

ASTROFİZİKTE SON GELİŞMELER

Bengt STRÖMGREN

(Geçen sayıdan devam)

1958 - 78 döneminin başlangıcında, yıldızsal evrimin bu aşaması kısmen anlaşılmış bulunmaktaydı. Yıldızların içinde yer alan maddelerin yüksek sıcaklıktaki özelliklerine ilişkin yeni fiziksel bulgulara ve geniş ölçekte yardımcı bilgisayar hesaplarına dayanarak yapılan araştırmalar sonunda şimdi çok daha ayrıntılı bir görünüm elde edilmiştir.

Kütlesi güneşinkine eşit olan bir yıldızın evrimini gözönüne alalım. Asal-dizi dönemi sona erince, yıldız bir bütün halinde genişleyecektir. Bununla birlikte, merkez kısmı büzülecek ve bu bölgede sıcaklık asal-dizi dönemindekinden daha yüksek değerlere erişecektir. Bunun bir sonucu olarak, asal-dizi döneminde ve helyum çekirdeğinin dışında oluşan ve hâlâ büyük ölçüde hidrojen barındıran tabakalarda sıcaklık, hidrojenin helyuma dönüşme hızını hissedilir bir düzeye çıkaracak ölçüde artacaktır. Bu, helyum çekirdeğinin hemen dışındaki hidrojen bakımından zengin olan tabakalarda da bir nükleer enerji üretiminin başlayacağı anlamına gelir. Bu tabakadaki hidrojenin büyük bir kısmı, asal-dizi döneminde çekirdek bölgesinde olduğu gibi, yanmış olacaktır. Bununla birlikte iç yapı merkezden uzak olan ve içinde hidrojen bulunan bölgelerde de, yeter düzeyde sıcaklıklar elde edilecek şekilde değişecektir. Böylece enerji üreten tabakalar dışarı doğru önemli ölçüde hareket edecek ve sonunda helyum çekirdeği büyüyecektir. İç yapı, değişmesini sürdürür, yarıçap yıldızın yaşı ile birlikte artar, iç bölgelerde yoğunluk sıcaklık ile birlikte arttığından yıldızın ortalama yoğunluğunda bir azalma görülür. Bu temel değişimler, yıldızın kırmızı dev dönemine doğru olan bir evrimini vurgulamaktadır.

Kütlesi güneşinkine eşit olan ve kırmızı dev döneminde bulunan bir yıldızın bundan sonraki yaşamında iki önemli gelişme yer alır. Biraz önce açıklandığı gibi, merkez bölgesindeki sıcaklık

yıldızın yaşı ile birlikte artar ve helyum çekirdeğinde bu sıcaklık 200 milyon dereceye erişince helyum, hissedilebilir bir hızla, karbona dönüşmeye başlar. Sözü edilen bu nükleer tepkimeler 1958'den önce anlaşılmış olup 1958 - 78 döneminde bu konuda daha ileri araştırmalar yapılmıştır. İki helyum çekirdeği (yani α partikülleri) çarpışarak, atom ağırlığı 8 olan, kararsız bir çekirdek meydana getirir. Eğer sıcaklık yeteri kadar yüksek ise kararsız çekirdeklerin önemli bir kısmı, bölünmeden önce, üçüncü bir helyum çekirdeğini yakalamayı başarır. Üçlü α tepkimesi olarak isimlendirilen bu işlem helyum çekirdeğinde çok önemli bir nükleer enerji üretimine yol açar; diğer bir deyimle, bu döneme erişen bir yıldız yeni bir enerji kaynağına sahip olur. Bununla birlikte kütlesi güneşinki kadar olan bir yıldız bu koşullar altında kararsızdır zira, nükleer enerji üretimi, serbest elektronların yozlaşmış bir gaz oluşturduğu, yüksek sıcaklıktaki bir plazmada yer alır. Böyle bir gazda basınç, pratik olarak, sıcaklıktan bağımsızdır. Bu hal ortaya çıkınca, asal dizi döneminde de gözlenen ve nükleer enerji üretimini kararlı bir düzeyde tutan, bir sıcaklık kontrol mekanizması oluşmaz. Bunun sonucu olarak nükleer enerji üretiminde çok hızlı bir artış olur ve bu artış sonunda anı helyum parlaması adı verilen bir olaya sebep olan bir ısı kaçağı ortaya çıkar. Bunların sonunda yıldızın iç yapısı hızla değişir, yıldızın yarıçapı çok ufalarak ışın gücü azalır ve helyum çekirdeğindeki elektron gazının yozlaşması artarak yıldız helyum gazını, kararlı koşullar altında, karbona dönüştürür. Asal-dizi döneminde geçen bu olaylar farklı koşullar altında tekrarlanır. Çekirdekteki helyum birikimi zamanla tamamen tükenir ve enerji üretimi çevredeki helyum tabakasına doğru hareket eder, bu arada yıldız tüm olarak kırmızı dev dönemine yönelir, yani, yıldızın bir bütün olarak, ortalama yoğunluğu azalırken merkez bölgelerinin yoğunluğu artar. Son yıllar-

