

2. TARİHÇE

18.yy'ın sonlarına doğru, o günlerde yayınlanan çalışmalardan da anlaşıldığı gibi Güneş'in bize en yakın ve normal bir yıldız olduğu kabul edilmiştir. Gökyüzünün en parlak yıldızı olan Sirius için ölçülen paralaks değerinin bir yay saniyesinden çok az küçük olması nedeniyle, bu yıldızın çok uzakta olduğu bilinmekteydi. Bileşenler arasındaki açısal ayrıklığın (uzaklığın) sadece birkaç yay saniyesi olduğu bazı görsel çift yıldızlar bulunmuştu. Bileşen yıldızların birbirlerine fiziksel olarak bağlı olduğuna dair herhangi bir delil yoktu. İlk defa William Herschel, yıldızların gözlenen ışınım güçlerini dikkate alarak, ters-kare yasasından, uzaklıklarının belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Bu amaçla kız kardeşi olan Caroline ile birlikte uzun süreli gözlemler yapmış ve 1802-1803 yıllarında 40 yıldan fazla süreye dağılmış gözlemlerini yayınlamıştır. Mitchell (1767), olasılık argümanını kullanarak “çok yüksek bir olasılıkla, hatta kesinlikle, bir veya daha fazla yıldızdan oluşan bu türden çift yıldızların gerçek anlamda birbirlerine yakın yıldızlar olabileceği” vurgusunu yapmıştır. Fakat Herchel bu düşünceye ihtiyatlı yaklaşmıştır.

Ancak 40 yıllık gözlemsel verinin birikmesinin ardından, bazı görsel çift yıldız sistemlerinde bileşen yıldızların gökyüzündeki görelî hareketlerinin Newton yasaları gereğince yörüngesel hareketlerden kaynaklandığı ispatlanabilmiştir. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*'da yayınlanan bir çalışmada, yıldızlarda görülen görelî hareketlere neden olabilecek başka olası açıklamalar dikkate alınmıştır. Gözlemi yapılan bazı çift yıldızların yörünge dönemleri 300 yıl civarında olduğundan, ancak 40 yıllık bir gözlem ile yıldızların durum açılarındaki değişimlerden onların yörüngesel hareketler yaptığı kanıtlanabilmiştir.

Herschel (1803), Castor adıyla bilinen çift yıldız sisteminde 43 yıl 142 gün'lük bir gözlem zamanında durum açısından yaklaşık olarak $45^{\circ}39'$ lık değişiminin olduğunu, buradan sistemin yörünge döneminin 342 yıl olabileceği hesaplanmıştır. Modern yöntemlerle hesaplanan yörünge dönemi 420 yıldır (Rabe 1958). Bu durum, görelî olarak kısa zaman aralığına dağılmış gözlemsel verilerden yararlanarak yörüngenin bütün olarak belirleyebilmenin zorluğunu net olarak göstermektedir. Herschel tarafından gözlemlerini yapılan Castor'un bileşenlerinin ilk gözlemlendiği konuma tekrar gelebilmesi, ancak iki yüzyıl geçtikten sonra mümkün olacaktır.

Herschel (1802), *çift yıldız* terimini literatüre sokan ilk kişi olmuştur ve ifadesi aşağıdaki gibidir;

“Şayet bir yıldız çok büyük uzaklıklarda başka bir yıldızın arkasında bulunuyorsa, fakat bakış doğrultumuza göre çok küçük de olsa bir yer değiştirme gösteriyorsa, bu durumda bunun bir çift yıldız olabileceğini söyleyebiliriz. Fakat bu türden yıldızlar birbirlerinden tamamen bağımsız da olabilirler ki bu durumda bunlara çift yıldız diyemeyiz. Eğer bunun aksine iki yıldız gerçekten birbirine yakın konumlarda bulunuyorsa ve aynı zamanda birbirleri ile madde alışverişinde bulunmadan kendi çekim kuvvetleri ile bozulmadan kalabiliyorsa bunları ayırık sistem olarak adlandırabiliriz. Birbirlerine çekimsel olarak bağlı olan iki yıldızlı bir yapıyı çift yıldız olarak artık dikkate almamız... Çekim yasası gereği iki yıldızın birbirine çekimsel olarak bağlı olup olmadıklarını, ortak kütle merkezleri etrafında çizdikleri dairesel veya elips yörüngelerini inceleyerek ortaya çıkarmak çok zor değildir. Bu gibi sistemlerde yıldızlar her zaman birbirlerine zıt yönde ve birbirlerine paralel şekilde hareket etmelidirler. Çeşitli nedenlerle bozulmadıkları sürece bu türden sistemler birbirlerine bağlı olarak kalacaklardır.”

19.yy boyunca yoğun bir şekilde yeni görsel çift yıldız aramaları sürdürülmüştür. Bu konuda dikkat çeken araştırmacılar; J.South, J.Herschel, F.Bessel, F.G.W.Struve, O.Struve ve S.W.Burnham'dır. Son yayınladıkları katalogları olan “*Catalogue of Double Stars*” da kutup uzaklığı 121° ye kadar olan bölge içerisinde bulunan 13665 adet sistem hakkında bilgi bulunmaktadır. Başkaları ile birlikte R.G. Aitken bu türden araştırmalara devam etmiş ve çok sayıda çift yıldızın sürekli gözlemlerini 20.yy'a kadar yapmıştır.

Bu çalışmalarını “*New General Catalogue of Double Stars*” ismiyle kutup uzaklığı 120° ye kadar bölge için Burnham kataloğunun uzantısı olarak 1932 yılında yayınlamıştır. Aitken’in “*The Binary Stars, 1935*” isimli kitabı, yayınlandığı zamana kadar keşfedilmiş olan ve görsel çift yıldızlar üzerinde yapılmış çalışmaları anlatan tarihsel bir kitap niteliğine sahiptir. Daha sonra Jeffers, van den Bos ve Greeby (1963) tarafından “*Index Catalogue of Visual Double Stars – IDS*” ve Worley ile Heintz (1983) tarafından “*Fourth Catalogue of Orbits of Visual Binary Stars*” yayınlanmıştır. Ayrıca bu kişiler U.S. Naval Observatory tarafından oluşturulan veritabanının güncellenmesi konusunda çalışmalar da yapmışlardır. Dommanget ve Nys, 62000’den fazla sistemi içeren yeni bir kataloğun oluşturulması çalışmalarını birlikte yürütmektedirler ve bu katalog içerisinde Hipparcos uydusunun verileri de yer almaktadır. McAlister ve Hartkopf (1992) tarafından yayınlanmış olan ve görsel ve çoklu sistemler üzerine yapılan araştırmalar konusunu içeren derleme çalışma, görsel çift yıldızlar konusunda önemli bilgiler içermektedir.

Görsel çift yıldızlarda bileşen yıldızların birbirlerine göre yer değiştirmelerinin dikkatli ölçümleri sayesinde Newton’un evrensel çekim yasası ile hareket yasalarının geçerliliğinin test edilebileceği fark edilmiştir. Bileşen yıldızlardan birine göre, diğer bileşenin görelî yörüngesinin gözlemsel olarak elde edilmesi, durum açısı ve ayrıklık değerlerinden matematiksel olarak belirlenmesi, ilk kez Savary tarafından 1827 yılında ortaya konmuştur. Ardından aynı konuda kullanılabilecek başka yöntemler ve gelişmeler ortaya çıkmıştır ki bunlardan en önemlisi Thiele (1883) ve Innes (1926) tarafından, birbirlerinden bağımsız olarak ortaya koydukları yöntem olmuştur. Günümüzde bu yöntem Thiele-Innes Sabitleri adı verilmektedir.

Görsel çift yıldızlar, Yer’e olan uzaklıkları bilinen sistemler için Güneş’imiz dışında kütlelerinin doğru bir şekilde hesaplanabildiği ilk yıldızlar olmuştur. 3.ncü Kepler yasası, yörünge dönemi P ile görelî yörünge büyüklüğü olan a ’yı, sistemin toplam kütlelerine bağlayan bir ifadedir,

$$G(m_1 + m_2) = 4\pi^2 a^3 / P^2 \quad (1.2)$$

burada G , evrensel çekim sabitini göstermektedir. Astrometrik verilerden, bileşen yıldızlardan birinin diğerine göre yer değiştirmesi yani bileşen yıldızların birbirlerine göre konumları belirlenir. Görelî yörüngenin açısal büyüklüğü ile yörünge dönemi dikkate alındığında, yörüngenin üç boyutlu uzaydaki konumunu belirten üç adet açısal büyüklük bulunur. Güneş’e yakın olan görsel çift yıldızların paralaks değerleri bilindiğinden, çift yıldız yörüngesinin lineer büyüklüğünü hesaplamak ve ardından az önce gördüğümüz denklemi kullanarak sistemin toplam kütlelerini hesaplamak mümkündür.

Fakat bileşen yıldızların ayrı ayrı kütlelerinin hesaplanması, görelî yörünge kullanılarak elde edilemez. Bileşen yıldızların gökyüzü düzlemi üzerindeki yörüngesel hareketlerinin belirlenebilmesi için astrometrik gözlem yönteminde öncelikli olarak bir gelişme yaşanmalıydı ki bu sayede sistemin kütle oranı m_2/m_1 doğrudan hesaplanabilirdi. 1900’lü yıllarda bu türden birkaç çalışma Boss tarafından gerçekleştirilirken Aitken (1935), 16 adet görsel çift yıldızın bileşenlerinin ayrı ayrı kütle değerlerini yayınlamıştır.

Belirlenmiş çok sayıda görsel çift yıldız olmasına rağmen bunların yörünge dönemleri onlar ile yüzlerce yıl arasında değişmektedir ve bu ise bileşen yıldızların kütlelerinin ayrı ayrı belirlenmesi işleminin çok uzun zaman ve emek alacağına bir göstergesi olmaktadır. Bu alanda daha hızlı çözümlerin yapılabilmesi için bir gelişmeye ihtiyaç bulunmaktaydı ki bu gelişme yörünge dönemleri gün hatta saatler mertebesinde olan yakın çift yıldızların keşfedilmesi ile ortaya çıkmıştır.

