

Bloco 7B

Telescópios: Altas-energias Radiotelescópios

Atualizado: 2009

AST203 – CVR

7B-1

Bibliografia

- ↗ Kitchin – Cap. 1 – Secs. 1.1, 1.2 e 1.3
- ↗ Smith – Caps. 4 e 5
- ↗ Léna – Cap. 6 (parte)

AST203 – CVR

7B-2

Telescópios em altas energias

Raios- γ	$\lambda < 0,002$ nm
	$E > 0,5$ MeV
Raios-X duros	$0,002$ nm $< \lambda < 1$ nm
	$0,5$ MeV $> E > 1$ keV
Raios-X moles	1 nm $< \lambda < 10$ nm
	$E < 1$ keV

- final da Segunda Guerra Mundial: primeiras observações do Sol
- 1962: primeira fonte não-solar: Scorpio X-1
- 1970: primeiro levantamento de todo céu: Uhuru – 161 fontes

Detetores: contadores de fótons

AST203 – CVR

7B-3

Como fazer uma imagem em altas energias?

- O conceito tradicional de reflexão em uma superfície só funciona até raios-X moles
 - ↗ a radiação eletromagnética é tão energética que atravessa a superfície
- Assim, para maiores energias (raios-X duros e raios- γ) uma imagem é feita por
 - ↗ ocultação
 - ↗ colimação
 - ↗ detecção coincidente

AST203 – CVR

7B-4

Colimadores

- Um colimador restringe as direcções dos fótons que atingem o detector através de anteparos que atuam bloqueando a incidência da radiação proveniente de direcções específicas
- Uma imagem pode ser feita através da varredura do céu
- Colimador tipo favo
 - ↳ resolução pobre: alguns minutos de arco
 - ↳ corte em baixas energias: reflexão nas paredes
 - ↳ corte em altas energias: radiação ultrapassa as paredes

AST203 – CVR

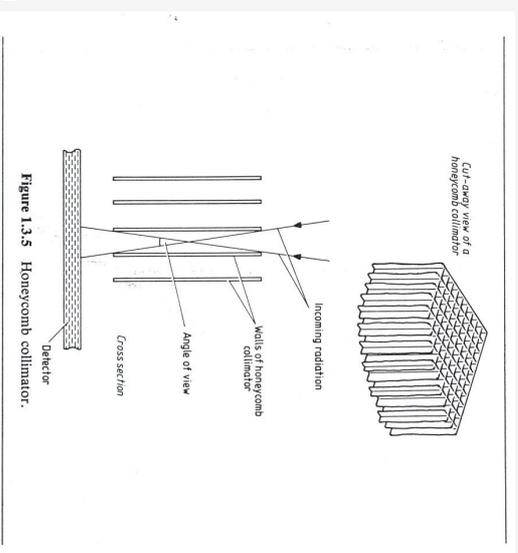
7B-5

- Colimador tipo olho de lagosta
 - ↳ colimador tipo favo, mas curvo
 - ↳ trabalha em baixas energias: usa a reflexão nas paredes do colimador
 - ↳ ruído alto devido a reflexão múltipla
 - ↳ campo de visão de várias dezenas de graus com resolução razoável (alguns segundos de arco)
- Colimador de modulação (ou telescópio de transformada de Fourier)
 - ↳ duas ou mais grades paralelas e separadas por uma pequena distância
 - ↳ resolução: $\alpha = d/s$
 - ↳ várias grades
 - permitem determinar a posição da fonte sem ambiguidade

