kaymalarından çıkarılan hız eğrisi gerçekten de bunlara karşılık gelen ışık eğirisi ile aynı peryoda sahiptir.

Shapley'in önerisinden birkaç yıl sonra Eddington zonklayan yıldızlar için matematiksel bir kuram geliştirdi. Bu kuram salınım yapan bir sarkaçın ya da titreşen bir telin kuramından daha karmaşık değildi. Bu kurama göre sefeidlerin zonklama peryodları ortalama yoğunluklarının kare kökü ile ters orantılı olarak azalıyordu. Bu ilişki, çeşitli müzik aletlerindeki tellerin titreşimi ile ilgili bilinen akustik ilişkisine benziyordu: tel ne denli kalın olursa titreşim peryodu o denli yavaş, çıkardığı sesin tonu o denli pes olacaktı.

Eddington'un kuramsal kehaneti ile gözlemler arasındaki uyum Tablo 10'da görülebilir.

Bu tablo, parlaklıkları yüz kat zonklama peryodları ise altmış kat farklı zonklayan değişenler için peryod ile ortalama yoğunluğun karekökünün çarpımının hemen hemen sabit kaldığını göstermektedir.

Ama Eddington'un bu başarılı zonklama kuramı hâlâ kusursuz değildir. Bir kere, kurama göre, aydınlatma gücü ve hız eğrileri her iki tarafta da aynı eğime sahip olmalıdırlar ki durum böyle değildir. İkincisi, aydınlatma gücünün en büyük ve en küçük değerlerinin, zonklayan yıldız en küçük ve en büyük boyuta eriş-



ŞEKİL 39: Delta Cephei'nin değişkenlik eğrileri. Üstteki eğri parlaklıktaki değişmeyi (mutlak kadir cinsinden) göstermektedir. Aşağıdaki eğri yüzey hızındaki değişmeyi (km / sn. olarak) göstermektedir. Zaman zonklama peryodunun bir kesri olarak verilmiştir (bu durumda 5.366 gündür).

tiği zaman olması beklenir. Bundan da ışık eğrisinin en büyük ve en küçük olduğu zamanlarda hız eğrisinin sıfırdan geçmesi gerektiği sonucuna varılır. Şekil 39'a bakıldığında durumun hiç de böyle olmadığı görülür. Sefeidlerin dış tabakalarının iç bölgelerine göre farklı bir fazla zonkladığı varsayılarak bu uyuşmazlıkları gidermek için çok çaba gösterildi ama durum hâlâ açıklığa kavuşmamıştır.

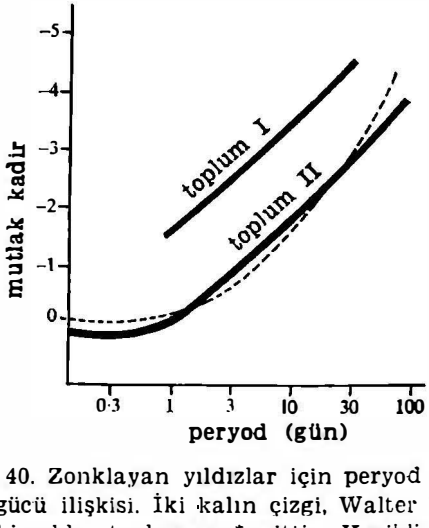
Zonklayan yıldızlarla ilgili bir başka önemli ampirik yasa da ünlü **peryod-aydınlatma gücü ilişkisi**dir: 1910'da Harvard'dan Bayan Henrietta S. Leavitt, kendilerini ilk kez güney yarım-

TABLO 10. Zonklayan Yıldızlar

yıldız	kütle $\frac{M}{M\odot}$	tayfsal sınıf (değişken)	ortalama parlaklık $\frac{L}{L\odot}$	peryod (gün)	yoğunluk $\frac{\rho}{\rho\odot}$	peryod çarpı yoğunluk
RR Lyrae	3·7	B9-F2	100	0·57	0·022	0·08
SU Cassiopeia	5	F2-F9	225	1·95	0·0032	0·11
Polaris	8	F7-F8	400	3·97	0·00049	0·09
δ Cephei	9	F4-G6	500	5·34	0·0005	0·12
η Aquilae	11	F2-G9	800	7·18	0·0003	0·13
ζ Geminorum	15	G0-G1	1,400	10·15	0·00009	0·10
χ Cygni	19	F8-K0	2,800	16·39	0·00013	0·19
γ Ophiuchi	23	F8-G7	3,200	17·12	0·00005	0·13
ι Carinae	50	F8-K0	9,000	35·52	0·000008	0·10

(*) Sembolu Güneş demektir. M O güneş kütlesini göstermektedir, vb.

küre göğünde gören ünlü deniz kaptanının adıyla anılan iki Macellan Bulutundaki sefeidleri inceliyordu. Bu «bulutlar» aslında, Samanyolu yıldız sistemimizin sınırlarının milyonlarca ışıkyılı ötesinde uzayda yüzen milyarlarca yıldızdan oluşmuş kümelerdir. O zamanlar kimse bunların ne denli uzak olduklarını bilmiyordu ama bunların içindeki tüm yıldızların bizden aşağı yukarı aynı uzaklıkta olduğu sonucuna varmak mantıklı görünüyordu. Tıpkı tüm İsviçre şehirlerinin New York'tan aşağı yukarı aynı uzaklıkta olmaları gibi. Böylece, Bayan Leavitt bu çok uzak zonklayan yıldızların mutlak parlaklıklarını bilmediği halde bunların gerçek parlaklıklarının, Dünya'dan gözlenen görünür parlaklıklarıyla orantılı olduğuna emin olabilirdi. Bu yıldızların gözlenen aydınlatma güçleri ile bunların zonklama peryodları arasında kesin bir ilişki olması kendisini şaşırtmıştı: yıldız ne denli parlak ise peryodu o denli büyüktü. Çeşitli sefeidlerin aydınlatma güçleri ile zonklama peryodları arasındaki ilişki



ŞEKİL 40. Zonklayan yıldızlar için peryod - aydınlatma gücü ilişkisi. İki kalın çizgi, Walter Baade'ye göre, iki yıldız toplumuna* aittir. Kesikli çizgi ilk Harlow Shapley eğrisidir.

Şekil 40'ta grafiksel olarak gösterilmiştir. Bayan Leavitt'in buluşundan hemen sonra Shapley, kozmik uzaklıkların ölçülmesinde sefeidlerin önemini kavrayıverdi. Gerçekten de, gözlenen zonklama peryodundan yıldızın mutlak aydınlatma gücü, grafik kullanılarak bulunabilir ve bu değer Dünyadan gözlenen aydınlatma gücü ile karşılaştırıldığında yıldızın uzaklığı, yalnızca uzak ışık kaynakları için ters-kare yasası kullanılarak bulunabilir.