da yapılan bilgisayar hesapları yoluyla kırmızı dev dönemine yönelik ikinci evrim incelenmiş, hem hidrojen bakımından ve hem de helyum bakımından zengin olan enerji üretici tabakaların gelişmesiyle ilişkili bir dizi güç sorunlar, ve ısı kararsızlığının geçici karakterdeki oluşumu açıklığa kavuşturulmuştur.

Kırmızı dev döneminin son bölümünde oluşan ikinci gelişme, yıldız yüzeyinden çevresindeki uzaya aktarılan maddenin yolaçtığı önemli kütle kaybıdır. Olayın böyle olduğu sonucuna gözlemlere dayanılarak varılmıştır: 1) Spektroskopik araştırmalar ve yıldız çevreleyen kabuğun danelerine ilişkin olarak yapılan kızılötesi fotometre ölçümleri yoluyla bazı kırmızı devlerin genişleyen madde tabakaları ile çevrili olduğu gösterilmiştir. Kütle akımının şiddetine ilişkin tahminlerle söz konusu evrimsel dönemin süresine ilişkin kuramsal hesaplar birleştirilince, yıldız kütlelerinin önemli bir bölümünün kaybolduğu ortaya çıkmış bulunmaktadır. 2) Gezegen tipi bulutsu adı verilen önemli bir sınıf gök cisminin incelenmesi şu fikri vermektedir: ihmal edilemeyecek kütlede, ışık saçan ve genişleyen bir kabukla çevrili, yüzey sıcaklığı yüksek ve oldukça yoğun bir yıldızdan ibaret olan bu tipten bir cismin kökeni bir kırmızı devdir. Kırmızı dev birisi, bu devin çekirdeğini içeren yoğun bir yıldız, ötekisi yavaş yavaş (örneğin 30.000 yıl içinde) genişleyerek kendini kuşatan uzay içinde dağılıp kaybolan çevreleyici kabuktan ibaret iki parçaya ayrılmış ve böylece gezegen tipi bir bulutsu oluşmuştur. Kütleli fazla olan yıldız daha da büyülür ve nükleer enerji kaynağının tamamen tükenmesi ile ışımaya gücü çok düşük, yarıçapı son derece küçük (bir yıldız yarıçapının yüzde biri mertebesinde) ve ortalama yoğunluğu çok fazla (her santimetre kübü 10^6 gr.) olan ve beyaz cüce denilen bir yıldız haline dönüşür. 3) Aralarında Hyades kümesi de bulunan bir kaç galaksi kümesinin, beyaz cüceleri yani, şimdi anlatıldığı biçimde bir evrimin ürünü olan yıldızları barındırdığı bilinmektedir. Şimdi bir galaksi kümesindeki bütün yıldızların aşağı yukarı aynı yaşta oldukları varsayılabilir, ve söz konusu yaş, ışımaya gücü ve kütleli en fazla olan küme yıldızlarının gözlemlenen evrim aşamasından, oldukça kesin olarak, elde edilebilir. Yaş bilince evrimlerini bitirip beyaz cüce halini alan bu yıldızların ilk kütlelerinin ne olduğu tahmin edilebilir. Bu kütle, belirli bir minimumdan daha fazla olmalıdır; yoksa yıldızın beyaz cüce aşamasına ulaşması için evriminin çok yavaş sürmesi gerekirdi. İlk kütlelerin; kütleli tipik olarak güneşinkinin 0,6 katı olan (Chandrasek-

har'ın 1,4 güneş kütleli limitinden her zaman daha az) beyaz cüce kütleli ile karşılaştırılması, çok önemli bir kütle kaybına uğrandığını göstermektedir.