AST203 – CVR

7B-7

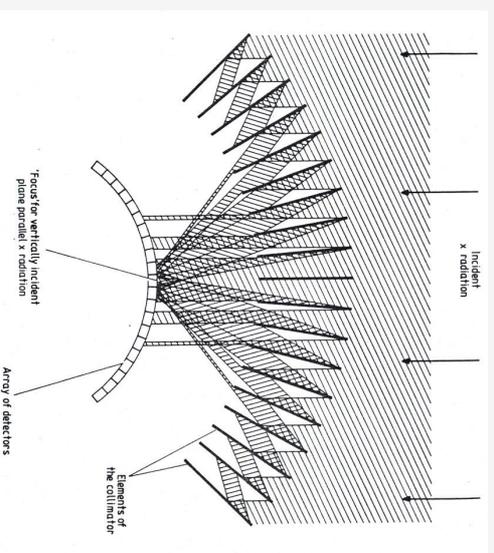
Kitchin



AST203 – CVR

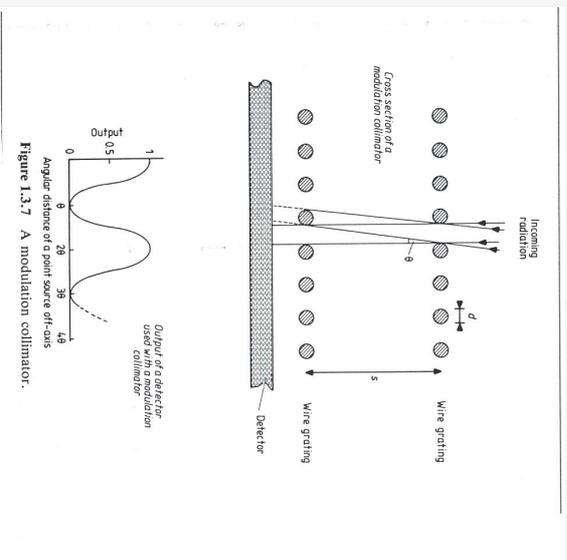
7B-6

Kitchin



AST203 – CVR

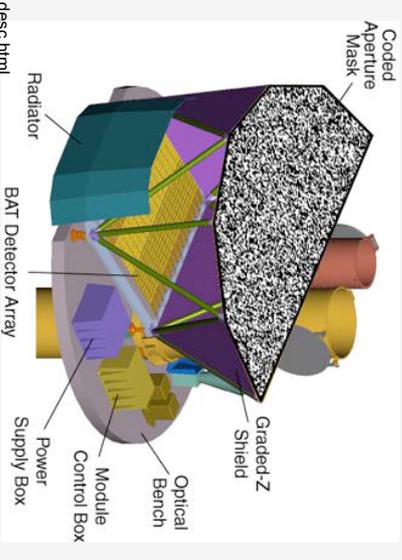
7B-8



Kitchin

- pinhole câmera
 - ↳ limitada a objetos brilhantes
 - ↳ variação: máscara codificada (MASCO, MIRAX)
- Detetores de coincidência
 - ↳ dois ou mais detetores colocados seguidamente
- Ocultação
 - ↳ ocultação pela Lua
 - ↳ informação precisa acerca da posição e estrutura da fonte

BAT Instrument SWIFT Telescope

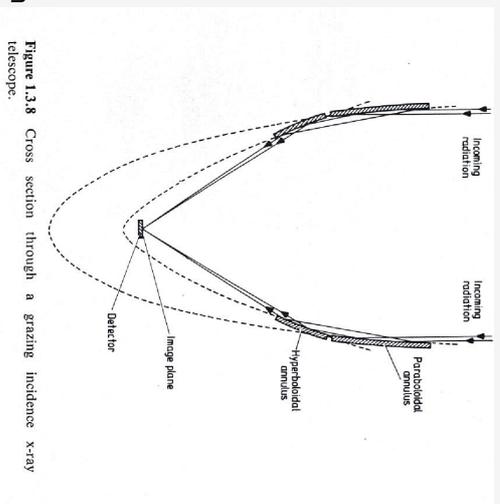


http://swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/about_swiftbat_desc.html

Property	Description
Aperture	Coded mask
Detecting Area	5200 cm ²
Detector	CdZnTe
Detector Operation	Photon counting
Field of View	1.4 sr (partially-coded)
Detection Elements	256 modules of 128 elements
Detector Size	4 mm x 4 mm x 2mm
Telescope PSF	17 arcmin
Energy Range	15-150 keV

Telescópio de incidência razante

- A radiação em raios-X moles atravessa o material quando incide normalmente a uma superfície. Pode, porém, ser refletida se incide de forma razante
- Essa característica é utilizada no conceito de telescópio de incidência razante bastante utilizado em raios-X de baixas energias



Kitchin

Figure 1.3.8 Cross section through a grazing incidence x-ray telescope.