Bileşenleri birbirine yakın fakat ayrı ayrı görülemeyen sistemlerin varlığı bileşenlerin birbirlerini örtmeleri nedeniyle parlaklık değişimi göstermelerinden anlaşılmıştır. Bu tür örten değişenlerin ilk keşfinin 1783 yılında John Goodricke tarafından β Persei, diğer bir adıyla Algol'un parlaklığındaki değişim üzerine yaptığı çalışmaya atfedilmektedir. Hoskin (1982)'in tarihsel kayıtlar üzerinde yaptığı dikkatli incelemeler sonucunda Goodricke'in bu buluşuna bir ortak çıktığını belirtmek ilginç olacaktır. Bu konuda ilk keşfin Edward Pigott tarafından yapıldığı anlaşılmış, fakat uzun yıllardır Goodricke'in bu keşfi yaptığı kabul edilegelmiştir.

Goodricke (1783), Algol'un parlaklığının yaklaşık 3.5 saat süren 2 kadirlik bir parlaklık azalması gösterdiğini ve bu parlaklık değişiminin dönemli olarak $P=2$ gün 20.6 saat'te bir tekrarlandığını göstermiştir. Ardından bu değişimin açıklaması olarak "Algol'un etrafında büyük bir cismin dolanıyor olabileceği veya Algol'un kendi hareketi nedeniyle üzerinde bulunabilecek leke benzeri yapıların dönemli olarak Dünya'ya yönelmesi" nedeniyle parlaklığın değişebileceğini ileri sürmüştür. Bu açıklamasından, Algol'deki ışık değişiminin doğrudan bir yıldızın başka bir yıldız tarafından örtülmesi sonucunda gerçekleşip gerçekleşmediğine tam olarak karar veremediğini görmekteyiz. Aslında modern dünyamızda artık Goodricke'in her iki çıkarımının da doğru olduğunu bilmekteyiz, bir farkla soğuk lekeler Algol'de yoldaş bileşenin yüzeyinde bulunmaktadır.

19.yy'da tayfın astronomideki önemini ortaya çıkaracak ilk adımlar atılmıştır. Fraunhofer (1815)'in Güneş'in tayfı üzerinde yaptığı çalışma ile başlayan ve Kirchoff ile Bunsen'in 1840'larda yaptıkları ayrıntılı laboratuvar çalışmaları ile devam eden bu süreç, tayfsal yöntemlerin astronomide devrim yapmasını sağlamış ve buna paralel olarak fotoğrafik gözlem yöntemindeki gelişmeler sayesinde, yıldızların tayfsal gözlemlerinin yapılabilmesi ile sürdürülmüştür.

Fotoğrafik tayfsal gözlemi yapılan ilk yıldız Huggins tarafından 1872 yılında gözlenen Vega olmuştur (Vega, çıplak gözle rahatlıkla görülebilen bir parlaklığa sahiptir). Bu teknolojik gelişme, ilk defa C. Doppler tarafından 1842 yılında tartışılan bir konunun, Doppler-Fizeau etkisi, açıklanabilmesini sağlamıştır. Özellikle H. Fizeau'nun 1848 yılında bir ışık kaynağının bakış doğrultumundaki V hızının, tayfsal çizgilerin λ dalgaboyu ile laboratuvar ortamındaki λ_0 değeri ile arasındaki değişimden, $(\lambda-\lambda_0)/\lambda_0=V/c$ ifadesi ile bulunabileceğini göstermesi çok önemli gelişmelerin yaşanmasına yol açmıştır. Burada c ışık hızını göstermektedir. V hızı c ışık hızına yakın değerler alması durumunda, denklem üzerinde göreliliğe ilişkin bir düzeltme yapılması gerekmektedir ki bu haliyle relativistik olmayan hızlar için kullanılabilen bir denklemdir.

Elektromanyetik tayfın görünür bölgesinde ($\lambda \approx 500$ nm), $V=70$ km/sn'lik bir hızın gözlenebilmesi için $(\lambda-\lambda_0)$ farkının 0.1 nm olması gerekmektedir. Açıkça bu düzeyde dalgaboyundaki bir değişimin ölçülebilmesi için tayfın çok dikkatli bir şekilde ve kararlı bir tayfçeker ile alınmış olması gerekmektedir. Bu teknolojik güçlüklerin üstesinden gelinmesi çok sayıda astronomun yıllarını almıştır ki bunlar arasında Sir William Huggins, E.C.Pickering, H.Vogel ve W.W. Campbell anılması gereken isimlerdir. Buradaki düşünce gayet nettir ve ölçümlerin yapılabilme olasılığı, yıldızların üç boyutlu uzaydaki hareketlerinin bakış doğrultumundaki dikine hızı ile cismin uzay hareketinin bileşkesinden ve cismin uzaklığını gösteren paralaks açısı ile parlaklıklarına bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Yakın çift yıldızlar üzerinde yapılan çalışmalar için dönüm noktası 1889 yılında Pickering'in mercekli tayfçeker kullanarak gözlediği Mizar'ın tayfındaki çizgilerin bazen çift bazen tek olarak görüldüğünü belirtmesi ile olmuştur. Fakat bu konuda ilk ispat Vogel (1980) tarafından Algol'un gerçekte

bir çift yıldız olduğunu, baş bileşenin birinci minimuma girerken bizden uzaklaştığını ve ikinci minimuma girerken ise bize doğru yaklaştığını ispatlaması ile gerçekleşmiştir. Başyıldızın bakış doğrultumuza göre izdüşüm yörünge hızı, güncel değerlerde sadece 44 km/sn kadardır. Elektromanyetik tayfin mavi bölgesinde (4200 Å) bu hız değeri ile çizgiler sadece 0.62 Å veya 0.62×10^{-10} m, kadar bir kaymaya karşılık gelir. Bu sayısal değerler, günümüzde Güneş benzeri yıldızlar için normal tayfçekerler ile 1 km/sn lik hata ile veya son zamanlarda, Güneş dışındaki yıldızlar için gerçekleştirilen gezegen araştırmalarında ulaşılan 1 m/sn'lik (Mayor ve Queloz 1995) hata değerleri karşılaştırıldığında önemli hale gelmektedir.

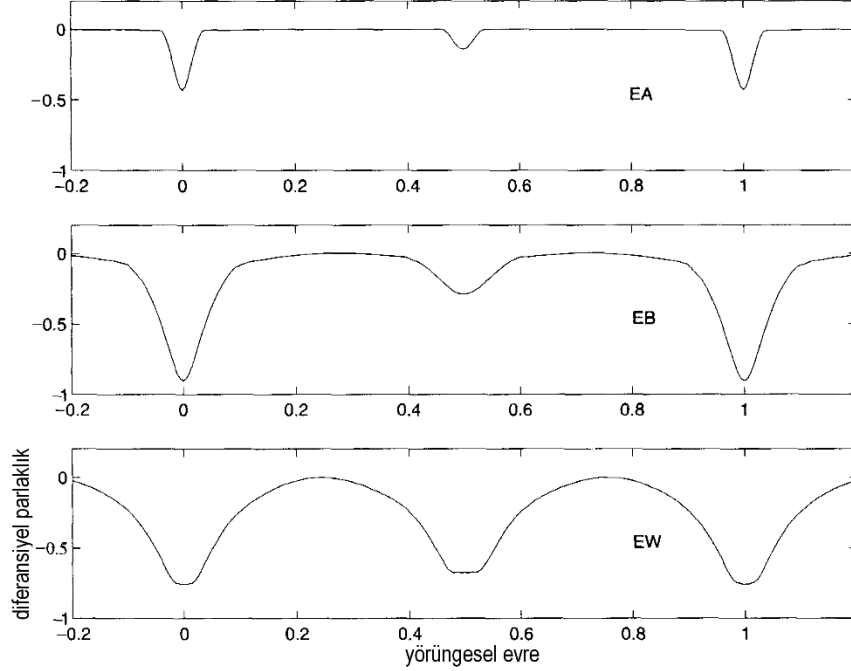
“*Tayfsal Çift Yıldız*” terimi ilk olarak Vogel’in çalışmasında, uzayda tek yıldız olarak görülen fakat dikine hız değişimi gösteren çift yıldızları tanımlamak için kullanılmıştır. Günümüzde bileşenlerden birinin tayfinin gözlenebildiği çift yıldızlar için “*tek çizgili tayfsal çift yıldızlar*” terimi kullanılır ve SB1 sembolü ile gösterilir. Her iki bileşene ilişkin tayfinin gözlenebilmesi durumunda “*çift çizgili tayfsal yıldızlar*” terimi kullanılır ve SB2 sembolü ile gösterilirler. SB2 türü sistemler, bir çift yıldız sistemi için en az kabul ile en fazla bilginin elde edilebildiği sistemlerdir. Teknolojideki ve tayfların analiz yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde, özellikle son 15 yılda, daha önce SB1 olarak sınıflandırılmış sistemlerin çoğunun SB2 türü sistemler olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Batten, Flatcher ve McCarthy (1998) tarafından derlenen “*Eighth Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems*” kataloğunda yaklaşık 1469 yakın çift yıldız hakkında bilgi ve açıklamalar bulunmaktadır.