Kırmızı devlerde kütle kaybı hızının niteliksel ve kuramsal hesapları henüz yapılmamıştır, ancak olay genel olarak anlaşılmıştır. Bu olay asal dizi yıldızlarının yüzey, çekimi ile karşılaştırılınca, kırmızı devlerin yüzey çekimlerinin bir hayli düşük olduğu gerçeğine bağlanabilir. Kırmızı devlerde dıştaki kalın konveksiyon bölgelerinin bulunması da bununla ilişkilidir.

Kütlesi güneşinkine kadar olan bir yıldızın evrimini açıkladık. Ancak, evrimsel dizilerin sayısal hesapları, ilk kütleli güneşinkinin 0,7 ile 2 - 2,5 katı arasında değişen cisimler için de genel evrim şemasının aşağı yukarı aynı olduğunu göstermiştir. Kütleli güneşinkinin 3 veya 4 katına kadar olan cisimlerin de aynı şemayı izlemeleri ve özellikle burada da son ürünün bir beyaz cüce olması tamamen mümkündür. Gerçekte biraz önce değinilen galaksi kümeleri savı da bu sonucu vermektedir, ve bazı çift yıldızların, yaklaşık aynı yaşta oldukları varsayılan öğeleri üzerinde yapılan benzer araştırmalar da bizi aynı sonuca götürmektedir. Açıklama şöyle olabilir: kırmızı dev aşamasındaki fazla kütleli yıldızların kütle kaybı o kadar büyüktür ki, bunlar başlangıç kütleleri daha küçük olan yıldızlara benzer bir evrimsel çizgi izlemek zorunda kalırlar.

Ancak kütleli güneşinkinin 2,3 veya 4 katı olan yıldızlar incelenirken önemli bir noktaya dikkat edilmelidir. Burada asal-dizi döneminin bitiminden sonra yıldız kırmızı dev dönemine götüren evrim çok hızlıdır. Bu evrim, kütleli güneşinkine kadar olan yıldız için yavaş yavaş gerçekleştiğinden, şimdiki yıldızlarda örneğin kümeler içinde yer alan ara-aşamasındaki yıldızlar iyice temsil edilirken, kütleli daha büyük olanlar için böyle bir durum geçerli değildir. Asal-dizi yıldızları ile kırmızı devler arasında belirgin bir ayırım vardır ve buna Hertzsprung ayırımı denir. Hyades kümesi yıldızlarında gözlenmiş olan ışımaya güçleri ve yüzey sıcaklıklarının dağılımı bu noktanın göstergesidir. Burada, ışımaya miktarları en fazla olan yıldızlar çok ayrı iki gruba bölünür yani, spektral tipi A asal-dizi yıldızları ve spektral tip K kırmızı devler.

Şimdi daha büyük kütleli yıldızların asal-dizi sonrası evrimi sorununa yöneliyoruz. Kütleli güneşinkinin 4 - 8 katı olan yıldızları gözönüne alalım. Yukarıda açıklandığı gibi bunlar asal-diziden çok hızlı bir geçişle kırmızı dev dönemine ulaştıklarında daha az kütleli yıldızlardan en

belirgin farklılıkları anî helyum parlamasının olmayışdır. Bunun nedeni yıldız çekirdeğindeki helyumun karbona dönüşümünün, elektron gazının yozlaşmadığı sıcaklık ve basınçlarda olmasıdır yani, hiçbir ısı kaçağı yoktur ve helyum kararlı bir şekilde yanmaktadır. Bu koşullarda helyum yavaş yavaş tükenir ve yapı, çekirdek sıcaklık ve yoğunlukların daha da yükselmesi yönünde değişir. Bir sonuca varılmıştır, yaklaşık 300 milyon derece sıcaklığında 2×10^9 gr. cm^{-3} yoğunluğunda karbon çekirdekleri birbirleriyle tepkileşince Na^{23} , Ne^{20} , ve Mg^{24} gibi daha ağır çekirdekler oluşur. Karbon çekirdeklerinin bir kısmı, bir helyum çekirdeğinin yakalanması yolu ile, oksijen çekirdeklerine dönüşür. İki oksijen çekirdeğinin kaynaşması ise Si^{28} ve daha ağır çekirdekleri oluşturur.

