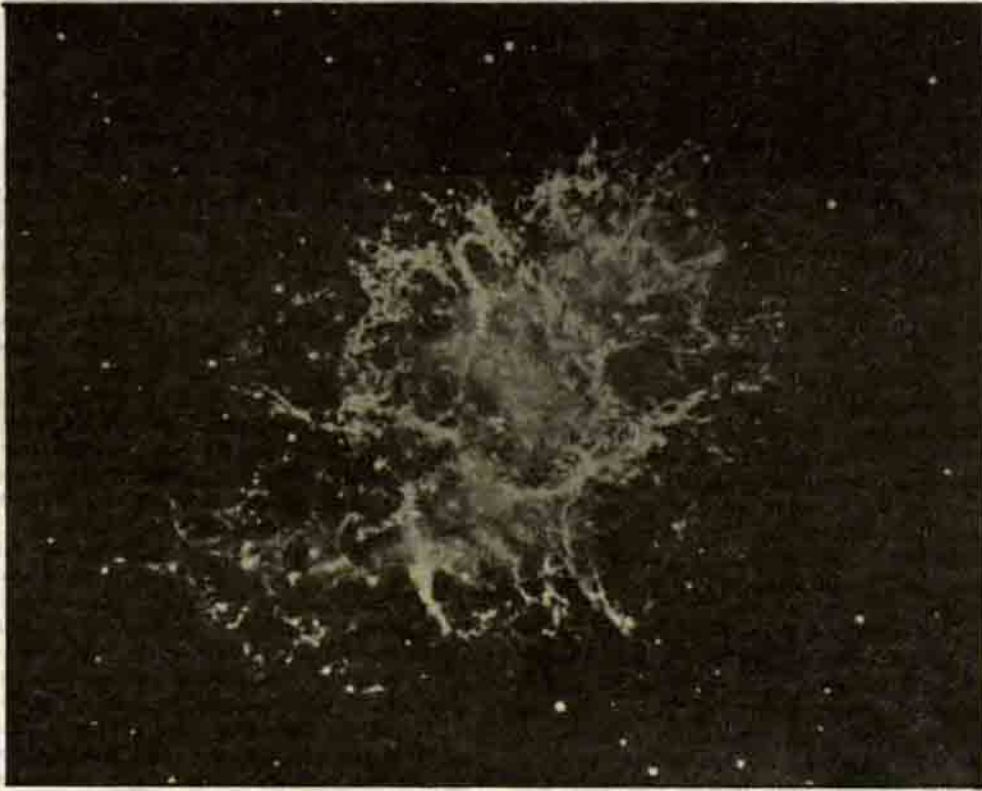


PULSARLAR VE NÖTRON YILDIZLARI (I)

Dr. M. Ali ALPAR
Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü



Şekil: 1. Yengeç Nebülası.

Eski Çin bilginlerinden günümüze kalan kayıtlardan, 1054 yılında gökyüzünde olağanüstü bir olay görüldüğünü öğreniyoruz. O tarihe kadar görülmeyen çok parlak bir yıldız ortaya çıkmış 1054 yılında. Bu yıldız o kadar parlakmış ki, iki üç ay boyunca gündüzleri bile görülebilmiş, sonra yavaş yavaş sönmüştü ve görülmez olmuş. Son yıllarda yapılan araştırmalar bu olayın devrin İslâm bilginlerince de kaydedildiğini ortaya koydu. Eski kaynakların gösterdiği yerde bugün de "Yengeç Nebülası" adı verilen ve Samanyolunun en ilginç cisimlerinden biri olarak nitelendirilen parlak bir gaz bulutu görülmüyor (Şekil: 1). 1054 yılındaki patlamanın sebebi ve Yengeç Nebülasının nasıl oluştuğu yakın zamanlara kadar bilinmiyordu.

1967 yılında başlangıçta bu patlama ile ilgili görülmeyen yeni ve çok önemli bir keşif yapıldı. İngiltere'de Cambridge radyo-teleskopuyla gökyüzünün Yengeç nebülasından uzak bir köşesi inceleniyordu. Araştırmayı yapan Jocelyn Bell adlı doktora öğrencisi genç kız, o güne dek hiç görülmemiş nitelikte radyo sinyalleri aldı (Şekil: 2). Bu sinyaller saniyede bir ve hep aynı zaman aralığı ile tekrarlanıyordu (Şekil: 3). Bu kadar sık ve düzenli sinyaller astrofizikçileri o denli şaşırttı ki, bir ara, yarı şaka olarak, sinyallerin uzaydaki bir uygarlıktan hayalî bir takım "küçük yeşil adamlar" dan geldiği dahi öne sürüldü. Kısa bir süre içinde bu tür sinyaller veren ve "pulsar" (1) diye adlandırılan pek çok kaynak bulundu ve bunların aslında "nötron yıldızı"



Şekil: 2. Jocelyn Bell'in kullandığı tahta parçalarından ve madeni tellerden yapılmış anten düzeni.

denilen yıldızların bir türü olduğu ve 1054'teki gibi patlamaları oluşturulara ortaya kondu.