Fotoğrafik gözlemlerdeki gelişmeler sayesinde, sistematik olarak değişen yıldızların araştırma çalışmaları yapılmış ve çok sayıda örten değişen yıldız bu dönemde keşfedilmiştir. 1900’lü yıllara gelmeden değişen yıldızların keşfi daha çok görünür parlaklıklarındaki değişimin belirlenmesi ile yapılıyordu ve bu değişim bir gecelik gözlemler ile veya art arda gelen gecelerdeki gözlemlerden yararlanılarak yapılabiliyordu. Argelander (1844), 22 adet değişen yıldız için ilk özet tartışmasını bu yıllarda yayınlamıştır. Daha sonradan kullanılacak olan görsel parlaklık belirleme yöntemini içeren çalışması ile 1900’lü yıllara gelmeden yaklaşık 700 adet değişen yıldız keşfedilmiştir. Bu tür gözlemler devam ederken her türden değişen yıldızın keşfedilebilmesini sağlayan fotoğrafik gözlem yönteminin astronomide kullanılmasına başlanmıştır. İlk kez Leavitt tarafından Magellan Bulutsusu, ardından 1907 yılında Samanyolu Galaksimizin Harvard gurubu tarafından yürütülen tarama gözlemleri (Shapley, Gaposchkin) ile devam etmiştir. Almanlar ise 1929 yılında Proger, Hoffmeister ve Zinner tarafından başlatılan gözlemsel çalışmalarını Berlin-Babelsberg, Sonneberg ve Bamberg Gözlemevlerinde sürmüştür. Rusya’da ise Kukarkin ve Parenago tarafından 1942 yılında gökyüzü haritaları (yaftaları) yayınlamıştır ki bu haritalar daha sonra *General Catalogue of Variable Stars* (GCVS) adlı kataloğun oluşturulmasında kullanılmıştır.

1950’lerin sonlarına doğru, Sonneberg ve Leiden’de çalışan gözlemciler, Samanyolunda seçtikleri farklı bölgelerinin (galaktik yapının ortaya çıkarılması amacıyla) haritalarını yayınlamışlar ve Bamberg’de bulunan Strohmeier daha çok kuzey yarıkürede yapılan değişen yıldız araştırmalarını güney yarıkürede de yapılmasını sağlamıştır. Doğal olarak değişen yıldızların bulunması kadar değişimin nedeni de önemli bir konu olmuştur ve farklı türden gözlemler dikkate alınarak araştırmalar yapılmalıydı.

Amatör gözlem grupları, örneğin AAVSO (*American Association of Variable Star Observers*), BAV (*Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne*), VSNET (Japon) ve *British Astronomical Association* ve Yeni Zelanda’daki *Royal Astromomical Society* üyeleri değişen yıldızların gözlemsel verilerine çok değerli katkılarda bulunmuş ve halende bulunmaktadır. Buna ek olarak yeni teknolojik gelişmeler sayesinde ilk olarak ışığa karşı verdiği yanıtın doğrusal olduğu fotoelektrik olay prensibine göre

çalışan fotokatlandırıcı tüpleri ile başlayan ve sonra günümüzde CCD'ler ile devam eden dedektörler sayesinde, çok küçük parlaklık değişimlerinin yanında çok daha sönük kaynakların gözlemleri yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler sayesinde keşfedilen değişen yıldızların sayısı hızla artmış ve GCVS (*Kholopov ve ark. 1985*)'nin dördüncü sürümünde Samanyolu Galaksimizde gözlenen 28450 adet değişen yıldız kataloglara geçmiştir ki bunların yaklaşık %70'i zonklama yapan değişen yıldızdır, %10'u patlayan cisimler ve %20'si ise örten değişen sistem olarak sınıflandırılmış durumdadır.



Şekil 2.1. Üç farklı türden (EA, EB ve EW) örten değişen yıldızın ışık değişimi gösterilmiştir. Bu sınıflandırma General Catalogue of Variable Stars'da sınıflandırma amacıyla kullanılmaktadır. Işık eğrilerinin ışık değişim genliklerindeki değişim, temel olarak sistemin yörünge açısına, bileşen yıldızların göreceli boyutlarına ve yüzey parlaklıklarının oranına bağlıdır.

Bu tür değişen yıldızlara ilişkin katalogun oluşturulması gerekliliği düşünüldüğünde, cisimlerin sınıflandırılması ve uygun alt sınıfların oluşturulması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Değişen yıldız taramalarında keşfedilen örten değişen yıldızlar için ışık değişiminin yapısı dikkate alınarak basit bir sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Işık eğrisinin oluşturulabilmesi için çift yıldızın yörünge döneminin belirlenmesi zorunludur ki bu hesaplama gerçekte çok kolay bir işlem değildir. Örten değişen yıldızların ışık eğrisinin biçimine göre yapılan ve halen günümüzde de kullanılan sınıflandırma şekli aşağıdaki gibidir:

EA Algol türü örten değişen yıldızlar için kullanılır ve ışık eğrisinin Algol'ün ışık eğrisine benzer yapıda olduğu sistemlerdir. Çok açık bir şekilde ışık eğrisinde minimumlar tanımlanabilmekte ve minimuma giriş ile çıkış noktalarının çok belirgin olduğu sistemlerdir. Minimumlar dışındaki ışık değişimi neredeyse yoktur veya çok azdır. Fiziksel parametreleri açısından EA türü ışık eğrisi gösteren sistemlerin birbirine benzer yapıya sahip olduğunu söylemek mümkün değildir ve çoğu durumda ise benzemeyen parametreler ile karşılaşılır. Sınıflandırma tamamen ışık eğrisinin biçimine bağlı olarak yapılır ve ek bir kriter bulunmaz.

EB β Lyrae türü örten değişen sistemler. Minimumlar belirgin yapıdadır ve minimumlar dışında bileşen yıldızların küresellikten ayrılmış olmaları nedeniyle sürekli parlaklık değişimi gözlenir. Fiziki özellikleri bakımından EB türü sistemlerin β Lyrae ile aynı özelliklere sahip olma zorunlulukları yoktur.

EW W Ursae Majoris türü örten değişen sistemler. Işık eğrilerinde parlaklık değişimi olmayan hiçbir evresi bulunmayan sistemlerdir. Sistemi oluşturan her iki bileşen de küresellikten aşırı bir şekilde ayrılmış durumdadır. Fiziksel özellikleri W Ursae Majoris (W UMa) ile yeteri ölçüde benzerlikler gösteren sistemlerdir.

Şekil 2.1'de yukarıda bahsedilen ışık eğrisi türlerine örnekler verilmiştir. Gözlemsel verinin yeterli olmaması durumunda bile basit bir şekilde bu tür sınıflandırmaların yapılabileceği görülebilir.

1900'lü yılların başında Samanyolu Galaksimizin halo ve merkezi bölgesi için otomatik teleskop ve CCD kameraları kullanılarak karanlık maddenin varlığı konusunda araştırmalar başlatılmıştır. *Büyük kütleli sıkışık halo cisimleri* (MACHO'lar) ki ışınımında bulunmayan cisimler olduklarından gözlenemeyen cisimlerdir. MACHO'lar çekimsel mercekleme olayı ile keşfedilen cisimlerdir. Fakat MACHO'ların aranması konusunda yürütülen gökyüzü taramaları sırasında çok sayıda örten değişen sistemin keşfi yapılmıştır.

Günümüzde yürütülen tarama çalışmaları, çok daha yüksek duyarlılıkta ve tüm gece boyunca sürekli olarak yapılabilmekte, gözlem sezonu boyunca (aylarca) sürdürülebilmektedir. EROS projesi (*Grison ve ark. 1995*) ile Büyük Magellan Bulutu (LMC)'nda tek bir gözlem sezonunda yapılan gözlemlerden 79 adet örten değişen yıldız keşfedilmiştir. MACHO ortak araştırma projesinde, LMC içerisinde 22 adet farklı bölge için sürdürülen 400 günlük ilk gözlemler sonucunda 611 adet örten değişen yıldızla ilişkin ışık eğrisi sınıflandırılarak yayınlamıştır (*Alcock ve ark. 1997*). Bu çift yıldızların tamamı $V \approx 18.0$ kadirde daha parlak sistemlerdir ve LMC'nin uzaklık modülü ($V - M_v \approx 18.5$ dikkate alındığında, bileşen yıldızların anakolda ve A0 tayf türünden daha erken tayf türünden yıldızlar oldukları anlaşılabilir. Samanyolu Galaksimizin merkezi bölgesi için gerçekleştirilen OGLE taraması ile EW türü ışık eğrisine sahip çok sayıda örten değişen yıldız keşfedilmiştir. Rucinski (1997a,b) bu önemli sayıdaki gözlemsel verilerden yararlanarak, istatistiksel olarak değen çift yıldızların evrimleri konusunu tartışmıştır. Hipparcos uydusu tarafından tüm gökyüzü için gerçekleştirilen astrometrik ve fotometrik tarama sonucunda, parlaklığı $V \sim 9$ kadirde parlak olan çok sayıda yeni örten değişen sistem keşfedilmiştir (*Perryman ve ark. 1997*).

