

AST406

UZUN DALGA ASTRONOMİSİ

Radyo Girişim Aletleri (İnterferometreler)

- Bir teleskobun ayırma gücü kırınım yasaları ile sınırlıdır. Bu sınır $1.22 (\lambda/D)$ ile verilir. Burada λ gözlemin yapıldığı ışının dalgaboyu, D ise kullanılan teleskobun açıklığı yani çapıdır. Bu formülle elde edilen kırınım sınırı küçük olmasına karşın, büyük optik teleskopların ayırma gücünü Yer atmosferindeki titreşimler sınırlar. Bu sınır $0''.5 - 2''$ komşuluğundadır.
- Bir radyo teleskopla optik teleskoplara denk ayırma gücü elde etmek için çok büyük açıklık gerekmektedir. Örneğin hidrojenin 21 cm çizgisi ile görsel bölgeyi karşılaştırırsak **radyo teleskobun çapı** $D(\text{radyo}) = 4 \times 10^5 D(\text{optik})$ olmalıdır. $D(\text{optik}) = 1\text{m}$ için $D(\text{radyo}) = 400 \text{ km}$ olur!
- Oysa en büyük paraboloid antenin çapı 100 m dir, bunun ayırma gücü $\lambda = 21 \text{ cm}$ de, yaklaşık $8'$ dir. En küçük dalgaboylarında geniş alanlı (doldurulmuş alanlı) teleskoplarla $1'$ lik kırınım sınırına erişilmiştir. Böyle tek teleskoplarla (D yi büyüterek) daha iyi ayırma gücü elde etmek pek olası değildir.

Radyo Girişim Aletleri (İnterferometreler)

- Radyo kaynaklarının çoğu küçük açısal çaplıdır. Dolayısıyla bu kaynaklardaki fiziksel süreçleri anlamak için daha iyi bir ayırma gücü gerekir.
- Samanyolu dışı radyo kaynaklarının çoğu **1' (açı dakikası) dan daha küçüktür**. Kıtalararası taban uzunlukları kullanarak bile bir çok radyo bileşen 1985 lerde ayrılamamıştır ($< 3 \times 10^{-4}$ açı saniyesi). Bu, samanyolundaki radyo ışınım için de geçerlidir.
- Radyo çizgileri salan bölgeler de yüksek ayırma gücü gerektirir. Molekül çizgileri salan bölgelerin bir kısmı çok küçüktür. Bazı molekül bulutları içinde ise soğurma ve salma çizgileri veren küçük kütleler vardır. 21 cm çizgisiyle daha uzak gökadalardaki hidrojen dağılımını haritalamak için yüksek ayırma gücü gerekir.

Radyo Girişim Aletleri (İnterferometreler)

Çoğu zaman, sürekli tayf gözlemlerinin duyarlılığını alıcı gürültüsü değil komşu kaynaklardan gelen ışınımın karışması sınırlar. Dolayısıyla ayırma gücünü artırmadan duyarlılığı artırmanın, belli bir noktadan sonra, yararı yoktur.

GİRİŞİM ALETLERİ :

Girişim yöntemleri kullanarak, iki boyutlu diziler ya da paraboloid tabaklarıncinden daha iyi ayırma gücü elde etmek olasıdır.

Radyo girişim aletleri çift-dalga ve çok dalga aletleri diye ikiye ayrılabilir.

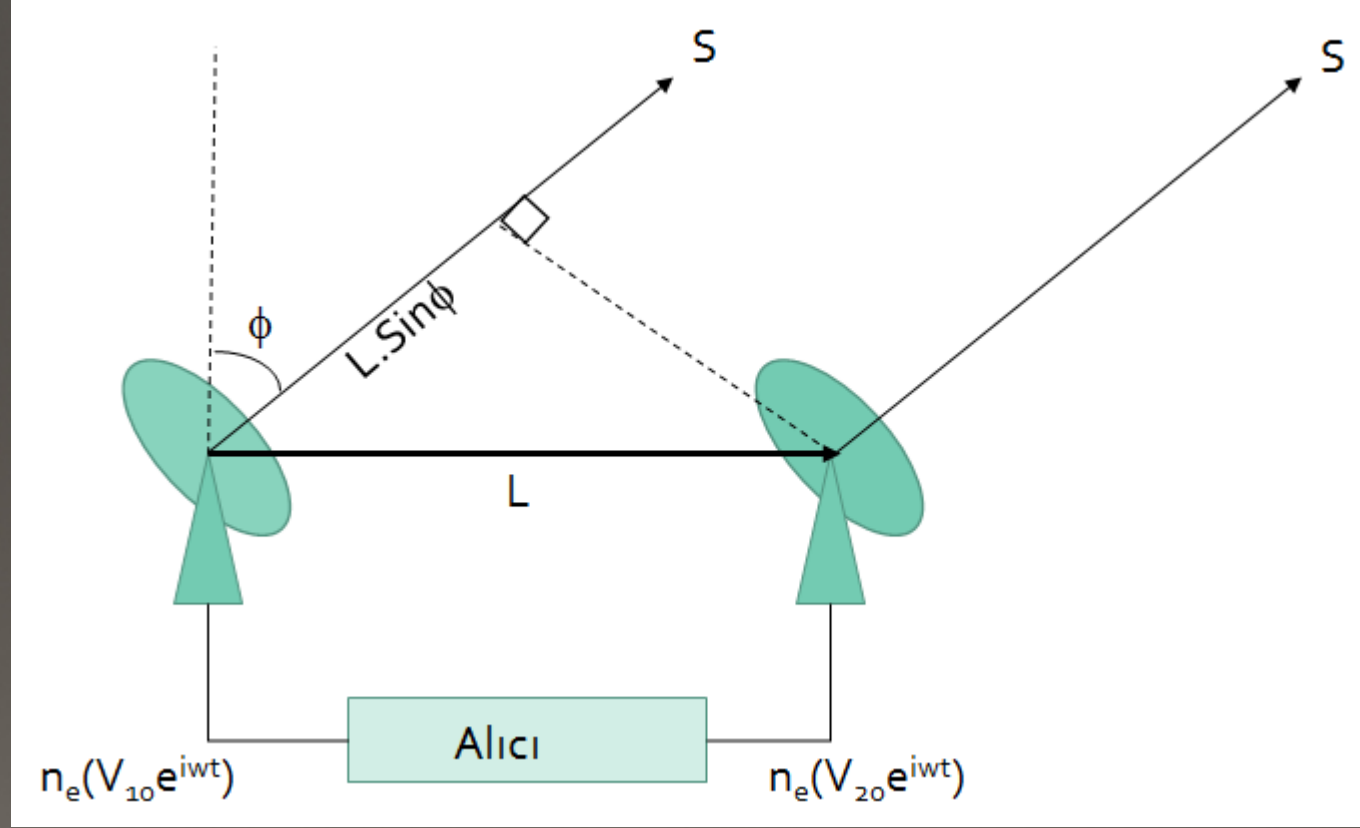
Çift-dalgı girişim aleti

Girişim aletlerinin en basitidir. Aralarındaki uzaklık gözlemin yapıldığı dalga boyuna göre büyük olan ve aynı doğrultuya yöneltilen iki antenden oluşur. İki antenden gelen sinyaller eklenerek elde edilen girişim saçakları incelenir.

ν frekansında ya da λ dalga boyundaki ışınım yeğınlığı S_{ov} olan bir nokta kaynak alalım. Her teleskopta kaynağın ışınımının oluşturduğu akı ve voltaj, eksenle ϕ açısı yapan

$$S_v = S_{ov} G(\phi)$$

$$V = V_{ov} G^{1/2}(\phi) \cos(2\pi\nu t)$$



Çift-dalga girişim aleti

Ancak bu voltaj her teleskopta biraz farklı zamanda meydana gelecektir. Düzlem dalga durumunda dalga önü (cephesi) üzerindeki her nokta aynı evrededir, antenlerde ise evre farkı oluşur.

$$\text{Yol farkı} = L \sin \phi$$

$$\text{Evre farkı} = 2\pi \frac{L \sin \phi}{\lambda} \quad \text{olur.}$$

Çift-dalga girişim aleti

$$V_1 = V_{ov} G^{1/2}(\phi) \cos(2\pi vt)$$

$$V_2 = V_{ov} G^{1/2}(\phi) \cos 2\pi \left(vt - \frac{L \sin \phi}{\lambda} \right)$$

İki antenden gelen bu sinyaller toplanırsa

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 = V_v &= V_{ov} G^{1/2}(\phi) \left[\cos 2\pi vt + \cos 2\pi \left(vt - \frac{L \sin \phi}{\lambda} \right) \right] \\ &= 2V_{ov} G^{1/2}(\phi) \cos 2\pi \left(vt - \frac{L \sin \phi}{2\lambda} \right) \cos \frac{\pi L \sin \phi}{\lambda} \end{aligned}$$

Zamana bağlı olarak değişen bu voltajın genliğinin karesi ışınım akısını vereceğine göre

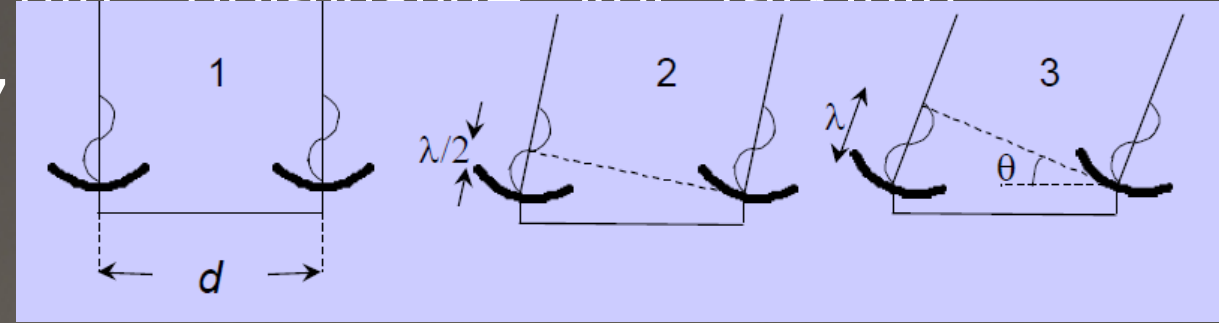
$$\begin{aligned} S_v &= 4S_{ov} G(\phi) \cos^2 \left(\frac{\pi L \sin \phi}{\lambda} \right) \\ &= 2S_{ov} G(\phi) \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi L \sin \phi}{\lambda} \right) \right] \quad (*) \end{aligned}$$

Çift-dalga girişim aleti

Bu (*) denklemini, girişim aletinin temel denklemdir. Katlandırıcı çıkışına konan bir süzgeçle yüksek frekans terimi, yani t ye bağlı kısım süzülür ve böylece (*) ile verilen denklemden ışınım akısı elde edilir.