Sefeidlerle ilgili önemli bir sorun da bunları hareket ettiren enerji kaynağının niteliğidir. Eddington, zonklamaların sebebi ne olursa olsun, bunlara sürekli enerji verilmediği takdirde, yıldızdaki gazların iç sürtünmeleri dolayısıyla zonklamaların hızla yavaşlayacağını ve yalnızca birkaç bin yıl içinde tamamen dura-

(*) Tüm yıldızlar yaş kuşaklarına göre Toplum I ve Toplum II diye adlandırılan iki kategoriye ayrılırlar.

cağını hesapladı. Bu sonuç, zonklayan yıldızların genliklerinin hemen hemen sabit kaldığını belirten gözlemlerle çelişmektedir. Burada, saat ekranının arkasındaki kutuda gizli bir mekanizma tarafından işletilen bir sarkaçlı saatinkine benzer bir durumla karşı karşıyayız. Basit mekanik ilkelerinden sarkacın uzunluğu ile peryodu arasındaki ilişkiyi kolaylıkla elde edebiliriz, ama eğer sarkacı harekete geçiren hiçbir mekanizma olmasaydı sürtünme kuvvetleri beş, on dakika içinde sarkacı durdururdu. Bu kutuda ne vardır? Bir yay mı, pille çalışan bir elektrik motoru mu, yoksa çarkı döndüren bir sincap mı? İşte, sefeidler hakkında gökbilimcilerin sordukları soru budur. Sefeidler yıldız evriminin son aşamasını temsil ettiklerinden muhtemelen nükleer enerji kaynakları yalnızca iç bölgelerinde kalmıştır ve çökmeleri tamamiyle çekimseldir. Ama bunlar neden düzgün bir biçimde çökmüyorlar?

Yıllarca önce, yıldız cisminin böylesine kronik dengesizliğine, yüzeylerinin çok altında iyonlaşma derecesindeki değişiklikler gibi tamamen atomik (nükleer değil) bir durumun neden olabileceği Edward Teller tarafından önerilmişti. Bu öneri, daha yakın zamanlarda Boulder, Colorado'da, Joint Institute of Laboratory Astrophysics'te John Cox tarafından sürdürülen kuramsal çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Püfleyen Yıldızlar

1867 yılında Paris Gözlemevi'nde iki gökbilimci, Charles Wolf ve Georges Rayet, çok garip bir yıldız buldular. İnce Fraunhofer çizgilerinin kestiği sürekli bir tayf yerine bu yıldız biraz daha sönük olan bir fonun üzerinde geniş, parlak emisyon çizgileri gösteriyordu. Daha sonraki yıllarda bu tip tayfa sahip daha bir çok

yıldız ortaya çıkarıldı ve şimdi bunlar, genel olarak, Wolf-Rayet yıldızları diye bilinmektedir. Bu garip tayfların bir açıklaması, daha sonra, Kanada'da Dominion Gökfiziği Gözlemevi'nden C.S. Beals ve tamamen bağımsız olarak, Kaliforniya'daki Lick Gözlemevi'nden Donald H. Menzel tarafından önerildi. Geniş emisyon çizgileri ancak, hızla genişleyen bir gaz zarfından kaynaklanabilirdi ve bunların büyük genişliğinin nedeni, yüksek hızlarla yıldızın yüzeyinden kaçan atomların ışık emisyonundaki Doppler kayması olmalıydı. Bize doğru akan gazlar tayf çizgilerinde mora doğru bir kayma, aksi yönde akanlar ise kırmızıya doğru bir kayma gösteriyorlardı. Farklı açılarda akanlar ise iki uç arasındaki boşluğu dolduran orta derecede kaymalara sahiptiler. Emisyon çizgilerinin gözlenen genişliğini açıklamak için, gazların saniyede 3000 kilometrelik korkunç hızlarla dışarı çıktıklarını varsaymak gereklidir.

Meghnad Saha tarafından Güneşin renkyuvarı için yapıldığı gibi, genişleyen zarfa iyoni-

TABLO 11. Yıldızlarda yüksek derecede iyonize olmuş gazların sıcaklığı.

*Yıldız**	*İyon*	*İyonizasyon Potansiyeli (ev)*	*Sıcaklık (Mutlak)*
B.D. + 43° 3571	He II	54.14	18,000
	C III	47.6	23,000
	C IV	64.2	40,000
	O III	54.6	28,000
	O IV	77.0	70,000
	O V	113.0	80,000
B.D. + 35 4001	He II	54.14	44,000
	N III	47.2	40,000
	N IV	77.0	75,000

(*) Burada yıldız adı, Potsdam Gözlemevi'nde hazırlanan bir yıldız kataloğu olan Berliner Durchmunsterung'*a atıftır.*

zasyon kuramı uygulandığında dışarı atılan gazların sıcaklığı bulunabilir. Tablo 11, helyum, karbon, nitrojen ve oksijenin fazlasıyla iyonize olmuş durumlarına ait farklı tayf çizgilerinden elde edilen sıcaklıkları vermektedir.

Aynı yıldız için farklı tayf çizgilerinden hesaplanan sıcaklıkların bu derecede farklı olmaları okuyucuyu şaşırtabilir. Ancak ışık emisyonu genişlemiş yıldız zarfının farklı derinliklerinden kaynaklandığı için bu oldukça doğaldır. Böylece, O V gibi fazlasıyla iyonize olmuş atomların radyasyonu genişleyen zarfın sıcak, iç tabakalarından gelirken (T = 80 000°K),C III'ün radyasyonu daha soğuk dış tabakalardan (T = 23 000°K) gelmektedir.

Wolf-Rayet tayflarında hidrojen emisyon çizgilerinin yokluğu muhtemelen baştaki hidrojen miktarının yıldız evriminin bu geç aşamasında tamamen helyuma dönüşmüş olmasındandır.

Bu aşamada yıldızın kendi maddesini dışarı üfürmesinin nedeni nedir? Büyük bir olasılıkla sıcak yüzeyinden salınan radyasyonun basıncıdır. Ortadaki Wolf-Rayet yıldızının yüzey sıcaklığının 100 000°K olduğu (Güneşin yüzey sıcaklığının 6000°K olduğunu hatırlayalım) hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklarda yüzeydeki radyasyon basıncı yıldızı tek bir parça halinde tutmak isteyen çekim kuvvetlerini aşabilir. Böylece yıldız kendi kendisini uzaya üfleyerek varlığını sona erdirir.

Wolf-Rayet türü yıldızların ilginç bir örneği de, Karadeniz kıyısında bir cankurtaran gemisinde denizci olarak hayata atılan ve bir teleskopla bir yıldıza bakmadan önce binlerce can kurtaran Harvard'lı gökbilimci Sergei Gaposchkin tarafından bulundu. Yıldızın adı B.D. + 38° 4010'dır ve bileşenlerinden biri bir Wolf-Rayet yıldızı olan bir örten çifttir. Yaptığı gözlemlerden yararlanarak Gaposchkin, Wolf-Ra-

yet bileşenin Güneşten 10 kat daha fazla kütleye sahip olduğunu, çapının 6 kat daha büyük olduğunu ve 230 kez daha parlak olduğunu hesaplayabildi. Şimdiye dek bu verilerin elde edilebildiği tek Wolf-Rayet yıldızı budur.

P Cygni yıldızları ile B emisyon yıldızları diye adlandırılan yıldızlar da Wolf-Rayet yıldızlarına benzerler ama bu kitabın çerçevesi içinde bunlar hakkında ayrıntıya inmek olanaksızdır.