Şimdi, gözönünde bulundurduğumuz karbon çekirdeklerinin birbirleriyle tepkileştikleri noktada ilk kütleleri güneşinkinin 4 - 8 katı arasında olan yıldızların evrimini, yaklaşık bir kesinlikle, izlemek mümkün olmuştur. Bu sonuç, yıldızın içinde oluşan kimyasal ve fiziksel değişimleri, geniş ölçüde nümerik hesaplarla örnekleyerek sağlanmıştır. Bu sayısal süreç içerisinde nisbeten küçük, birbirini izleyen çok sayıda zaman adımları alınmaktadır. Nükleer fizikteki verilerin kullanılabilmesi burada büyük önem taşımaktadır. Bu veriler, başlıca nükleer işlemler için tepkime enkesitleri ve daha önemlisi, nötrino yayma hızlarının yıldız maddesinin yoğunluk ve sıcaklığının bir fonksiyonu olarak bilinmesidir. Evrimin bu aşamasında yayılan nötrinoların enerjileri vardır ve bu enerjiye karşı gelen yıldız maddesi ile etkileşim enkesitleri, nötrinoların yayımdan sonra yıldız içinden geçerek çevredeki uzaya çıkabilmesini sağlayacak kadar küçüktür. Bu, yıldız çekirdeğindeki maddenin önemli oranda enerji kaybına ve dolayısıyla evrim için önemli sonuçlara yol açar.

Kütlesi güneşinkinin 4 - 8 katı olan yıldızların karbon - karbon tepkimesi aşamasına gelindiğinde, sıcaklık (3×10^8 derece) ile karşılaştırılınca yoğunluğu (2×10^9 gr/ cm^3) okadar yüksektir ki elektron gazı çoktan yozlaşmıştır. Bu demektir ki bu kez anî helyum parlamasında anlatılardan çok daha şiddetli bir ısı kaçağı ve anî karbon parlaması ortaya çıkar. Burada, kuramsal hesaplar yolu ile, tatmin edici cevaplar alınmamış bir durumla karşı karşıya olduğunun vurgulanması gerekir. Görünüşe göre iki olasılık vardır: ya yıldız, maddenin tüm uzaya dağılması şeklinde patlayacak, ya da yıldızın sadece dış kısmı patlayıp kalıntı bir yıldız olarak geriye bir çekirdek

kalacaktır. Her iki durumda da bir süpernova patlaması görülmeli ve ikinci durumda ise ayrıca son derece yoğun yıldız biçiminde bir kalıntı gözlenmelidir. Bu yoğun yıldızın konumu maddenin, bunu kuşatan yıldızlararası uzaya çok şiddetli bir hız mertebesinde ($10^3 - 10^4$ Km/Sn) fırlatılmasıyla oluşan ve zamanla genişleyen bulutsunun ortasına yakın bir yerdedir.

Bu noktada kuramsal hesapların sonuçlarının betimlenmesinden başlayarak gözlemlere dönelim. 1958 - 78 döneminde yapılan en ilginç buluşlardan biri, radyoastronomlar tarafından gözlenmiş ve pulsarlar adı verilmiş olan son derece yoğun nötron yıldızlarıdır. Pulsarlar, yayınladıkları ışımaların şiddeti periyodik olarak değişen noktasal radyo kaynakları şeklinde ortaya çıkarlar. Bazı hallerde bu periyod bir saniyeden daha kısa, diğer hallerde ise bu birkaç saniyedir. Bu periyodların büyük bir bölümü 0,2 ve 2 saniye arasındadır. Periyodlar, göze çarpacak bir sabitlik gösterirlerse de, çok sağlıklı gözlemler, çok küçük asırlık değişmelerin varlığını ortaya çıkarmıştır, ve böylece periyodda bir sıçrama görülür. Gerçek şudur ki, periyodlar kısadır ve sabit kabul edilebilir. Radyo yayınları, yarıçapı çok küçük, hatta bir beyaz cücenin yarıçapından bile küçük olan ve dönen bir yıldızdan kaynaklanmaktadır. Ayrıntılı incelemeler pulsarların, yarıçapları 10 kilometre civarında olan, bir saniye mertebesinde bir periyodla dönen ve yüzeylerinde güçlü bir magnetik alanı bulunan bir tür yıldız olduklarını ortaya koymuştur. Radyo yayınları, dönme ile magnetik alanın birleşmesinden oluşmaktadır.

Bazı hallerde pulsar, bir çift yıldızın ögesi olur, bu durumda pulsarın kütlesi hakkında bir fikir edinilebilir. Bu gibi hallerde kütle bazen 1 güneş kütlesi mertebesinde olup bu, tipik bir beyaz cücenin kütlesinden büyüktür. Bilinen kütle ve yarıçaptan hareket ederek pulsardaki madde yoğunluğunun yaklaşık 10^{14} gr./ cm^3 olduğu bulunmuştur. Yoğunluğu çok fazla olan maddenin özelliklerine ilişkin olarak yapılan kuramsal hesaplar, bir pulsarın içinin büyük bir bölümünün, nötronlardan oluşan bir madde halinde olduğunu göstermiştir. Buna göre *nötron yıldızı* değimi bu gibi gök cisimlerini tanımlar.