Yer kürenin günlük hareketi, ϕ nin dolayısıyla yol farkının değişmesine neden olur. $n=0, 1,$

$$L \sin \phi = (2n+1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{ise,} \quad S_v = 0 \quad \text{olur.}$$



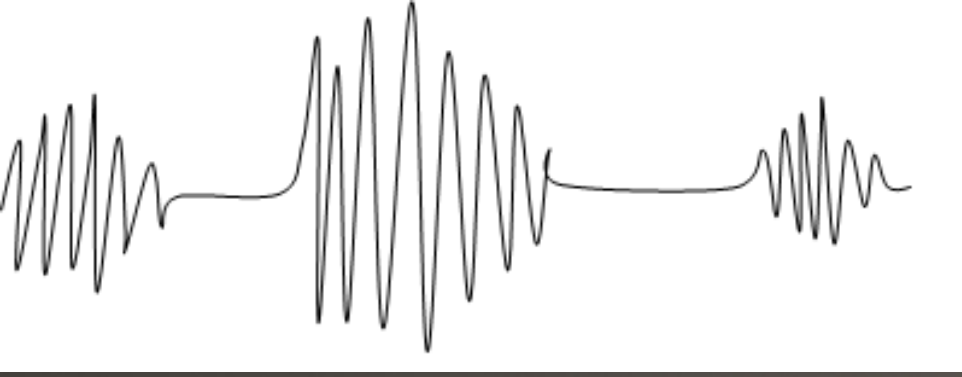
Yani bir minimum elde edilir. $L \sin \phi = n\lambda$ ise $S_v = 4 S_{ov}$ elde edilir. O halde S_v nün değeri 0 ile 4 S_{ov} arasında değişir. Bir minimum ile bir maksimum arasındaki açı

$L \sin \phi = \lambda / 2$ den $\Delta \phi' = \lambda / 2L$, iki maksimum arasındaki açı da $\Delta \phi = \lambda / L$ olur.

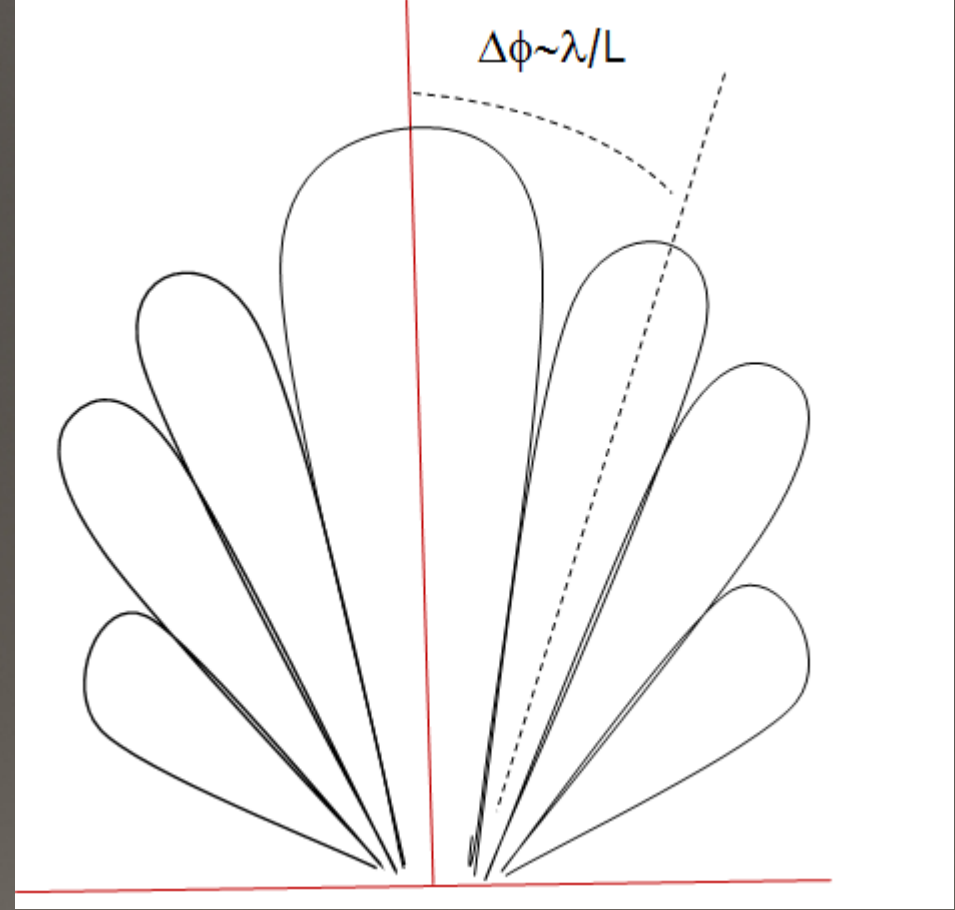
Çift-dalgâ girişim aleti

- $G(\phi)$ en büyük değerini $\phi = 0$ da iken, yani ışınım demeti teleskop eksenine paralel olduğu zaman olacağından S_v en büyük değerini $\phi = 0$ da, yani $n = 0$ iken alır.
- n büyüdükçe maksimum değer de $G(\phi)$ ye bağılı olarak küçülecektir. Elde edilecek kayıtlar aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi olur.
- Genlikteki bu değişimlere “**Girişim Saçakları**” denir. İki saçak arasındaki açı (λ / L) kadardır ve buna da “**Saçak aralığı**” denir. Bu durumda yön diyagramı da çok şişimli bir biçim alır.
- S_{ov} $G(\phi)$ nin eğrisi, tek antenin şişimidir, bu $\cos^2 (\pi L \sin \phi / \lambda)$ ile çarpılırsa yön diyagramı bulunur (bkz. Aşağıdaki çok şişimli yön diyagramı şekli).

Çift-dalga girişim aleti



Ardışık kaynakların kayıtları



Çok şişimli yön
diyagramı

Çift-dalga girişim aleti

- Tek bir antenin şişim genişliği (=ayırma gücü), açıklık D ise, λ / D idi. İkili girişim aletinde ise bu λ / L dir.
- Eğer böyle bir girişim aleti ile gökyüzü taranırsa parlak kaynakların konumu da bulunabilir.
- İki antenli interferometrelerin tabanı genellikle **doğu-batı** doğrultusuna yerleştirilir (geçiş aleti gibi). Gökyüzü, Yer kürenin dönmesi ile taranır.
- Görüş alanı içine giren kaynaklar, yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi girişim saçakları verir. Orta saçığın (orta şişim) ortaya çıktığı an, yani sinyalin en büyük olduğu an, yıldızın sağıklığını (yıldız zamanı cinsinden) verir.

- *The Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT) of 14 25-meter telescopes on an east-west baseline 3 km in length.*



Çift-dalga girişim aleti

- Dikaçıklığı belirlemek ise daha zordur. Girişim saçaklarının sıklığından, yani meridyeni geçme hızından bulunur.

$$\cos \delta = \alpha \frac{\lambda}{\tau L}$$

- Burada α , uygun birimlerde, Yer'in dönme hızını da içeren bir sayıdır. τ ise ardışık minimum ve maksimum arasındaki zamandır.
- δ yı ölçmenin bir başka yolu, antenlerin yükseklik düzlemindeki yönlülüğünü kullanmaktır. Bu durumda antenler farklı yükseklik açılarında iken verilen bir kaynağın oluşturduğu saçak genlikleri karşılaştırılır.
- Salt akıyı verecek şekilde interferometrenin kalibre edilmesi zor ama optik karşılığı bilinen kaynaklar standard olarak kullanılırsa bu işlem daha da kolaylaşır. Bu durumda bulunan konum daha güvenilir olur.

Genellikle gözlenecek cismin tam yeri bilinemiyor. Herhangi bir anda çıkış sinyali maksimum ise, yol farkı dalgaboyunun iki katı olacaktır ama katı açısı bilinemiyor. Yani cismin, girişim saçaklarının hangisinde olduğu belli değildir.

Ayrıca orta saçağı yan saçaklardan ayırmak oldukça zor (özellikle saçaklar çok ise).

Bundan başka çeşitli kaynakların oluşturduğu şişimler (saçaklar) karışabilmektedir. Bunları önlemek için, yani orta şişimi belirlemek için değişken taban uzunluklu girişim aletleri kullanılır. Çünkü bu halde küçük şişimler (saçaklar) hareket eder, orta şişim sabit kalır. Ancak bu iş teknik olarak kolay değil zordur.

Bir başka zorluk, açısal çapı geniş cisimler gözlenirken ortaya çıkmaktadır. Yaygın kaynaklarda cismin bazı noktalarından gelen sinyaller aynı evrede olur ve böylece toplama eklenirler, fakat aynı cismin başka noktaları da farklı evrede olur ve girişim sonucu yok olurlar. Böylece toplam ışınım azalır.

Ortalama olarak çıkış sinyali çok az değişir. Bu durumda cisim “ayırt edilmiştir” denir. Eğer cismin genel yapısını öğrenmek istersek kısa taban uzunluğu kullanmak gerekir. Astronomide küçükten büyüğe doğru değişik taban uzunlukları kullanarak her büyüklükte radyo kaynağın özellikleri, açısal çapları ölçülür.

