

Bloco 10

Interferometria

AST203 – CVR

Atualizado: 2014

10-1

Bibliografia

- Léna – Cap. 7 (ed. 1) e Cap. 5 (ed. 2)
- Smith – Cap. 3
- Kitchin – Caps. 2 e 4

AST203 – CVR

10-2

Busca por resolução espacial

- Uma das corridas sem fim da astronomia é a busca por resolução espacial
- A resolução angular de uma imagem é limitada pelo perfil de difração do elemento coletor, que no caso esférico resulta em uma resolução, de acordo com o Critério de Rayleigh, dada por:

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

- A interferometria é a técnica que busca aumentar a resolução angular via aumento do elemento coletor
- As soluções em rádio e óptico são muito diferentes e ambas são descritas a seguir

AST203 – CVR

10-3

Interferometria - Rádio

- 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



AST203 – CVR

www.das.inpe.br

10-4

Radiotelescópios com abertura vazada

- distância entre elementos » 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

AST203 – CVR

10-5

VLA



<http://www.vla.nrao.edu/>

- Very Large Array (EUA, Novo México):
- 27 antenas de 25m
 - espalhadas em uma linha de base de 36 km
 - área efetiva de um disco de 130m

AST203 – CVR

10-7

114

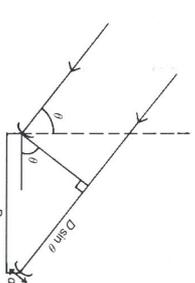


Fig. 4.10. Principles of the two-element interferometer. Two parallel beams arrive with a path difference $D \sin \theta$ and interfere constructively when this difference is an integral number of wavelengths.

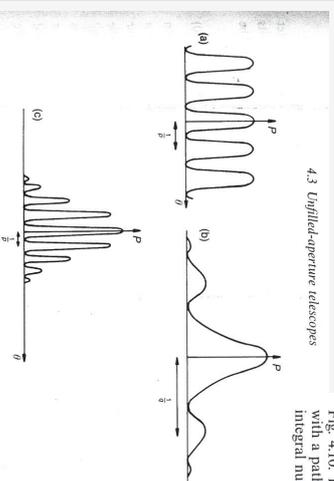


Fig. 4.11. (a) Fringe pattern of a simple two-element interferometer, of spacing $D = \lambda/2$. (b) Response pattern of each element, of size $d = \lambda/2$. (c) Net response pattern of the system, $\forall \theta$ the case $q \ll p$.

AST203 – CVR

10-6

ALMA



- 66 antenas de 7 e 12 m de diâmetro
- em uma linha de base de até 16 km
- trabalha na faixa radio de alta frequência e submilimétrico

AST203 – CVR

10-8

ALMA



AST203 – CVR

10-9

Interferometria no óptico

- Em rádio, é possível registrar a amplitude e a fase do sinal. Assim, sinais de diferentes telescópios podem ser registrados e posteriormente combinados de modo a se reproduzir o padrão de interferência como se a detecção de vários telescópios fosse feita em conjunto. A dimensão típica do padrão de interferência é proporcional a distância entre os dois telescópios
- No óptico, a informação sobre fase é perdida **na detecção**. Porém, a luz óptica também é sujeita ao fenômeno da interferência (como nos filtros interferenciais). Assim, é possível realizar a interferometria quando se combina a luz de diferentes telescópios **antes** da detecção.

AST203 – CVR

10-10

Interferômetro estelar de Michelson

- similar ao experimento de fenda dupla de Young (fig)
 - ◊ interferência positiva
 - $d \sin \theta = m \lambda$
 - * $\theta = 0$ corresponde ao ponto do máximo central, isto é, o máximo na direção (prolongamento) de incidência do feixe
- mas, note que não se usa fenda no interferômetro estelar. O papel da fenda é feito por dois telescópios