Bu yazıda pulsarlar ve nötron yıldızları ile ilgili gözlemsel ve kuramsal buluşları ele alacağız. Bu tür yıldızları güneşle karşılaştırdıktan sonra bir yıldızın evriminde nötron yıldızı haline gelmeden önceki safhalardan kısaca söz edeceğiz. Sonra da nötron yıldızları ile ilgili kuramsal ve gözlemsel buluşların tarihçesini, bu yıldızların yapıları üzerine bildiklerimizi özetlemeye çalışacağız. Nötron yıldızları ve pulsarlar çağdaş astrofizikte önemli bir konu. Bu konuda henüz cevabını bilmediğimiz pek çok ilginç problem var. Bu problemlerden birkaçına da aşağıda değineceğiz. Yazının sonunda pulsarların keşfinden beri öğrendiklerimizin ışığında Yengeç Nebülasına döneceğiz.

Nötron yıldızları, güneşten ve gökyüzündeki çıplak gözle ya da optik teleskopla görülen yıldızlardan çok farklı yapıda yıldızlar. Bir karşılaştırma yapmadan önce tipik bir yıldız olan güneşin özelliklerini hatırlayalım. Güneşin kütlesi 2×10^{33} gm yani 2×10^{27} ton (dünyanın kütlesinin üçyüzbin katı). Yarıçapı yediyüzbin kilometre (dünyanın yarıçapından yüzon kere daha büyük). Ortalama yoğunluğu 1.409 gm/cm^3 , yani dünyadaki yoğunluklardan çok farklı değil. Yıldızların büyük bir bölümünün (ana kol (2) yıldızları denen yıldız sınıfı) güneşe benzer yapıda olduğu biliniyor.

Nötron yıldızlarının da kütleleri güneş kütlesi civarında, 2-3 güneş kütlesi arasında kütlesi olan nötron yıldızları bulunabilir. Bu yıldızların yarıçapları ise 10 km. kadar. Yani güneş kütlesi kadar bir kütle 10 km. yarıçapı içine sıkışmış durumda. Bu da bir santimetre kübe 10 milyon ton mertebesinde bir ortalama yoğunluk demektir. Bu yoğunlukta madde neredeyse tamamen nötronlardan oluşuyor. Akıl almaz sıkışıklıktaki bu yıldızları saniyede birkaç kez (en hızlısı otuz defa) kendi etrafında dönüyorlar.

Yıldızları dengede tutan nedir? Biliyoruz ki evrende bütün cisimler birbirlerini kütleçekimi

(gravitasyon) kuvveti ile çekiyorlar. Bir yıldızın içindeki maddenin bütün parçaları birbirlerini çektikleri için gitgide yaklaşıp sıkışacaklar. Eğer kütle çekimine karşı duran başka fizik kuvvetleri olmasaydı yıldızlar dengede duramayacaklar, bu çöküş sonsuz yoğunluklara dek sürecekti. Nitekim Einstein'ın Genel Görelilik Kuramına göre belli şartlar altında kütleçekimi diğer bütün etkileşmelerden daha baskın olacak ve gravitasyonel çöküş "kara delikler" diye adlandırılan cisimlerin ortaya çıkışına yol açacaktır. Ancak yıldızlarda çeşitli fiziksel etkileşmeler kütleçekimine karşı duran bir basınç oluşturarak yıldız dengede yahut çok yavaş bir değişme halinde tutabiliyorlar. Güneşte ve diğer ana kol yıldızlarında bu basıncın kaynağı yıldızın ortasında hidrojeni helyuma dönüştüren termonükleer reaksiyonlar. Yıldız evriminin daha ileri safhalarında helyumu karbona ve oksijene daha sonra da bunları daha ağır elemanlara dönüştüren reaksiyonlar yer alıyor. Bu reaksiyonların her biri yıldızın ömrünün belirli bir safhasında kütle çekimine karşı yıldız dengede tutuyor. Bir yıldız giderek daha ağır elemanları oluşturan reaksiyonlarla sonsuza dek kütle çekimine karşı durabilir mi? Bu sorunun cevabı olumsuz, çünkü biliyoruz ki nükleer reaksiyonlarla hafif elemanlardan başlayarak oluşturabilecek en ağır atom çekirdeği demir (Fe) çekirdeği. Bir zaman geliyor ki yıldızın içindeki nükleer yakıt tükeniyor, bütün atom çekirdekleri nükleer reaksiyonlarla yıldızda enerji sağlayamayan demir çekirdeklerine dönüşüyor. Nükleer reaksiyonların yıldız dengedelediği evre bir milyar yıl kadar sürüyor. Bunun büyük kısmı bir ana kol yıldızı olarak geçiyor. Bundan sonra nükleer reaksiyonların yıldızın dış katmanlarına da yayıldığı ve yıldızın şişip büyüdüğü, renginin de kırmızıya kaçtığı "kızıl dev" evresi geliyor. Beyaz cücelerin yoğunluk ve sıcaklık şartlarında elektron basıncı sıcaklıktan bağımsız. (Karşılaştırma yaparsak normal yıldızlarda etkin olan gaz kanunu, $p = nkT$, basıncın yoğunluğa ve sıcaklığa doğrudan orantılı olduğu şeklinde.) Nükleer