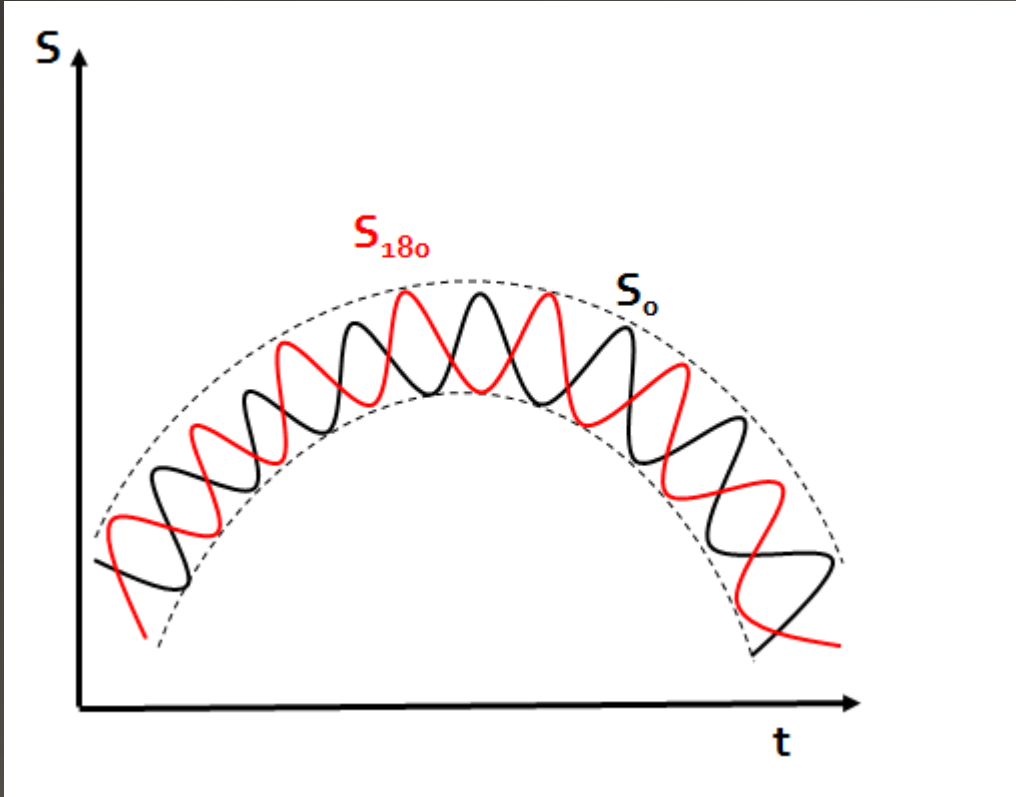
Evre değiştiren girişim aleti

Basit çift dalga girişim aletinin daha geliştirilmiş hali olan bu alet aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Alıcı girişi ile antenlerden birisi arasına bir dönen anahtar konmuştur.

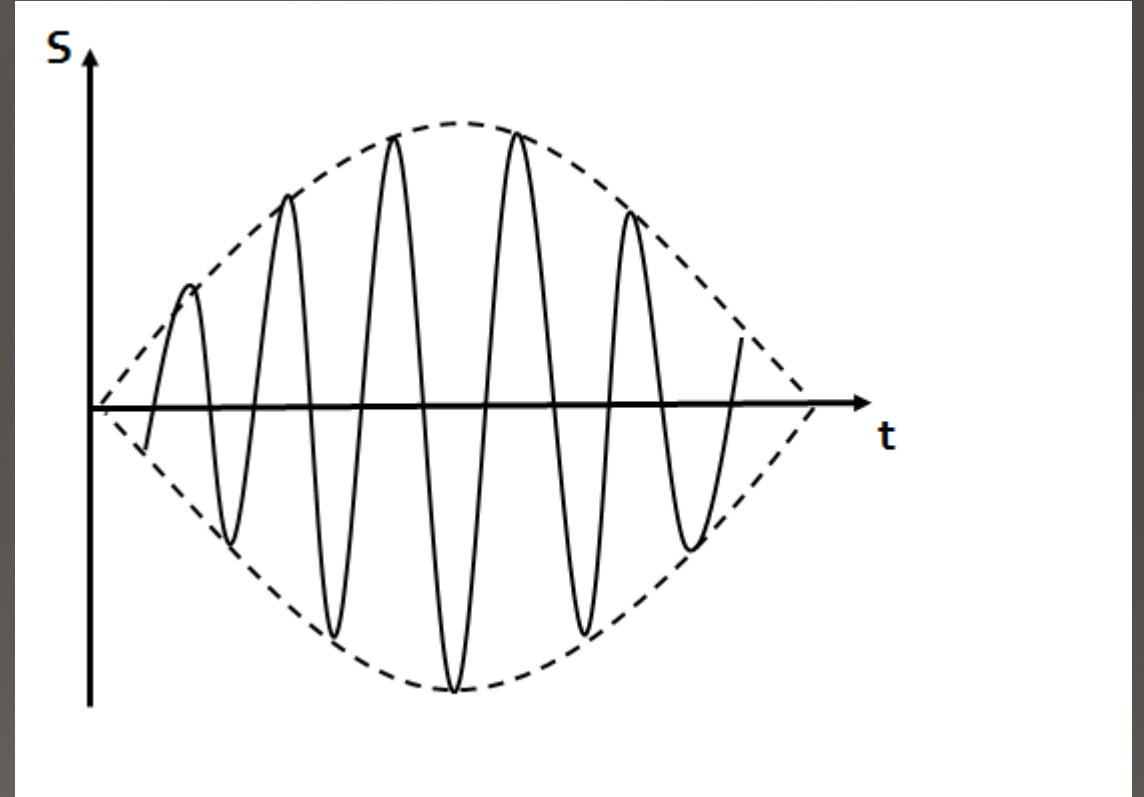
Anahtarın bir konumunda iki anten arasına 180° lik evre farkı uygulanır (örneğin yarım dalgaboyu uzunluğunda yol farkı (kablo) ekleyerek), diğer konumunda evre farkı uygulanmaz.

Aşağıdaki şeklin (a) kısmında gösterilen noktali çizgi, 180° lik evre farkı ile elde edilen kaydı, sürekli çizgi ise 0° deki kaydı göstermektedir. Gözlem sırasında anahtar bu iki konum arasında hızla döndürülür.

Evre değiştiren girişim aleti

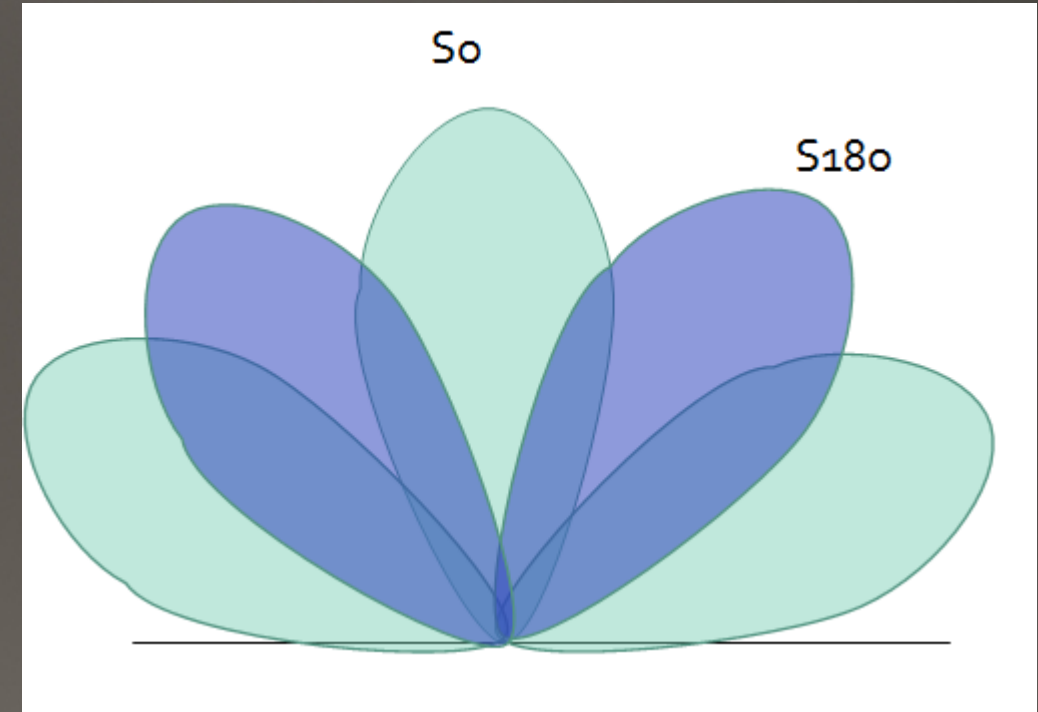
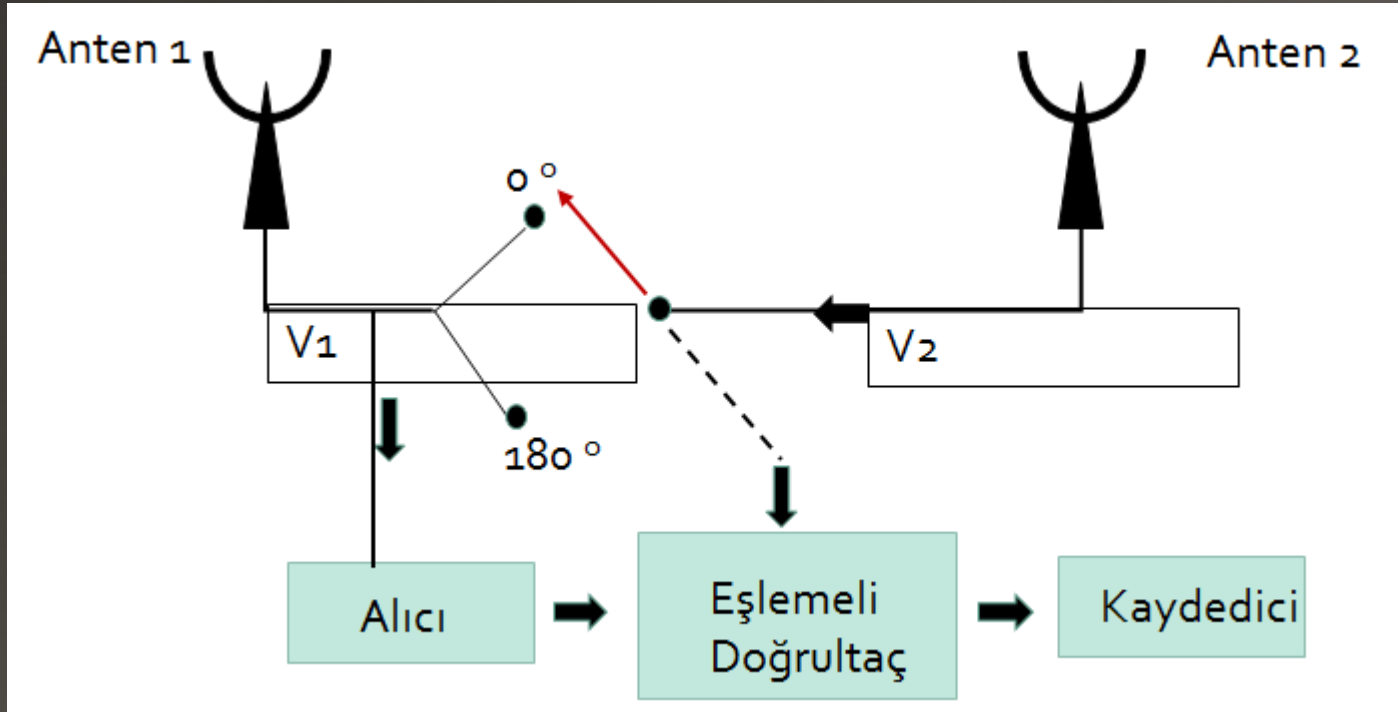


