

# Radio Astronomia

A radio astronomia surgiu na década de 1930 quando pela primeira vez um sinal de rádio de fonte astronômica foi inequivocamente identificado, proveniente do centro de nossa Galáxia.

Contrariamente ao domínio de altas energias, raios  $\gamma$ , raios X e radiação ultra-violeta, ou mesmo a regiões do infra-vermelho médio e distante, a atmosfera terrestre é transparente às ondas de rádio na faixa que vai de  $\lambda=0.5\text{mm}$  a dezenas de metros de comprimento de onda. Dessa forma, a radio astronomia foi o único ramo da Astronomia Observacional, além do óptico, que não precisou esperar pela era aeroespacial para se desenvolver.

Radio telescópios se tornaram rotina nas últimas décadas e em grande parte compartilham de propriedades semelhantes aos telescópios ópticos. As superfícies coletoras de ondas de rádio também tendem a ser de forma parabólica e os focos mais comuns para a instrumentação em rádio costumam ser o foco primário da antena ou o foco Cassegrain. Mas há diferenças fundamentais também entre a observação óptica e em rádio. Uma delas é a enorme razão entre os comprimentos de onda típicos:

$$\lambda_{\text{rad}} / \lambda_{\text{opt}} \simeq 10^4$$

onde acima usamos como comprimentos de onda típicos  $\lambda_{\text{rad}} = 1\text{cm}$  e  $\lambda_{\text{opt}} = 1\ \mu\text{m}$ . Se lembrarmos que o limite teórico de resolução, chamado de limite de difração, entre duas fontes que emitem no comprimento de onda  $\lambda$ , dada uma superfície coletora de abertura  $D$ , é

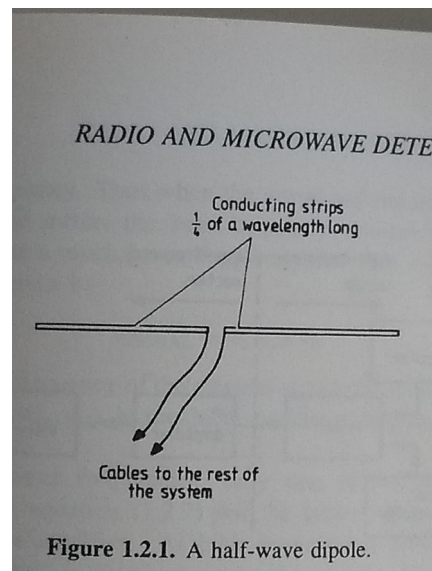
$$\theta_{\text{min}} = 1.22 \lambda/D$$

radio telescópios precisariam ter aberturas de km de extensão para atingir o mesmo limite de difração que um telescópio óptico de  $D$  da ordem de metros. Por outro lado é importante lembrar que telescópios ópticos não atingem essa resolução espacial, a não ser que sejam colocados fora da atmosfera. E no caso das ondas de rádio, será que elas sofrem o mesmo efeito de degradação da resolução devido à turbulência atmosférica, ao qual chamamos genericamente de *seeing*? A resposta é não, pois a turbulência tem efeito desprezível para os comprimentos de onda muito maiores das ondas de rádio. Isso significa que radio telescópios têm resolução espacial dada pelo limite de difração pela abertura, ou algo próximo a isso. Ainda assim, a resolução de um radio telescópio de  $D=100\text{m}$ , como vimos ainda será da ordem de minutos de arco, bem pior do que o limite de  $1''$  ou  $2''$  típico do *seeing* de um sítio astronômico razoável.