reaksiyonlar son bulunca yıldız kütle çekimi ile çökmeye başlıyor. Giderek yoğunluk artıyor. Yoğunluk arttıkça da yeni bir basınç kaynağı, elektronların sebep olduğu basınç etkin oluyor ve yıldız yeni bir tür denge durumuna getiriyor. Bu tür yıldızlara "beyaz cüceler" deniyor, çünkü bunların parlaklıkları az ("cüce") fakat renkleri mavi-beyaz. Tipik bir beyaz cüce ana kol yıldızlarından çok daha küçük, 5000 Km. yarıçapında, yani aşağı yukarı dünya kadar, ama kütlesi bir güneş kütlesi kadar olabiliyor. Beyaz cücele- rin ortalama yoğunlukları bir santimetre kübe yarım ton kadar. Bu elektron basıncı maddeyi ancak kuvantum fizikinin gelişmesiyle anlaşılan temel özelliklerinden biriyle, Pauli prensibiyle açıklıyor. Buna göre elektron, proton ve nötron'un da aralarında bulunduğu fermion dediğimiz türden parçacıklardan birim hacine n tane düşecek şekilde bir yoğunluk varsa, bu parçacıkların ortalama enerjisi $n^{2/3} \cdot e$ orantılı ve bu parçacıklardan oluşan bir gazın basıncı p , $n^{5/3} / m$ sayısına orantılı, burada m parçacıkların her birinin kütlesi. Bu formüle göre yapılan hesaplar "beyaz cüce" tipi yıldızların gözlemsel özelliklerine uyan bir yıldız yapısı veriyor. Formüldeki parçacık kütesine ters orantı ise daha hafif parçacıkların basınca daha büyük katkıları olduğunu, bu yüzden de beyaz cücele- ri dengeleyen basınç kaynağının yine Pauli prensibine uyan proton ve nötronların değil, proton ve nötrondan yaklaşık 2000 defa daha hafif olan elektronlar olduğunu gösteriyor.

Basıncı için kullanılacak formül ayrıca beyaz cücenin toplam kütesine de bağlı. Toplam kütleli büyük olan beyaz cücelerde yoğunluk ve Pauli prensibine göre elektronların ortalama enerjileri daha yüksek olacak. Bu durumda elektronların enerjilerini klasik fiziğe göre değil, görelilik teorisine göre ele almalıyız. Özel görelilik teorisine göre yapılan hesaplar yüksek yoğunluklarda elektron basıncının $n^{5/3}$ değil,

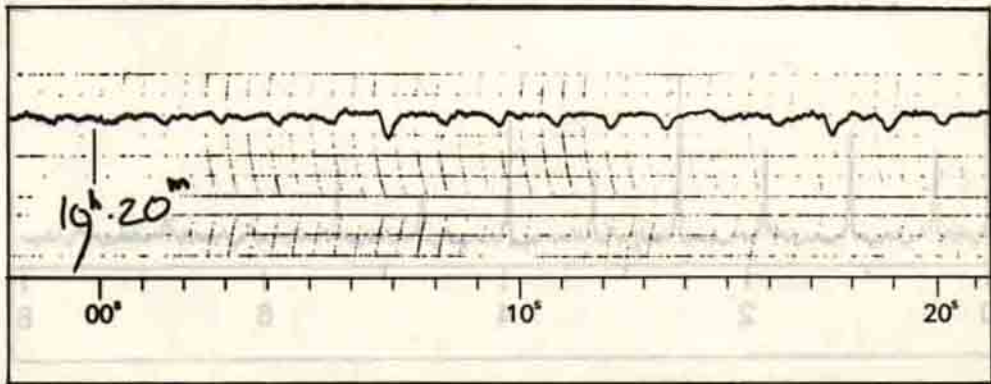
$n^{4/3} \cdot e$ orantılı olduğu gösteriyor. Yani beyaz cücenin kütlesi yeterince büyükse (1 güneş kütlesi civarında) elektron basıncı yoğunluğun $4/3$ kuvvetine orantılı. Kuvantum fiziği ile özel görelilik kuramından çıkan bu bağıntı bizi astrofizikte çok önemli bir sonuca getiriyor. 1930 yılında Hintli Astrofizikçi Subrahmanyam Chandrasekhar, $n^{4/3}$ formülüne orantılı bir elektron basıncının ancak belli bir kütle- nin altındaki beyaz cücele- ri dengelediğini, eğer yıldızın kütlesi 1.4 güneş kütlesinden büyükse, kütle çekiminin elektron basıncını altedeceğini gösterdi. 1.4 güneş kütlesinden daha büyük kütleli yıldızlar beyaz cüce olamıyorlar, daha da büyük yoğunluklara doğru çökmeye devam ediyorlar. Gözlemler gerçekten de kütleli belirlenebilen bütün beyaz cücele- rin Chandrasekhar limitinin altında olduklarını gösteriyor.