(a)



(b)

Evre değiştiren girişim aleti



Yön diyagramının, kendi kalınlığı kadar ileri-geri “atlıyormuş” gibi tarandığı düşünülebilir. Onun için böyle girişim aletine “şişim değiştiren” girişim aleti de denir. Alıcı çıkışı anahtarla öyle eşleştirilmiştir ki kaydedici, anahtarın 0° konumundaki akım ile 180° konumundaki akımın farkını ölçer (bkz. şeklin b kısmı). Yani kaydedilen sinyal (voltaj),

$$S_0 - S_{180} = \frac{1}{2}|V_1 + V_2|^2 - \frac{1}{2}|V_1 - V_2|^2$$

dir. Anahtarın 0° konumundaki akı S_v nün yukarıdaki bağıntısı ile verileceğine göre,

$$S_0 = S_{0v} G(\phi) \left[1 + \cos \frac{2\pi L \sin \phi}{\lambda} \right]$$

Anahtarın 180° konumunda evre farkı

$$\frac{2\pi}{\lambda} \left(L \sin \phi + \frac{\lambda}{2} \right)$$

olacağına göre,

$$\begin{aligned} S_{180} &= S_{0v} G(\phi) \left\{ 1 + \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(L \sin \phi + \frac{\lambda}{2} \right) \right] \right\} \\ &= S_{0v} G(\phi) \left[1 - \cos \frac{2\pi L \sin \phi}{\lambda} \right] \end{aligned}$$

bulunur. S_0 ile S_{180} nin farkı alınırsa,

$$S_0 - S_{180} = 2S_{0v} G(\phi) \cos \frac{2\pi L \sin \phi}{\lambda}$$

elde edilir. Kaydedicinin yazdığı bu olur (90° lik evre farkı konsaydı cos yerine sin gelecekti).

Evre değiştiren girişim aleti

Thus, the phase-switched interferometer produces a fluctuating output of average value zero. In other words, there is no constant additive term ($= S_0$) as in (6-74). The outputs of a simple (unswitched) and a phase-switched interferometer are compared in Fig. 6-21.

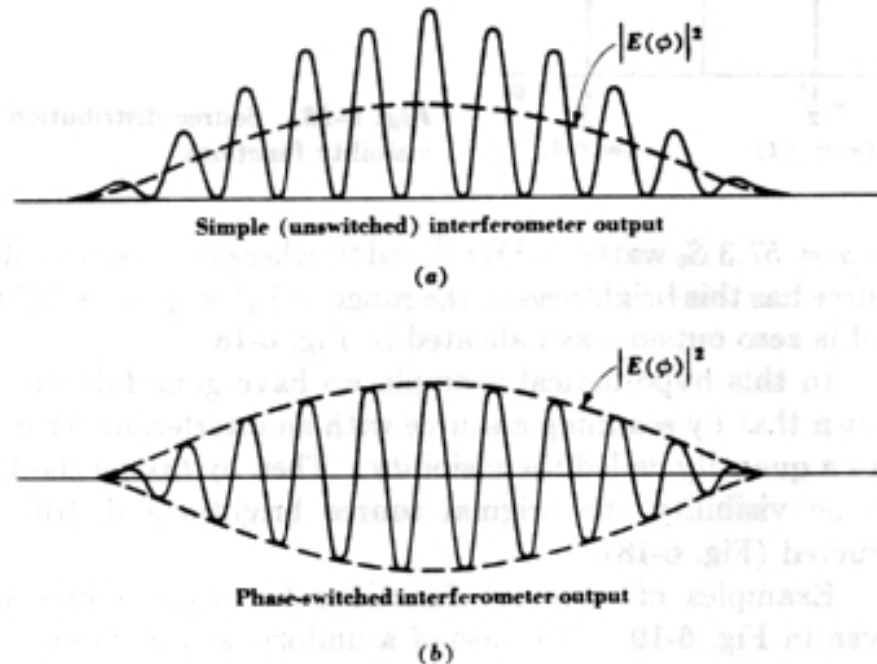
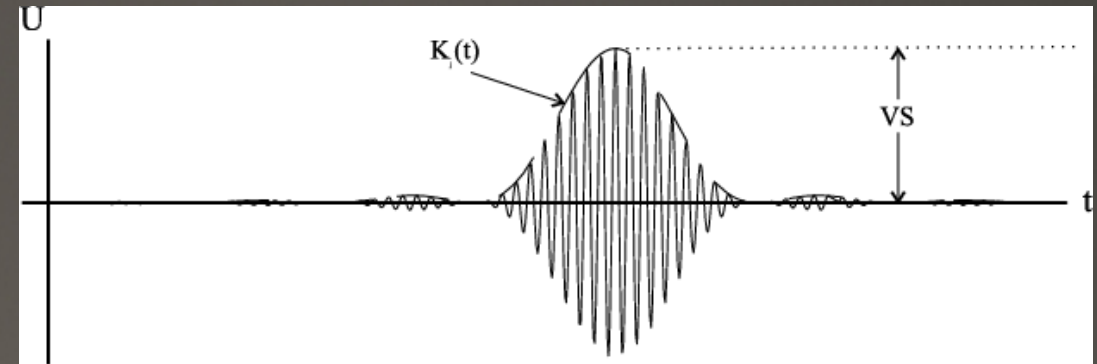


Fig. 6-21. (a) Output of simple, unswitched interferometer; (b) output of phase-switched interferometer.



O halde yukarıdaki son denklemden görüleceği gibi, evre değiştiren girişim aleti, ortalaması sıfır olan bir çıktı verir (bkz Şeklin b kısmı). Bir başka deyişle normal girişim aletinin çıktısındaki $S_{ov} G(\phi)$ gibi bir terim yoktur. Bu her iki anten için aynı olduğundan fark alınınca yok olmaktadır. Bu nedenle,

a) arka alan gök ışınımı çıkarılacağından daha sönük kaynaklara gidilebilir,

b) hızlı evre değişimi alıcı kazancındaki değişimleri bastırır,

c) bazı parazit akımları giderilmiş olur.

Girişim aletinin taban uzunluğu L arttıkça hatlarda kayıplar da artar ve alıcı girişine erişildiğinde sinyal öyle zayıflamış olabilir ki iç gürültüden ayırt edilemez olur.

Bu durumlarda araya ek yükselteçler konur. Bu yolla L yi kilometrelerce uzatmak olasıdır.

Ancak bunun da bir sınırı vardır. Zamanı çok duyarlı olarak belirleme ve kaydetme yöntemlerindeki gelişmeler, çok büyük taban uzunluğu kullanmayı kolaylaştırmıştır.

Farklı yerlere, örneğin iki ayrı kıtaya, yerleştirilen iki ayrı radyo teleskop aynı yöne (kaynağa) yöneltilir. Teleskopların önünden kaynak geçerken, her teleskoba gelen sinyal ve zaman manyetik banda kaydedilir.

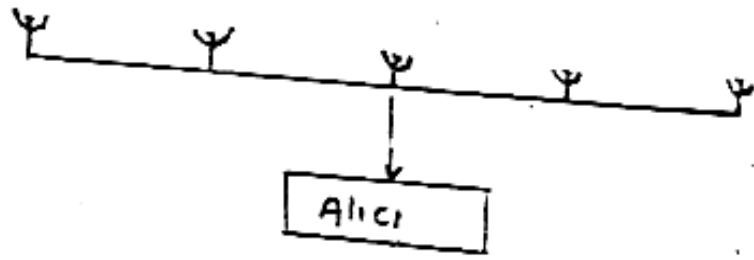
Daha sonra, uygun bir zamanda, bandlarda kaydedilen duyarlı zamanları tam olarak eşleştirerek sinyaller bilgisayarda eklenir. Böylece sanki gözlem anında eklenmiş gibi girişim saçakları elde edilir.

