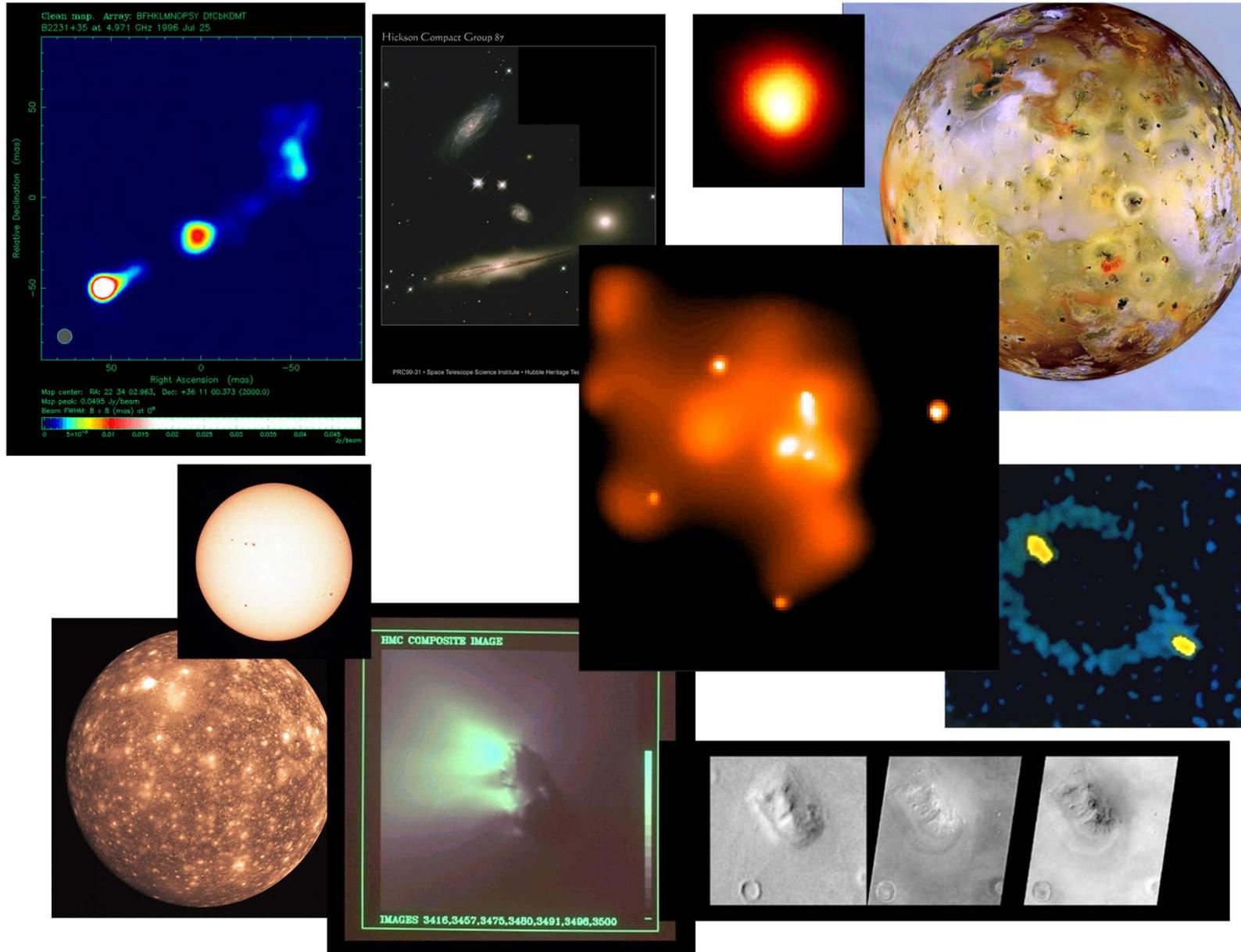


“motivation is [...] more important [...] than innate ability”
(Scientific American, August 2006)

“it takes [...] a decade of heavy labor to master any field”
(Scientific American, August 2006)



**“...all observation must be for or against
some view if it is to be of any service!”**

Charles Darwin

O que é a Astronomia?