Telescópio Wolter tipo I

- funciona para energias menores que/da ordem de keV
- boa resolução (alguns segundos de arco) para um campo de visão de muitos minutos de arco
- limite de resolução: determinado pelas irregularidades da superfície
- pouco eficiente: área efetiva é pequena
 - ↳ isso pode ser contornado com uma montagem de vários telescópios de incidência razante colocados um dentro do outro

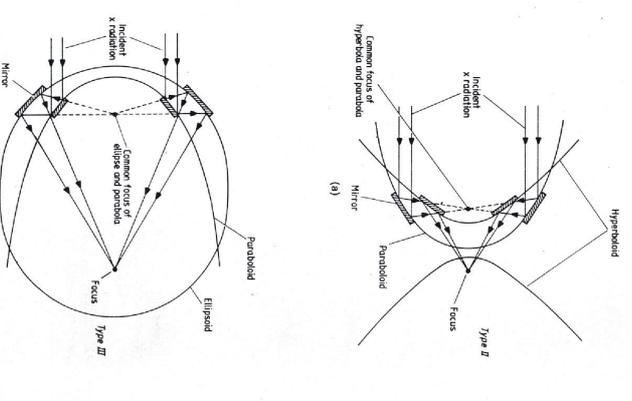
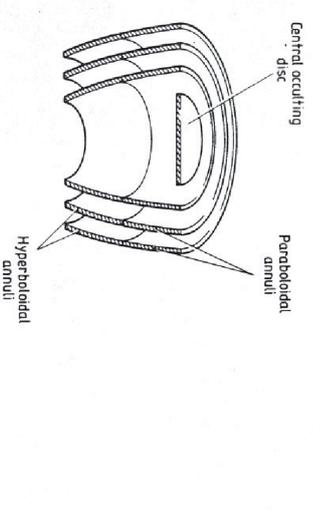


Figure 1.3.9 Cross sections through alternative designs for grazing incidence x-ray telescopes.

Kitchin

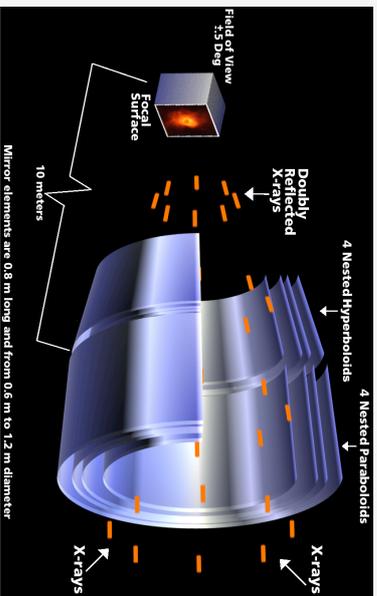


- Common focus
- Figure 1.3.10 Section through a nested grazing incidence x-ray telescope.

Kitchin

Chandra

A single Wolter Type 1 grazing incidence iridium-coated imaging telescope with a ghost free FOV ~ 30' diameter and an effective area of 800 and 400 cm² @ 0.25 and 5 keV respectively.



Opera com instrumentos de até 10 keV.

<http://chandra.harvard.edu>

Radiotelescópios

- Comprimentos de onda em rádio: 10^5 a $10^6 \times \lambda$ no óptico
- ↳ Portanto a resolução é muito pior

$$\alpha = \frac{1,22\lambda}{D}$$

↳ Se $\lambda = 0.1m$ e $D = 7m$, $\alpha = 1^\circ$

- Radiotelescópios são limitados pela difração
- ↳ (lembrando...) os ópticos são limitados pelo seeing

- radiotelescópios não produzem imagens (detetores são unidimensionais)