Çok dalga girişim aletleri

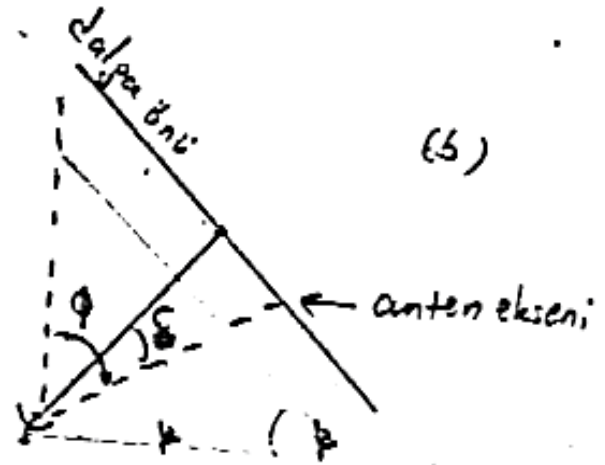
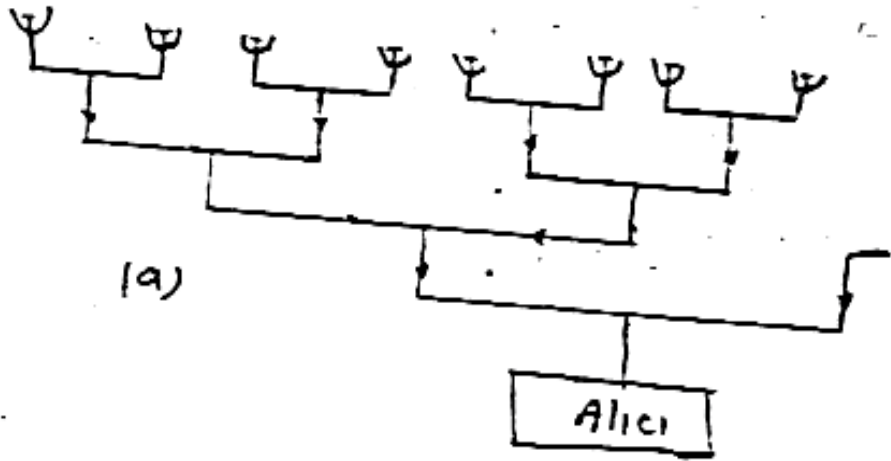
Çift-dalga girişim aletinde ardışık saçakların kuvvetli olması nedeniyle, kaynak ayırımında var olan sorunlar çok elementli girişim aleti kullanarak azaltılabilmektedir. Kullanılan yöntemlerden birisi, antenleri **bir doğrultu üzerinde birleştirmektir**. Her antenden gelen sinyal bu doğrultudaki sinyal taşıyıcıya verilir. Taşıyıcının orta noktası alıcıya bağlıdır (bkz aşağıdaki Şekil).

Christiansen girişim aletinde ise sinyaller ikişerli gruplar şeklinde, alıcıya giden toplam yol tüm antenler için aynı olacak şekilde birleştirilir (bkz. Bir sonraki Şekil).

Avustralya'da kurulan ilk Christiansen girişim aleti **20 cm** komşuluğunda Güneş'i yüksek ayırma gücünde gözlemede kullanıldı. Her biri **1.7 m** çapında yönlendirilebilir **32** adet paraboloid tabaktan oluşmuştur. **217 m** lik bir taban uzunluğu boyunca **7** şer metre aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Bütün antenler aynı evrede bağlıdırlar, yani alıcıya giden yollar eşittir.



Gizgisel çok dalga girişim aleti



Çok dalga girişim aleti şeması. ϕ , anten ekseninin boşluğu doğrultusu ile yaptığı açıdır.



L etkin taban uzunluğu ise birinci anten ile m ninci anten arasındaki evre farkı

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{mL \sin \varphi}{N}$$

olacaktır. Burada $\varphi = \phi - \delta$ (bkz. Şekil'e). Evre farklarını birinci antene göre düzenler ve antenlerden gelen voltajlar birbirine eklenirse genlik, aşağıdaki karmaşık ifadenin mutlak değeri olur.

$$\text{Genlik} \propto V_{0v} G^{1/2} (\phi) \sum_{m=0}^{N-1} e^{2\pi i \left(vt - \frac{mL \sin \varphi}{\lambda N} \right)} = V_0 G^{1/2} e^{2\pi i vt} \frac{1 - e^{-2i\varphi N}}{1 - e^{-2i\varphi}}$$

Burada N toplam anten sayısıdır. Bu toplam bir geometrik seridir. O halde,

$$Genlik \propto V_{0v} G^{1/2}(\phi) e^{2\pi i \omega t} \frac{1 - e^{-\frac{2\pi i}{\lambda} \frac{NL}{N} \sin \phi}}{1 - e^{-\frac{2\pi i}{\lambda} \frac{L}{N} \sin \phi}}$$

Işınım yeğirliği için genliğin karesi alınırsa :

$$I_v \propto V_{0v}^2 G(\phi) \frac{\sin^2 \left[\frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{N}{N} \right) L \sin \phi \right]}{\sin^2 \left[\frac{\pi}{\lambda} \frac{L}{N} \sin \phi \right]}$$

Kaynak gökte günlük hareketle yer değiştirdikçe alınan ışınım yeğirliği budur.

$$Q = \frac{\pi L}{\lambda N} \sin \varphi$$

denirse yukarıdaki ifade şöyle yazılabilir :

$$I_v \propto V_{0v}^2 G(\phi) \frac{\sin^2 NQ}{\sin^2 Q}$$

Işınım yeğirliği en büyük değerini $Q = 0, \pi, 2\pi, \dots$ de alır.

$$I_{v \max} \propto \lim_{Q \rightarrow n\pi} \frac{\sin^2 NQ}{\sin^2 Q} = N^2$$

O halde iki maksimum arasında Q, π kadar değiştiğine göre, buna karşılık gelen açısal uzaklık

$$\pi = \frac{\pi L}{N\lambda} \sin \varphi$$
$$\sin \varphi = \frac{N\lambda}{L}$$

Demek ki maksimumlar arasındaki açısal uzaklığı iki komşu anten arasındaki uzaklık belirler.

$$\text{Baş maksimumlarda} \quad Q = n\pi \quad , \quad I_v = V_{0v}^2 G(\phi) N^2$$

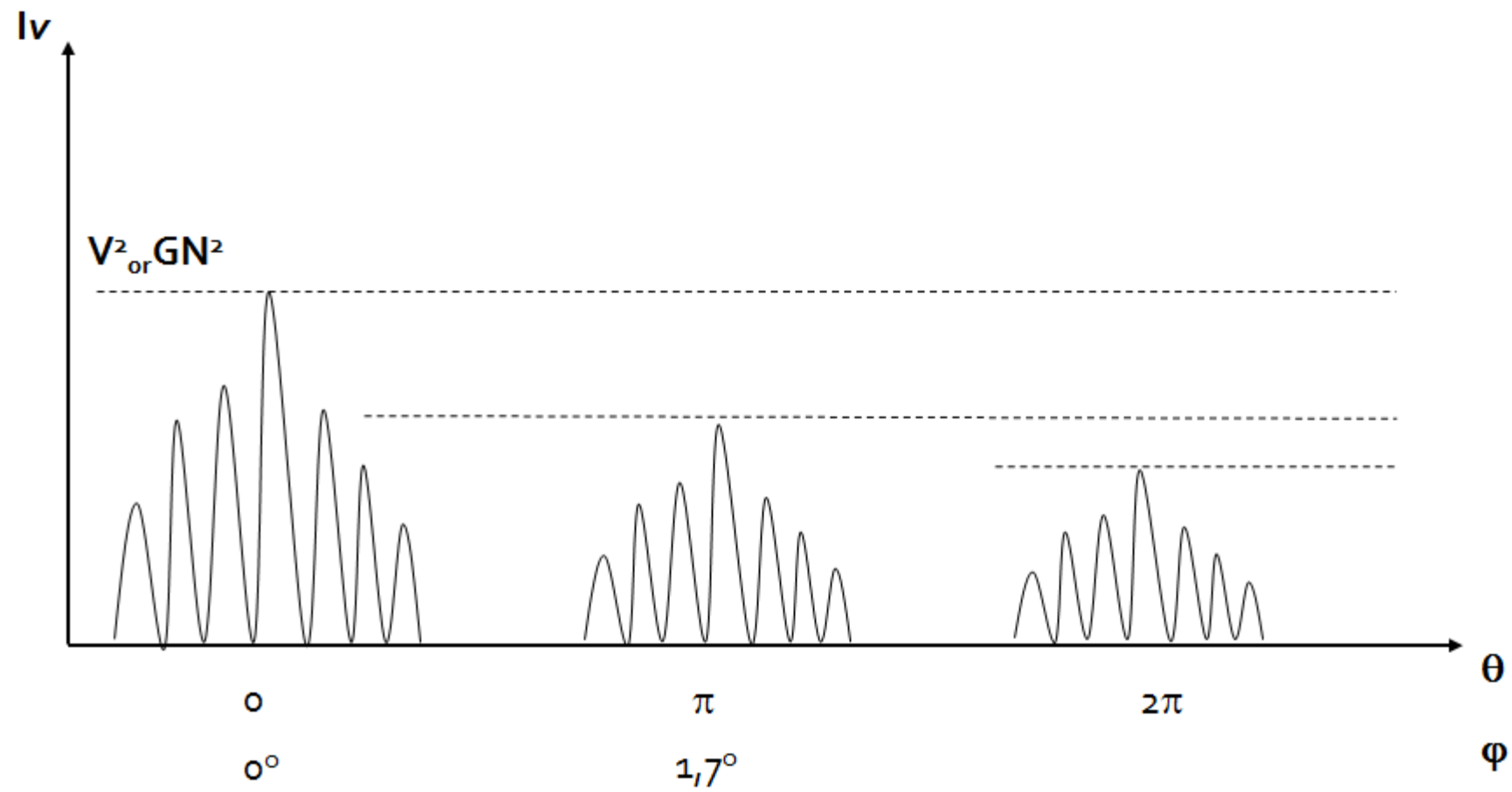
$$\text{Minimumda} \quad Q = \frac{n\pi}{N} \quad , \quad I_v = 0 \quad (n \neq 0)$$

$$\text{İkincil maksimumlarda} \quad Q = \frac{2n+1}{N} \frac{\pi}{2} \quad , \quad \sin^2 NQ = 1$$

Örneğin aşağıdaki şekilde A daki maksimum için,

$$Q = \frac{\pi}{2(N+1)}$$

O halde bir baş maksimum ile onu izleyen ilk minimuma karşılık gelen açıların farkı açısal ayırma gücünü verecektir :



Birinci bas maksimum için $Q = \frac{\pi L}{N} \sin \varphi = n\pi = 0$

Yani $\varphi_{\max} = 0$.

