

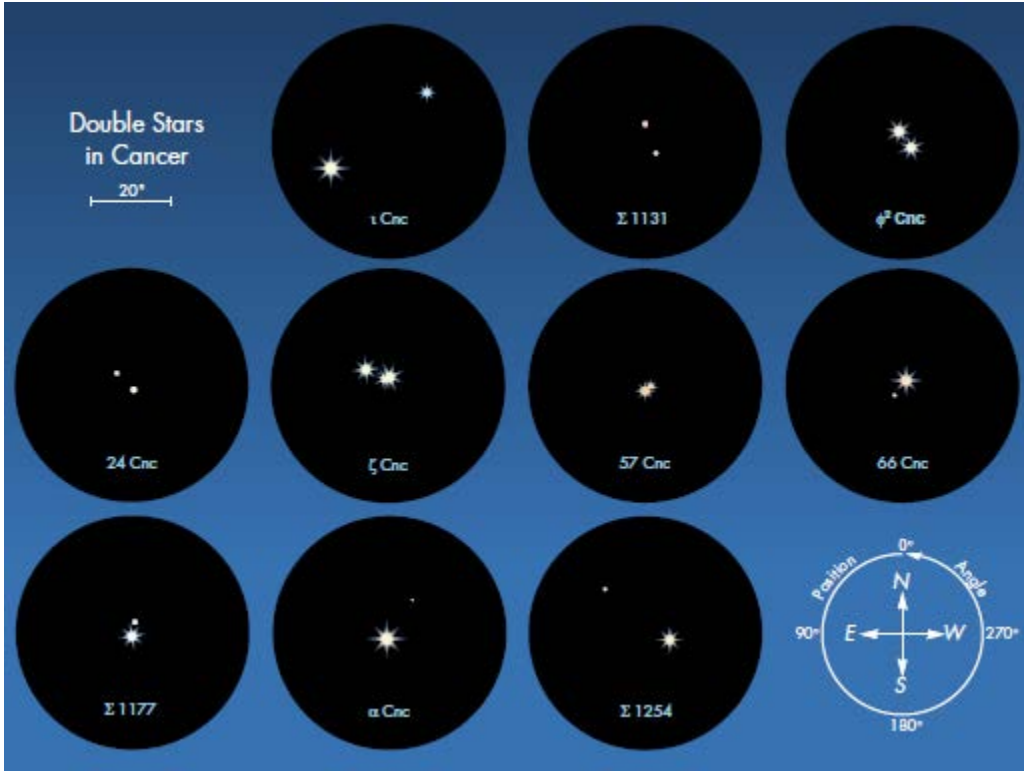
4. GÖRSEL ÇİFT YILDIZLAR: Gözlemler, Yörünge Parametreleri ve Genel Özellikleri

W. Herschel, optik çift yıldızlardan çok daha fazla sayıda birbirlerine fiziksel olarak bağlı çift yıldız sisteminin olduğunu fark eden ilk kişi olmuştur. Eski gözlemsel verilerden,

β .G.C= Burnham General Catalogue (1906); 14000 sistem

A.D.S= Aitken New General Catalogue (1932); 17000 sistem kataloglarda bulunmaktadır.

Güney yarıküredeki çift yıldızlar ile birlikte bu sayı 80000 civarındadır. Bunlardan sadece 1000 tanesinin yörüngesi iyi bir şekilde ve 300 kadarının ise mükemmel gözlemleri mevcuttur. Görsel çift yıldızların temel problemi, dönemlerinin çok uzun olmasıdır. En azından yörünge yarısı kadar bir veri gurubunun elde edilmesi durumunda yörünge parametreleri iyi bir şekilde hesaplanabilmektedir.

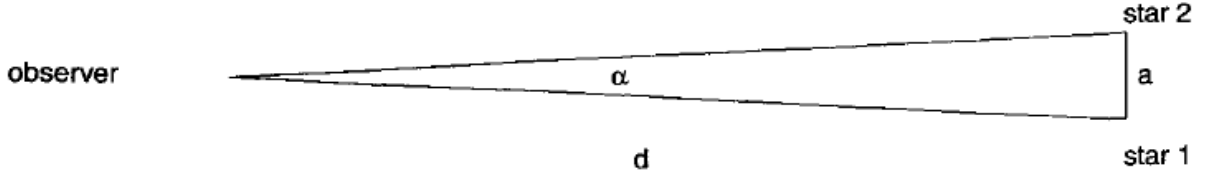


Şekil 4.1. Küçük bir teleskopla Cancer (Cnc) takımyıldızında gözlenebilecek birkaç görsel çift yıldız. 6 cm çaplı ve 12 cm teleskoplar için görüntü oluşturulmuştur.

Gözlemciden belirli bir uzaklıkta bulunan bir çift yıldız sisteminde bileşen yıldızlar arasındaki doğrusal uzaklık a kadar ise bu iki cisim arasındaki açısal ayrıklık α değeri, yay-saniyesi biriminde küçük açı formülü kullanılarak hesaplanır,

$$a = \frac{\alpha \cdot d}{206265}$$

Burada 206265 sayısı bir radyanlık açının yay-saniyesindeki karşılığıdır (1 rad=57°.296*60*60=206265)



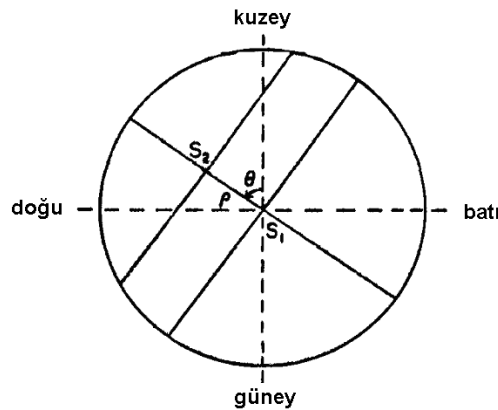
Şekil 4.2. Aralarındaki doğrusal uzaklığın a olduğu bir çift yıldız sistemi d uzaklığında ise α açısal uzaklığı

$$\alpha(rad) = \frac{a}{d} = \frac{\alpha''}{206265} = \frac{a(AB)}{d(pc) \times 206265} \rightarrow \alpha'' = \frac{a(AB)}{d(pc)}$$

Çoğu çift yıldız sistemi için bileşen yıldızlar arasındaki fiziki uzaklık tipik olarak yıldız yarıçapları toplamının 1 ile 20 katı büyüklüktedir. Örneğin aralarındaki uzaklığı $a=10 R_{\odot}$ olduğu bir sistemin $d=10$ parsek uzaklıkta olduğunu kabul edersek bu iki yıldız arasındaki açısal uzaklık 0.005 yay-saniyesi olacaktır. Bu kadar açısal ayrıklığı henüz ayırabilmiş değiliz fakat bu ayrımı yapabilecek düzeye interferometreler sayesinde ulaşabileceğimizi düşünüyoruz.