AST203 – CVR

10-11

Esta figura é de um experimento de fenda usado como analogia

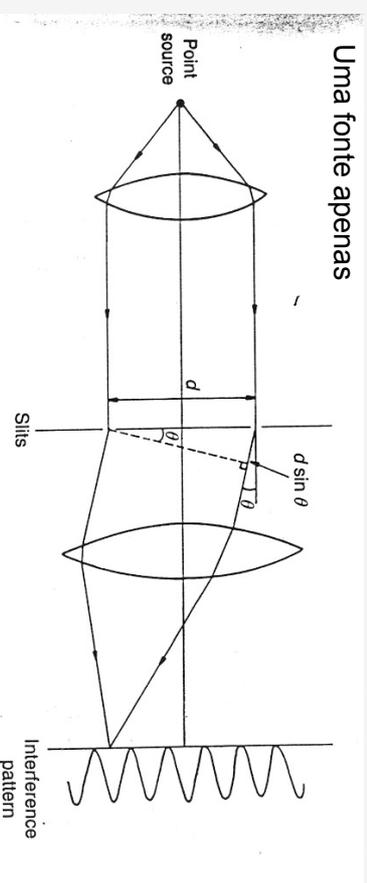


Fig. 3.21. Young's double-slit experiment. Collimated light from a point source passes through two parallel slits separated by a distance d . If parallel rays from the two slits, at an angle θ to the axis, have a path difference $d \sin \theta$ equal to an exact number of wavelengths then they add to produce a maximum in the interference pattern (equation (3.6)). The centre of the pattern is a maximum.

Smith

AST203 – CVR

10-12

Duas fontes: 1 e 2 separadas no céu pelo ângulo α

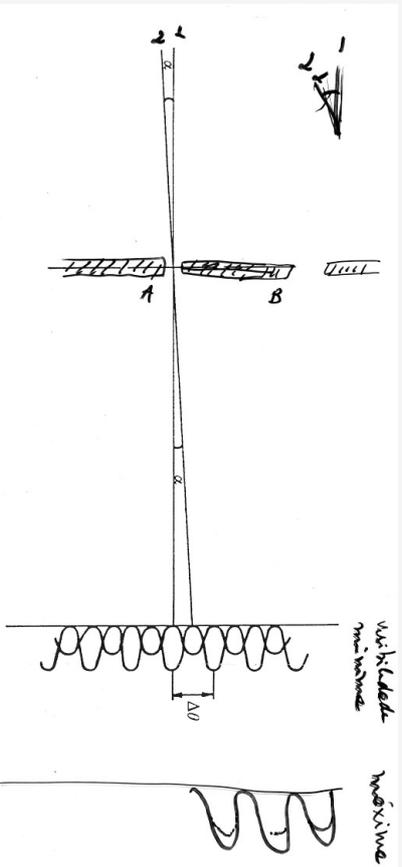


Fig. 3.22. Fringe patterns produced by two independent point sources separated by an angle α . In this diagram, the off-axis source is fainter and so produces a weaker set of maxima. The angle α has been drawn to be equal to $\frac{1}{2}\Delta\theta$ so that the central maximum of the pattern from the weaker source falls exactly on the first minimum of the pattern from the stronger source, giving minimum visibility of the overall pattern (equation (3.7)).

Smith

• caso astronômico (telescópios, não fendas)

↳ duas fontes puntiformes separadas por um ângulo α

↳ os padrões de interferência são deslocados pelo ângulo α

↳ considere o caso em que o máximo de um dos padrões coincide com o mínimo do padrão do outro objeto

→ NO CASO DE DUAS FONTES DE MESMO BRILHO, o padrão resultante não possui máximos e mínimos, isto é, é um padrão de intensidade constante em ângulo (não existe as franjas de interferência)

→ se as fontes possuem brilhos diferentes, a diferença entre as intensidades mínima e máxima do padrão será menor que no caso de uma única fonte

↳ condição de visibilidade mínima

$$\rightarrow \alpha = 0,5 \Delta\theta = 0,5 \lambda/d$$

• O que Michelson fez?

↳ Ele construiu um instrumento baseado na idéia acima para medir a distância entre estrelas duplas

→ a distância d entre telescópios é variável

→ d é variado até encontrar-se o mínimo de visibilidade

↳ mesma configuração pode ser usada para medir diâmetros estelares

Atenção!

O padrão no detector não corresponde à interferência entre a luz das duas fontes (que não são coerentes), mas sim à soma dos padrões de interferência de cada uma das fontes.