- A mais antiga das Ciências (c.f. Astrologia)
- Uma Ciência multidisciplinar por excelência:
 - pequena percentagem de “linguagem própria”
 - 90% Astrofísica
 - e ainda

Astronomia do Sistema Solar e Planetária	Astrogeologia Astrobiologia
Astronomia Estelar e Galáctica	Astroquímica
Astronomia Instrumental	Engenharia
Astronomia de Posição	Referenciais/Geodesia
Astroarqueologia	História

Unidades

$$1 \text{ pc} \approx 3.3 \text{ anos-luz} \approx 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$$

$$1 \text{ U.A.} \approx 1.50 \times 10^{11} \text{ m (unidade astronómica)}$$

$$c \approx 300 \times 10^3 \text{ km/s (velocidade da luz)}$$

$$1 M_{\odot} \approx 2.0 \times 10^{30} \text{ Kg (massa solar)}$$

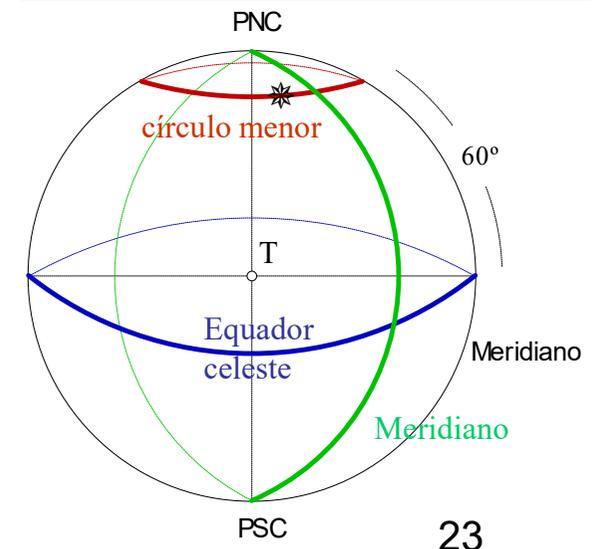
$$1 R_{\odot} \approx 6.96 \times 10^8 \text{ m (raio solar)}$$

1 – INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas de coordenadas e tempo

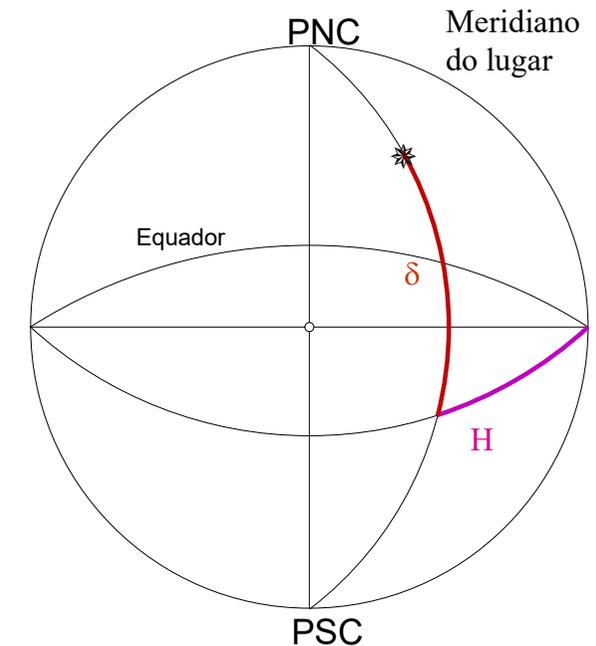
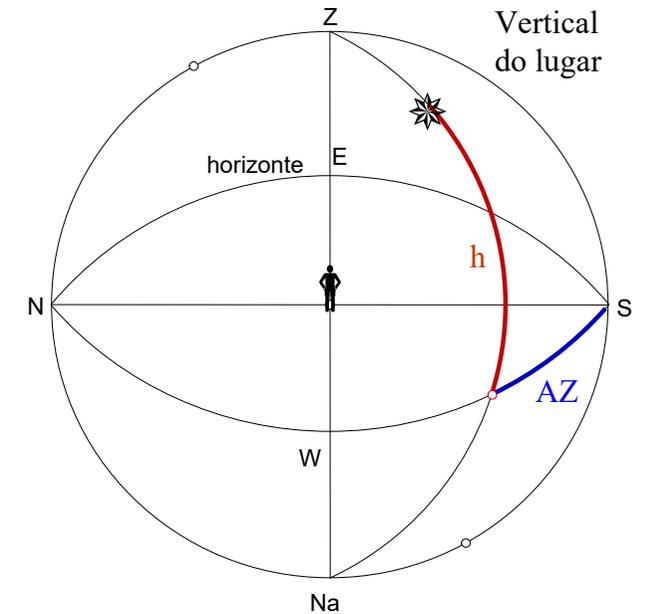
Devido ao movimento de rotação da Terra, todos os astros do Universo têm movimentos aparentes circulares em torno do prolongamento do eixo terrestre (que passa nos pólos). Sabemos que é assim pelo Sol (apesar deste ter nascimento e ocaso) e também pelas estrelas. Longas exposições fotográficas nocturnas tornam este movimento bem evidente.