Özetlersek gözlemlerle doğrulanan astrofizik teorilerine göre yıldızlar nükleer yakıtları bitinceye kadar güneş gibi bir anakol yıldızı yahut dev yıldız özellikleri gösteriyorlar. Nükleer yakıt tükenince eğer yıldız 1.4 güneş kütlesinden hafifse veya başlangıçta daha büyük olan kütesinin bir kısmını patlamalarla savurarak bu kütle- nin altına inmişse bir beyaz cüce olarak dengeye gelebiliyor ve bu denge durumunda kalıyor. Peki, 1.4 güneş kütlesinden daha büyük kütleli yıldızlara ne oluyor?

Nötron Yıldızları

Bu soru bizi nötron yıldızlarına getiriyor. Nötronlar, protonlarla birlikte atom çekirdeklerinde bulunan, protondan biraz daha ağır, fakat yüksüz parçacıklar (protonun elektrik yükü 1, elektronunki ise -1). Serbest nötronlar çözülerek bir proton, bir elektrona ve bir de antinötrino adı verilen parçacığa dönüşüyorlar.

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$$



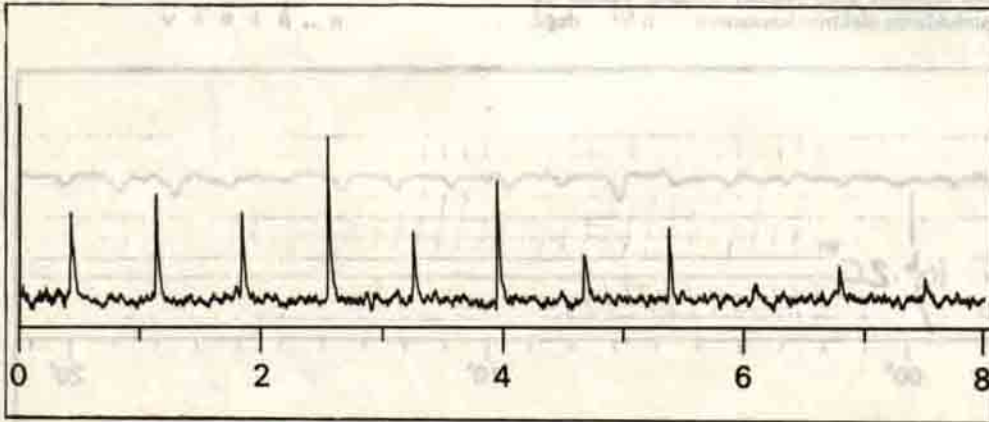
Şekil: 3. Bell'in kaydettiği ilk sinyaller. Bu sinyallerin kaynağı olan cisim sonradan PSR 1919 + 21 adı verilmiştir.



Şekil: 4. Bir radyo teleskop. İngiltere'de Jodrell Bank'da bulunan bu cihazın çapı 75 metredir. Resmin sağ alt köşesinde Jodrell Bank'daki teleskoplardan biri daha görülmüyor.

Bu çözülmeye beta çözülmesi diyoruz. Bunun tersi yani proton ve elektronun birleşip bir nötron (ve bir nötrino) yapmaları laboratuarlarda gözlenmiyor, çünkü bir nötronun kütlesi proton ve elektronun kütlelerinin toplamından büyük. Ancak elektronun enerjisi çok yüksek olursa bu enerjinin bir kısmı protonla nötron arasındaki farkını kapatıyor, nötron oluşabiliyor. Bu da çok yoğun ortamlarda mümkün: Yukarıda yoğunluk arttıkça tipik elektron enerjilerinin arttığından söz ettik. Demek ki yeterince yoğun bir ortamda elektron ve protonlar birleşip nötron ve antinötrino yapacaklar ve yoğunluk arttıkça yıldızdaki madde giderek artan oranda nötronlara dönüşecek, çünkü nötronla beraber oluşan nötrino kolaylıkla yıldızlardan kaçıp gidebilen bir parçacık. Chandrasekhar limitinden daha büyük bir yıldız-