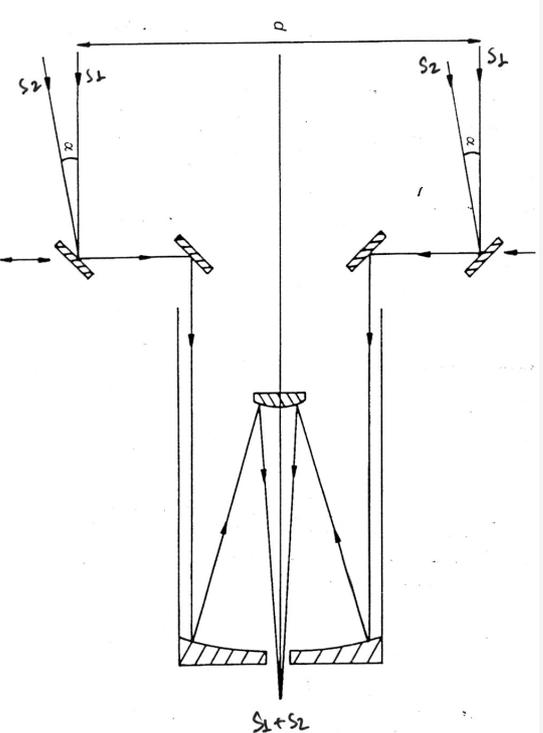


Fig. 3.23. The optical components of the Michelson stellar interferometer. Light rays from two sources separated by an angle α are directed into a telescope via four small plane mirrors. The outer two can be moved apart symmetrically, giving a variable separation d . The telescope simply acts to bring the light to a focus.

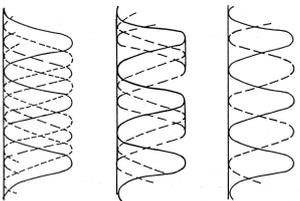
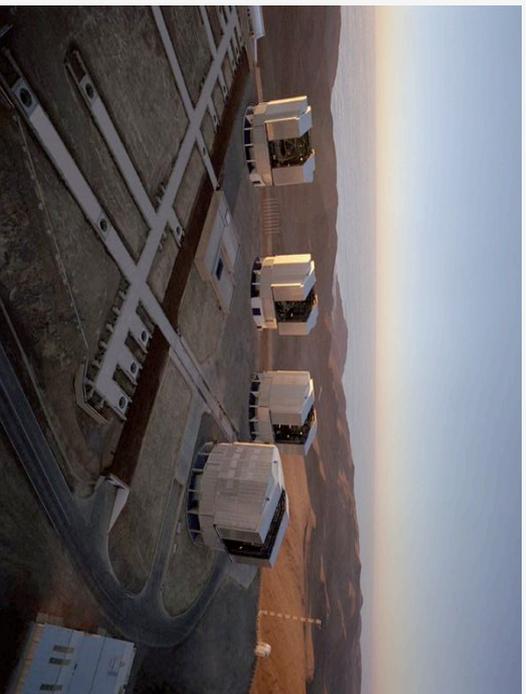


Fig. 3.25. The top diagram shows the superposition of the interference patterns from two point sources of equal brightness. When the maxima of one pattern lie exactly on the minima of the other then, by symmetry, the visibility of the overall pattern is a minimum. Suppose now that the two point sources are the opposite ends of the diameter of a star, so that every point on the diameter between them also acts as a point source, giving its own interference pattern (for simplicity, in this diagram we show only two such sources). The overall pattern is now a maximum, because the maxima of the two point sources are now in phase. The overall pattern is completely filled by the maxima of these new patterns, but only on one side; this is indicated by the horizontal bars in the middle diagram, which are a mapping into the interference pattern of the diameter of the star. The outer curves represent the patterns from the two ends of the diameter and the middle curve the pattern from the mid-point of the diameter. The overall pattern does not now have its minimum possible visibility, which will instead occur when the whole space between the maxima of one pattern is filled in by the maxima from the points at the opposite ends of the diameter. This will happen when the maxima from the points are just outside the diameter just outside, instead of being interfered. This situation is shown schematically in the bottom diagram, where the solid line represents the (concentric) pattern from the star's disc, and the short-dashed lines represent the patterns from points one-quarter and three-quarters of the way along the diameter.