↳ as imagens são feitas por varredura

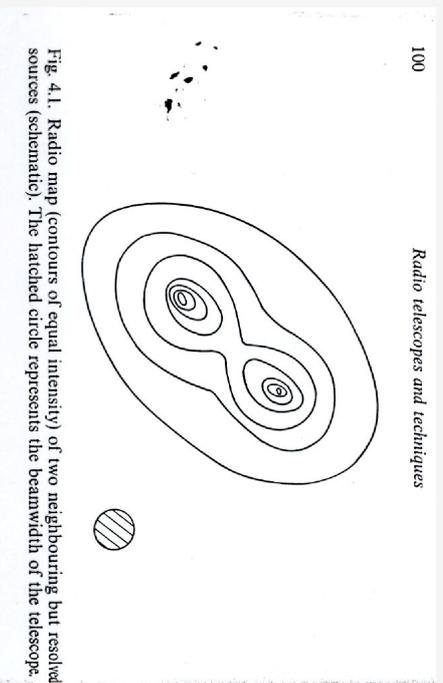
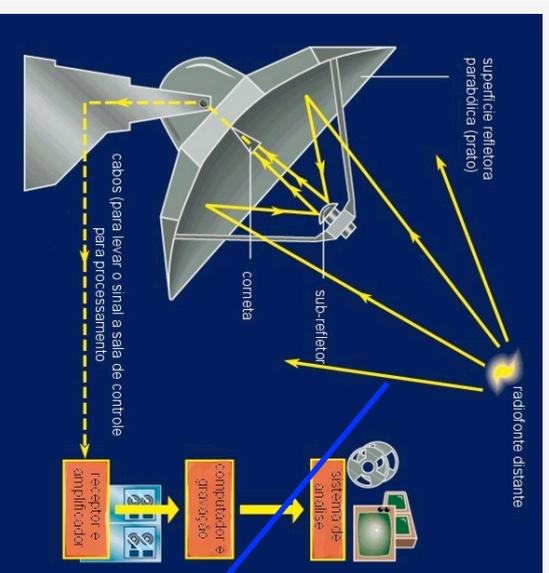


Fig. 4.1. Radio map (contours of equal intensity) of two neighbouring but resolved sources (schematic). The hatched circle represents the beamwidth of the telescope.

Smith

Elementos de um radiotelescópio

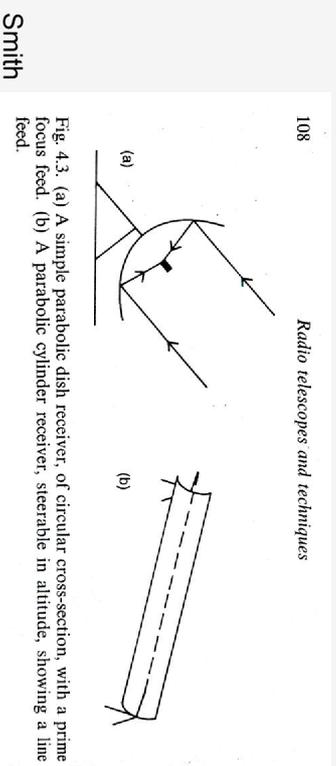


Prato
+
antena
+
sistema de
detecção

Feixe de entrada é plano-paralelo. Figura não está correta.

www.das.inpe.br

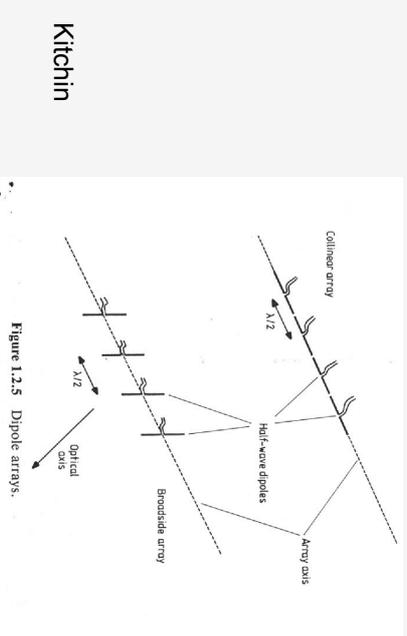
- Prato: focaliza a radiação na antena



AST203 – CVR

7B-21

- Antena
 - ↳ coleta a radiação dentro de uma direção
 - ↳ transforma a radiação em um sinal elétrico
 - ↳ sensíveis à polarização (de modo geral)



AST203 – CVR

7B-22

- Detetores

- ↳ sensíveis ao caráter ondulatório da radiação
 - os dados fornecem diretamente a informação da onda eletromagnética (amplitude e fase) e permite, de maneira mais simples que no óptico, o uso de técnicas interferométricas
- ↳ a definição dos comprimentos de onda da radiação a ser medida ocorre através da amplificação da corrente produzida pelo sinal astronômico (filtros eletrônicos)