Wolf-Rayet yıldızlarına çok yakın bir başka yıldız tipi de **gezegence bulutsular**dır. Bu yıldızların aslında gezegen dediğimiz cisimlerle hiçbir ilişkileri yoktur. Eski gökbilimciler, yıldızlı göğü tararlarken, olağan yıldızlar gibi noktasal değil de diske benzeyen parlak cisimler görmüşler. Bunlardan biri, Lyra burcundaki bir gezegence bulutsu, Şekil 58'de gösterilmiştir. Şimdi gezegence bulutsuların, yaşlanan yıldızları saran, ve merkezlerindeki çok sıcak bölgeden gelen mor-ötesi radyasyonun etkisi altında genişleyen ve ışık salan gaz zarfları olduğunu biliyoruz. Ama, gezegence bulutsuların merkezlerindeki cisimlerden fışkırtılan gaz kütleleri, Wolf-Rayet yıldızlarınınkine göre çok daha yavaş hareket etmektedirler (yalnızca saniyede 20 kilometre) ve sonuç olarak çok daha yoğundurlar. Böylece bunları büyük sferoid biçiminde cisimler olarak görüp fotoğraflarını çekebiliriz. Tablo 12, gezegencelerin bazıları hakkında bilgi vermektedir.

Gökbilimcilerin güneş tacında (korona'da) yeni bir elementin, «koroniyum»un varlığından kuşkulandıkları ve daha sonra bunun fazlasıyla iyonize olmuş demir olduğunun ortaya çıktığını görmüştük. Bunun gibi, gezegence bulutsuların incelenmesi, gözlenen tayftaki iki yeşil çizgiyi oluşturan bir başka yeni elementin, «nebuluum»un varlığı önerilerine yol açtı. Ama daha yakından yapılan bir çalışma bu çizgile-

TABLO 12. Gezegence Bulutsu

*Adı**	*Dünya yörünge çapının cinsinden Yarıçap*	*Sıcaklık (°K.)*	*Yoğunluk Atom/cm.*	*Güneş Kütlesi cinsinde Kütle*
NGC—7027	10,600	9,500	5×10^3	0.07
NGC—6572	8,600	9,200	1×10^4	0.07
NGC—6826	13,600	7,200	4×10^3	0.12
NGC—6547	10,800	6,000	1×10^3	0.07

(*) NGC, Dryer'in *Yeni Genel Katalog*'undaki sıra sayısını göstermektedir.

re, daha önce gökcisimlerinin tayflarında rastlanmamış olan iki ya da üç kez iyonize olmuş oksijenin yol açtığını gösterdi.

Novalar

Gökteki yıldızların değişmez ve ebedî olduklarına dair eski inancın aksine gökyüzünde hep birşeyler olup durmaktadır. Teleskobun icad edilmesinden bile önce gökbilimciler, tanıdık takımyıldızlar çerçevesi içinde yeni, parlak yıldızların, bir anda belirip sonra da kaybolması gibi, yıldızların düzeninde anî değişiklikleri farketmişlerdi. Bunlara, tamamiyle yeni yıldızlar olduklarına inanıldığı için yeni anlamına **novalar** adı verilmişti ama bugün bunların eski yıldızların geçici olarak parladıkları durumlar olduğunu biliyoruz. Batı dünyasında kaydedilen ilk yeni yıldız, Tycho Brahe tarafından 1572'de bulunan Nova Cassiopeia'dır (**) Brahe, bu novanın güneş sistemimizin dışında olduğu sonucuna varmıştı.

(**) Daha sonra göreceğimiz gizli Çinli astronomlar Tycho Brahe'den beş yüzyıl önce Taurusta yeni bir yıldız keşfetmişlerdi.

Her yıl gökte, ikibuçuk-santimetrelik açıklığı olan bir teleskopla görülebilen en azından yirmibeş novanın püskürdüğü ama yüzyılın başından beri çıplak gözle görülebilecek kadar parlak ancak on nova olduğu tahmin edilmekte.

Novalar çoğunlukla Samanyolu kuşağı içinde görünür ve Yay burcu bölgesinde fazlasıyla yoğundurlar. Bir novanın keşfedilmesi az çok bir rastlantı işidir, çünkü bütün gece yıldızlara bakmak olanaksızdır, ayrıca novayı farkedebilmek için takımyıldızlar hakkında oldukça iyi bir bilgi sahibi olmak da gerekir. Bununla birlikte profesyonel gökbilimcilerin yanısıra amatörlerin de dahil olduğu birçok yıldız seyircisi olduğundan, novalar, ortaya çıktıkları ilk gün hemen saptanırlar. Çıplak gözle kolaylıkla görülen iyi bir nova örneği, 8 Haziran 1918'de parlayan Nova Aquilae'dir. O gece ünlü Amerikalı gökbilimci Edward E. Barnard bazı meslektaşları ile birlikte açık arabasında gidiyor, başının üstündeki yıldızlı göğe şöylesine bir bakıyordu. Birden, gözleri Aquilae takımyıldızına takıldığında heyecanla bağırdı: «O yıldız orada olamaz!». Gerçekten de birinci kadirden yeni bir yıldız vardı gökte ve Sirius ve Canopus'un dışında diğer tüm yıldızlardan daha parlaktı. Nova Aquilae'nin olağanüstü parlaklığı gözönünde bulundurulduğunda Barnard'ın dışında o gece bütün dünyada yalnızca on kişi tarafından farkedilmiş olması garip tir.

Tesadüfen hem olaydan yalnızca iki gün önce, hem de çok yıllar önce çekilmiş göğün o bölgesine ait fotoğrafların incelenmesi yıldızın eskiden de orada olduğunu ancak yüz kez daha sönük olduğundan çıplak gözle görülmediğini göstermiştir. Keşfedilişinin ertesi günü maksimuma ulaştıktan sonra Nova Aquilae ön-

ce hızla, sonra daha yavaş solmaya başladı ve bir yıldan daha az bir zaman içinde eski parlaklığına dönerek, çıplak gözle görülmeyecek bir hale geldi. Dünyadan sönük görünmesine karşı yine de Güneşimizden beş kez daha parlaktır ve parladığı zaman beşyüz kez daha parlak olmuştur.

Nova Aquilae'nin görünüşünden yaklaşık altı ay sonra yıldızın etrafında soluk, yeşilimsi bir ışık aylası gözlenmiştir. Bu ışık aylası yılda yaklaşık iki açı saniyesi kadar genişlemekteydi. Genişleyen ışık aylasının tayfındaki Doppler kayması ile birlikte bu açısal genişleme hızı, gökbilimcilerin, patlayan yıldızın uzaklığını belirlemelerini sağlamaktadır. Doppler kayması fışkırtılan gazın hızını saniyede kilometre olarak vermektedir ki bu, gözlenen açısal genişleme hızı ile birleştirildiğinde parlak cismin bizden uzaklığını verir. Nova Aquilae'nın uzaklığı 1200 ışık yılıdır.

Novalar neden patlar? Sefeidlerin neden zonkladıkları gibi bu durumu da pek iyi anlamış değiliz. Muhtemelen nükleer enerji kaynakları tükenmiş olan ve son durumuna doğru büzülen yaşlanmış bir yıldızın gövdesindeki bir kararsızlıktan dolayı. Bir nova patlamasında açığa çıkan enerjinin, gövdesindeki toplam ısı enerjisi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu biliyoruz. Böylece, aynı yıldızın birkaç bin yıllık aralarla tekrar tekrar bir nova olmaması için hiçbir neden yok. Gözlemsel gökbilimi için birkaç bin yıl oldukça uzun bir ara ama bazı yıldızlar bundan daha sık patlıyorlar.