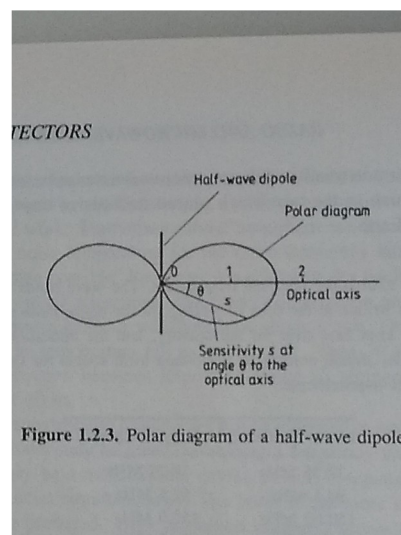
Uma outra vantagem da quase ausência de efeitos de turbulência atmosférica nas ondas de rádio é que essas ondas preservam sua fase em escalas angulares de vários minutos de arco ao se propagarem pela atmosfera. Ou seja, nessas escalas se chega um máximo de onda num ponto da área coletora do telescópio, os demais pontos da superfície coletora também receberão um máximo de onda, ou seja, a frente de onda propagada se preserva. No óptico isso não acontece, ou seja, não há coerência de fase da radiação recebida por diferentes pontos da superfície primária a cada instante. É justamente isso que degrada a resolução para além do limite teórico dado pela difração da luz ao passar pela abertura da (radio) telescópio. E é justamente o monitoramento da deformação causada pela atmosfera sobre as frentes de onda em diversas escalas angulares relevantes que serve como base para os sistemas de óptica adaptativa, comuns no domínio óptico e no infra-vermelho próximo.

Em rádio, portanto, como as ondas chegam em fase na abertura do telescópio é também possível detectar diretamente as variações ondulatórias na amplitude do vetor campo elétrico recebido por uma superfície metálica condutora. O detector de rádio mais simples, portanto, é a chamada antena de dipolo, que é simplesmente uma superfície metálica ligada a um cabo que vai transmitir a corrente

induzida sobre a antena devido ao campo elétrico variável incidente na forma de uma corrente antenada. Na figura abaixo, tirada do Kitchin, vemos uma antena de dipolo.



O campo elétrico induzido na antena pela onda passante é amplificado e transmitido para um circuito, que registra então não apenas a amplitude da radiação, como no óptico, mas também sua fase. Claro que uma antena única de dipolo, até pela sua geometria linear, tem eficiência de detecção de radiação variável, conforme a direção de onde vem a onda e também seu estado de polarização. A combinação de antenas com diferentes orientações permite aumentar a sensibilidade de receptor (detector) de ondas de rádio. A resposta da antena em função do ângulo de incidência da radiação é essencialmente dada por um padrão de difração e é mostrada na forma de um diagrama polar na figura abaixo, também tirada do livro do Kitchin.



Antenas de dipolo podem ser combinadas numa linha serial ou numa matriz de forma a aumentar a sensibilidade da detecção das ondas de rádio para diferentes tipos de polarização da luz e também para radiação incidente fora do eixo óptico do radiotelescópio. Isso também é mostrado na seção 1.2 do Kitchin, em especial pelas figuras 1.2.4 a 1.2.7 lá mostradas.

Uma outra vantagem muito importante, também discutida nos livros textos base desse curso, é a possibilidade de combinar as ondas coerentes recebidas por diferentes radiotelescópios, aqui entendidos como a combinação da superfície coletora mais a antena/detector. Essa é a técnica da interferometria, a ser discutida em mais detalhe na sequência do curso. Por ora, basta dizer que enquanto a capacidade de coleta de radiação em rádio quando combinamos o sinal de dois radio telescópios é a soma de suas áreas coletoras, o padrão de interferência produzido quando combinamos os sinais recebidos por elas depende da separação entre as duas, que chamamos de linha de base, e que pode ser de alguns km. Então, o poder resolutor do sistema interferométrico, que pode envolver duas ou mais antenas (há sistemas com dezenas de radio telescópios!), será dado pelo padrão de interferência observado, definido pelas escalas de separação envolvidas. Na verdade, existem sistemas de interferometria em rádio que usam radio telescópios situados em continentes diferentes! A isso chamamos de interferometria de muito longa linha de base (VLBI em inglês). A interferometria em radio resulta portanto em resoluções espaciais melhores (ou muito melhores no caso da VLBI) do que observações com grandes telescópios ópticos, mesmo quando acoplados a sistema de correção da turbulência atmosférica por óptica adaptativa.