VLT - ESO



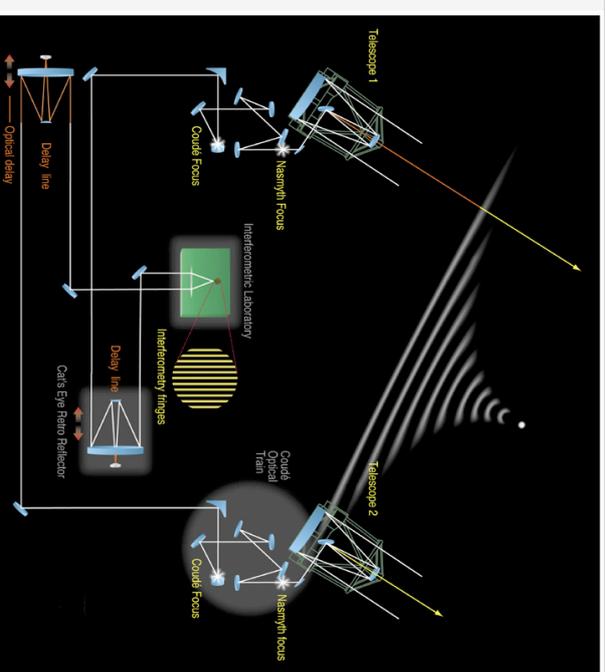
- Para que o padrão de interferência seja formado corretamente é necessário que os caminhos ópticos dos feixes de uma mesma fonte não difiram por mais que o tamanho de coerência,¹

$$\Delta l = c / \Delta \nu = \lambda^2 / \Delta \lambda \quad ,$$

→ $\Delta \nu$ corresponde à largura do feixe

$$\Delta l \text{ para } \lambda = 500\text{nm e } \Delta \lambda = 1\text{nm, } l = 0,25\text{mm}$$

- Portanto é necessária uma extrema precisão no posicionamento dos espelhos do interferômetro de Michelson

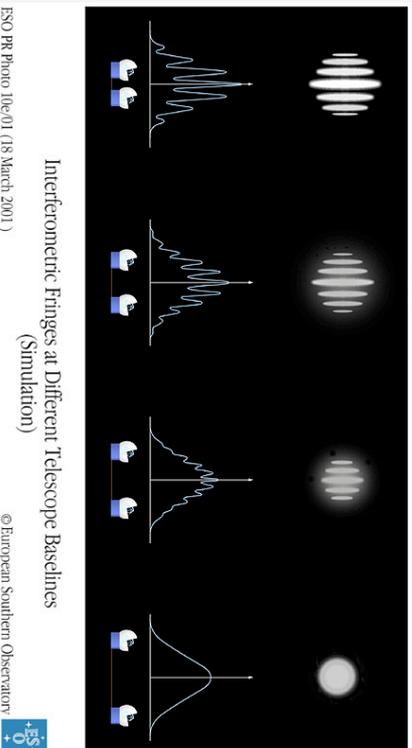


Overview of the VLT Interferometer

ESO PR Photo 10c-01 (18 March 2001)

© European Southern Observatory





ESO PR Photo 10e/01 (18 March 2001)

(Simulation)

© European Southern Observatory



Imagemento speckle

- ↗ O disco de seeing é formado pela movimentação do padrão de difração no detector devido à turbulência da atmosfera
- ↗ se a imagem é obtida com tempo de integração menor que o tempo de variação característico da atmosfera podemos isolar cada padrão de difração
 - 100 ms – IR
 - 10 ms - óptico
- ↗ imagem final é obtida pela soma das imagens individuais

W.L. Beavers, D.E. Dudgeon, J.W. Belletic, and M.T. Lane

Speckle Imaging through the Atmosphere

The atmosphere is the limiting factor in high-resolution ground-based optical telescope observations of objects in space. New speckle-imaging techniques allow astronomers to overcome atmospheric distortion and achieve the goal of diffraction-limited ground-based telescope performance. Studies and experiments at Lincoln Laboratory utilize speckle imaging for observation of near-earth satellites. Thousands of separate exposures, each 2 to 5 ms in duration, are collected within a few seconds. A computationally intensive algorithm is then used to reconstruct a single diffraction-limited image from the collection of separate exposures. The image-reconstruction process effectively removes the distortion imposed by the atmosphere. Photon noise, which limits the quality of image-reconstruction, must be properly compensated by the actual detector calibration.

Beavers et al. — Speckle Imaging through the Atmosphere

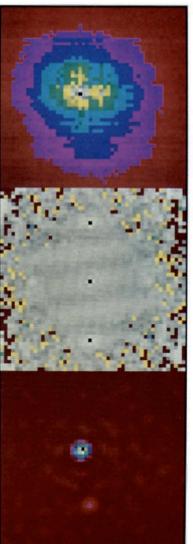


Fig. 13.—Image reconstruction of Pluto and its moon, Charon. (a) The long-exposure image of the Pluto-Charon system. (b) The power spectrum of the image. (c) The speckle-image reconstruction of the resolved pair.