AST203 – CVR

7B-23

Propriedades de um radiotelescópio

- Diagrama polar do radiotelescópio
 - ↳ resposta direcional = padrão de potência, P
 - ↳ sensibilidade do telescópio como função do ângulo entre a fonte e o eixo óptico
 - ↳ equivalente ao padrão de difração nos telescópios ópticos
 - ↳ $P = A/A_{max}$
 - A : área efetiva
 - A_{max} : área efetiva máxima
 - ↳ lóbulos laterais
 - correspondem aos anéis do padrão de interferência de um telescópio óptico
 - desenho e/ou técnicas permitem diminuir sua importância

AST203 – CVR

7B-24

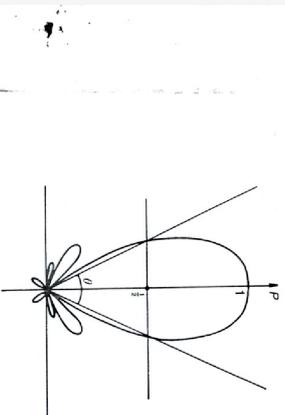


Fig. 4.2. A schematic polar diagram of the power pattern of a simple radio dish. The resolution of the dish is determined by the width of the main peak: d is the half-power beam width (HPBW), sometimes known as the full width at half-maximum (FWHM).

Antena
Kitchen

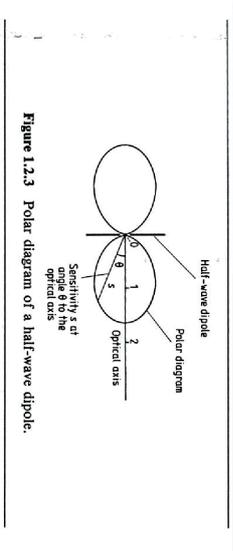


Figure 1.2.3 Polar diagram of a half-wave dipole.

- Primeiro mínimo
 - ↪ ângulo no qual a sensibilidade cai a zero, pela primeira vez, a partir do eixo óptico da antena
 - ↪ equivalente ao primeiro mínimo do padrão de difração de um telescópio óptico
 - ↪ largura do feixe entre os primeiros mínimos (*beam width at first nulls* – BWFN)
 - ↪ BWFN
 - ↪ disco de abertura circular, d :
 - ↪ dipolo de meia-onda: 180°

$$2 \frac{1,22\lambda}{d}$$
- largura do feixe a meia potência (*beam width at half power* – BWHP)
 - ↪ definido pelos pontos onde $P = 0,5 P_{\text{peak}}$
 - ↪ portanto a tensão é $V = 0,5^{1/2} V_{\text{peak}}$

Prato

Kitchen

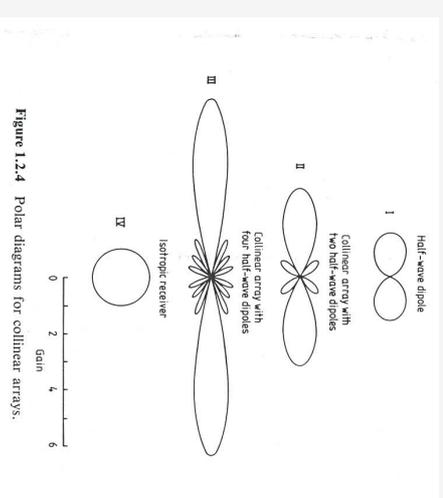


Figure 1.2.4 Polar diagrams for collinear arrays.