Definimos, então, a **esfera celeste** com raio arbitrário e onde se encontram todos os astros. Na intersecção do eixo de rotação da Terra com a esfera celeste temos o **pólo sul celeste** (PSC) e o **pólo norte celeste** (PNC); este último está muito próximo da famosa **Estrela Polar**. O **equador celeste** é o conjunto de todos os pontos à mesma distância dos PNC e PSC: diz-se uma **circunferência máxima** por ser um diâmetro da esfera. Finalmente definimos os **meridianos**: a infinidade de circunferências máximas perpendiculares ao equador, logo, passando pelos PNC e PSC. Todos os astros se deslocam sobre **círculos menores**, paralelos ao equador celeste.



Usando o mesmo raciocínio, mas agora concentrando-nos no observador, definimos o **sistema de coordenadas horizontal local**. Este contém o **horizonte** como **circunferência máxima principal** (que define o sistema) e o **zénite** (ponto mais alto no céu) e o **nadir** como “pólos”. À infinidade de circunferências máximas que são ortogonais ao horizonte chamam-se **verticais**, sendo que o **vertical do lugar** é aquele que passa no ponto cardeal sul. As duas coordenadas, já que o sistema é bidimensional (mas não-cartesiano: é esférico) são o **azimute (AZ)** e a **altura (h)**. O primeiro é medido a partir do ponto cardeal sul e vai de 0° a 360° (pelo oeste). A segunda vai de -90° a $+90^\circ$, sendo que alturas negativas não são vistas pelo observador (estão abaixo do horizonte), a não ser que o mesmo suba a uma montanha.

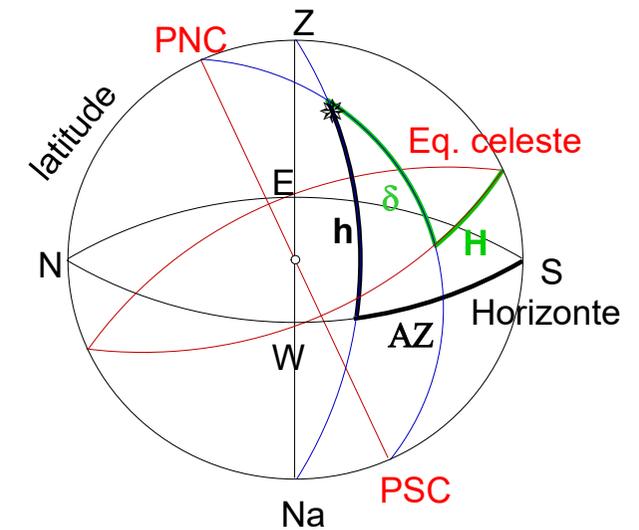
O primeiro sistema em que falámos é o **sistema de coordenadas equatorial local** e não se pode dissociar do horizontal local. A “misteriosa” definição dos pontos cardiais depende do primeiro, já que os pontos cardiais norte e sul vão estar sobre um meridiano (**do lugar**) e o vertical do lugar. As duas coordenadas do sistema equatorial local são o **ângulo horário (H)** e a **declinação (δ)**. O primeiro é medido a partir do meridiano do lugar e vai de 0h a 24h. A segunda vai de -90° a $+90^\circ$, valendo 0° sobre o equador celeste.



Mas os dois sistemas foram, de facto, criados para funcionarem juntos. Desde tempos anteriores aos Descobrimentos portugueses que se sabia que a Estrela Polar era um excelente indicador da latitude do lugar. Isto porque a sua altura é quase exactamente idêntica aquela, pela sua proximidade ao PNC. Basta, então, a **latitude** do lugar para definirmos o ângulo entre os dois sistemas.