Klasik ışık değişimine sahip çift yıldızların yanında, dikkatli gözlemler ve hesaplamalar sonucunda çok sayıda beklenmedik ışık değişimleri gösteren ve örten değişen sistemlerin üyesi olduğu anlaşılan sistemler de bulunmuştur. 20. yüzyılın ilk yarısında nova olayı konusunda çok sayıda gözlemsel çalışma yapılmasına rağmen, 1960'lı yıllarda Kraft (1963)'in bütün cüce nova ve nova olaylarının bileşen yıldızların birbirine çok yakın olduğu sistemlerdeki kütle alışverişi nedeniyle ortaya çıktığını belirtene kadar anlayamamıştır. Bu tür özel cisimler, yakın çift yıldızların bir alt grubu olarak *kataklizmik değişen yıldızlar* veya CV'ler olarak adlandırılmış ve astronomi alanında çok sayıda araştırma grubu tarafından, hem gözlemsel hem de teorik incelemeler arasında bağ oluşturması nedeniyle, incelenmeye başlanmıştır. Bu türden çift yıldızların yörünge dönemlerinin sadece birkaç saat olması, büyük çaplı teleskoplar için problem haline gelen gözlem zamanı dikkate alındığında, kolaylıkla birkaç gecelik gözlem sayesinde yapılan araştırmanın yayınlanabilmesini mümkün kıldığından önem kazanmıştır. Buna ilaveten bu tür sistemlerin patlama gösteren sistemler olması nedeniyle birkaç gün süren patlama gözlemleri ile patlamalar arasında gerçekleştirilen gözlemler dikkate alınarak, açıklanması gereken fiziksel koşullar ve patlamaların nedeni hakkında bulguların elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Fakat en önemlisi ise

patlamaların bileşen yıldızlardan birinden atılan maddenin, diğer bileşen üzerine düşmesi veya birikmesi olayı ile gerçekleşmesidir ki bu tür sistemlerin anlaşılmasında çok önemli bir bulgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bütün olarak bakıldığında etkileşen çift yıldızların en parlak görülen kısmı yığılma diskidir, bu nedenle maddenin yığılma diskini oluşturma süreci ancak iyi oluşturulmuş dinamik modellere bağlı olarak ortaya konulabilecek teorik çalışmalar ile ve farklı gözlemlerinde çok büyük bir dalgaboyu aralığına dağılmış gözlemsel verilerin incelenmesi ile ortaya konabilir. Katakizmik değişen yıldızlar alanının hem eğlendirici hem de ilginç cisimler olması, gözlemsel verilerin önemli derecede artmasına ve örneğin Hubble Uzay Teleskopu gibi dünyanın en pahalı astronomi teleskopu ile birlikte çeşitli üniversite gözlemleri tarafından yapılabiliyor olması nedeniyledir. Bu alandaki ilginin arttığını gösteren önemli bir çalışma B.Warner (1995) tarafından yayınlanmış olan *Cataclysmic Variable Star* adlı kitaptır. Yaklaşık 700 sayfadan oluşan bu kitap orijinal çalışmanın bir özeti niteliğindedir. Gözlemciler için kolaylık sağlaması amacıyla Downes ve Shara (1993) toplam 751 adet CV türü sisteme özgü haritayı içeren mükemmel bir katalog yayınlamıştır. Yeni güncellenmiş hali (*Downes ve ark. 1997*) ile şu anda 1020 adet bu türden cisim kataloglarda yer almaktadır.

Yıldızların sınıflandırılması işlemi yapılmaya başladığından beri astronomlar, yıldızların tayfsal görünümelerini dikkate alınarak, normal olmayan cisimleri belirleyebilmekteydiler. Bu tür sınıflardan biri olan ve belki de diğer türlerden çok daha yaygın bulunan *simbiyotik yıldızlar* olarak adlandırılan bir sınıf yıldız bulunur. Bu tür cisimlerde sıcak cisimlere ait tayfsal özelliklerin yanında çok soğuk yıldızların tayfsal özellikleri aynı anda tayflarında görülebilmektedir. Bu türden cisimlerde bileşke tayfa ilişkin kaynağın, çift olma özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Burada gözlemsel verilerin çok daha dikkatli bir şekilde incelenmesi ve bu tür cisimlerin çift yıldız olup olmadığı ortaya çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca etkileşimler sonucu bu tür sistemlerin etrafında bulunabilecek genişlemiş zarf yapıları, bileşen yıldızların yörüngesel hareketlerini gizlemesinin mümkün olduğu sistemlerdir. Bu türden simbiyotik sistemlerin çok uzun yörünge dönemlerine sahip olması, ayrıca çift olma özelliklerinin ortaya konmasını güçleştirmektedir.

1960'lı yıllarda başlayan atmosfer dışı ilk x-ışın bölge gözlemleri sonucunda, bazı x-ışın kaynaklarının, daha önce bilinmeyen, x-ışın akılarında değişimler gösterdiği anlaşılmıştır. Sco X-1 kaynağı (Giacconi ve ark. 1962), Gursky ve ark. (1966) ve Sandage ve ark. (1966) tarafından bir çift yıldız sistemi olduğu belirtilmiş olmasına rağmen, 1970'li yılların başına kadar *Uhuru* uydusunun fırlatılmasına kadar, bazı parlak x-ışın kaynaklarının birkaç saniyelik dönemlerle zonklama yaptıkları ve dönemli olarak tutulmalar göstermeleri belirlenene kadar ispatlanamamıştır. Bu tür sistemlerden olan Cen X-3 (Schreier ve ark. 1972) ve Her X-1 (Tananbaum ve ark. 1972) için bulunan dönemler gün mertebesinde. Bu çalışmalar sonucunda yeni tür bir çift yıldız sisteminin keşfedildiği anlaşılmıştır. X-ışın, moröte, optik, kırmızıöte ve radyo bölge gözlemlerinden, sistemin normal ve sıkışık bir cisimden oluşan çift yıldız sistemi olduğu, normal yıldızdan akan maddenin sıkışık cismin derin çekimsel potansiyel duvarını yıkarak diğer bileşen üzerine aktığı, tipik olarak $1.4 M_{\odot}$ kütlesinde ve sadece 10-15 km yarıçapında ve daha sonra nötron yıldızı olarak adlandırılan, bir cisim keşfedilmiştir.

Gerçek veya değil, bazı x-ışın çift yıldızlarında nötron yıldızından oluşan bileşen yerine bir karadeliğin bulunup bulunmadığı sorusu, sonraki 20 yıl içinde cevaplandırılması için kalmıştır. Bu tür sistemlere örnek Cyg X-1 (Webster ve Murdin 1972; Bolton 1972) ve son olarak V404 Cyg (Casares, Charles ve Naylor 1992) sistemi, karadelik bileşenli sistemler için olumlu örnekler olarak bakılmaktadır. Cowley (1992)'in

çift yıldız sistemlerinde karadelik türü cisimlerin varlığı üzerine yaptığı çalışmasında, bütün zorlamalara rağmen bu tür sistemler için gösterilen örneklere halen “aday sistemler” olarak bakılması, bu konuda tereddütlerin bulunduğunu göstermektedir. Katakizmik türü değişen yıldızlar konusuna artan ilgi nedeniyle, x-ışın çiftleri artık günümüzde *büyük-kütleli* ve *düşük-kütleli* şeklinde alt gruplara ayrıldığı gibi, ayrıca yeni olarak tanımlanmış *süperyumuşak (süpersoft)* x-ışın kaynakları da bulunmaktadır. X-ışın çiftleri konusunda hazırlanmış güncel bilgiler içeren iyi bir çalışma, Verbunt (1993) ve Lewin, van Paradijs ile van den Heuvel (1995) tarafından yayınlanmıştır. Ayrıca bu iki çalışmada Hulse ve Taylor (1975) tarafından keşfedilmiş ve 1993 yılında fizik alanında Nobel Ödülünü almalarına neden olan *Çift Radyo Atarcaları* konusu da bulunmaktadır. Aynı çalışmalarda ayrıca evrimleşmemiş anakol çift yıldızlarının evrimleşerek x-ışın çift yıldız evresinden geçişi ve çift atarcalar haline gelmesi konusu da mevcuttur.

Dedektörlere ilişkin teknolojik gelişmeler sayesinde x-ışın, optik, kırmızıöte ve radyo bölgede yıldız yoğunluğunun çok olduğu küresel kümelerin merkezi bölgeleri incelenmeye başlanmıştır. Çok sayıda ulaşılan bilginin yanında, yörünge dönemi son derece küçük olan, $P \approx 11$ dakika kadar, sıkışık cisimlerden oluşan çift yıldızlarının keşfedilmesi o kadar şaşırtıcı olmamıştır. Bu tür çift yıldız sistemlerinde nötron bileşeninin bulunabileceği çok küçük bir dönem aralığı bulunur. Ayrıca milisaniye düzeyinde atımlara sahip değişimlerin keşfedilmesi ile ki bu yaklaşık dakikada 36000 dönme anlamına gelmektedir, yaşlı yıldız kümelerinde bu türden cisimlerin varlıkları için akla yatkın açıklamaların yapılmasını gerektirmektedir. Milisaniye atarcalarının araştırılması, radyo dedektörlerine ilişkin teknolojide önemli gelişmelere ve özellikle algılanan veri akışının bilgisayarlar tarafından incelenme hızına bağlıdır.

1987 ile 1990 yılları arasında küresel kümelerde yaklaşık 25 adet bu türden cisim keşfedilmiştir. Tüm gökyüzü taramasının gerçekleştirilebilmesi için örneklem sayısı saniye başına 1 milyon (Lyne 1996) değerine ulaşılması gerekmektedir. 1995’lerin başında küresel küme üyesi olmayan bilinen çift yıldız milisaniye atarcalarının sayısı 29’a kadar ulaşmıştır. Küresel küme üyeleri de dikkate alındığında birkaç düzine kadar örnek bilinmektedir. Phinney (1996), mevcut verileri kullanılarak ekstrapolasyon yöntemi ile yaklaşık 200 adet küresel küme içerisinde 10^7 tane çift yıldız ve 10^3 den fazla atarcanın olması gerektiğini hesaplanmıştır. Tek ve çift atarcalar, ayrıca yoğun küme merkezleri civarında bulunmalıdırlar, öyleki bu bölgede bulunan başka yıldızların çekimsel etkileri çok güçlü olmalıdır. Genel olarak galaksimizde bulunan milisaniye atarca çiftleri (bütün galaktik enlemler için ve galaktik düzlem yönünde yoğunlaşmış değillerdir) ve küresel kümelerde bulunanların, düşük kütleli x-ışın çift yıldızları ile bağlantıları oldukları düşünülmektedir. Bu yıldızların yaşlı nötron yıldızları oldukları ve diğer bileşenleri tarafından aktarılan kütle nedeniyle aktivitenin tekrar başladığı sistemlerdir.