1898 yılında Ophiuchus (Yılancı) takımyıldızında yeni bir yıldız belirdi. RS Ophiuchi adı verilen bu yıldız bir yıl içinde söndü. Otuzbeş yıl sonra Bologna'lı E. Loreta aynı yıldızın tekrar püskürdüğünü farketti. 1933 püskürmesinin

parlaklık eğrisi 1898'dekine çok benziyordu. Bu yıldızın her otuz ya da kırk yılda bir peryodik olarak püskürmesi olasıydı. Benzer bir durum 1863, 1906 ve 1936 yıllarında püsküren Akrep burcundaki U Scorpii adlı yıldızda ve 1890, 1902 ve 1960 yılarında püsküren T Pyxidis yıldızında da görülmektedir. Tekrarlayan novalar diye bilinen bu yıldızlar parlama dönemlerinde, parlaklıklarında çok daha az bir artış olduğundan olağan novalardan farklıdırlar.

Bir de U Geminorum tipi yıldızlar vardır ki bunların bazıları her iki gecede bir püskürürken diğerleri iki ya da daha çok ayda bir püskürürler. Bunların maksimumda parlaklıkları, tekrarlayan novalardan çok daha azdır. İki Rus gökbilimci, B.W. Kukarkin ile P.P. Parenago, patlama peryodları ile maksimumdaki parlaklık arasında çok ilginç bir ilişkiyi ortaya çıkarmışlardır. Geçen süre ne denli uzun olursa patlama o denli şiddetli oluyordu. Aslında, ardarda iki patlama arasında geçen zamanla her patlamada açığa çıkan enerji miktarının çarpımı, tüm U Geminorum türü yıldızlar için aynıdır. Tekrarlayan novalar da aynı çizgidedir ve olağan novaların patlamaları arasındaki peryodu bulmak için bu grafiği kullanırsak onbin yıl gibi bir değerle karşılaşırız. Belki bu durum, olağan novaların neden iki kez gözlenemediklerini açıklayabilir.

Süpernovalar

Pekin'deki Kraliyet Gözlemevi'nin Kayıtlarında şöyle bir bölüm var:

> Chihha peryodunun birinci yılında, beşinci ayda Chi-chou gününde,(*) T'ien-Kuan (Zeta Tauri)'ın yaklaşık birkaç par-

(*) Bizim takvimimizde 4 Temmuz 1054.

mak güneydoğusunda büyük bir yıldız belirdi. Bir yıldan biraz daha uzun bir süre sonra gözden kayboldu.

Gökyüzünde, bu yazıda sözü edilen noktaya bakarsak Crab Nebula (Yengeç Nebulası) (Resim 11) diye bilinen oldukça garip bir cisim görülür. Tam olarak bir Yengeçe benzememektedir ama yine de örneğin Canis Major (Büyük köpek) takımyıldızının bir köpeğe benzemesinden daha çok benzer bir yengece. Yengeç nebulası gökbilimciler tarafından uzun zamandır bilinmektedir ama ancak otuz yıl önce, Mount Wilson Gözlemevinden Walter Baade ile Fritz Zwicky dokuzyüz yıl önce Çinli gökbilimciler tarafından gözlenen yeni yıldızla bunun arasında bir ilişki kurdular. Yengeç Nebulasının eski fotoğrafları yenileri ile karşılaştırıldığında bunun yavaş yavaş büyüdüğü göze çarpar ve şimdiki görünen çapı gözlenen genişleme hızı ile bölündüğünde parlak gazların yaklaşık dokuzyüz yıl önce merkezî bir noktadan genişlemeye başladıkları bulunur. Böylece Yengeç Nebulasının Çinliler tarafıdan gözlenen yeni yıldızın kalıntısı olduğuna hiçbir kuşku yoktur.

Yengeç Nebulası tarafından salınan tayfdaki Doppler kayması bu yıldızın saniyede 1111 kilometrelik bir hızla genişlediğini göstermektedir. Bu bilgi gözlenen genişleme hızı (yılda 0,18 açısal saniye) ile birleştirilerek yıldızın bizden yaklaşık 5000 ışıkyılı uzaklıkta olduğu bulunur. Bu uzak yıldızın görsel olarak birinci kadirden olduğunu belirten kayıttan mutlak parlaklığının en büyük olduğu dönemde Samanyolunu oluşturan tüm yıldızların birleşik parlaklıkları ile karşılaştırılabilir mertebede olduğu anlaşılır. Olağan novalar Güneşten yaklaşık yüz bin kez daha parlakken Taurus'daki yeni Çin yıldızı neredeyse bir milyar kez daha parlaktı. Bu tip dev yıldız patlamalarına **süper-**

nova denir. Bunlar olağan novalardan çok daha enderdir.

1054'teki Çin süpernovasından beri samanyolunda yalnızca iki dev patlama kaydedilmiştir. Bunlardan bir tanesi 1572 yılında Cassiopeia takımyıldızında olmuş ve **De Nova Stella** adlı kitabında Tycho Brahe tarafından ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Öteki ise yalnızca otuziki yıl sonra Brahe'nin eski asistanı Johannes Kepler tarafından kaydedilmişti. O zamandan beri de Samanyolunda hiçbir süpernova gözlenmemiştir. Belirli bir galakside tahminen ortalama olarak her üçyüz yılda bir ortaya çıktıklarından, bir sonrakinin vakti gelmiş demektir. Bu gerçekleştiğinde gökbilimciler için harika birşey olacak, Brahe ve Kepler'in zamanında bulunmayan teleskoplarını, tayfölçerlerini ve öteki gökbilimsel aletlerini kullanabileceklerdir.

Samanyolu yıldız sistemimizde süpernovaların çok nadir olarak görünmelerine rağmen uzayda yüzen yeterince başka yıldız sistemleri ya da galaksiler vardır ve bunlar, içlerinde olan bir süpernovanın görülemeyeceği kadar uzak değillerdir. Daha 1885'de en yakın kozmik komşumuz olan Büyük Andromeda Nebulasında parlak bir yeni yıldız göründü. O dönemde gökbilimciler spiral nebula diye adlandırılan nebulaların uzayda milyonlarca ışık yılı uzakta yüzen, bizim Samanyolumuzla karşılaştırılabilir dev yıldız grupları olduğunu bilmediklerinden bu, fazla bir heyecan yaratmamıştı. Tam tersine, bunların Samanyolunun yıldızları arasında (örneğin Orion takımyıldızında) bulunan gaz nebulalarına benzedikleri varsayılmıştı. Böylece Andromeda'daki yeni yıldız rastgele bir nova olarak sınıflandırıldı. Ancak, Edwin P. Hubble'ın Andromeda'daki Büyük Spiral'in gerçekte, başta inanıldığından çok daha uzak-

ta olduğunu kanıtlamasından sonra gökbilimciler bunun içinde ortaya çıkan yeni yıldızın olağanüstü parlak olduğunu ve bu nedenle de bilinen novalardan farklı olduğunu anladılar. Bu fikri kullanan Baade ve Zwicky birkaç yüz komşu galaksiyi sistematik olarak gözlediler. Birkaç yıl içinde bir düzine kadar süpernovayı ortaya çıkardılar. Resim 12, 1937 Ağustosunda IV-4182 diye bilinen bir galakside parlayan ve 1942'de gözden kaybolan bir süpernovanın fotoğraflarını göstermektedir.