Gözlemlerden bakış doğrultusuna dik doğrultudaki izdüşüm yörüngeyi, yani görünür yörüngeyi elde etmek mümkündür. Bu nedenle görünür yörüngeden gerçek yörüngeye ilişkin yörünge parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir.

Görsel çift yıldızların gözlem yöntemi F.J.W. Struve tarafından standart hale getirilmiştir. Kutupsal koordinat sisteminde iki yıldız arasındaki açısal uzaklık yay-saniyesi biriminde ve durum açısı ise derece cinsinden kuzey doğrultusu ile yoldaş bileşenin yaptığı açı olarak ölçülür. Bu açı doğu yönünde ölçülür ve yıldız doğuda ise 90° , güneyde ise 180° ve batıda ise 270° durum açısına sahiptir. Gözlemlerde doğu-batı yönü, yıldızın günlük hareketi dikkate alınarak bulunur. Buna gözlemler sırasında teleskobun takip motorunun durdurulması ve yıldızların hareket yönüne bakılması ile karar verilir.

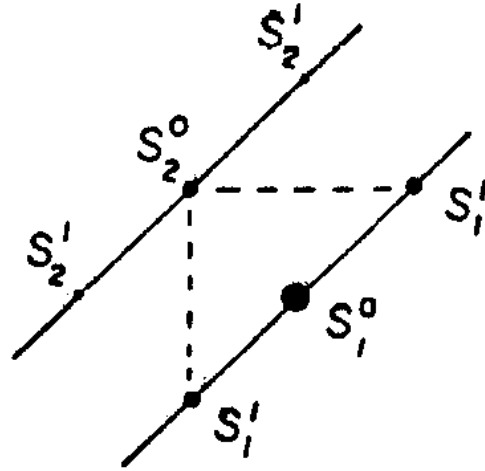


Şekil 4.3. Görsel bir çift yıldız sisteminde başyıldız göre yoldaş bileşenin konumu. Açısal uzaklık ρ yay-saniyesi biriminde, θ durum açısı ise derece birimlerinde ölçülür. Teleskop ile alınan görüntülerde kuzey ile güney tam aksi yönlerde bulunur. Şekilde doğrultular ters çevrilmiştir.

Kutupsal koordinat sisteminde bileşen yıldızların birbirlerine olan konumları yakın zamana kadar mikrometre adı verilen bir gözlem aracı kullanılarak gerçekleştirilirdi. Mikrometrede iki adet tel bulunur. Bunlardan biri sabit diğeri ise derecelendirilmiş vida şeklinde hareket ettirilebilir özelliğe sahiptir. Yoldaş bileşenin durum açısı bu derecelendirilmiş vida kullanılarak ölçülür.

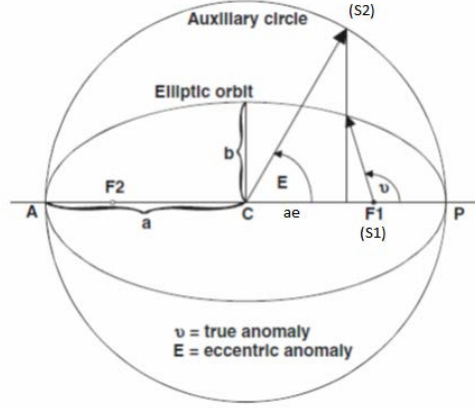
Mikrometre optik eksene göre çevrilebilir bir yapıya sahiptir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi durum açısı θ belirlenir. Açısal uzaklık olan ρ 'nun belirlenmesi için başbileşen olan S_1 , sabit tellerin kesiştiği orta noktaya yerleştirildikten sonra hareketli tel yoldaş bileşenin bulunduğu S_2 noktası ile çakıştırılacak şekilde hareket ettirilir. Ardından mikrometre kutusu çevrilerek S_2 yıldızının merkez noktaya yerleştirilmesi sağlanır ve tel hareket ettirilerek S_1 yıldızından geçmesi sağlanır. Bu yöntemle iki yıldız arasındaki açısal uzaklığın iki katı ölçülmüş olacağından ölçümlerdeki hata miktarları en aza indirilmeye çalışılır.

Eğer bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık büyük ise bu durumda fotoğraf plakaları kullanılarak her iki yıldızın görüntüsü alınır. Bileşen yıldızların parlaklıkları uygun ise poz süresi kısa tutularak çok sayıda gözlemden oluşan bir seri yaratmak mümkündür. Bu yöntemle de birden fazla ölçüm yapılarak ölçümlerdeki hataların en aza indirilmesi sağlanır. Teleskobun sağ açıklıktaki hareketi günlük hareketin aksi yönünde gerçekleşir. Burada her iki yıldızın parlaklığının yaklaşık olarak aynı olması önemlidir.



Şekil 4.4. Sıralı fotoğrafik görüntü üzerinden bileşen yıldızların gözlemsel verisinin elde edilmesi.

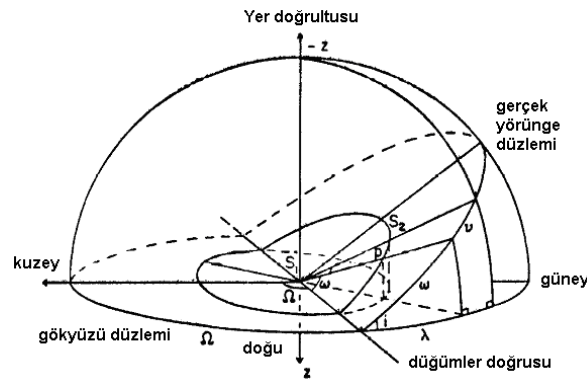
Çift yıldız sistemlerinde gerçek yörünge düzlemi üzerinde bir yörünge toplam 7 adet parametre ile belirlenir. Bunlardan ilk üç parametreye *dinamik parametreler* adı verilir ve yörüngeye ilişkin hareketler ile ilgili parametrelerdir. Diğer dört parametre ise *geometrik parametreler* olarak adlandırılırlar ve yörünge boyutu ile yönelmesine ilişkin büyüklüklerdir.



Şekil 4.5. Elipsin eksenleri ile dışmerkezliği arasındaki ilişki. Şekilde P enberi noktasını ve A ise enöte noktasının konumunu göstermektedir.