- Fontes puntiformes
 - ↪ densidade de fluxo, S_ν : fluxo por unidade de frequência ($\text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$)

$$p_\nu = A S_\nu$$
 - ↪ p_ν : potência medida pela antena
 - ↪ A: área efetiva do telescópio
 - ↪ 1 Jansky (Jy) = $10^{-26} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$

$$p_\nu = \int_{4\pi} B_\nu P d\Omega$$

$$p_\nu = \int_{4\pi} B_\nu A d\Omega$$
- Fontes extensas
 - ↪ distribuição de brilho, B_ν : ($\text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1} \text{ster}^{-1}$)

Tipos de radiotelescópios

- Dois tipos de radiotelescópios (pratos)
 - ↳ abertura preenchida
 - pratos contínuo ou de “grade”
 - ↳ abertura vazada
 - interferômetros
- restrição na qualidade da superfície nos radiotelescópios de abertura vazada
 - ↳ focaliza a radiação em uma antena
 - ↳ máximo desvio da forma: $\lambda/8$
 - ↳ prato: pode ser uma grade com espaçamento menor que o comprimento de onda

AST203 – CVR

7B-29

Telescópios de abertura preenchida

- grandes estruturas são necessárias para boa resolução espacial. Porém, aparecem problemas:
 - ↳ peso
 - ↳ vento
 - ↳ pode ser resolvido com cúpula. Mas, só é factível para tamanhos relativamente pequenos
- solução para gravidade
 - ↳ estrutura rígida
 - solução possível para telescópios relativamente pequenos
 - ↳ atuar na forma do prato

AST203 – CVR

7B-30

- montagem alto-azimutal são comuns
 - ↳ devido a sua maior estabilidade mecânica (com relação às equatoriais)
- Devido a tamanho e peso da estrutura, radiotelescópios podem ser limitados em seu movimento
 - ↳ discos com movimento: até 100m
 - ↳ discos sem movimento: 300 m

AST203 – CVR

7B-31

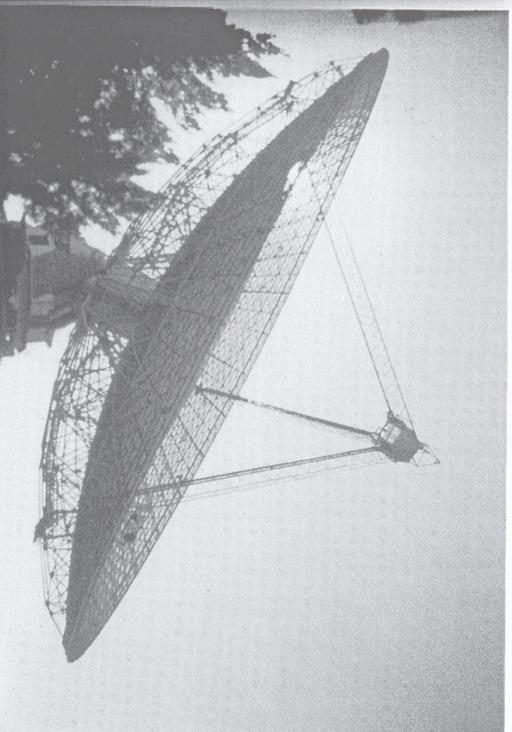


Fig. 4.4. The 64 m (210-foot) fully steerable radio telescope of the Australian National Radio Astronomy Observatory at Parkes, New South Wales. (Photograph by the author.)

Smith

AST203 – CVR

7B-32

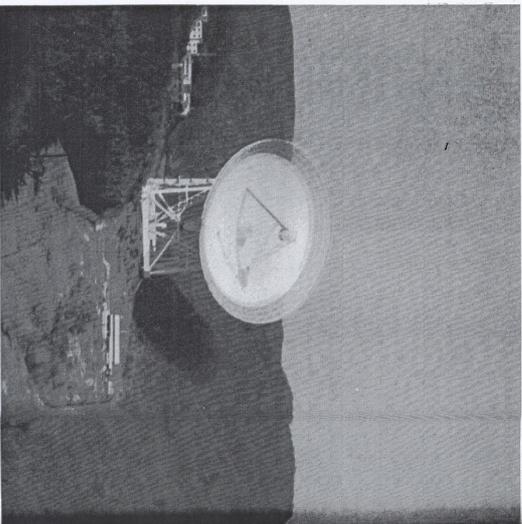


Fig. 4.5. The 100-m Effelsberg radio telescope near Bonn. It is situated in a valley to shield it from man-made radiation. (Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn.)