Daha önce dediğimiz gibi, bir nova patlamasında açığa çıkan toplam enerji miktarı, korkunç bir şey olmasına rağmen, bir yıldızın gövdesinde kapsadığı toplam ısı ve çekim enerjisinin yalnızca küçük bir bölümüdür. Böylece normal bir nova uzun bir süre için tekrar tekrar patlayabilir. Oysa süpernovalarda durum oldukça farklıdır çünkü tek bir patlamada açığa çıkan enerji miktarı (10^{44} kalori) yıldızın tüm enerjisini gerektirir. Bu nedenle bir süpernova patlaması, doktorların **rigor mortis** dediği ölüm kanıtı gibi kabul edilebilir. Yıldızın uzun ve şanlı yaşamının sonunda bu intihar patlamalarına neler neden olmaktadır? Ömürlerinin son birkaç yüz milyon yılında yaşlı yıldızların düzensiz davranışları gibi belki bu durumda da gizli nükleer enerjinin aniden açığa çıkması diye birşey söz konusu değildir. Muhtemelen bu, iç bölgelerinde birikmiş olan büyük miktarlardaki ısı enerjisinin çevredeki uzaya yayılmasını sağlayan yıldızın gövdesindeki bir kararsızlıktır.

Süpernova patlamalarına yol açan felaketlerin nedeni konusunda çeşitli kuramlar öne sürülmüştür. 1941 yılında bu kitabın yazarı, Brezilyalı bir öğrenci olan Mario Schoenberg ile, bir süpernovanın çöküşüne, iç bölgelerinde, Bölüm 5'de sözünü ettiğimiz maddenin içi-

ne fazlasıyla nüfuz etme yeteneğine sahip temel parçacıklar olan nötrinoların kaçışıyla ortaya çıkan anî bir basınç düşüklüğünün yol açtığını önermiştir. Nötrino üreten bu özel çekirdek tepkimesine, kuramın yazarlarının ilk kez karşılaştıkları Rio de Janeiro'daki Casino de Urca'dan dolayı «Urca Süreci» adı verilmiştir. Bu adın daha yakın bir yorumu, yaşlı bir yıldızın içindeki enerjinin hızla ortadan kaybolusunu Casino de Urca'daki rulet masalarının etrafında oturan oyuncuların ceplerindeki paranın hızla erimesine benzetmektir. Kuramı tanıtan makalenin yayımlandığı **Physical Review**'un editörüne verilen açıklamada ise bu adın «**un**recordable **co**oling **a**gent»ın (iz bırakmayan soğutma unsuru) bir kısaltması olduğu söylenmişti.

Urca Süreci nedir? Bölüm 5'te gördüğümüz gibi kararsız bir çekirdek (N_I) tarafından bir beta parçacığının (eksi elektron) salınmasına her zaman bir nötrino (ya da modern terminolojide bir antinötrino)nun salınması eşlik eder Açığa çıkan enerjiyi bu antinötrino alıp götürür:

$$N_I \rightarrow N_{II} \quad e^- + \tilde{\nu}$$

Burada **e**— eksi elektronu, ν antinötrinoyu göstermektedir. Temel fiziksel karşılıklılık ilkesine göre bir de ters tepkime olmalıdır:

$$N_{II} + e^- \rightarrow N_I + \nu$$

Burada bir çekirdek, bir elektron alıp bir nötrino salmaktadır. Bu tersine çevrilir tepkimenin somut bir örneği çekirdek tepkimelerinin «simyasal» denklemleriyle verilmektedir:

$$Fe^{56} \quad e^- \rightarrow Mn^{56} \quad \nu$$
$$Mn^{56} \rightarrow Fe^{56} \quad e^-$$

Bu iki denklemde Fe^{56} demirin en bol izotopunu, Mn^{56} manganezin bir izotopunu göstermektedir. Bu iki tepkimede üretilen nötrino ve antinötrinolar hiçbir zorlukla karşılaşmadan yıldızın gövdesinden geçip yıldızlararası uzaya kaçtıklarında tepkime şöyledir: Tik-tak-tik-tak- Fe^{56} - Mn^{56} Fe^{56} - Mn^{56} Fe^{56} - tik tak... ve antinötrinoların yanısıra nötrinolar da büyük miktarlarda enerji taşıyarak yıldızdan dışarı doğru akarlar. Böylece yıldızın içi soğur, basınç düşer, ve yaşlı yıldız bir ışık ve ısı patlamasıyla çöker.

Yakın zamanlarda, Cornell Üniversitesi'nden Philip Morrison tarafından daha kuvvetli bir nötrino üretim süreci önerilmiştir. Morrison yaşlanan yıldızların sıcak iç bölgelerinde çok sayıda pozitif ve negatif elektron olması gerektiğine dikkati çekmiştir. Normal olarak bir pozitif ve bir negatif elektronun karşılaşması her ikisinin de yok olması ve iki gama-ışını kuvantumunun salınmasıyla sonuçlanır:

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$

Ama 100 000 000 000 000 000 000 'da bir bunun yerine bir nötrino ile antinötrinonun oluştuğu hesaplanabilir:

$$e^+ + e^- \rightarrow \nu + \tilde{\nu}$$

Zayıf görünmesine karşın çökme evrimlerinin sonuna gelen yıldızların sıcak iç bölgelerinde nötrino üretim hızı çok büyük önem kazanabilir ve yıldızın tüm gövdesi, Urca Sürecinden çok daha hızlı bir şekilde patlar ve çöker. Baylar, Bayanlar, işte karşınızda süpernova: debdebe içinde ölen bir yıldız!

Ölü Yıldızlar

Yengeç Nebulasının ortasında Baade çok sönük bir yıldız keşfetti. Öylesine sönük bir yıldızdı ki bu negatiflerde gözüktüğü halde Yengeç Nebulasının basılı fotoğrafında görünmüyordu (Resim 11). Bu, dokuzyüz yıl önce Çinli gökbilimcileri büyüleyen patlamadan sonra yıldızın kalıntıları olmalıydı. Yıldızın kütlesi aşağı yukarı Güneşinki kadarken genişleyen aydınlık gaz kütlesinin Güneşinkinin onda biri kadar olduğu hesaplanmıştı. Şaşırtıcı nokta şuydu ki, merkezî yıldızın görünüşteki sönüklüğüne karşın tüm nebulanın aydınlatılmasından sorumlu olmalıydı. Küçücük bir mumun kocaman beyaz bir perdeyi parlak ışığa boğması gibidir bu. Hayır, bu bir paradoks değildir; ama ışıma yasalarını bilenler için bu durum çok önemli bir mesaj vermektedir. Yengeç Nebulasının merkezî yıldızı tüm enerjisini kısa-dalga morötesi ışınları şeklinde yayacak kadar sıcak demektir. Bu ışınların çok küçük bir miktarı tayfın görünür bölümüne düşmektedir. Merkezî yıldızı çevreleyen gaz kabuğundan geçerken morötesi ışıma nebuladaki çeşitli iyonize olmuş atomlar tarafından soğrulur ve görünür ışık biçiminde yeniden salınırlar. Bu durum seyirciler tarafından görülmeyen morötesi ışığın etkisi altında, karanlık bir sahnede giysileri parıldayan bir dansözün durumuna benzer. Mount Wilson ve Palomar Gözlemevlerinden R. Minkowski Yengeç nebulası etkisini oluşturmak için merkezî yıldızın yüzey sıcaklığının 500,000°K, yarıçapının Güneşinkinden 50 kez daha küçük, ortalama yoğunluğunun ise suyun yoğunluğunun 25,000 misli olması gerektiğini hesaplamıştır. Bu, nükleer kaynaklardan yoksun, Newton çekim kuvvetleriyle birarada duran fazlasıyla çökmüş bir madde du-

rumunu temsil etmektedir. (*)