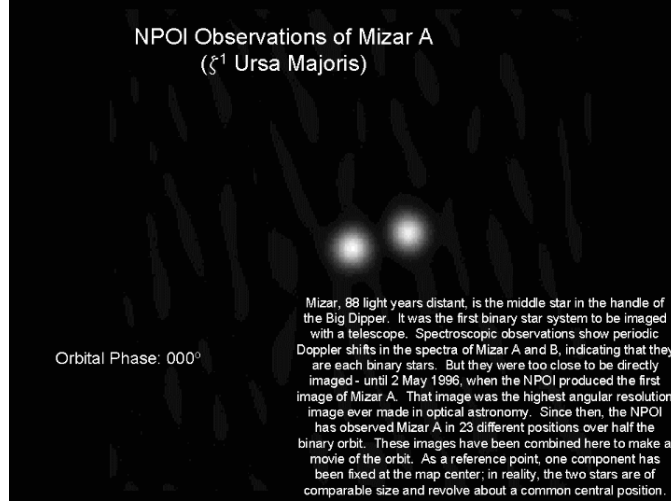
Gezegenler ve kuyruklu yıldızlar dikkate alındığında parametrelerin isimlendirilmesi farklılık gösterir fakat çift yıldızlar için kullanılan tanımlar;

- P : Yörünge dönemi. Ortalama Güneş yılı cinsinden yoldaş bileşenin baş bileşen etrafında tam bir dolanım yapması için gereken süredir. Bu bilgiden ortalama yıllık açısal hız, $n=2\pi/P$ hesaplanabilir.
- T_0 : Yoldaş bileşenin enberi noktasından geçiş zamanı veya tarihi
- e : Gerçek yörünge elipsinin dışmerkezliği
- a : Gerçek yörünge elipsinin yarı-büyük eksen uzunluğu
- Ω : 0° ile 180° arasında ölçülen, düğümler doğrultusunun durum açısını gösterir. Gerçek ile görünür yörünge düzlemlerinin kesiştiği doğrultuyu gösterir.
- ω : Gerçek yörüngede, düğümler doğrultusu ile enberi noktası arasındaki açıdır ve 0° ile 360° arasında değerler alır. Ölçüm bileşen yıldızların hareket doğrultusunda gerçekleştirilir (bkz. Şekil 4.6)
- i : Yörünge düzleminin gökyüzü düzlemi ile arasındaki açıdır. Hareket esnasında zamana bağlı olarak durum açısı artıyorsa 0° ile 90° arasında, retrograde hareket yapıyorsa 90° ile 180° arasında ölçülür.



Şekil 4.6. Gerçek yörünge elipsi, gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşüm elipsi (görünür yörünge elipsi) ve yörünge parametreleri.

Not. Görsel çift yıldızlara ilişkin gözlemlerden i yörünge eğim açısının işareti bulunamaz. Bu nedenle iniş ve çıkış düğümünün hangisi olduğu bilinemez. Bu bilgiye ulaşabilmek için dikine hız eğrisi gözlemlerine ihtiyaç duyulur.



Şekil 4.7. Hareketli görüntü. Mizar A'nın yörüngesel hareketi. Bileşen yıldızların gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşüm yörüngesi görülmektedir.

Newton evrensel çekim yasası,

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

şekindedir. Burada F =kuvvet vektörel bir büyüklüktür ve cisimlerin birbirlerine uyguladıkları kuvveti gösterir. G , evrensel çekim sabitidir ve $6.673 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gr.sn}^2$ değerine sahiptir. M , kütle ve r ise kütleler arasındaki uzaklık olarak kullanılır. Birimler dikkate alındığında kütlelerin gram ve r nin ise cm olarak kullanılması gerekmektedir.

Kepler'in üç yasasının da çekim yasasına uyduğunu matematiksel olarak göstermek mümkündür. Bu nedenle bu ifadeyi birbirleri etrafında yörüngesel harekette bulunan çift yıldızlar için kullanmak mümkündür. Bileşen yıldızlardan biri odakta olacak şekilde, her iki yıldızın mutlak yörüngesi birer elipstir. Sönük bileşenin baş bileşene göre yörüngesi, odakta parlak bileşen olan bir elipstik. Yoldaş bileşenin odağa olan uzaklığı,

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos \nu}$$

ifadesi ile verilir. Burada, r yarıçap vektörünü, e dışmerkezlik değerini ve ν ise gerçel anomali açısını gösterir. Kepler alanlar yasası, bileşen yıldızların yarıçap vektörlerinin, eşit zamanlarda eşit alanlar süpürdüklerini ifade eder. Gerçek yörünge için alanlar yasası,

$$h = r^2 \frac{d\nu}{dt}$$

şeklinde yazılabilir. Bu yasa gerçek yörünge elipsi için geçerli olduğu kadar, izdüşüm yörünge için de geçerli bir ifadedir. İzdüşüm yörünge için h sabiti, h' gibi bir başka sabite eşittir.

Harmonik yasa veya bilindik adıyla Kepler'in 3.ncü yasası, çift yıldız sistemini oluşturan bileşenlerin toplam kütlesi ile yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ve dolanma dönemini birbirine bağlar.

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

Eğer a yarı-büyük eksen uzunluğu Astronomi Birimlerinde ve P dolanma dönemi yıl birimlerinde kullanılırsa bu durumda sistemin toplam kütesini,

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2}$$

Güneş kütlesi birimlerinde yukarıdaki ifadeyi kullanarak hesaplamak mümkündür. Yıldızların kütlelerini Güneş kütlesi birimlerinde karşılaştırmak çok daha kolay bir işlemdir. ($1 M_\odot = 1.981 \times 10^{33}$ gr, $1 R_\odot = 6.955 \times 10^{10}$ cm, $1 L_\odot = 3.839 \times 10^{33}$ erg/sn).

Yıl birimlerinde kullanılan yörünge dönemi için gerçekte yıldızıl yıl birimi kullanılmalıdır. Pratikte ise genel olarak takvim yılı dikkate alınarak işlemler yapılır. Yıldızıl yıl ile takvim yılı arasındaki oran 1.00004 kadardır ve birim değere çok yakındır. Bu nedenle görsel çift yıldızlarla ilgili yürütülen çalışmalarda bu fark pek dikkate alınmaz.