İlk minimum için yukarıdaki ifadede $n=1$ konursa

$$Q = \frac{\pi L}{N} \sin \varphi_{\min} = \frac{\pi}{N} \quad \text{ve} \quad \sin \varphi_{\min} = \frac{N\lambda}{NL} = \frac{\lambda}{L}$$

Ayırma gücüne karşılık gelen açı $\varphi_{\min} - \varphi_{\max} = \varphi_{\min}$ olacağına göre

$$\sin \varphi_{\min} = \lambda / L$$

Demek ki ayırma gücünü etkin taban uzunluğu L belirlemektedir.

Avustralya, Fleurs'da 32 anten dizisinin kullanıldığı çok dalga girişim aleti vardır. Birinci dizi doğu-batı doğrultusunda ikincisi kuzey-güney doğrultusundadır.

Evre değiştiren anahtarlar yardımıyla (elektrik olarak) demet doğrultusunun yüksekliği ya da dik açıklığı (deklınasyonu) değiştirilebilir, ya da kullanılan frekans değiştirilebilir.

Fransa'da Nanay'da Christiansen aprazının bir koluna benzer çok elementli interferometre de aynı ilkeyi kullanır. Yaklaşık 6 m çapında, 50 m aralıklarla konmuş 32 adet yansıtıcı vardır. Toplam taban uzunluğu $L \sim 1600$ m dir.

Mills aprazı

Yukarıda anlatılan antenlerin ayırma gücü, antenlerin dizildiği doğrultuda yüksektir. Çünkü bu anten sayısına bağlıdır.

Buna dik doğrultuda ise yön diyagramı geniştir. Çünkü bunu yalnız tek antenin yön diyagramı belirler.

Birbirine dik iki dizi ve evre değiştiren yöntemler kullanarak her iki yönde de ayırma gücü arttırılabilir.

Bu çeşit radyo girişim aletlerine “Mills aprazı” denir. aprazın her bir kolu bir dizi dipolden oluşur. Eğer iki dizi aynı evrede bağlanırsa, yön diyagramlarının kesiştiği orta karede ışınım yeğinliği dört katına artmış olur.

Zıt evrede bağlanırlarsa merkezde sinyal sıfır olur.

Mills aprazı

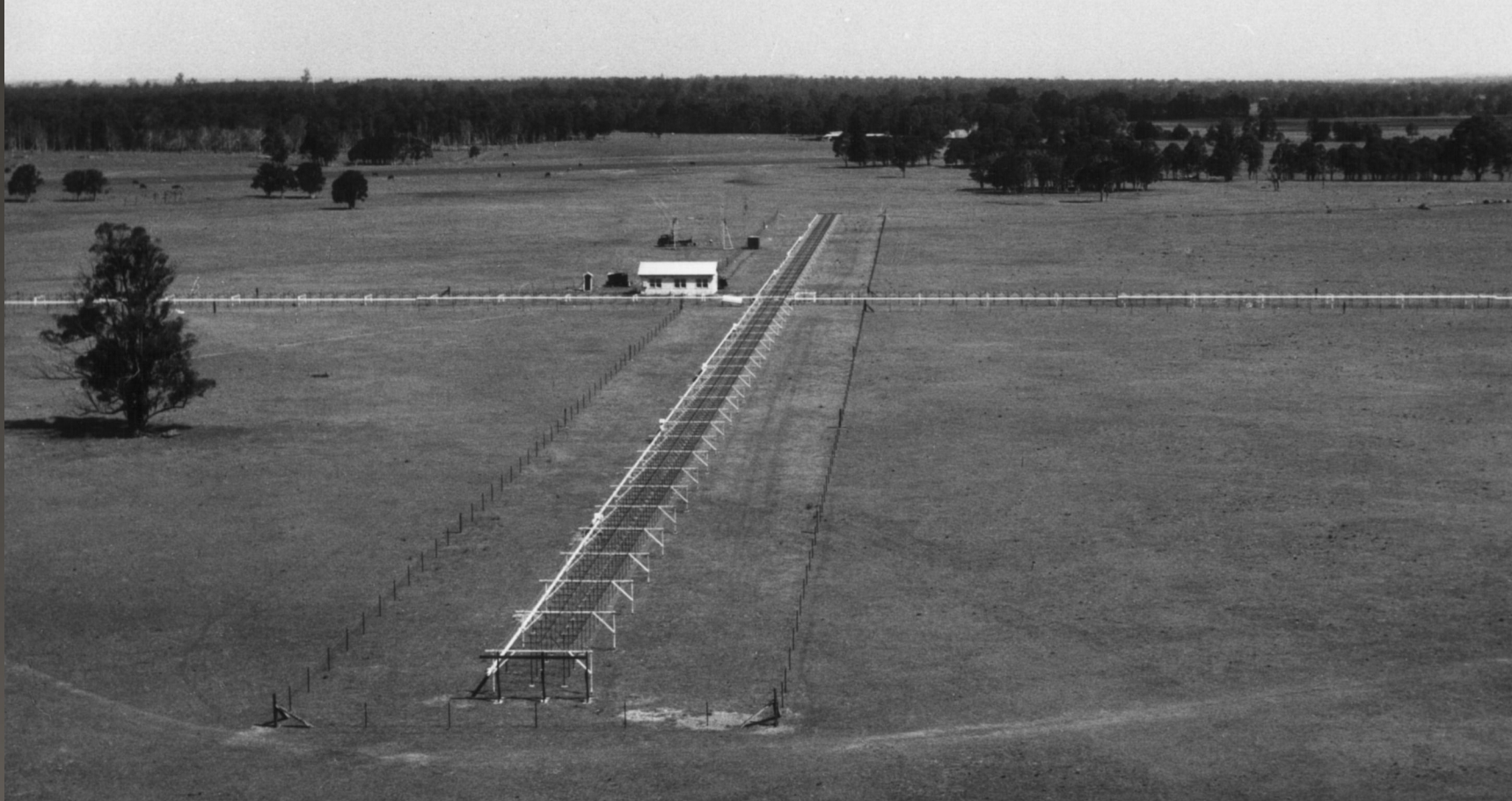
Evre değiştirme hızlı yapılırsa merkez kare kıpradır, yani yeğinlik en büyük ve en küçük arasında değişir, çaprazın diğer kısımlarında ise duyarlılık değişmez.

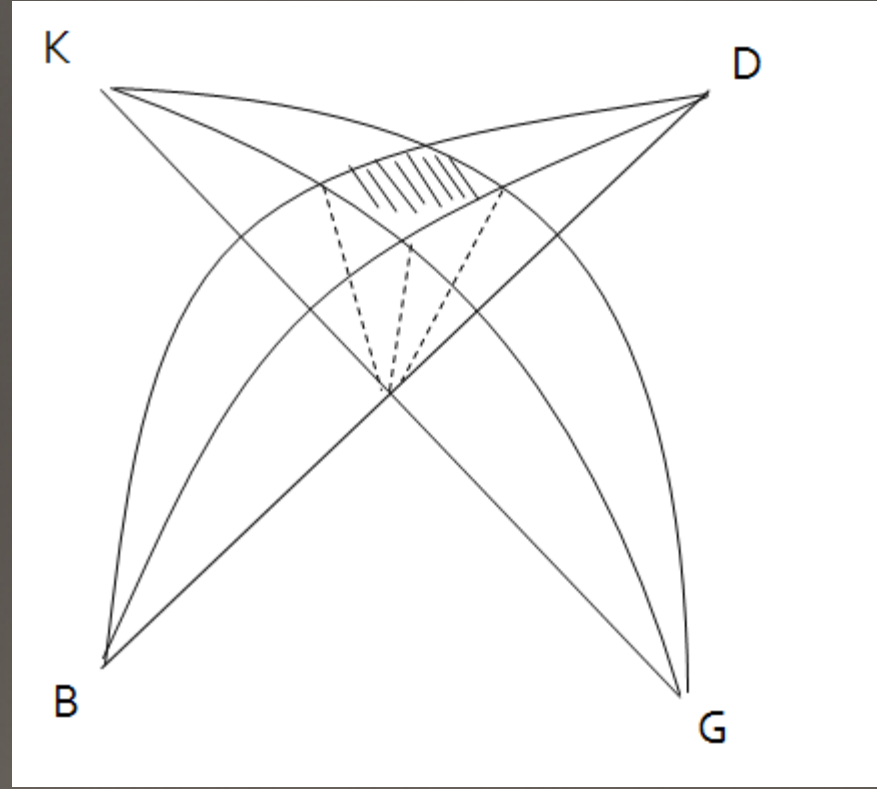
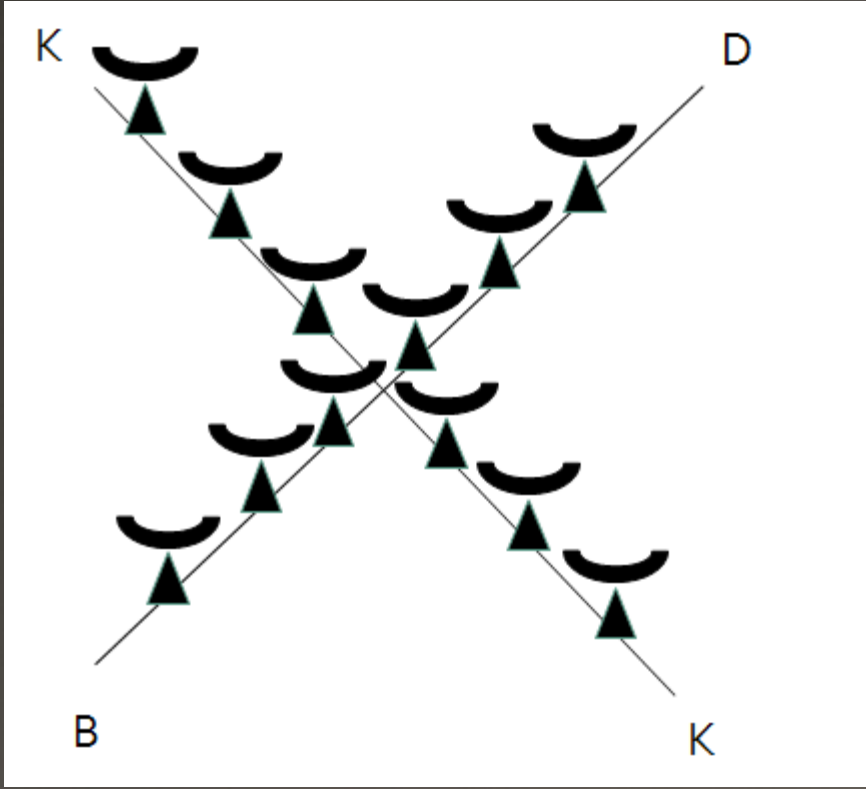
İki koldan gelen sinyaller çıkarılırsa yalnız orta kareden gelen sinyal kaydedilir ve böylece yüksek bir ayırma gücü elde edilir.