Madde, böylesine aşırı bir yoğunluk halinde nasıl sıkıştırılabilir? 4. bölümde gördüğümüz gibi plazma durumunda madde kusursuz gaz gibi davranır ve yoğunluğu nükleer yakıt yoğunluğuna yaklaşana dek sıkıştırılabilir. Güneş ve diğer normal yıldızlarda, bunların dev gövdelerini oluşturan plazmanın çekim kuvvetlerinin altında çökmesine, iç bölgesinde sürekli olarak açığa çıkartılan nükleer enerji engel olmaktadır. Ama nükleer yakıtlarını tümüy-

(*) Yengeç nebülasının ve başka süpernova artıklarının merkezlerindeki yıldızlar, burada anlatılan yapıda değildir. Gamow, 1967'de pulsarların keşfinden önceki dönemde yaygın olan yanlış bir görüşü aktarıyor. Betimlediği yapıdaki yıldızlar, yani beyaz cüceler, yıldız evriminde önemli bir yere sahiptirler. Beyaz cüce yapısı, tüm nükleer yakıtını tüketen bir yıldızın sonunda erişebileceği üç mümkün denge konumundan biridir. Diğer mümkün konumlar nötron yıldızı ve kara deliklerdir. Her yıldız başlangıçtaki kütle ve kompozisyonuna göre evriminin sonunda bu konumlardan birine ulaşır. Bu kısımda anlatılan beyaz cücelerin fiziksel yapısının anlaşılması, çağdaş astrofiziğin başlıca başarılarından biridir. Ancak, süpernova patlamalarıyla beyaz cüceler değil, Gamow'un 4. Bölümün ilk kısmında teorik bir olasılık olarak değindiği nötron yıldızları oluşur. Beyaz cücelerin daha sessiz bir şekilde, örneğin gezegence bulutsulardan oluştukları sanılıyor

Nötron yıldızlarının varlığı 1967'de pulsarların bulunması ve bunların nötron yıldızı olduklarının anlaşılmasıyla kanıtlandı. Bunlar 10 Km. yarıçapında, ama güneş kadar kütle taşıyan, ve santimetre kübü 100 milyon ton yoğunlukta yıldızlardır. Yengeç nebülasının merkezinde de böyle bir pulsar - nötron yıldızı 1968'de keşfedildi. Bu yıldız, nebülanın ışımasını morötesi ışınlarla değil, yüksek enerjili parçacıklar ve gama ışınları yayarak besler. Bkz. Bilim ve Teknik, *Ekim - Kasım 1980. (Çev.)*

le tüketen yaşlı yıldızların durumunda olduğu gibi bu nükleer enerji kaynakları bitince ne olur? Bu soruyu yanıtlamak için çok yüksek yoğunluklar ve oldukça düşük sıcaklıklar altında plazmanın davranışını incelemeliyiz.

Elektronların çekirdeklerine bağlı oldukları maddenin normal durumunda elektronlar çeşitli kuvantum yörüngelerinde dolaşarak çeşitli elementlerin atomlarını oluştururlar. Çok yüksek basınç ya da çok yüksek sıcaklık tarafından atomlar ezildiğinde elektronlar serbest kalır. Ancak bu kuvantum yasalarının hakimiyetinden kurtulurlar demek değildir. Atom hacmi içinde kuvantize olacakları yerde plazmanın kapsadığı tüm hacim içinde kuvantize olurlar. Elektronların hareketi ile ilgili de Broglie dalgaları, artık çekirdeğin etrafındaki kapalı yörüngelerde değil, kabın duvarları arasında bir ileri bir geri gider gelirler. Tek bir atom durumunda olduğu gibi, burada da her birinde iki elektron bulunan ayrık enerji seviyeleri ile karşılaşırız ama şimdi çekirdeğin elektriksel çekimi tarafından değil de kabın duvarları tarafından hapsolunan bir «kuvantize olmuş ortak pazar» vardır. Kabın büyüklüğü önemli değildir; bir santimetreküp ya da bir yıldızın tüm hacmi olabilir. Kabın hacmi ne denli büyük olursa içindeki serbest elektronların sayısı o denli büyük olur.

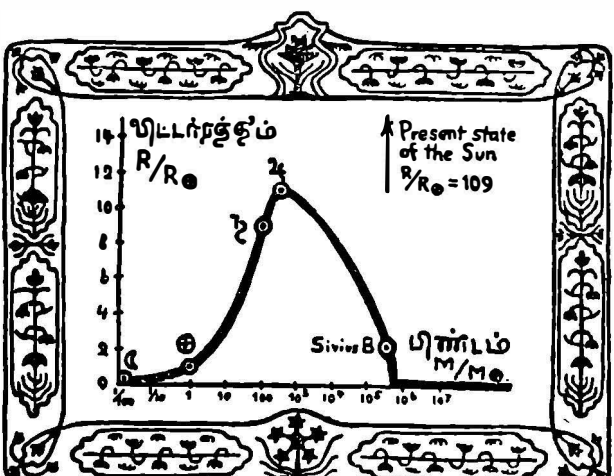
Serbest elektrona sahip madde bulmamız için yıldızlara uçmamıza hiç gerek yok. Bakır bir tel, gümüş bir kaşık ya da demir bir çubuk da olur. Metaller, öteki maddelerden, iyi elektrik iletkenlikleri özellikleriyle ayrılırlar. Metallerin elektrik iletkenliklerine de güçlü kuvvetlerle metal atomlarının dış kabuklarından koparılan serbest elektronların varlığı neden olur Gerçekte, metallerin iletkenliğine neden olan «serbest» elektronlar tam olarak serbest de-

ğillerdir ve bir katının kristal örgüsünü oluşturan sıkışık atomlar arasında zorla kendilerine yol açarlar. Ünlü Hollandalı fizikçi Paul Ehrenfest, 1931'de Rusya'ya yaptığı geziden hemen sonra, Leyden'de metallerin elektron kuramı üzerine yaptığı konuşmada bir metal içerisinde elektronların hareketini Rus köylüsünün saçında dolaşan bite benzetmişti. Bir kural olarak, serbest elektronlar mümkün olan tüm yönlerde düzensiz olarak hareket ederler. Ama eğer metal bir tele bir elektrik gerilimi uygulanırsa elektrik kuvvetin yönünde hareket etmeyi tercih eder, böylece de bir elektrik akımı oluştururlar.