Küresel kümelerin optik ve moröte (UV) incelemeleri, günümüzde CCD dedektörlerindeki gelişme sayesinde ve Hubble Uzay Teleskobunun açılma gücü sayesinde artık yapılabilmektedir. Bu alan, 1980’li yıllarda küresel kümelerde bilinen çift yıldız sayısının son derece az olmasından kaynaklanan can sıkıcı bir durumdan (bir adet çift yıldız, ω Cen, ve iki adet eski nova türü yıldız), 1996’lı yıllara gelindiğinde hızla gelişmiştir. Mateo (1996), verdiği listede bu türden 38 adet sistem bulunurken, listesinin çok eksik olduğunu belirtmiş, neden olarak ise küresel kümeler konusunda çok sayıda çalışmanın artık yapılmak üzere olduğunu bilmesi olmuştur. Tarama çalışmaları, CCD kameraları kullanılarak birkaç geceye dağılım gözlemsel verilerden oluşmakta, ardından küresel kümenin dış kısımlarında bile çok sayıda yıldızın bulunduğu gözlemsel verilerden fotometrik değişen yıldızların belirlenmesi şeklinde yapılmaktaydı. Mateo bu türden yıldız taramaları ile düşük genlikli değişimlerin ortaya çıkarılamayacağını, yaklaşık 1300 adet anakol yıldız içerisinden fotometrik parlaklık değişimi 0.1 kadirde büyük olan örten değişen yıldız

sayısının ancak bir tane bulunabileceğini belirtmiştir. Yıldız kümelerin dış kısımlarında bulunan çift yıldızlar, muhtemelen kümenin oluşumu sırasında oluşan ilkel sistemler olmalıdırlar. Amaç ise mavi-aykırı olarak adlandırılan yıldızların küresel kümelerdeki varlığını açıklayıp açıklamayacağını incelenmesidir. Mavi-aykırı yıldızları küresel kümelere ilişkin Hertzsprung-Russell diyagramında bulunan anakol etrafında hafifçe dağılım gösteren yıldızlardır, fakat bu dağılım küresel kümelere bulunan dönüm noktalarının üzerinde bulunur. Hubble Uzay Teleskobunun ayırma gücünde yapılan geliştirmeler sayesinde, bazı küresel kümelerin merkezi kısımlarında bulunan çift yıldızların incelenmesine başlanmıştır. Bu tür çalışmalar sonucunda, yıldız sayısının yoğun bulunduğu (pc^{-3} başına 10^6 yıldız) ortamlarda düşük kütleli x-ışın çiftleri ve atarca çiftlerinin incelenmesi ile yıldızlar arasındaki çekimsel etkileşimlere ilişkin teorilerin test edilmesi sağlanacaktır.

Eğer çift yıldızların evrimlerinin bütün aşamalarını tanımlayabilirsek, anakoldan başlayan evrimi ile sonlara doğru beyaz küce, nötron yıldızı ve karadelik oluşumu ve hatta tekrarlanan evrimsel durumlarının bilinmesi durumunda, çift yıldızların oluşumu ile anakol öncesi (PMS) evrimlerine ilişkin neler söyleyebileceğimizi daha iyi ortaya koyabiliriz. Tekrarlarsak, özellikle kırmızıöte ve milimetre dalgaboylarında kullanılan yeni dedektörlerin gelişmesinin bu alanda kurtarıcı rol üstleneceğini söylemek mümkündür.

50 yıl önce birkaç görsel çift yıldızın fark edilmesinin ardından, T Tauri türü yıldızların ilk gözlemlerinden (Joy ve van Biesbroeck 1944) sonra çoğu PMS türü çift yıldızın keşfi ancak son çeyrek yüzyılda yapılabilmektedir. Taurus-Auriga'da bulunan yeni yıldız oluşum bölgeleri üzerinde yapılan çalışmalar ile izdüşüm uzaklığı 0.13 ile 13 yay-saniyesi olan 44 çoklu (çoğu çift yıldız) sistemin bulunduğu ki bu alandaki tek yıldızların sayısı ile karşılaştırıldığında 42 ± 6 sının (Mathieu 1994) çoklu sistem olduğu anlaşılmıştır. Bu değer en azından Güneş kütleline yakın anakol yıldızları için hesaplanan oran ile çok benzer bir değerdir (Duquennoy ve Mayor 1991). Mathieu (1994), çoklu sistemlerin anakol öncesi tek yıldızlara (PMS) oranının, çift yıldız oluşumunun doğrudan yıldız oluşum süreci ile gerçekleştiği dikkate alındığında, en azından %50 olduğunu belirtmiştir.

Yörünge dışmerkezlik değerlerinin dağılımları G-tayf türünden alan yıldızlarının dağılımına çok benzemektedir ve birkaç gün yörünge dönemine sahip sistemler için yörüngelerin çoğunlukla dairesel olduğu görülmektedir. Daha büyük yörünge dönemleri için dışmerkezlik değerleri de daha büyük değerler almaktadır. Bu çift yıldızların bazıları için, özellikle anakol yıldızlarında görülen açısal momentum kaybı sonucu gelişen yakın çift yıldızlar için yörünge yarı-büyük eksen uzunluklarının güneş yarıçapı cinsinden (R_{\odot}) çok astronomik birimlerde (AB) ölçülmesini sağlayacak yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. PMS yıldızları etrafında bulunan yığılma diski ile çekimsel etkileşimler ve bunun sonucunda yörüngesel açısal momentum kaybına ilişkin bilgiler sadece tek bir açıklamanın yapılabilmesini sağlar. Genç yıldız kümelerinde, ayrılan çift yıldızların, çekimsel olarak yakında bulunan tek yıldızlar ile karşılaşması ve çekimsel etkide bulunması sonucunda, çift yıldız sistemi daha sıkı (yörünge dönemi daha küçük olacak şekilde) hale gelebilir ve etkide bulunan yıldız bu değişimden kinetik enerji kazanarak kümeden kaçabilir. Ayrıca, bu türden etkileşimler sonucu, çift yıldız bileşenini değiştirebilir.

Yukarıda kısa bir şekilde tartışılan çift yıldızların tarihi gelişimi, bize çift yıldız alanının nasıl geliştiği ve diğer dallardan ayrıldığını, özellikle son 25 yılda, artık takip edilmesinin bile güç hale geldiğini göstermektedir. Bunun yanında özellikle belirli türden çift yıldızların incelenmesi amacıyla gözlemlerde kullanılan teknolojinin, gözlenen verilerin analizlerinin ne şekillerde yapılabileceğine ilişkin bir zorlamanın bulunmadığını da göstermektedir.

Çift Yıldızlar, çekimsel olarak birbirine bağlı iki veya daha fazla yıldızın oluşturduğu ve genellikle çok uzun zaman süresince bu birlikteliğini koruyabilen sistemler olarak tanımlanırlar. Üçlü, dördü, beşli,... sistemler fizik kuralları çerçevesinde organize olmuşlardır. Genel olarak çoklu sistemlerde birbirine yakın fakat diğerlerine uzak, bağımsız çift yıldız yapılarının bulunması mümkündür.



Şekil 2.2. TW Hydra (HD98800) sistemi. Birbirlerinden bağımsız fakat çekimsel olarak birbirlerine bağlı iki adet çift sistemden oluşmaktadır.

Astronomi dünyasında *Double Stars* ve *Binary Stars* terimleri aynı anlamda kullanılır. Binary terimi genellikle cisimlerin fiziksel bağımlılığını ve yörüngesel harekette bulduklarını ifade edecek şekilde bir kısıtlamaya sahiptir. Çift yıldızların keşfi farklı gözlem yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu nedenle gözlem yöntemlerine göre;

- Astrometrik (görsel ve fotoğrafik yöntemle, günümüzde CCD türü gözlemlerle)
- Tayfsal (Dikine hız ölçümü yöntemi ile)
- Fotometrik (parlaklık değişimi ölçümü ile)

üç ayrı sınıfta toplanırlar. Gözlem yöntemine bağlı olarak çift yıldızların geleneksel sınıflandırılması yapılır.

Görsel Çift Yıldızlar

Teleskop ile bakıldığında bileşen yıldızların ayrı ayrı görülebildiği sistemlerdir. Genel olarak bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık çok büyük olduğundan, yörüngesel hareketleri de yavaş olan sistemlerdir. Çok azının yörünge dönemi 20 ile 300 yıl arasındadır ve yörüngeleri iyi bir şekilde gözlenebilmiştir.

Bileşen yıldızlar birbirlerine yaklaştıkça onları teleskoplar ile ayırmak zorlaşır. Bu tür sistemlerde bileşen yıldızlar *interferometrik* gözlem yöntemi kullanılarak ayrı ayrı görülebilir. Bu gözlem yöntemi

sayesinde yörünge dönemi 10 yıl gibi olan sistemler çözümlenebilmektedir. Yörünge dönemi 10 yıldan daha kısa olan birkaç sistem gözlenebilmiştir.

Bazı sistemlerde ise bileşen yıldızları ayrı ayrı görmek mümkün değildir. Bu tür bir etki bileşen yıldızlardan birinin çok sönük olması nedeniyle ortaya çıkabilir. Fakat bileşen yıldızın varlığı, baş bileşen (parlak olan yıldız) deki salınımlardan ortaya çıkarılabilmektedir. Bu tür sistemlere “astrometrik çift yıldızlar” adı verilir. Sayıları çok fazla değildir.

Tayfsal Çift Yıldızlar

Bileşen yıldızların yörüngesel hareketleri, onların tayflarındaki çizgilerin dönemli olarak yer değiştirmesine neden olur. Tayflarındaki çizgilerin hareketlerinin incelenmesi sonucunda keşfedilen sistemlerdir. Bu tür sistemlerin keşfi, çok fazla zaman ve emek aldığından literatürdeki sayıları çok fazla değildir. Analizlerde yüksek ayırma güçlü gözlemlere ihtiyaç duyulur. Geçmişte genel olarak çok parlak yıldızlar üzerinde çalışılmıştır. Fakat fotometrik olarak değişen olduğu bilinen sistemler üzerinde de ayrıca çalışılmıştır. Yörünge dönemleri genellikle kısadır ve dikine hız eğrileri sayesinde yörüngeleri belirlenebilmektedir. Bu tür sistemlerde her iki bileşene ait tayfsal çizgiler gözlenebiliyorsa, yörünge çözümleri çok daha kolay yapılabilmektedir. Fakat çoğu durumda sadece tek bir bileşen yıldızına ait tayfsal çizgiler görülebilmektedir.