da madde sıkıştıkça nötronlara dönüşecek. Bu süreç giderek yıldızın kütle çekimine karşı koyacak mı, yani daha yüksek yoğunluklarda yeni bir denge durumu mümkün mü? Soruyu başka türlü koyarsak yüksek yoğunlukta nötronların kütle çekimine karşı duracak kadar basıncı var mı? Bu sorunun cevabı da olumlu: nötronlar da fermion türünden parçacıklar, onların da tipki elektronlar gibi Pauli Prensiplerinden dolayı $n^{5/3} / m$ (nötron) şeklinde yoğunlukla artan bir basıncı var. Nötronun kütlesi elektronunkinden büyük olduğundan bu basınç ancak beyaz cücelerden çok daha yüksek yoğunluklarda kütle çekimine karşı etkin olabiliyor. Nötronların ikinci bir basınç kaynağı daha var: yoğunluk $10^{13} - 10^{14} \text{ gm/cm}^3$ mertebesine eriştiğinde nötronlar birbirlerine iyice yaklaşıyorlar. İki nötron



Şekil: 5. PSR 0329 + 54 adlı pulsardan gelen sinyaller. Yatay eksen saniye olarak zaman, dikey eksen ise sinyal şiddetidir. Sinyallerin eşit aralıklarla geldiği görülmüyor.

arasındaki uzaklık santimetrenin 10^{13} te bir mertebesinde olunca da nötronlar arasındaki kuvvet itici, yani parçacıkların daha fazla sıkışmalarını önleyici bir nitelik kazanıyor. Bu da maddeyi sıkıştıran kütleçekimine karşı yeni bir basınç kaynağı oluyor. Yapılan hesaplar nötronların bu iki tür basıncı ile 1 güneş kütlesi civarında kütlesi olan bir yıldızın yaklaşık 10 km. yarıçap ve ortalama 10^{13} gm/cm³ yoğunlukta bir denge durumuna erişeceğini ve çökmenin duracağını gösteriyor. İşte bu konuma "nötron yıldızı" diyoruz. Nötron yıldızları maddenin gözlenebilmiş en yoğun denge durumu. Beyaz cücelerin Chandrasekhar limiti gibi nötron yıldızlarının da kütle limiti var. Bu limit 3 güneş kütlesi civarında tahmin ediliyor. Nükleer yakıtları tükendiğinde bu limitten daha fazla kütleli olan yıldızların kütle çekimine nötron basıncı ile dahi karşı duramayacakları ve gravitasyonel çöküşün bu yıldızları "kara delikler" haline getireceği hesaplanıyor.

Ana kol, Kızıl Dev ve Beyaz Cüce türü yıldızların teorisi gözlemlere dayanarak geliştiği halde nötron yıldızları kavramı henüz bu yıldızlar hiç gözlenmediler, kuramsal bir olasılık olarak ortaya atıldı. Nötronun 1932 de Chadwick tarafından bulunmasından sonra 1934 te Baade ve Zwicky daha sonra da Gamow ve Landau tarafından yüksek yoğunluklarda maddenin nötronlara dönüşeceği ve bunun yeni tür bir yıldız dengesine yol açacağı ileri sürüldü. Tolman Oppenheimer ve Volkoff 1939'da bu konumdaki yıldızlar için ilk teorik hesapları yaptılar. Bu yıldızların gözlenebilecek şiddette ışık yaymaları beklenmiyordu. Nötron yıldızları 1960'lara kadar teorinin önerdiği ancak doğada hiçbir örneği bilinmeyen bir olasılık olarak kaldılar. Ancak 1967'de yapılan şaşırtıcı bir keşif bu yıldızların bir kısmının hiç akla gelmeyen bir yoldan, radyo sinyalleri yayarak kendilerini belli ettiklerini gösterdi. Bu tarihten sonra üstüste nötron yıldızı olduğu sanılan pekçok gök cismi bulundu. Şimdi bu gözlemsel gelişmelere bir göz atalım.

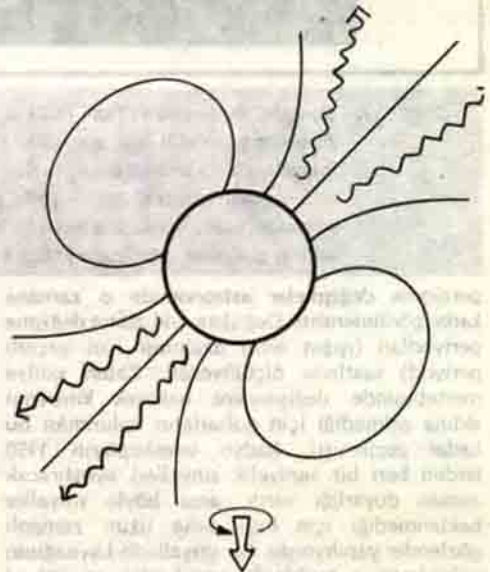
Pulsarlar (Atarcalar)