Metallerde, yalnızca küçük bir oranda elektronun atomdan kurtulması ve atomun hâlâ geri kalan elektronlar üzerinde hükümranlığın sürdürmesine karşın yüksek sıcaklıktaki plazmada elektronlar tamamen serbest kalır ve elektron gazı diye bilinen şeyi oluştururlar. Bu gazın sıcaklığa ve gazın yoğunluğuna göre nasıl davrandığı bu iki nicelik arasındaki sayısal ilişkiye bağlıdır. Eğer sıcaklık yüksek ve yoğunluk nispeten düşükse (Güneşte ve öteki normal yıldızlarda olduğu gibi) elektron gazı, bu bölümde daha önce incelenen kusursuz gaz gibi davranır. Ama eğer yoğunluk çok yükselirken sıcaklık aynı kalırsa bütün düşük kuvantum seviyeleri elektronlarla dolar ve daha fazla sıkıştırmaya karşı direnç fazlasıyla artar Bu tip durumlara «dejenere Fermi elektron gazı» adı verilir. Bu, maddenin yoğunluğu yeterince arttıktan sonra yıldızın daha fazla çökmesini engeller. Yengeç Nebulasının merkezî yıldızı büyük bir olasılıkla bu çökme durumuna yaklaşmaktadır. (*)

(*) 1968'de Yengeç nebülasının merkezi yıldızının çökmesini tamamlamış durumda, ve bir nötron yıldızı olduğu bulundu. (Çev).

Ama gökyüzünde bu çökme durumuna gelmiş yıldızlar vardır. Bunların yüz milyonlarca yıl önce (*) patlayan süpernovaların kalıntıları olmaları fazlasıyla olasıdır. Bunlar, 6. Bölümde sözü edilen Beyaz Cücelerdir. Bu tür ölü yıldızların ünlü bir örneği Güneş kadar kütleye sahip olmasına karşın Dünyanınkinden bi-



ŞEKİL 41. Hintli gökbilimci S. Chandrasekhar'ın hesaplarına göre soğuk yıldız cisimlerinin kütleleri ile yarıçapları arasındaki ilişki. ☾, ⊕, h ve 4 simgeleri, sırasıyla, Ay, Dünya, Satürn ve Jüpiter'i göstermektedir. Dünya kütlesinden 460 000 kez daha büyük kütleler için yarıçapın sıfır olduğuna dikkat edin. Kütle ve Yarıçap için kullanılan sözcükler Dr. Chandrasekhar'ın anadili olan Tamil lehçesindedir.

(*) Beyaz Cüceler süpernova kalıntıları değildir Süpernovalardan geriye nötron yıldızları kaldığı gözleniyor. Son gözlemlere göre (1979 - 1981) kimi süpernova artığı nebülaların ortasında belki de hiç bir yıldız kalmıyor.

raz büyük bir yarıçapa sahip olan Sirius'un eşidir (Sirius B). Bu yıldızın ortalama yoğunluğu suyunkinin bir milyon mislidir ve merkezi bölgeleri daha da yoğun olmalıdır. Yıldızın yüzey sıcaklığı yaklaşık 10 000°K'dir ama saldığı toplam ışık miktarı yüzeyi çok küçük olduğu için oldukça azdır. Bugün yalnızca yüz kadar Beyaz Cüce bilinmektedir ama bunların evrendeki sıklığı bu sayıdan çok daha fazladır. Aslında çok düşük aydınlatma güçlerinden dolayı en büyük teleskoplardan bile ancak bize çok yakın olanları görülebilir. Bu da gözlenenlerin sayısını iyice sınırlar. Beyaz Cücelerin, Samanyolundaki tüm yıldızların yüzde 5'ini oluşturdukları tahmin edilmektedir.

Nükleer enerjiden yoksun kalıp daha fazla çökemeyecek bir hale geldiklerinde bu yıldızlar çok sıcak ve aydınlıktırlar, çünkü henüz soğumaya vakit bulamamışlardır. Yoğun gövdesinin muazzam ısı kapasitesi ile ısının çevre uzaya kaçabileceği yüzeyinin çok küçük olmasından dolayı bir Beyaz Cüce milyarlarca yıl dayanabilir. Bölümün başında alıntısını yaptığımız Leconte de Lisle'nin sözcükleri bu yıldızlara uygundur: «Siz ey kısır yıldızlar / Küllenmiş közden ibaret...»

Böylesine çökmüş bir yıldızın iç yapısının ayrıntılı matematiksel incelemesi şimdi Chicago Üniversitesi, Yerkes Gözlemevinde bulunan ünlü Hintli kuramsal gökbilimci S. Chandrasekhar tarafından yapılmıştır. Chandrasekhar, Dejenere elektron gazının davranışını tanımlayan kuvantum formülünü kullanarak farklı kütlelere sahip çökmüş yıldızların yarıçaplarını hesaplıyabilmiştir. Bu hesapların sonuçları, Şekil 41'deki eğrinin alçalan kısmında gösterilmiştir. Chandrasekhar, aynı zamanda, dejenere elektron gazının basıncının, ancak kütleleri 1.4 Güneş kütlesine eşit özel bir kritik değeri

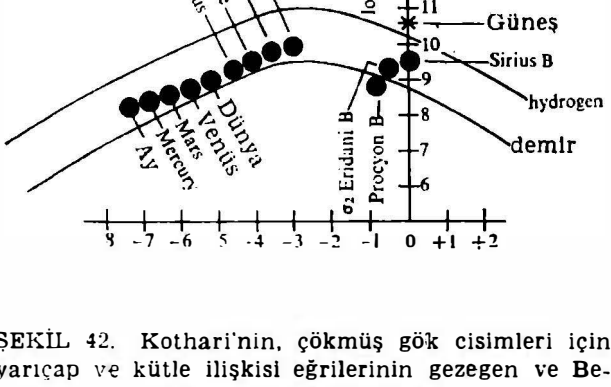
aşmadığı sürece, çökmüş yıldızları dengede tutabileceğini göstermişti. Daha büyük kütleli yıldızlar için Chandrasekhar'ın eğrisi ordinat eksenini kesmektedir ki bu da nükleer enerji kaynaklarından yoksun kalan bu yıldızların bir nükleer yakıtın yoğunluğuna (10^{14} gm/cm^3) eşit olana dek daha da büzülmelerinin beklendiğine işaret etmektedir. Yoğunlukları suyunkinin bir milyon misli olan çökmüş yıldızlar gökbilimciler tarafından gayet iyi bilinmektedir.

Çökmüş Gezegenler?

Daha önce de belirtildiği gibi atomların elektron kabuklarının tamamen kırılmasına yalnızca çok yüksek sıcaklıklar (Güneşimizde ve öteki normal yıldızlarda olduğu gibi) değil, sıcaklık çok düşük olduğu halde yüksek basınçlar da neden olabilir. Elektron kabuğu gök cisminin dış kısımlarının ağırlığından kaynaklanan aşırı basınca dayanamaz. Üzerine büyük bir ağırlık konan sepetteki yumurtaların kırılması gibi atomlar ezilir. Elektron kabukları ezilip de atom yapısı çıplak çekirdeklerle serbest elektronların plazma türündeki bir karışımı haline geldikten sonra madde büyük bir sıkıştırılabilme özelliğine sahip olur ve yoğunluğu, üzerine etki eden basınçla doğru orantılı olarak artar.