Fotometrik Çift Yıldızlar (Örten Değişenler)

Bu tür sistemlerde gözlenen parlaklık değişimleri, yıldızların birbirlerinin önünden veya arkasından geçerken meydana gelen ışık kayıplarından kaynaklanır. Bileşen yıldızların birbirlerine göre parlaklıkları çok farklı olsa dahi keşfedilebilen sistemlerdir. Günümüzde başka galaksilerde bulunan örten değişen sistemler artık gözlenebilmektedir. Genel olarak yörünge dönemleri kısadır, fakat çok uzun dönemli sistemler de mevcuttur. Fiziksel parametrelerinin hesaplanabilmesi için çok sayıda gözlem ve hesaplama yapılması gerekmektedir.

Keşfedilme veya gözlem türüne bağlı olarak çift yıldız hakkındaki bilgimiz de farklılık gösterir; Örneğin bileşen yıldızlara ilişkin yarıçap (boyut) bilgisi, tutulmanın geometrik olarak gerçekleşmesi nedeniyle örten çift yıldızlar için kolaylıkla belirlenebilmektedir. Çok az sayıda yıldızın interferometrik gözlem yöntemiyle ve Ay örtmesi yöntemi ile çapı belirlenebilmiştir. Görsel çift yıldızlar için ise bileşen yıldızlar arasındaki açısal uzaklık değerleri kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Bileşen yıldızların birbirleri etrafındaki dolanma süreleri (yörünge dönemi) ile yörünge büyüklükleri, birbiri ile bağlantılı parametrelerdir. Bu ilişki Kepler yasaları sayesinde bilinmektedir. Kepler’in üçüncü yasası, bir çift yıldız sistemindeki yıldızların toplam kütlesi ile yörünge parametreleri arasındaki ilişkiyi bize gösterir. Kullanılan ifade, Newton tarafından düzenlenmiş halidir ve aşağıdaki gibidir,

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M_1 + M_2)}{4\pi^2}$$

Kütlelerin Güneş biriminde, dönemin P yıl biriminde ve a yarı-büyük eksen uzunluğunun Astronomi Birimi cinsinden dikkate alınması durumunda 3 ncü Kepler yasasını,

$$a^3 = (M_1 + M_2)P^2$$

şeklinde yazmak mümkündür. Bu ifade ile yörünge büyüklüğü (1 AB=1.496x10⁸ km) ve dönemi (yıl) bilinen sistemler için toplam kütle, Güneş kütlesi (1 M_☉=1.99x10³³ gr) birimlerinde kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Çift Yıldızların Evrimsel Sınıflaması

Evrimsel açıdan baktığımızda galaksimizde farklı kütle ve farklı yaşta çok sayıda yıldız bulunmaktadır. Bunlardan bazıları galaksimizin ilk oluştuğu andan beri yaşamlarını sürdürmektedir (küçük kütleli yıldızlar), bir kısmı ise hızla evrimleşerek alt dev, dev, süperdev, beyaz cüce, nötron yıldızı, karadelik olarak yaşamlarını sürdürmekte veya sonuna ulaşmıştır. Bu nedenle galaksimizde farklı yaştan ve dolayısıyla evrim aşamasında bulunan bileşenlere sahip çift yıldız sistemleri mevcuttur.

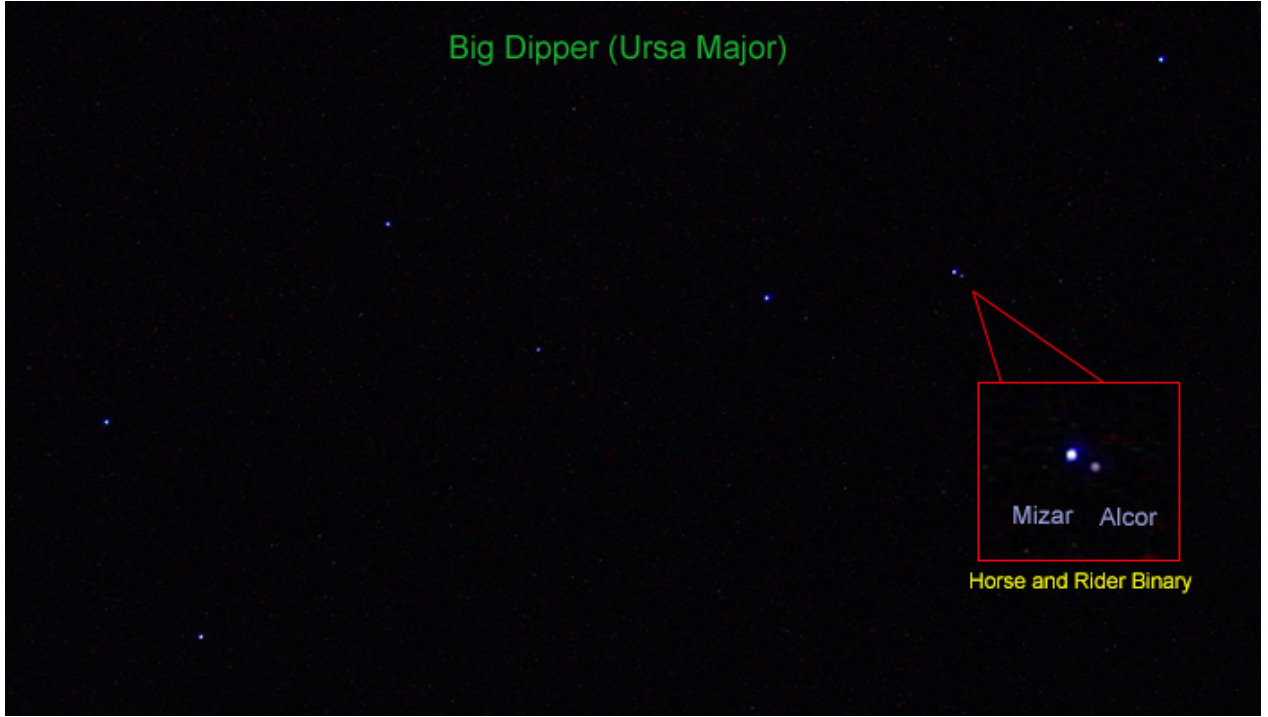
Dünya'dan bakıldığında bazı yıldızların birbirlerine çok yakın konumlarda buldukları görülebilmektedir. Bu durum görüntü olarak yıldızların uzaklıklarını yani derinlik bilgisine ulaşamadığımız için ortaya çıkar. Aynı doğrultuda bulunan yıldızlar arasındaki uzaklık o kadar büyük olabilir ki aralarında herhangi bir fiziksel etkileşim olmayabilir. Bu tür sistemlere “yalancı veya optik” çift yıldızlar adı verilir.

Bazı çift yıldız sistemlerde ise bileşen yıldızlar birbirlerine çok uzakta bulunurlar, fakat küçük de olsa aralarında fiziksel bir etkileşim olabilir. Bu tür sistemler ortak oluşum kuramına uymazlar. Özellikle yıldız yoğunluğunun (küresel yıldız kümeleri gibi) fazla olduğu ortamlarda yıldızlar arasında böylesi etkileşimler ortaya çıkabilir. Bu tür sistemlere “geçici çift yıldızlar” tanımlamasında bulunulur.

Genel anlamda “çift yıldızlar”, bileşen yıldızların birbirlerinin evrimini etkilemedikleri sistemlerdir. Bu gurubun içerisinde görsel çiftler ve sınırlı sayıda tayfsal ve fotometrik çift yıldızlar bulunur. Yakın çift yıldızlar ise bileşen yıldızların boyutları birbirlerine olan uzaklıklarına göre ihmal edilemeyecek kadar yakın olan sistemlerdir. Tayfsal ve fotometrik çift yıldızların büyük çoğunluğu bu sınıfa dâhildir. Şu anda olmasa bile evrimlerinin herhangi bir aşamasında bileşenler arası kütle ve ışınımsal aktarım meydana gelmiş ise bu sınıfa dâhil edilirler.

“Çift Yıldız” terimi yanlışlıkla da olsa ilk defa Batlamyus'un yıldız kataloğunda (2. yy da) v_1 ve v_2 Sagittarii yıldızlarının 14 yay-dakikası ayrıklığında bulduklarını yazması ile ortaya çıkmıştır. Arapça olarak isimlendirilen birkaç yıldızın birbirleri ile bağlantılı olduğu, bileşenleri kolaylıkla ayrılabilmesine rağmen aynı adlandırılmanın yapılması ile anlaşılmaktadır. Mizar ve Alcor gibi çift yıldızlarda bileşen yıldızların parlaklıklarının farklı olması, onların çift yıldız gibi görünmemesine neden olmuştur ve o nedenle farklı isimlendirmelerde bulunulmuştur.

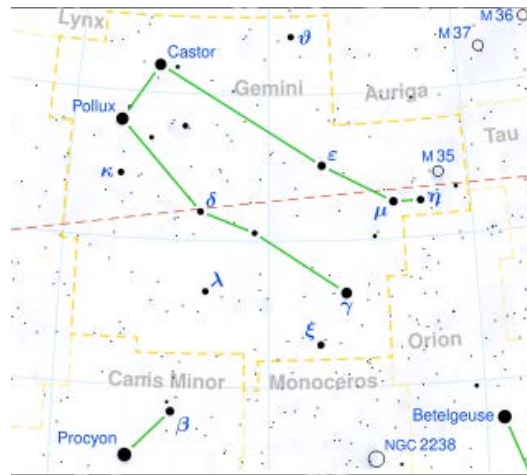
Kayıtlara geçen en eski çift yıldız Orion Bulutsusunda yer alan θ Ori sistemidir. İlk teleskopların ortaya çıkmasından sonra ayırma gücündeki gelişme nedeniyle keşfedilen çift yıldız sayısı hızla artmıştır. Mizar (ζ UMa) görsel bir çift yıldız olarak 1650'li yıllarda Riccioli tarafından keşfedilmiştir (Mizar ve Alcor). 17. yy'da mevcut kalitesiz teleskoplar ile birkaç tane daha çift yıldız keşfedilmiştir. Bunlar arasında Güney yarıkürenin en parlak bileşenine sahip yıldızlarından olan α Centauri ve α Crucis bulunmaktadır. Birkaç on yıl sonra Greenwich'te Bradley'in yıldızların meridyen geçiş gözlemleri sırasında α Gem (Castor) ve γ Vir ile başka birkaç çift yıldız daha keşfedilmiştir.