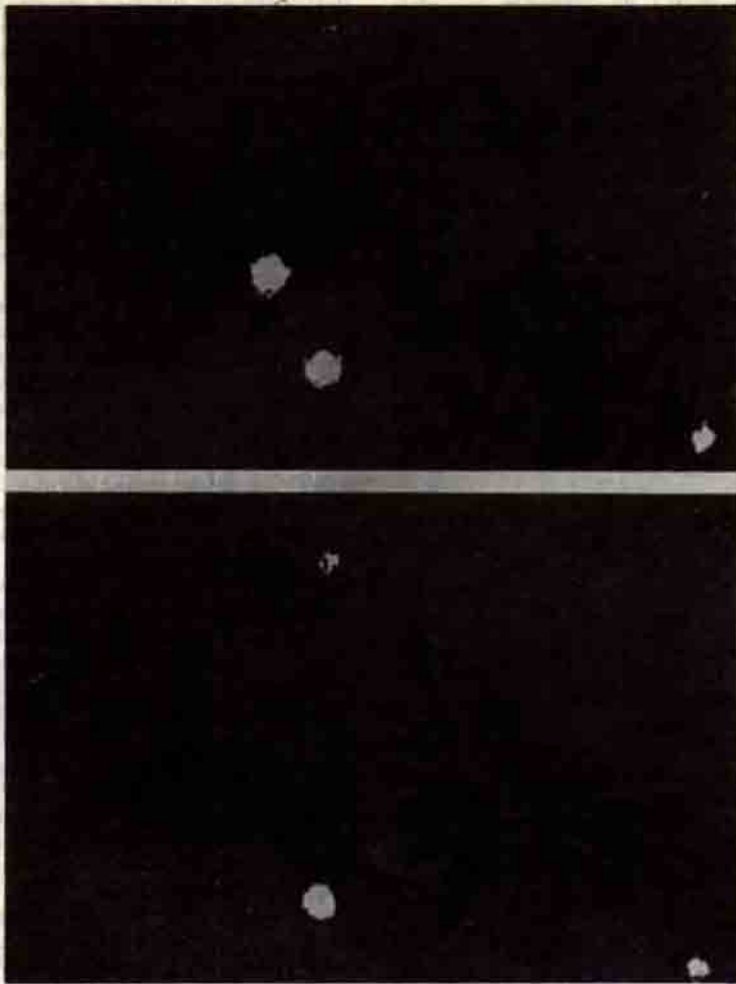
Bazı gök cisimlerinin (örneğin güneş) gözümüze algıladığımız ışık yerine ya da ışıkla beraber radyo dalgaları da yaydıkları 1923 den beri biliniyordu. Radyo dalgaları ve ışık fiziksel olarak aynı olayın, elektromanyetik dalgaların, iki farklı şekli. Aralarındaki tek fark bu dalgaların dalga boyu. Gözümüz dalga boyları 4×10^{-3} cm.

Şekil: 6. Pulsar modeli: dönen bir nötron yıldızı. Şeklin üstündeki ok yıldızın dönme eksenini; eğri çizgiler manyetik alanı, dalgaları; düz çizgiler ise çıkan radyo dalgalarını temsil ediyor.

(mor) ile 6×10^{-5} cm. (kırmızı) arasında olan elektromanyetik dalgalara duyarlı. Dalgaboyları metrelerle ölçülen radyo dalgalarını ise radyo antenleri ile alabiliyoruz. Nasıl uzaktan gelen ışığı yoğunlaştırmak ve görüntüleri büyütmek için optik teleskoplar kullanılıyorsa, aynı şekilde uzaktan gelen radyo dalgalarını toplamak için özel anten düzenleri kullanılıyor, bunlara radyo teleskop deniyor (Şekil: 4).

Yazımızın başında Jocelyn Bell'in yaptığı keşiften söz etmiştik. 1967 yılı sonbaharında Bell radyo teleskopun düzenli aralıklarla sinyaller kaydettiğini gördü (Şekil 2, Şekil 3). Bu sinyaller o zamana kadar hiç rastlanmayan derecede düzenli bir şekilde her 1.337 saniyede bir tekrarlanıyor ve sinyalin şekli hep aynı kalıyordu. Bu gerçekten şaşırtıcı durum karşısında Bell ve onun doktora yönetmeni Prof. Hewish önce sinyallerin uzaydan geldiğine ihtimal vermediler. Civarındaki radyo istasyonlarının, telsizlerin teleskobu yanılttığını yahut alıcıdaki bir bozukluğun böyle sahte periyodik sinyallere yol açtığını düşündüler. Bütün bu olasılıklar birkaç ay büyük bir dikkatle izlendi. Gözlemler tekrarlandı. Sinyallerin doğruluğu iyice kanıtlandı. Nihayet Şubat 1968 de Nature dergisinde yayınlanan bir yazı ile buluş dünyaya duyuruldu. Kısa bir süre içinde dünyadaki bütün radyo teleskoplar pulsar adı verilen bu düzenli kaynakları aramaya girişti ve gökyüzünün her yanında pulsarlar bulundu. Bunların herbirinin kendine özgü bir sinyali var ve bu sinyal hep aynı şekilde, yine o pulsara özgü bir periyodla yineleniyor (Şekil 5). Pulsarların bu tekrarlama periyodu genellikle 1 saniyeden az. En hızlı pulsar olan Yengeç nebulasındaki pulsarın periyodu 0.033 saniye, yani bu pulsar saniyede otuz kez sinyal veriyor. Bu ölçüde çabuk zamanlı ve bu kadar düzenli şekilde