AST203 – CVR

7B-33

Smith

Focos

- foco primário
 - ↳ bastante comum
 - ↳ problemas
 - deve ser muito próximo ao telescópio para não captar radiação do solo
 - razão focal é bastante pequena e assim, a coma é uma aberração importante
- foco secundário
 - ↳ próximo e a frente da superfície refletora
 - localização de fácil acesso
- tapering
 - ↳ obstrui a chegada de radiação fora do lóbulo central

AST203 – CVR

7B-35



Fig. 4.6. The 305-m spherical radio dish at Arecibo in Puerto Rico. The instruments at the prime focus feed, suspended from three tall pylons. (The Arecibo Observatory is part of the National Astronomy and Ionosphere Center, which is operated by Cornell University under a cooperative agreement with the National Science Foundation.)

AST203 – CVR

7B-34

Smith

Direcionamento elétrico do telescópio

- ↳ adicionar fases aos sinais de várias antenas tal que a interferência construtiva ocorra para um dado ângulo

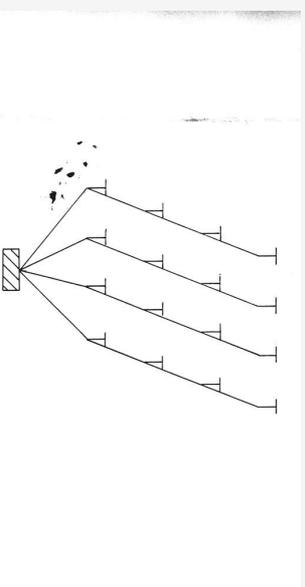


Fig. 4.8. A filled-aperture array of 16 dipoles, arranged in four rows and linked by cables to a single receiver.

Antenas seguem
objeto
tamanho dos cabos
mantém sinais
em fase

AST203 – CVR

7B-36

Radiotelescópios com abertura vazada

- distância entre elementos \gg tamanho dos elementos
- elementos separados por uma distância maior que seu tamanho
- interferometria
- baseia-se no fato de que a resolução depende apenas do tamanho total do sistema coletor e não muda se parte da área coletora não existir
- menos sensível (menor área coletora), mas com maior resolução espacial

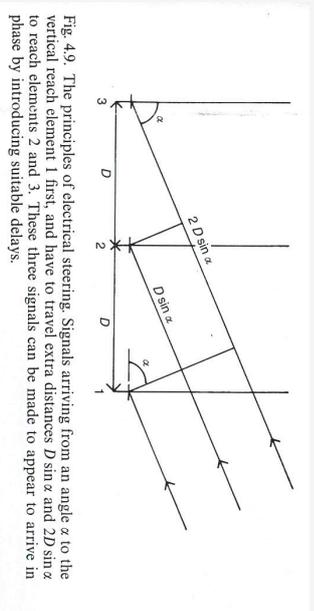


Fig. 4.9. The principles of electrical steering. Signals arriving from an angle α to the vertical reach element 1 first, and have to travel extra distances $D \sin \alpha$ and $2D \sin \alpha$ to reach elements 2 and 3. These three signals can be made to arrive in phase by introducing suitable delays.

Interferometria

- Como a fase da radiação não é perdida na detecção, é fácil e comum a realização de interferometria
- ↳ aumento da resolução espacial (definida pela distância entre antenas)

BDA

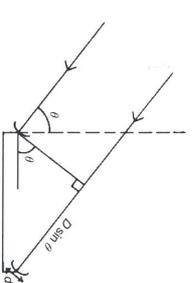


Fig. 4.10. Principles of the two-element interferometer. Two parallel beams arrive with a path difference $D \sin \theta$ and interfere constructively when this difference is an integral number of wavelengths.

4.3 Unfilled-aperture telescopes

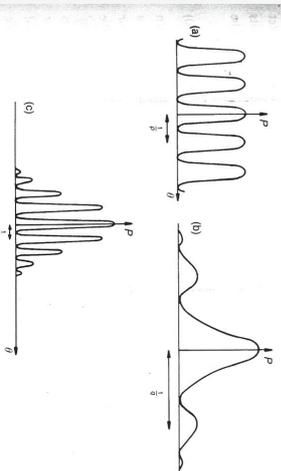


Fig. 4.11. (a) Fringe pattern of a simple two-element interferometer, of spacing $D = \lambda$. (b) Response pattern of each element, of size $d = \lambda/2$. (c) Net response pattern of the system, for the case $q \leq P$.