Görünür ve Gerçek Yörünge Elipsi

Görünür yörünge elipsi, gerçek yörünge elipsinin izdüşümü olduğundan aralarında çeşitli ilişkiler kurulabilir;

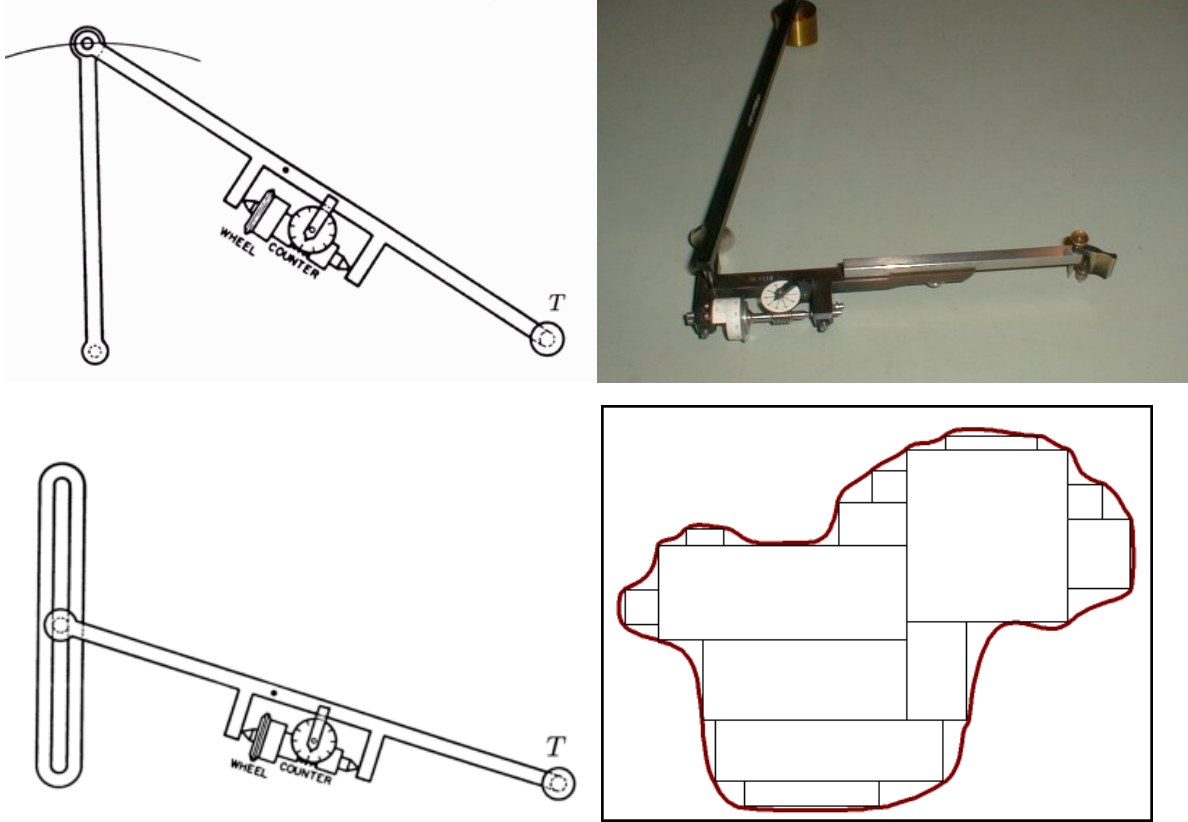
- Gerçek elipsin merkezi ile görünür yörünge elipsin merkezi aynı noktaya karşılık gelir
- Parlak bileşenin (başyıldızın) konumu, gerçek yörünge elipsinin odaklarından birinin izdüşümüne karşılık gelir, bu nedenle parlak yıldızın konumu, görünür yörünge elipsinin odağında olmaz
- Görünür yörünge elipsinin, parlak yıldızın bulunduğu konumdan geçen çapı, gerçek yörünge yarı-büyük eksen uzunluğunun izdüşümüdür. Ekstrem noktaları, enberi ve enöte noktalarını gösterir.
- Dügümler doğrultusuna çizilecek paralel bir doğrultu, yöne paralel olarak kalacak ve görünür yörüngede kısaltmaya uğramaz
- Dügümler doğrultusuna dik doğrultuda çizilecek doğru, görünür yörüngede yine dik olarak kalacak, fakat $\cos i$ oranında kısaltmaya uğrayacaktır

Görünür Yörünge Elipsinin Çizimi

Gözlemsel olarak elde edilen p ve θ değerlerinden yararlanarak görünür yörünge elipsinin çizimi için farklı yöntemler kullanılabilir. Yöntemlerden ilki bir elipsin toplam beş parametre ile çizilebilir

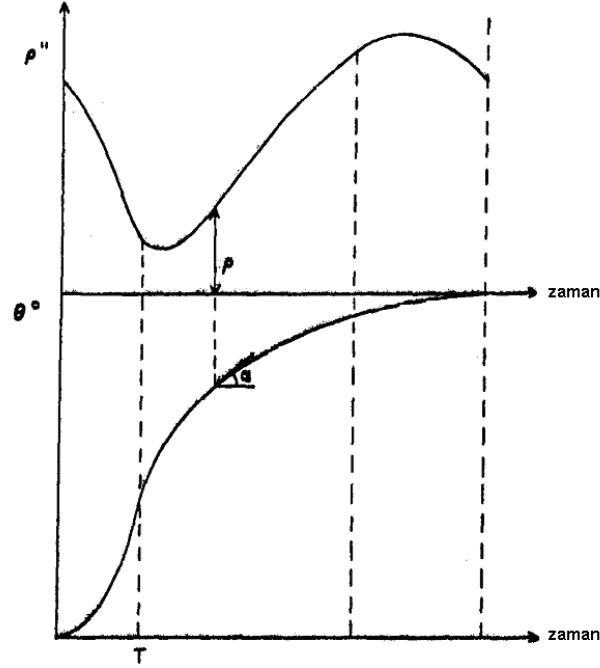
olmasını dikkate alır. Bu işlem için görünür elips üzerinde beş özel noktanın belirlenmesi veya kullanılması yeterlidir. Bu yöntemde gözlem zamanına ihtiyaç duyulmaz.

Bir başka çizim yönteminde ise oluşturulacak normal noktalar yardımıyla elipsin çizilmesidir. Bunun için elips çizen araçlar kullanılır. Aynı zamanda çizilen elipsin alanlar yakasına uyup uymadığını incelemek için bir planimetre (Şekil 4.8) kullanılmalıdır. Çizilen elips, Kepler'in alanlar yasasına uygun olmalıdır. Bu yöntemde gözlem zamanları dikkate alınır.



Şekil 4.8. Planimetre ve kapalı bir eğrisel bölgenin alanının belirlenmesi. Planimetre, alan ölçümünde kullanılan bir araçtır.