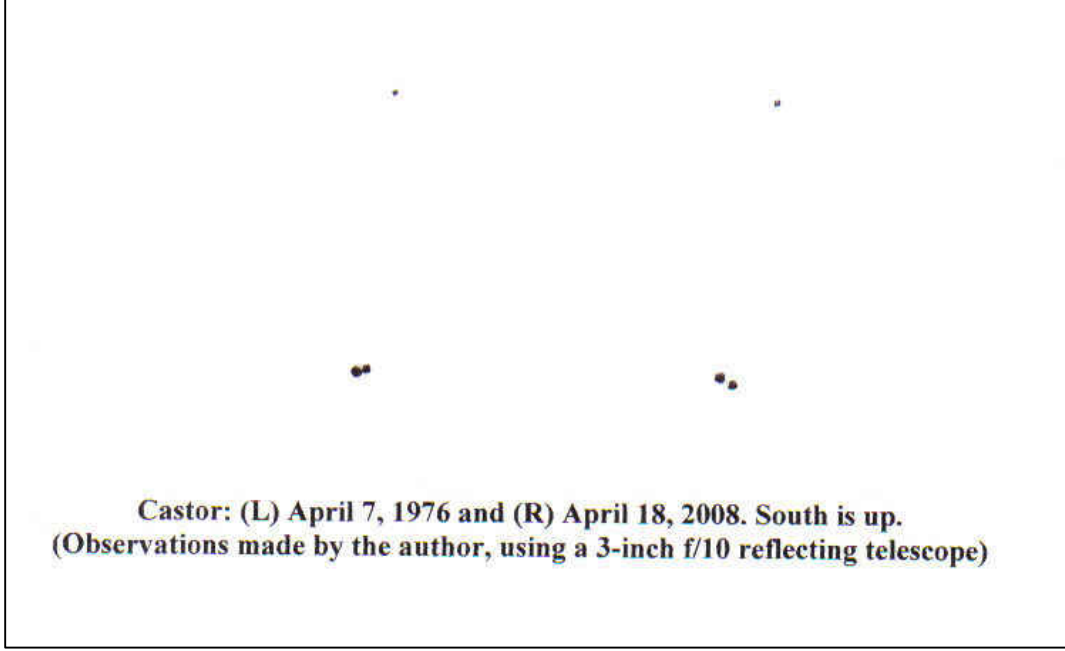
Şekil 2.3. 4 bileşenli bir sistem. Görsel olarak Mizar ($2^m.3$) ve Alcor ($3^m.99$) birbirinden rahatlıkla ayrılabilir.

Castor ($1^m.96$ ve $2^m.91$)'un çift yıldız olduğu 1718 yılında Bradley ve Pound tarafından keşfedilmiştir. Eski gözlemleri ile birlikte W. Herschel tarafından gerçekleştirilen gözlemler birleştirilerek, 1801 yılında Castor'un yörüngesel hareketinde bulunduğu ilk defa duyurulmuştur. 25 yıllık bir gözlem süresince yıldızların birbirlerine göre yer değiştirdiğini gösteren deliller 1803 yılında yayınlanmıştır. Bu sistemin yörünge dönemi 467 yıl kadardır ve henüz keşfedildiğinden beri tam bir yörüngesel hareketini tamamlamamıştır.

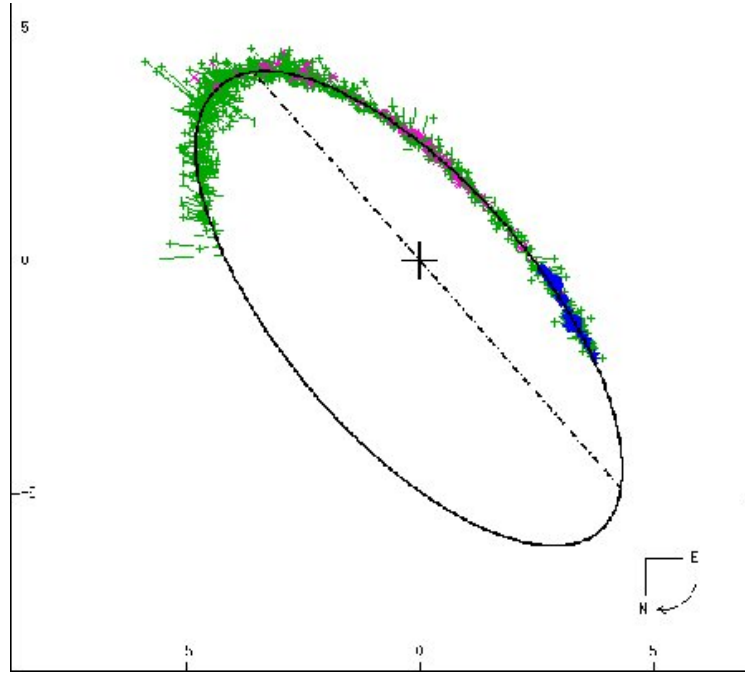
Aynı dönemde Bessel, 61 Cygni yıldızında kaydedilebilir bir yer değiştirmenin bulunduğunu gözlemiş ve 1812 yılında ilk paralaks değerini hesaplamayı başarmıştır.



Şekil 2.4. Castor'un bulunduğu gökyüzü haritası.



Şekil 2.5. Castor'un 7 Nisan 1976 (sol) ve 18 Nisan 2008 (sağ) tarihlerinde alınmış iki görüntüsü

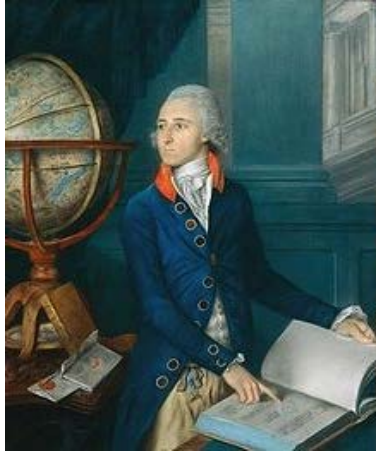


Şekil 2.6. Castor'un günümüze kadar alınmış gözlemlerden belirlenen görsel yörüngesi. Parlak bileşene göre sönük bileşenin konumu gösterilmiştir. Farklı renk ve semboller farklı gözlem yöntemleri kullanılarak elde edilen verileri göstermektedir.

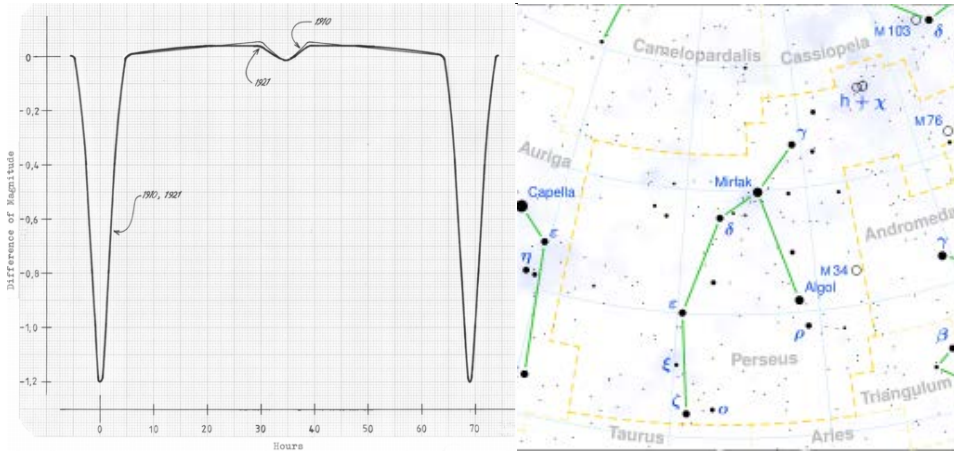
Çizelge 2.1. Castor (α Gem) Sisteminin Bileşenleri

Parametre	Bileşen Yıldızlar					
	Aa	Ab	Ba	Bb	Ca	Cb
Tayf Türü	A1 V	Bilinmiyor (büyük olasılıkla M5V)	A2 Vm	M2 V	M0.5 Ve	M0.5 Ve
Kütle (M_{\odot})	2.15	0.4 – 0.6	1.7	0.4 – 0.6	0.62	0.57
Yarıçap (R_{\odot})	2.3	?	1.6	?	0.76	0.68

Castor gerçekte 6 bileşenli bir sistemdir. Bileşenlerden bazılarının parametreleri tam olarak bilinmemektedir.



Şekil 2.7. Goodricke (1764-1786). 1783 yılında Algol'ün parlaklığının yaklaşık 3.5 saat'te 2 kadir kadar parlaklığının azaldığını göstermiştir. Bu parlaklık değişiminin dönemi olarak $P=2\text{gün } 20.6\text{ saat'te}$ bir tekrarlandığını belirtmiştir.



Şekil 2.8. Algol'ün ışık eğrisi (parlaklık değişimi) ve yıldız haritası

Goodricke, Algol'deki ışık değişimini açıklayabilmek için iki farklı model ileri sürmüştür, bunlar;

- Yıldız yüzeyinde büyük boyutlu leke bulunduğu veya
- Yıldızın dev bir gezegen tarafından örtülmesi nedeniyle parlaklığının değiştiği şeklindedir.