Böyle bir çaprazın ayırma gücü, çaprazın oluşturduğu karenin alanının **dörtte birine** eşit alanlı bir paraboloidinki ile aynıdır, ancak enerji toplama gücü daha zayıftır.

Avustralya, Sidney'de kurulan ilk Mills aprazının her bir kolunda 250 dipol vardı. Snk kaynaklara gitmek için dipoller yerine Yagi antenleri ya da parabolik yansıtıcılar kullanılabilir.

Mills aprazı





Açıklık Sentezi

Yüksek ayırma gücü elde etmek için açıklığı, yani ışınım toplama alanı büyük olan teleskoplar gerekir. Radyo astronomide yeterli ayırma gücü verebilecek büyük teleskop yapmak fiziksel olarak hemen hemen olanaksızdır.

Bu nedenle yüksek ayırma gücü elde etme yöntemleri olarak, uygun şekilde bağlanan küçük teleskoplar büyük bir alana yerleştirilir ve bu küçük teleskopların birini ya da bir kaçını alan üzerinde “gezdirerek” tüm alan taranır.

Böylece büyük bir alan “doldurulmuş” (yani sentezlenmiş) olur. Büyük bir açıklığın bu şekilde doldurulma hızı, küçük antenlerin sayısına, yerleştirilmesine ve yer değiştirme hızına bağlıdır.

Açıklık Sentezi



Alan sentezinin ilkesi şudur : Işınımı zamanla değişmeyen radyo kaynaklarını gözlerken, radyo teleskobun tüm alanının aynı anda gözleme katılması gerekmez. Büyük, dolu bir radyo teleskobu **N** tane küçük alandan (elementden) oluşmuş gibi düşünülebilir. **n** ninci alanın aldığı sinyal

$$V_n \cos (\omega t + \phi_n)$$

şeklinde olacaktır. Burada V_n , sinyalin genliği ve ϕ_n ise evresidir.

Görelî evrenin sentezi yapılacak alan üzerinden değişimi, kaynağın doğrultusuna bağlıdır. Parabolik yansıtıcının odağında olduğu gibi, elementlerden gelen sinyaller vektör olarak toplanır ve zaman üzerinden ortalama alınırsa kaydedilen güç şöyle olur :

$$P \propto \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N V_n^2 + \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=n+1}^N V_n V_m \cos(\phi_n - \phi_m)$$

Birinci terim, **N** elementin aldığı güçlerin toplamıdır. Eğer elementler aynı büyüklükte ve aynı özellikte iseler tek elementin aldığıının N katı kadar olur.

İkinci terim, **m ve n** elementleri eşit kablolarla evre değiştiren alıcıya bağlandığında elde edilenle aynıdır. **Ayırma gücü bu karışık çarpımların ve dolayısıyla P nin kaynak doğrultusu ile nasıl değiştiğine bağlıdır.** Her bir terim, **m ve n** konumlarına yerleştirilen iki element (küçük anten) ile ölçülebilir. O halde bütün terimler yalnız iki küçük teleskop alanda gezdirilerek ölçülebilir. Bu şekilde ölçülen karışık çarpımların toplanması daha sonra, örneğin bilgisayarlarla yapılabilir.

Açıklık ya da alan sentezinin ilkesi budur : İki küçük antenle, daha büyük alanlı bir teleskobun yapacağı gözlemi yapmak mümkündür.

$N(N-1) / 2$ karışık çarpım terimi olmasına karşın hepsi bağımsız değildir.

Bilgisayarla işlem yaparken $\phi_n - \phi_m$ evre farkını alan boyunca düzenli olarak değiştirmek suretiyle teleskobu yeniden yöneltmeden en büyük yanıt (sinyal) doğrultusunu değiştirmek olasıdır.

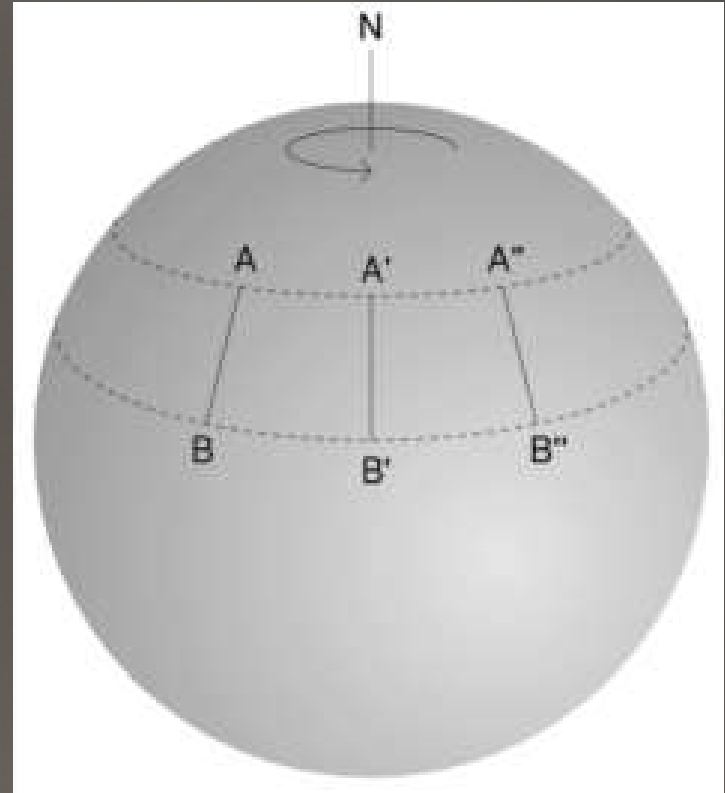
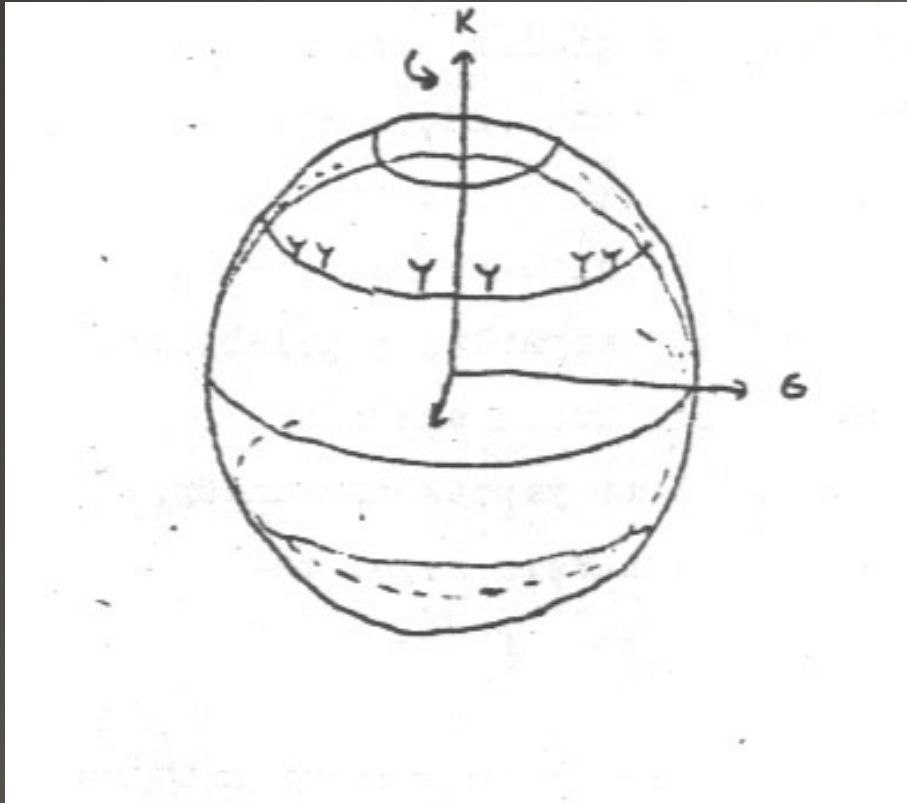
Böylece yeni gözlem yapmadan belli bir açı aralığı taranabilir. Bu açı küçük elementin yön diyagramının açısal genişliği ile sınırlıdır.

Açıklık sentezi yöntemlerinin çoğu, Yer kürenin dönmesinden yararlanmaktadır. İki elementli bir girişim aletinin antenleri istenilen yönde hareketli olabilir.

Bunu **doğu-batı** doğrultusunda yapmanın yararı var : Radyo kaynağından bakıldığında 12 saatlik bir dönemde taban uzunluğu sürekli değişecektir. Doğu-batı doğrultusuna yerleştirilen az sayıda antenlerle bir şerit alan anlık olarak sentezlenir (kuzey-güney yönünde hareket ettirilerek).

Yer kürenin dönmesi bu şerit alanı döndürür (bkz. Aşağıda verilen Şekile). Böylece bir eliptik halka taranmış olur. Elemanlar arasındaki uzaklık değiştirilince büyük bir eliptik açıklık doldurulmuş olur. Kaydedilen toplam sinyal, en uzun taban çapında tek bir antenin aynı anda alabileceği sinyal kadardır.