Bir başka çizim yönteminde ise zaman parametresi öncelikli olarak dikkate alınır. Bu yöntemde yay-saniyesi birimindeki ρ uzaklıkları ile q durum açısı değerleri aynı grafik üzerinde zamana göre değişimi çizilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. ρ ve θ değerlerinin zamana göre değişimi. Dikey eksen aynı birimde olmadığından bu çizim dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Grafikten yararlanarak çizilen eğrilerin eşit alanlara sahip olup olmadıkları denetlenebilir.

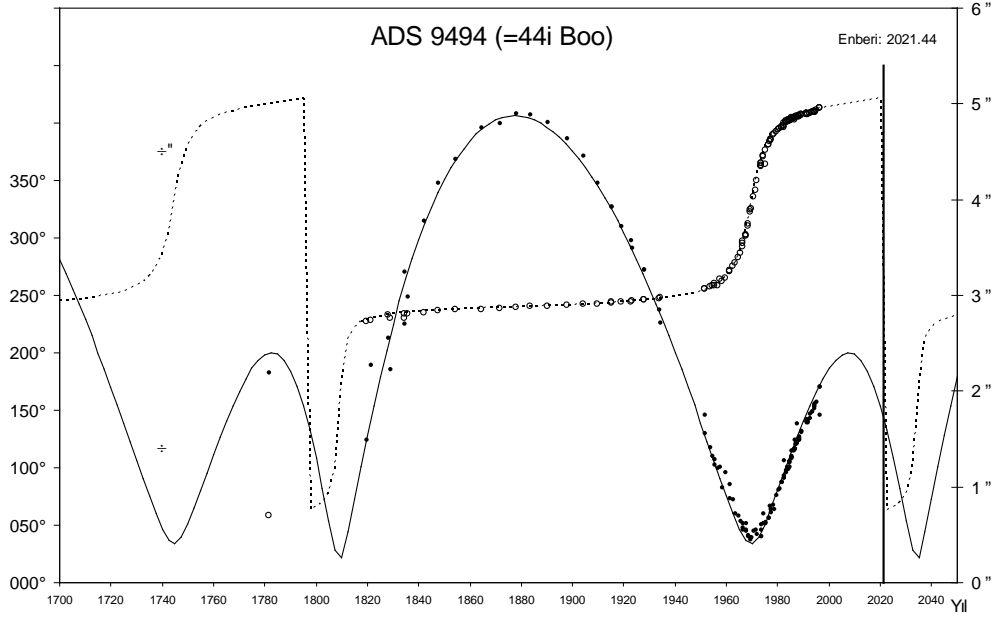
Böylesine bir grafik üzerinde gözlem noktaları arasında düzgün eğriler çizilir. Daha sonra, önceden oluşturulmuş normal noktalar ile çizimi yapılan eğriden olan sapmalar, gözlemsel olarak elde edilen durum açısı ve bileşenler arasındaki uzaklık değerlerinin doğruluğu ve duyarlılığı hakkında bilgi verir.

Yıllık ortalaması alınmış durum açısı değerlerinin zamana göre grafiğinden, yıllık değişim derece cinsinden hesaplanabilir bir büyüklük olacaktır. Bu büyüklüğün $57^{\circ}.29$ değerine bölünmesi durumunda radyan biriminde yıllık değişim elde edilir. Bu durumda herhangi bir zaman aralığına karşılık gelen alanlar sabitini hesaplamak mümkündür. Alan sabiti, yıllık yay parçasının iki katına eşittir. Bu nedenle,

$$h' = \rho^2 \frac{d\theta}{dt}$$

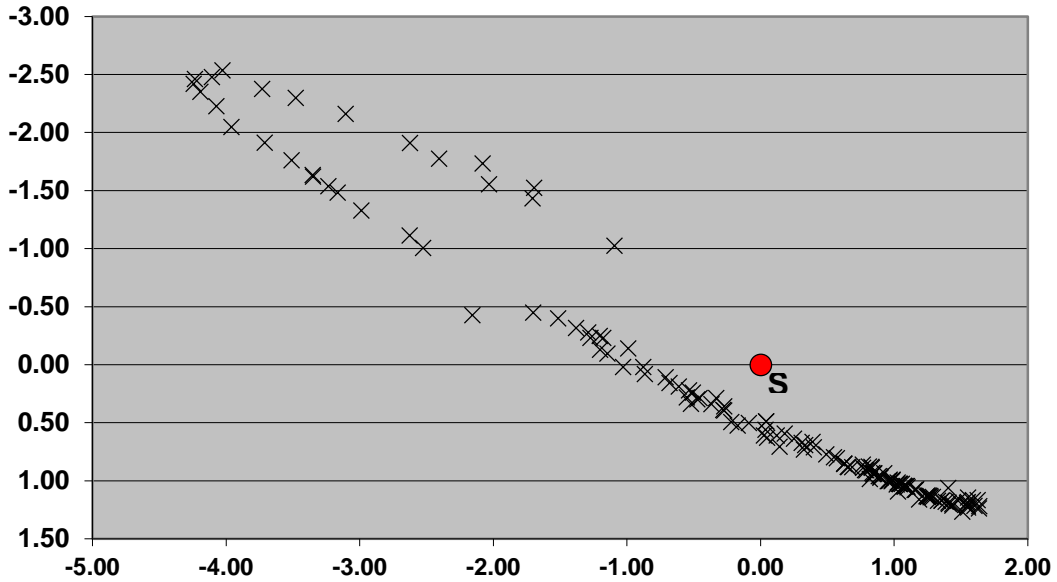
yazabiliriz. Bu ifadede bulunan θ radyan birimlerine sahiptir. Daha önce çizdiğimiz düzgün eğriyi herhangi bir zaman aralığı için aynı h' sabitini buluncaya kadar değiştirerek, görünür yörünge elipsinin çizimi tamamlanır.

Görünür yörünge elipsinin çiziminin doğru yapılması, yani alanlar yasasına uygun bir elipsin çizilmesi çok önemli bir aşamadır. Nedeni ise bu çizimin yörünge parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak olmasıdır. Bu yöntem görünür yörünge elipsinin çizimini çok daha kolay ve daha doğru elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.10. ADS9494 (44i Bootis) sistemi için ρ ve θ nın zamana göre değişimi. Aynı birimde olmayan iki farklı gözlemsel veri iki eksenli bir grafikte birleştirilmiştir. Eksenler üzerinde değişiklikler yapılarak grafikler aşağı veya yukarı yönde kaydırmak mümkündür. Grafik üzerinde ayrıca teorik olarak elde edilmiş yörünge çözümüne ilişkin çizim sürekli ve kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde ADS9494 sistemine ilişkin literatürde bulunan gözlemsel verilerinden yararlanarak elde edilen görünür yörünge elipsi bulunmaktadır.