Şekil: 7. Yengeç Pulsarının (PSR 0631 + 21) fotoğrafları. Bu pulsar, radyo sinyalleri yanında periodik ışık sinyalleri de veren bildiğimiz iki pulsardan biri. Optik teleskopla alınan fotoğraflar pulsarın saniyede otuz defa parlamayıp söndüğünü gösteriyor. Üstteki fotoğrafta ortadaki parlak yıldızlardan daha yukarıda olanı parlama anında Yengeç pulsarı. Altteki fotoğraf ise hemen sonra, pulsarın optik sinyalinin kesildiği bir sırada alınmış.

periyodik değişimler astronomide o zamana kadar görülmemişti. Değişken yıldızların değişme periyodları (ışığın artıp azalması için geçerli periyod) saatlerle ölçülüyordu. Zaten saniye mertebesinde değişmelere bakmak kimsenin aklına gelmediği için pulsarların bulunması bu kadar gecikmişti. Radyo teleskopların 1950 lerden beri bir saniyelik sinyalleri ayrıştırarak zaman duyarlılığı vardı, ama böyle sinyaller beklenmediği için hep daha uzun zamanlı gözlemler yapılıyordu. Bu sinyallerin kaynağının anlaşılması o tarihlerde astrofizik'in en güncel

sorunu idi. İlk zamanlarda bunların uzaydaki bir uygarlığın bize yolladığı yapay sinyaller olduğu dahi öne sürüldü: şaka yollu adı ile "küçük yeşil adamlar teorisi."

t periyodlu sinyali yayan bir cisim en fazla c ($c =$ ışık hızı) büyüklüğünde olabilir, daha büyük bir cismin bir ucundan gelen dalgalar t saniyede öbür ucundan gelenlerle karşılaşacağından t periyodlu temiz bir sinyal elde edilemez. Böylece 0.1 saniye mertebesindeki periyodlar 300.000 km/saniye olan ışık hızı ile çarpılınca, kaynağın en

fazla 30.000 km. boyutlu olabileceğini gösterdi. Bu da kuramsal olanaklar olarak yalnız beyaz cüce ve nötron yıldızlarını bırakıyordu. Beyaz cücelerde periyodik genişleyip büzülme ve buna bağlı olarak ışık şiddetinde değişimler olabileceği biliniyordu. Ancak bu değişim periyodları bir saniyeden daha uzun. Aynı şekilde bir beyaz cücenin kendi eksenini etrafında en fazla saniyede bir kez dönebileceğini de biliyoruz. Böylece beyaz cücelerin periyodik değişimleri yahut kendi etrafında dönmeleri gözlenen pulsarların ancak bir kısmının periyodları ile tutarlı. Ayrıca bu pulsarlar beyaz cüce olsalardı bize yakın olanların ışığını teleskopla görebilmemiz gerekirdi. Pulsarların yavaşlamasına ilgili gözlemler de beyaz cüce modelleri ile tutarlı değil.

Öte yandan kendi etrafında dönen bir gök cisminin merkezkaç kuvvetince dağıtılmaması için yoğunluğu (ρ) periyodu (t) arasında $t \geq 1 / (G\rho)^{1/2}$ gibi bir bağıntı olmalı. Bu bağıntıya t için saniye mertebesinde küçük değerler koyarsak bu hızla dönen bir yıldızın $\rho \cong 10^{12}$ gm/cm³ gibi ancak nötron yıldızlarında bulunan bir yoğunluğu varsa dağılmadan kalabileceğini görüyoruz. Böylece gözlenen pulsar periyodlarının bir nötron yıldızının dönme periyodu olabileceği bilinen teorik modeller arasında tek seçenek olarak kalıyor. Bize gelen sinyallerin periyodik olması şöyle açıklanıyor: yıldızın her tarafının değil, belli bir bölgesinin radyo dalgaları yaydığını düşünelim. Bu "verici" eğer tam yıldızın dönme eksenini üzerinde değilse, yıldız kendi etrafında dönerken ancak belli zamanlarda, her dönüşte bir kez, radyo dalgaları bizim yönümüzde çıkacak, böylece dönme periyodu ile aralıklı sinyaller alacağız (Şekil 6). Pulsarların dönen nötron yıldızları olduğu savı ilk kez 1968'de T. Gold tarafından öne sürüldü. Bu model o günden bu yana bütün gözlemlerle uyum sağlıyor. Pulsarların keşfinden bir süre sonra bunların periyodlarında bir değişim oluyor mu? sorusu da açıklık kazandı. Bütün tek pulsarların (aşağıda ikili sistemlerden de söz edeceğiz) periyodları yavaş yavaş uzuyor, yani pulsarın dönmesi yavaşlıyor. Bu da beklenen bir şey, çünkü radyo dalgaları yaymakla pulsar enerji kaybediyor, bu enerji kaybı dönmeyi yavaşlatıyor. Fakat periyoddaki yavaşlama son derece az, tipik pulsar periyodları bir gün içerisinde saniyenin milyarda bir mertebesinde uzuyor. Pulsarları birer saat olarak düşünürsek, bir yılda ancak saniyenin milyonda biri kadar geri kalan saatler bunlar, yani modern teknolojinin en hassas saatleri olan atomik saatlerle kıyaslanabilirler. (İlk zamanlarda "küçük yeşil adamlar" teorisine yol açan işte bu şaşırtıcı özellikti.) Teorik olarak ancak nötron yıldızlarında dönme periyodunun bu ölçüde yavaş ve düzgün şekilde değişebileceği gösterilebiliyor. Bu da pulsarların dönen nötron yıldızları olduklarının bir diğer kanıtı.