Cambridge (İngiltere)'de yaklaşık **5 km** taban uzunluklu girişim aleti bu ilkeyi kullanmaktadır. **8** küçük parabolik (**3m** çapında) anteni vardır. Bunların **4** tanesi sabit diğer **4** tanesi yer değiştirebilir özelliktedir. $\lambda=2$ **cm** de ayırma gücü **1"** kadardır. Westerbork (Hollanda) ve New Mexico (ABD) de benzer sistemler vardır.



Y-Dizisi (Çok geniş dizi) (VLA - Very Large Array)

Eşit açılı **Y** biçiminde, alan sentezi ve Yer dönmesi sentezi yöntemlerini kullanan bir radyo teleskoptur. **Y** nin kollarına yerleştirilmiş, her biri 25 m çapında yönlendirilebilir 27 adet parabolik antenden oluşur. En uzak antenin **Y** nin merkezine uzaklığı **21** km dir. Raylar üzerinde hareket eden taşıyıcılarla antenlerin yerleri değiştirilebilir. Böylece farklı ayırma gücünde dört ayrı “**birleştirme**” yapılmaktadır. Bunlarda, en uzak antenin **Y** nin ortasına uzaklığı sırasıyla 0.59, 1.95, 6.4 ve 21 km ye kadar yapılabilmektedir.

1981 yılı başında tam kullanıma giren bu teleskobun özellikleri şunlardır :

1) Açısal ayırma gücü λ ile orantılı olarak değişmektedir. $\lambda=6$ cm de $0''.6$, $\lambda=1.3$ cm de $0''.13$.

Y-Dizisi

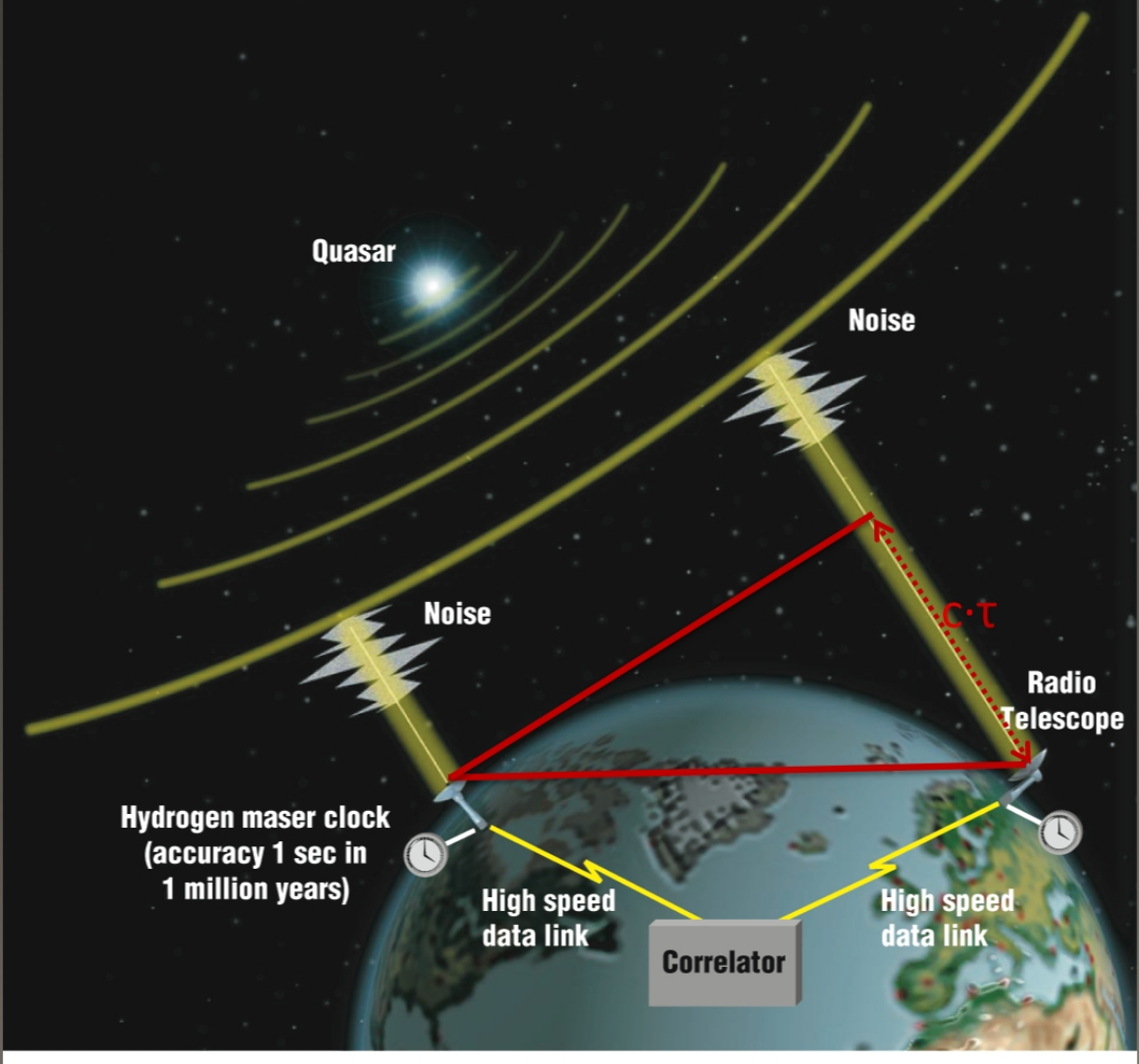


- 2) Aletin ölçeği (etkin boyutu) değiştirilerek yaygın, küçük yüzey parlaklı kaynaklar, parlak sıkışık kaynaklar gözlenebilir.
- 3) 18-21, 6, 2 ve 1.3 cm dalga boyunda çizgi tayfı ya da sürekli tayf gözlemleri yapılabilir. Frekans, band genişliği ve başka parametrelerin seçimi aleti yöneten bilgisayarla yapılabilir. Parlaklık dağılımı incelemesi ve haritalama başka bir bilgisayarla yapılır. Bir harita için en çok 8 saatlik gözlem yeterlidir. Çünkü 120° lik dönüşten sonra aynı konumlar oluşur.
- 4) Üç kollu **Y** biçimindeki yerleştirme ile alan sentezinde tekrar önlenmektedir ve δ da tarama yapılabilmektedir.
- 5) $\lambda=2$ cm de gürültü $\sigma =1 \times 10^{-4}$ Jy (standard sapma). Bu şu demektir : $\lambda=2$ cm dalga boyunda, $\Delta\nu=50$ MHz için 5σ kadar bir gürültü veren akı yoğunluğu 0.5 mJy olan bir nokta kaynak seçilebilir (gözlenebilir).

Çok Uzun Tabanlı Girişim Aleti (VLBI-Very Long Baseline Interferometry)

Sıkışık radyo kaynakların yapısını incelemek için çok uzun tabanlı girişim aletleri geliştirilmiştir. Bunlar, var olan ve birbirlerinden çok uzakta bulunan radyo teleskopların bir girişim aleti gibi düzenlenmesi biçiminde geliştirilmiştir. Üç ya da daha fazla istasyonda aynı anlı gözlemler yaparak ve kaynağı uzun bir saat açısı aralığında gözleyerek kaynak üzerindeki ışınım dağılımı elde edilebilir.

Taban uzunluğu büyüdükçe, elementler arasındaki yerel osilatör kararlılığı önemli bir sorun olur. Orta uzaklıklarda (örneğin 100 km) yerel osilatör sinyalini ve AF yanıtını aktarmak için radyo link hatları kullanılmıştır. Ancak **yol farkı** düzeltmeleri iyi hesaplanmazsa evre değişimleri kontrol altında tutulamaz.



Çok uzun tabanlı girişim dizisinde her elementte bağımsız yerel osilatör kullanılmaktadır. Bu osilatör evresinin hatasının bilinmesi gerekir ve belli aralıkta sabit kalmalıdır.

Her elementin aldığı sinyal, yüksek hızlı analog ya da dijital kayıt aracı ile ayrı olarak kaydedilir. Örneğin Mark III sistemi geniş band (56 MHz), çok kanallı dijital kayıt sistemidir. Kayıt terminali bilgisayar denetimi altındadır. Geniş band AF sinyalini alır, seçilen frekans aralıklarını video'ya çevirir, her video sinyalini bir format altında gözlem zamanı ile birlikte kaydeder.

Birbirine paralel 28 kanala aynı anda kayıt yapılır (saniyede 40 – 670 cm band genişliğine bağlı olarak). Bu hızla bir band kaydı yalnız 20 dakika sürmektedir.

Mark III kayıt terminalleri : Fort Davis Haystack, NRAO (National Radyo Astronomy Observatory-ABD), Onsala (İsveç), Effelsberg (eski Batı Almanya), Westerbork (Hollanda), Nobeyama (Japonya), Jodrel Bank (İngiltere), Bologna (İtalya).

Herhangi iki elementten alınan AF sinyalleri sonradan bilgisayarda “**çarpılır**”, ancak zaman farkı iyi bilinmelidir. Bu da 1 MHz lik bir band aralığı için 10^{-6} saniye duyarlılığında zaman kaydı gerektirir. **Taban uzunluğundaki yanılğı, kaynak konumlarındaki hatalar ve osilatör frekansındaki kaymalar zaman kaydındaki hataya eklenince iki anten arasındaki korelasyon kaybolabilir.** Sinyal evresinin ölçülebilmesi için taban uzunluğundaki hatalar ve zaman ölçeğindeki kaymalar iyi bilinmelidir.

ESA, “durağan” uydular aracılığıyla gerçek zamanda VLBI gözlemleri için inceleme ve deneme yapmıştır (iki yönlü uydular bağlantısı ile evre karşılaştırılması yapıldı. 10 - 1000 saniye aralığında hata 10^{-12} saniyeden daha küçük oldu).

Konumların en sonunda bir milisaniye (0".001) mertebesinde ölçülebilmesi için bir çok etkinin iyi anlaşılması, ölçülmesi ve kalibre edilmesinin gerekli olduğu ortaya ıktı. Anakara kaymaları, gel-git, Yer kre dönmesindeki değişiklikler, atmosferde ve iyonosferdeki yol farkı değişmeleri, radyo kaynakları işiniminin görelisi kırılması gibi.