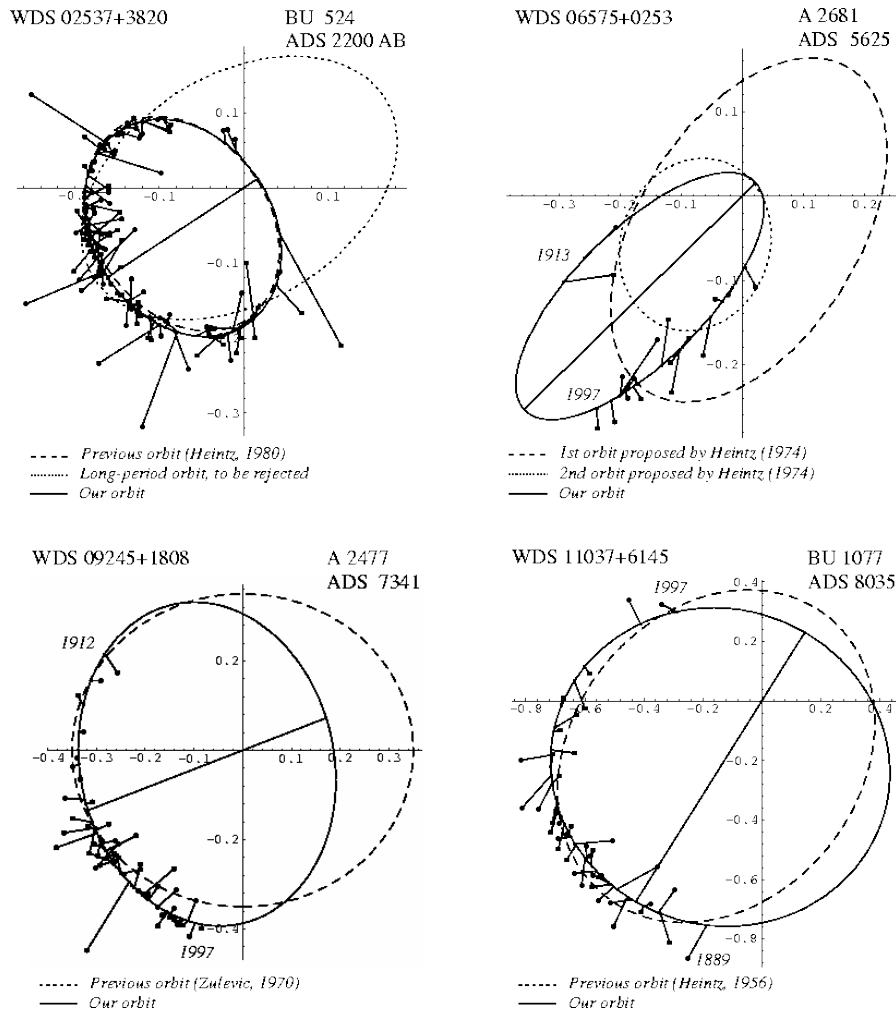


Şekil 4.11. ADS9494 sisteminin görünür yörünge elipsinin çiziminde kullanılan gözlemsel verileri.

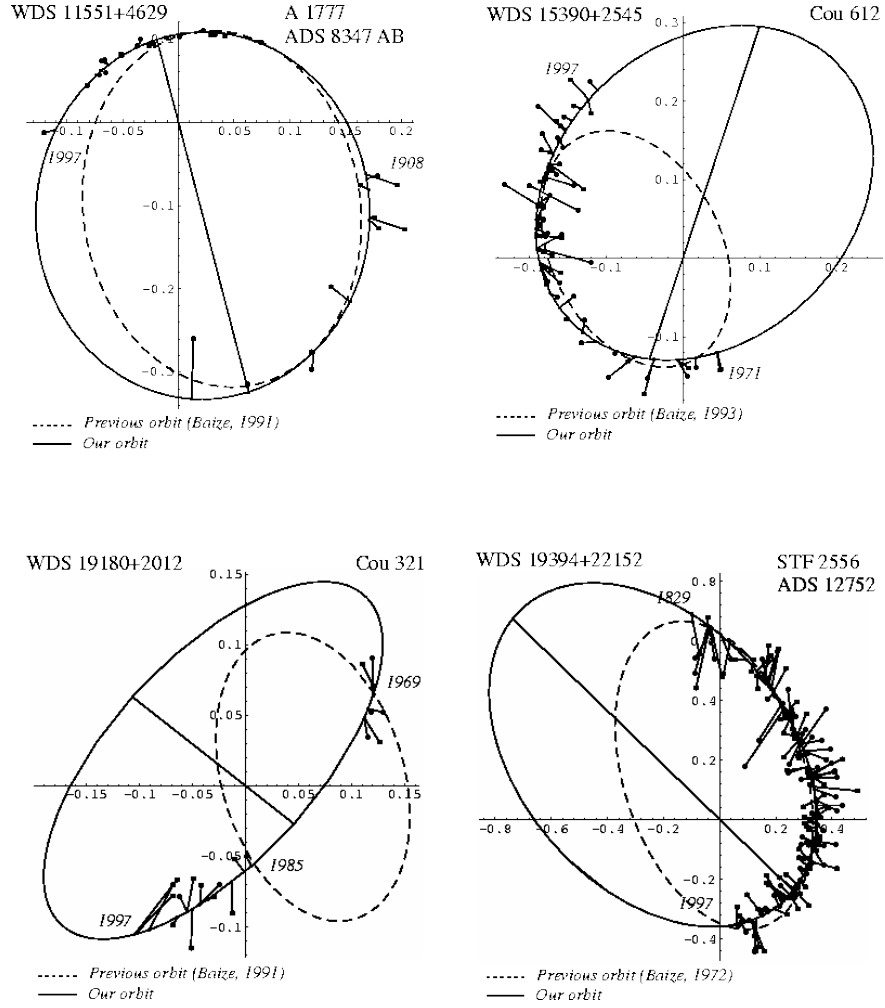
Çizelge 4.1. ADS9494 sistemine ait gözlemsel veriler

Tarih	θ	ρ	Ref.	dx	dy
1781.62	258.8	2.2	37	-2.158	-0.427
1819.43	226.9	1.5	37	-1.095	-1.025
1821.33	228	2.28	37	-1.694	-1.526