Hintli gökbilimci D.S. Kothari, çeşitli atomların elektron zarflarını kırmak, böylece de soğuk cisimleri (kayaları) böyle sıkıştırılabilir bir duruma sokmak için gerekli basıncı atomik yapının kuvantum kuramını kullanarak hesapladı. Bu basıncın 100 000 000 Dünya atmosferi mertebesinde olduğunu ve farklı kimyasal elementlerin atomları için ancak çok az bir değişim gösterdiğini buldu. Dünyanın merkezin-

deki basınç yalnızca 4 000 000 atmosferdir ki bu herhangi bir atomun elektron kabuğunu kırmaktan çok uzaktadır. Böylece gezegenimizin iç çekirdeğini oluşturan erimiş demirdeki atomların dökümhanelerdeki kalıplara dökülen erimiş demirin atomları kadar kırılmaz olduklarından güvenlikle emin olabiliriz. Ama Dünyadan daha büyük kütlelere sahip gezegenler için iç basınç çok daha fazladır ve Jüpiter'de (güneş sistemimizdeki en büyük gezegen) demir atomlarının elektron kabuklarının kırılması için ge-



ŞEKİL 42. Kothari'nin, çökmüş gök cisimleri için yarıçap ve kütle ilişkisi eğrilerinin gezegen ve Beyaz Cüce verileri ile karşılaştırılması.

rekli basınca yaklaşmaktadır. Böylece Jüpiter'den daha fazla kütleye sahip bir gezegende (başka yıldızların gezegen sistemlerinde bu tür gezegenlerin var olması olasıdır) iç çekirdek maddesinin basınç tarafından iyonize edilmiş ve fazlasıyla sıkıştırılabilir bir durumda olması beklenir. Bu durumda gezegen kütlesinin

daha da artması yarıçapının azalmasına ve ortalama yoğunluğunun hızla artmasına yol açacaktır. Kothari'nin sonuçları Şekil 42'de gösterilmiştir. Burada çok büyük soğuk cisimlerin yarıçapları kütlelerinin fonksiyonu olarak verilmiştir. İki eğri, saf hidrojen ve saf demir çekirdekler varsayılarak yapılan kuramsal sonuçlara aittir. Şeklin sol tarafındaki noktalar Ay'dan Jüpiter'e dek gezegenlerde gözlenen değerleri temsil etmektedirler. Hafif gezegenler için kütlenin küb kökü olarak artan yarıçapın (sabit ortalama yoğunluk) Güneş kütlesinin binde biri (Jüpiter) için en büyük değere ulaştığını, daha büyük kütleler için azaldığını görüyoruz. Şeklin sağındaki üç nokta üç Beyaz Cüce yıldıza aittir: Sirius B, σ_2 Eridani B ve Procyon B. Bu üç yıldızın Jüpiterden bin kez daha fazla kütleye sahip olmalarına karşın yarıçapları çok daha küçük ve ortalama yoğunlukları ise çok daha büyüktür. Şekildeki işaret Güneşimizi göstermektedir. Kendisine yakın kütleye sahip herhangi bir Beyaz Cüceden çok daha büyüktür Güneş. Ama birkaç milyar yıl içinde güneşin iç bölgelerinde, hidrojen yakıtının tükenmesinden dolayı bütün nükleer tepkimeler durduğunda Güneş çökerek Sirius B kadar olacaktır. Güneş gövdesinde kalan ısı da nihayet radyasyonla harcandıktan sonra Güneş Jüpiter büyüklüğünde karanlık, yoğun bir cisim haline gelecektir.

Bu kitap, her bölümünün başında ünlü şiirlerden alıntılarla süslendiği için yine bir şiirle, A.S. Puşkin'in belki de ilk yazdığı dizelerle bitirmek yerinde olacak. Puşkin öğrenciyken öğ-

retmeni sınıfta, «Güneş Batıdan doğsaydı ne olurdu?» konulu bir kompozisyon yazmasını istemiş. Şöyle yazmış Puşkin de biraz beceriksizce:

Göklerin kutsal Kralı bir sabah doğmuş Batıdan
İnsanlar kederlenmişler,
«Ne yapacağız?» demişler
«Yatağa mı girelim, kalkalım mı yataktan?»

İÇİNDEKİLER

Güneşin Doğumu ve Ölümü/9
Sunuş/11
I/NE DENLİ UZAK NE DENLİ BÜYÜK NE DENLİ SICAK/15
İlk Bulgular/15
Paralaks Yöntemi/20
Kütle Belirlenmesi/26
Güneşin Yüzey Sıcaklığı/28
Güneşte Enerji Üretimi/35
Güneş Tutulmaları/38
II/ATOMLAR VE TAYFLARI/43
Fraunhofer Çizgileri/43
Rezonans Olayı/45
Atomlar Bölünmez Değildir/48
Rutherford Modeli/52
Isınan Enerji Kuantumu/57
Bohr'un Kuvantum Yörüngeleri/63
Elementlerin Periyodik Sistemi/69
Dalga Mekaniği/74

III/GÜNEŞİN ÇALKANTILI YÜZEYİ/79
Güneş Nelerden Oluşmuştur/79
Güneş Lekeleri/88
Yüzeyin Ayrıntıları/93
Güneş Tacı/97
Güneşin Mıknatıs Alanı/103
Manyetohidrodinamik/107
Güneş Etkenliği ve Dünya Üzerindeki Etkisi/113
IV/GÜNEŞİN SICAKLIĞI/118
Parçalanan Atomlar/118
Plazma Yasaları/122
Konvektif Bölge/126
V/ÇEKİRDEKLER VE ENERJİLERİ/129
İlk Buluşlar/129
Enerjinin Açığa Çıkması/131
Radyoaktif Ömürler/133
Çekirdeğin İlk Bölünmesi ve Atomlar/134
Potansiyel Enerji Engeli/137
Termonükleer Tepkimeler/139
Beta Bozunumu ve Nötrino/143
VI/YILDIZLAR ARASINDA GÜNEŞ/148
Kaç Yıldız/148
Yıldızlar Ne Kadar Uzakta/149
Yıldızlar Ne Kadar Parlak/150
Yıldızların Hareketi/155
Evrimsel Sıralama/158
Tayf Sınıflandırması/160
Hertsprung-Russel Diyagramı/164
Kırmızı Devler/168
İkili, Üçlü Yıldızlar/174
Gezegen Sistemleri/176
Gezegenler ve Çiftyıldızlar/178

VII/BİR YILDIZ ÖLÜNCE/185
Son Kilometre/185
Zonklayan Yıldızlar/186
Püfleyen Yıldızlar/191
Novalar/195
Süpernovalar/198
Ölü Yıldızlar/204
Çökmüş Gezegenler/210

Güneş diye bir yıldız

Dunyamızın enerji kaynağı, bütün canlıların yaşamlarını borçlu oldukları aslında sıradan bir yıldız olan güneş, bize öteki yıldızlardan daha yakın olduğu için anlam taşır. Tanınmış fizikçi ve başarılı popüler bilim yazarı George Gamow, bu kitabında bize güneşi anlatıyor. Güneşin yapısını ele alırken atomları, ışığı, X-ışınlarını, ultraviyole ve radyo dalgalarını, kuvantum teorisini, atom çekirdeklerini, nükleer reaksiyonlarını, çağdaş fiziğin pek çok önemli araştırma konusunu tanıyoruz. Sonra da yıldızların nasıl oluştuklarını, değiştiklerini, başka yıldızlara dönüştüklerini öğreniyoruz.

ÖNEMLİ NOT

Bu kitap basılı fiyatının üzerinde satılamaz.

200 Lira