1967'den bu yana bizim galaksimiz (güneşin içinde bulunduğu büyük sistem) Samanyolunda 200'e yakın pulsar bulundu. Bunların hemen hepsi yalnız radyo dalgaları gönderiyor.

Pulsarlardan gelen periyodik sinyalleri dönen bir nötron yıldızının belli kısımlarının radyo dalgalarını yönlendirmesiyle açıkladık. Radyo dalgalarının kaynağı yıldızın manyetik alanı. Yıldızın çevresinde manyetik alanın kuvvetli olduğu ve radyo dalgalarının oluştuğu bölgeye manyetosfer deniyor. Dünyanın manyetik alanının nasıl dönme ekseninden farklı bir eksenine varsa, (başka bir deyişle, dünyanın manyetik kutupları dönme ekseninin belirlediği kuzey ve güney kutuplarından farklıdır) pulsarlarda da dönme eksenine açı yapan bir eksen etrafında simetrik bir manyetik alan olduğu sanılıyor. Böylece pulsarı hızla dönen bir mıknatıs olarak düşünebiliriz. Bunun oluşturduğu yüksek voltajlar yüklü parçacıkları pulsar yüzeyinde ve etrafındaki bölgede ayırıyor ve bu yüklü parçacıklar dönen mıknatısın elektromanyetik alanı içine ivmeli hareket halinde oluyorlar. Radyo dalgaları işte bu yüklü parçacıkların hareketiyle oluşuyor. (Yeryüzündeki radyo istasyonları da verici anten içindeki elektrik akımlarıyla, yani hareket eden yüklü elektronlarla radyo dalgaları yayarlar). Pulsarlarla ilgilenen astrofizikçilerin başlıca uğraşlarından biri yukarıda kaba hatlarıyla özetlediğimiz radyo dalgası yapma mekanizmalarını niceliksel bir şekilde açıklayabilmek. Bu çerçevede açıklanması gereken ve teoriye ışık tutan gözlemsel verilere değinelim. Birincisi, pulsardan gelen radyo dalgalarının tayfları, yani her dalga boyunda ne kadar enerji yayıldığı. İkincisi pulsar periyodu ile tekrar eden sinyalin zamana bağımlılığı (Şekil 5). Sonra pulsarın yavaşlama oranı ve bir de pulsardan gelen dalgaların polarizasyonu. Bütün bu gözlemler pulsarların dönme enerjisini elektromanyetik dalgalara ne şekilde çevirdiklerini anlamamıza yardımcı oluyor. Radyo dalgalarının yanı sıra (gamma), x ışınları ve ışık veren pulsarlar tabii daha da ilginç bir problem (Şekil: 7).

- (1) "Pulsar" kelimesi "pulse" (atış) kökünden geliyor ve birçok dilde bir bilimsel terim olarak yer etmiştir. Dilimizde "atarca" karşılığı öneriliyor.
- (2) Ana kol (main sequence) yıldızları, güneşin de mensup olduğu bir yıldız türü. Bu yıldızlar hidrojeni helyum'a dönüştüren termonükleer reaksiyonlarla enerji sağlıyorlar. Yıldızların çoğunluğu bu ana sınıftan. Bir yıldızın ana kol türünden mi yoksa kırmızı dev, beyaz cüce v.s. gibi bir başka türden mi olduğu parlaklığı ve yaydığı ışığın tayfı (spektrum) incelenerek yani bu ışıktan hangi dalga boylarının (renklerin) ne oranda bulunduğu gözlenerek anlaşılıyor.

(II. Bölümü gelecek sayıda)