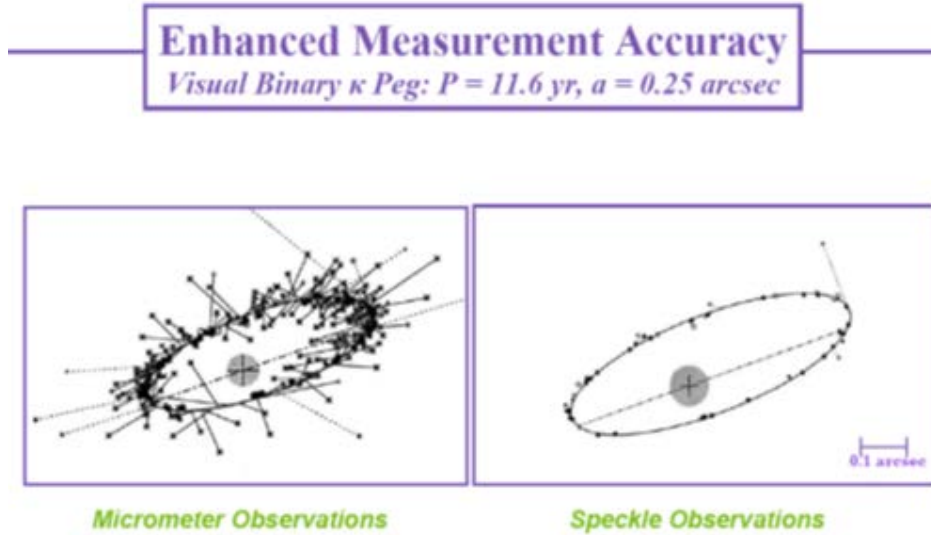
Hatalı Çizilmiş Yörüngeler



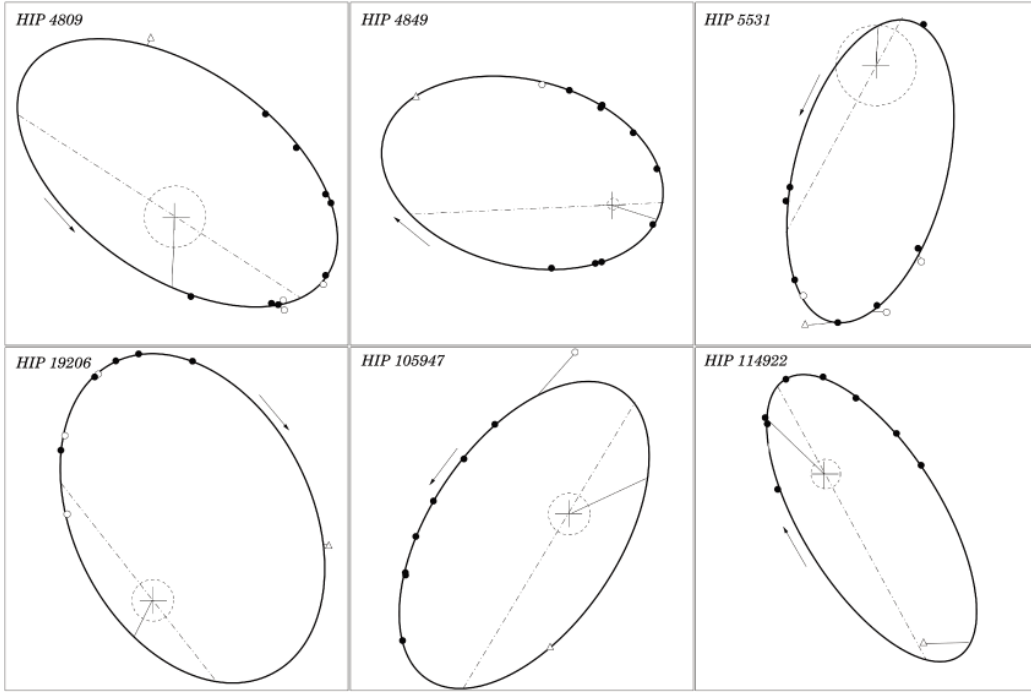
Şekil 4.12. Yörünge çözümleri hatalı yapılmış sistemler.



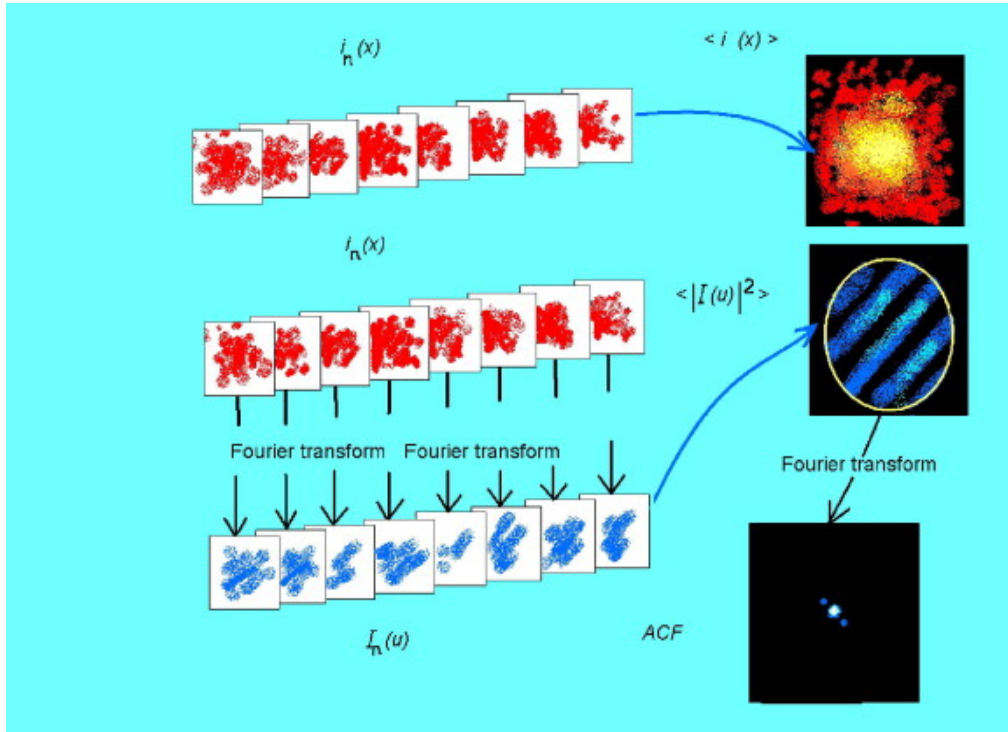
Şekil 4.13. Yörünge çözümleri hatalı yapılmış sistemler.