150'den daha fazla pulsar bulunmuştur. Burada vengeç bulutsusunun merkezinde gözlenmiş olan pulsardan elde edilen sonuçlar verilecektir, zira bu sonuçlar süpernova patlaması sorusu üzerinde özellikle büyük bir öneme sahiptir.

Yengeç bulutsusu yaklaşık 2000 parsek uzaklığında yer alan bir galaktik cisimdir ve 6 dakikalık bir yay uzunluğuna eşit bir açılmal genişliği ve birkaç parseklik bir doğrusal uzunluğu vardır. Ayrıntılı ölçmeler, bulutsu maddenin bütün doğrultularda, gayet belirgin bir merkezden uzaklaşacak şekilde, saniyede 1000 kilometrelik bir hızla yayıldığını göstermiştir. Yayılmanın sabit bir hızla başladığı varsayılırsa bulutsunun, 800 yıldan az bir süre önce bir patlama sonucu oluştuğu anlaşılır. Yeni yıldızlara ilişkin son kayıtlar, 1054 yılında yengeç bulutsusunun merkezine isabet eden yerde çok parlak bir nova'nın görüldüğünü bildirmektedir. Yeni yıldızın tahmin edilen parlaklığından ve uzaklığından bunun bir süpernova olduğu sonucuna varılmıştır. Olayların bağlantılı olduğu açıktır. Eğer ivmenin görece küçük olduğu varsayılırsa, gözlenen genişleme hızı 1054 yılındaki başlangıca uygun düşmektedir.

Genişleyen yengeç bulutsusunun merkezinde, 0,03 saniye periyoduyla yayın yapan bir pulsar ve bunun, aynı zamanda, eşit periyodla ışık saçan bir ikizi yer almaktadır. Bunun, bir

nötron yıldızı olduğuna şüphe yoktur. Böylece, 1054 yılındaki süpernova patlamasının sonunda genişleyen bir bulutsu ve bir nötron yıldızı ortaya çıkmış olmaktadır.

Galaksimiz içerisindeki süpernova patlamalarına ve nötron yıldızlarının oluşum hızlarına ilişkin istatistiksel araştırmalar bu olayların birbirleriyle bağlantılı olduğu savını desteklemektedir. Gerçekte, istatistikler kesin bir doğruluk göstermezler, ve olayların ayrıntılı olarak karşılaştırılması oldukça güçtür, zira, en azından iki tip süpernova patlaması bilinmektedir. Süpernovaların büyük bir bölümü, kütlesi fazla ve yoğun olan yıldızların patlaması ile ilişkilidir, fakat, özellikle çok iyi bir şekilde incelenmiş olan yengeç bulutsusu örneğinde olduğu gibi, patlamış olan yıldızın kütlesi hakkında bir belirsizlik vardır. Bu durumda, hernekadar çok önemli bir ilişki bulunmuşsa da, geçmişte ne olduğu ve kütlesi güneşinkinin 4 - 8 katı arasında olan yıldızların son kaderi hakkındaki sorulara kesin bir cevap henüz verilememiştir.

Çeviren: Prof. Dr. Sacit TAMEROĞLU
(Sonu gelecek sayıda)

- **Eğer kelimeler doğru değilse kavramlar da doğru değildir. Eğer kavramlar doğru değilse, mantık karma karışık olur. Mantığın karma karışık olduğu zaman, ulus huzursuz olur. Ulusun huzursuz olduğu zaman, toplumun düzeni bozulur. Toplumun düzeni bozulunca da devlet tehlikededir.**

KONFUÇIUS

- **Yaşamda başlıca tehlike çok önemli olmaktadır.**

Alfred ADLER

- **Dar görüşlü insanlar bazan bir meselede haklı olabilirler, fakat hiç bir zaman esaslarda değil.**

SCHOPENHAVER

- **Kimi kişilere göre sır saklamak, söylerken sesini alçaltmaktır.**

Franklin P. JONES

- **Başkasının izinde yürüyen iz bırakmaz.**

Joan I. BRANNON

- **Yalnız bir deli suyun ne kadar derin olduğunu iki ayağıyla anlamağa kalkar.**

Afrika Özdeyişi

- **Bir devleti iyi yönetmek için çok dinleyip az söylemeli.**

RICHELIEU