Güneş üzerindeki lekelerin ve Güneş sistemindeki gezegenlerin boyutları dikkate alındığında bu düşünceler o dönemde pek kabul görmemiştir. Bir başka yıldız tarafından örtülmenin gerçekleştiğine dair hipotez, gözlenen ışık değişimlerini açıklayabilecek yapıda olduğundan zamanla kabul görmeye başlamıştır. 20. yy'a kadar fotometrik çift yıldızlar, bünyesel değişen yıldızlar ile aynı sınıfta ele alınmıştır. Fakat daha sonra patlayan ve x-ışın değişenlerinin keşfedilmesi ile bunların farklı sistemler oldukları kabul edilmiştir.

Uzun dönemli değişimleri inceleyebilmek için eski gözlemlerin çok büyük önemi vardır. Çoğu görsel çift yıldız, keşiflerinden günümüze kadar tam bir yörüngesel dolanımı tamamlanmamış olduğundan, bileşen yıldızların buldukları konumun tekrar gözlenmesi mümkün değildir. Günümüzde görsel çift yıldızların yörüngelerine ilişkin yapılan çalışmalarda yaklaşık 150 yıl öncesinde elde edilmiş gözlemlerden yararlanır. 1821 yılında gözlemlerde mikrometrenin kullanılması ile gözlemlerde bulunan birçok sistematik hata ortadan kalkmış ve gözlemler daha standart ve güvenilir hale gelmiştir.

F.W.Bessel, Procyon ve Sirius yıldızlarının öz hareketlerinde küçük salınımların bulunduğunu ortaya çıkarmış ve 1844 yılındaki yayınında, bu durumun kütle merkezi etrafında dolanan görünmeyen bir bileşen nedeniyle olabileceğini belirtmiştir. Neptün gezegeni de benzer bir olay sonucunda, Uranüs'ün yörüngesindeki düzensizlikler sonucunda keşfedilmiştir. A. Auwers bu iki sisteme ilişkin yörüngeler konusundaki incelemesini henüz tamamlamışken, A.G. Clark, 1862 yılında Sirius'un bileşeni bulunduğunu ilan etmiştir. Procyon'un bileşeni çok daha sönük ve başyıldızın çok daha yakın olduğundan, ancak 1896 yılında Lick Gözlemevi'ndeki daha güçlü bir teleskop kullanılarak ikinci bileşenin varlığı gösterilebilmiştir.

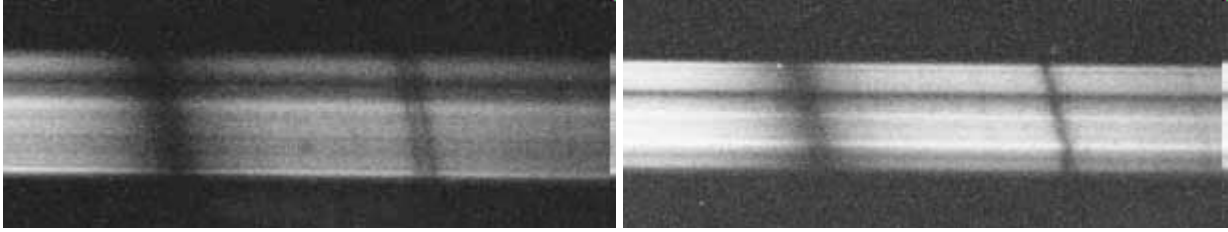


Şekil 2.9. Sirius ve Beyaz Cüce bileşeni

Chicaco'lu amatör astronom S.W. Burnham, kataloglarda bulunan çift yıldızlardan çok daha fazlasını 6 inç'lik teleskobu ile yaptığı gözlemler sonucunda keşfetmiştir. Kendisi, 1888 yılında daha sonra çok ünlü hale gelecek bir gözlemevi kurmuştur (Lick Gözlemevi). Daha sonra Dünya'nın en büyük teleskobu ile

çalışmak için Yerkes Gözlemevi'ne gitmiş ve oradaki çalışmalarını *BDS* olarak adlandırılan katalogda toplayarak 1906 yılında yayınlamıştır.

1868 yılında W. Huggins, ilk kez yıldızların dikine hızlarını ölçmeyi deneyen kişi olmuştur. Tayfsal çalışmaların daha sonraki gelişmesi daha çok tayfçekerlerin kalitesinin artırılması ve fotoğrafik materyalin hızının geliştirilmesi yönünde olmuştur. Kullanışlı fotoğraf plakları ortaya çıktıktan sonra, 1889 yılında E.C. Pickering, Mizar'ın tayfindaki çizgilerin zaman zaman çift çizgili olduğunu bulmuş ve bunun çift yıldız bileşenlerinin birbirleri etrafındaki dolanımlarından kaynaklandığını açıklamıştır.



Şekil 2.9. Mizar A'nın Harvard College Gözlemevi'nde 1887 yılında alınmış tayfsal gözlemleri. Ca elementinin K çizgisi çift olarak görülürken (27 Mart, sol), bir sonraki gözlemde (5 Nisan) aynı çizgi tek olarak görülmektedir. Solda bulunan daha büyük çizgi ise Hidrojen elementine ait H ϵ çizgisidir.

H.C. Vogel, 1889 yılında Algol'ün yörüngesel hareket yaptığını tayfsal olarak göstermiştir. Ve 1890 yılında, daha önceden ışık değişimi olduğu keşfedilmemiş olan α Vir (Spica) yıldızının da tek çizgili bir çift yıldız olduğunu ispatlamıştır. Dikine hız eğrisi ölçümlerinin hızla yayılması sonucunda çok sayıda tayfsal çift yıldız o dönemde keşfedilmeye başlanmıştır. Bu konuda Lick Gözlemevi, tayfçeker yapımında çok başarılı işler yapmıştır. Hızla artan değişen yıldız keşfi sırasında Algol ve β Lyrae türü yıldızlara benzer çok sayıda yıldızın bulunduğu ortaya çıkmıştır.

Yüzyılımızın üçüncü çeyreğinde,

- Galaksimizdeki yıldızların dağılımı ve hareketleri,
- Tayfsal sınıflama ve Hertzsprung-Russell diyagramı,
- Kısıtlı üç cisim problemi üzerindeki çalışmalar,
- Mt. Wilson teleskobu ile galaksi dışı cisimler üzerinde yapılan araştırmalar,
- Yıldızların iç yapılarına ilişkin yasalar,
- Görelilik teoreminin astronomiye uygulanması

gibi alanlarda ortaya çıkan gelişmeler, günümüz araştırmalarının temellerinin atılmasını sağlamıştır. Daha güçlü gözlem araçlarının kullanılması sayesinde daha sönük yıldızların gözlenebilmesi mümkün hale gelmiş ve her türden çift yıldızın keşfi bu dönemde devam etmiştir. Çok sayıda yakın çift yıldız bulunduğu ve bunlardan bir kısmının çok hızlı yörüngesel hareketler yaptığı anlaşılmıştır. Kuzey yarıküre için dokuzuncu kadire kadar büyük boyutlu tarama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma 1900'lü yıllarda Hussey ve Aitken tarafından Lick Gözlemevinde yürütülmüştür.

Sönük yıldızlar arasında bileşenler arası uzaklığın çok büyük olduğu (2" den daha büyük) sistemler kaydedilmiştir. Yakın çift yıldızlar genellikle Rossiter, van den Bos ve Finsen'in interferometrik gözlemleri

ile keşfedilmiştir. Keşfedilen yıldızların sayıları hem kuzey hem de güney yarıküre için neredeyse aynıdır. 1900'ü yıllarda kataloglara girmiş 15000'den fazla görsel çift yıldız bulunmaktaydı ve bunlardan ancak 50 kadarının yörüngeleri belirlenebilmişti. Gözlemlerde kullanılan yöntem ve ölçümlerin gelişmiş olmasına karşın, ölçüm aleti hala eski moda mikrometre idi. Birbirinden çok daha ayrıktır çiftlerin bulunması daha çok E. Hertzsprung tarafından fotoğrafik gözlemlerde yapılan geliştirmeler sayesinde olmuştur. Fotoğrafik emülsyonun hızındaki inanılmaz gelişme sayesinde, gözlenen dikine hız eğrilerinin duyarlılıkları artmıştır. Bu sayede 100 km/sn gibi büyük değerler ile 10 km/sn gibi küçük değerlerde dikine hız eğrileri elde edilebilmiştir. Yöntemlerin gelişmesine rağmen tayfsal çalışma yapan kişiler hala sönük yıldızlar üzerinde araştırma yapamaz durumdaydılar.

Örten değişen yıldızlar için ışık eğrileri az sayıda ve duyarlılıkları çok iyi değildi ve yörünge belirlenmesi konusunda bazı çalışmalar bu yüzyılda başlamıştır. 1910'lu yıllarda J. Stebbins tarafından yapılan denemeler sonucunda fotoelektrik olay astronomik gözlemlerde kullanılabilir hale gelmiştir. Bu sayede gözlemsel verilerin duyarlılıkları önemli düzeyde artmıştır.

Fotokatlandırıcıların geliştirilmesi sayesinde çok daha sönük yıldızların gözlemleri yapılmaya başlanmıştır. Bu dönemde artık 10-12 kadirde çift yıldızlar dev teleskoplarla gözlenmeye başlanmıştır. Yoğun talepler üzerine artık gözlem zamanı problem haline gelmiştir. (Not. Günümüzde 30 cm çaplı bir teleskop ve iyi bir dedektör kullanarak bu parlaklıklardaki yıldızlar rahatlıkla gözlenebilmektedir.) Bu dönemde çok sayıda yıldızın kaliteli ışık eğrileri elde edilebilmiştir.

Takip eden dönemde fotoelektrik yöntemin ve ölçümlerin daha standart hale getirilmesi yönünde gelişmeler yaşanmıştır. Bir başka önemli gelişme ise bilgisayarlar sayesinde yıldızların iç yapılarına ilişkin çalışmaların yapılması ve yıldız iç yapı modellerinin oluşturulması olmuştur.