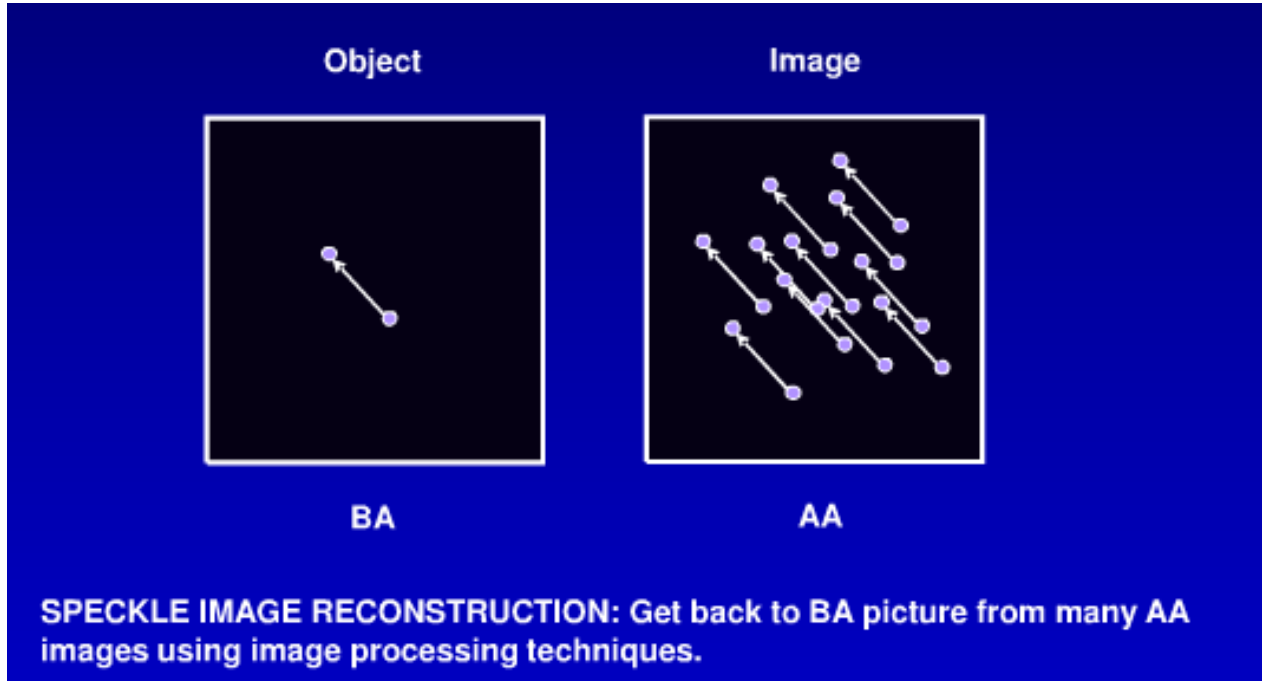
Şekil 4.14. Mikrometre ve Speckle İnterferometrik türü gözlemsel verilerin karşılaştırması



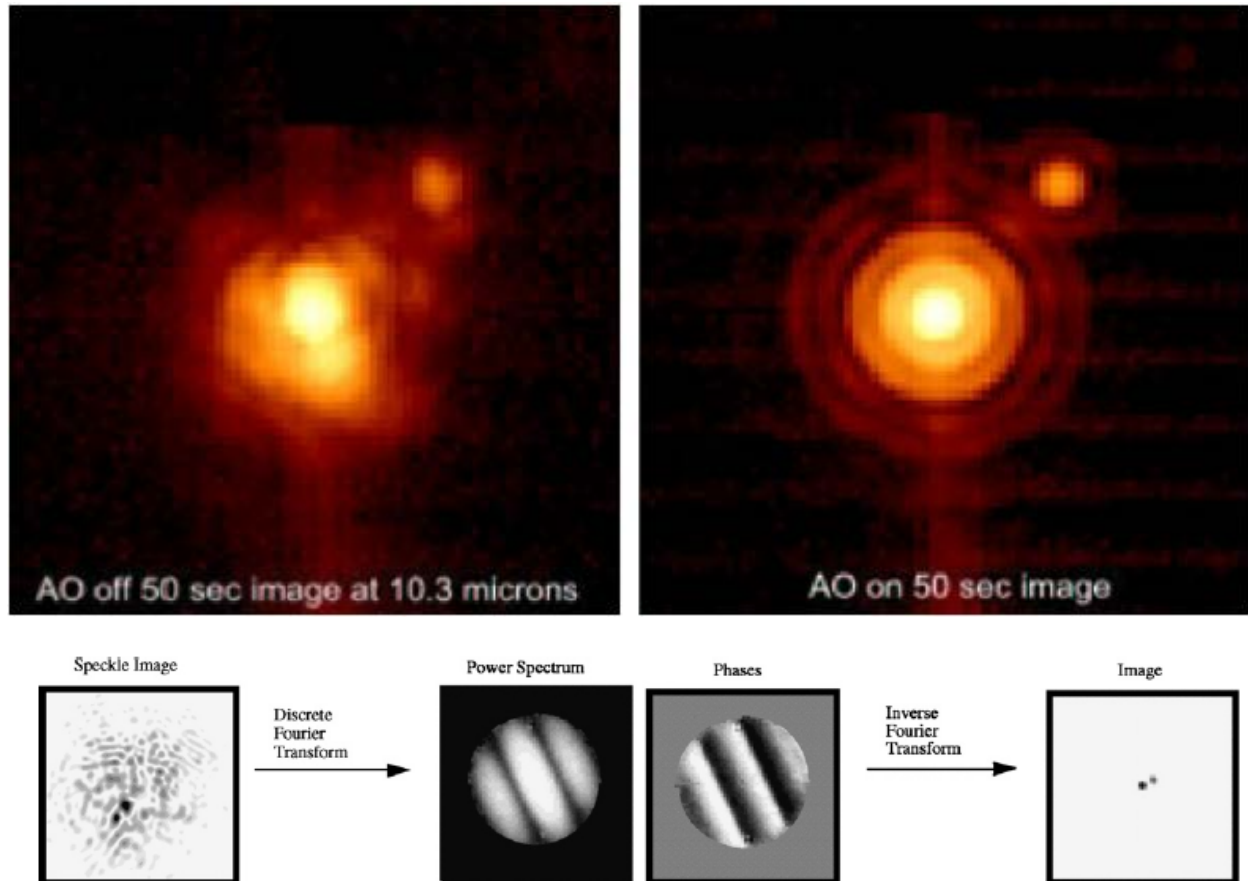
Şekil 4.15. Speckle İnterferometrik yörüngeler



Şekil 4.16. Görüntü oluşturmada Fourier dönüşüm yöntemi



Şekil 4.17. Speckle görüntü oluşturma



Şekil 4.18. Adaptive optik yöntemi ile görüntü