E chegou a hora de falarmos num tempo, relacionado com uma das motivações da utilização do sistema equatorial local e do ângulo horário (que é dado em horas): o **tempo que uma estrela está acima do horizonte** é exactamente igual ao ângulo horário descrito pela mesma entre o seu nascimento ($h=0^\circ$) e o seu ocaso ($h=0^\circ$).

Chegou também a hora de mencionarmos um problema com o sistema equatorial local: é que apenas uma das coordenadas (δ) é sempre fixa. A outra (H) muda constantemente em ciclos de 24 horas com o movimento do respectivo astro. A solução foi definir uma outra origem para este sistema (o **ponto vernal γ**) que não muda ao longo do tempo. Assim, definimos uma nova coordenada (**ascensão recta – α**) e o novo sistema, chamado **equatorial celeste** é, finalmente “imutável” e fixo em relação ao Universo.



Mas de onde surgiu este misterioso ponto vernal? A resposta é bastante simples. Mas para tal temos de nos concentrar noutra movimento aparente do Sol: aquele que faz ao longo do ano, devido ao movimento de translação da Terra.

O movimento anual aparente do Sol descreve a **eclíptica**, que vai servir de círculo máximo principal para um novo sistema de coordenadas (o **eclíptico**). Claro que temos o PNE e PSE. Ainda, a eclíptica vai fazer um ângulo de 23.5° com o equador celeste, já que é esta a inclinação do eixo de rotação da Terra. O ponto vernal é um dos dois pontos de intersecção da eclíptica com o equador celeste e é aquele ponto onde o Sol se encontra no equinócio de Primavera.

Uma famosa definição é a de **tempo sideral** local: (... o ângulo horário do ponto vernal)

$$T.S.L. = \alpha + H$$

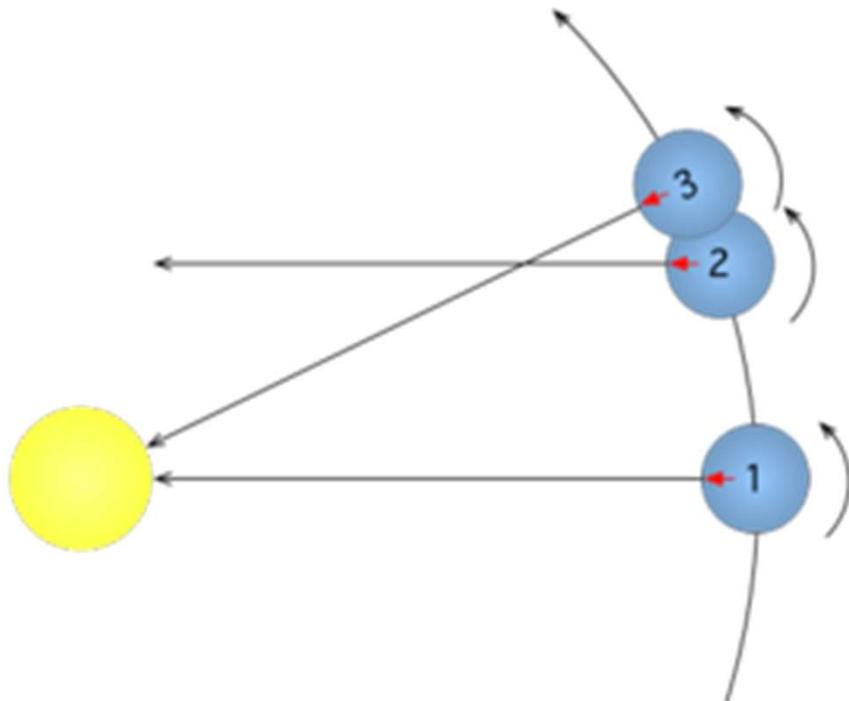
Ora, o **dia sideral** é medido entre duas passagens sucessivas do ponto vernal no meridiano do lugar.

Do mesmo modo, o **dia solar** é medido entre duas passagens sucessivas do Sol no mesmo meridiano.

São diferentes!

PORQUÊ?

... devido à translação e rotação da Terra:



Em relação às estrelas, a Terra completa uma rotação num tempo **inferior** ao medido em relação ao Sol:

- é esse o **dia sideral**

O ângulo extra que a Terra tem de fazer para se alinhar com o Sol é dado por:

$$360^\circ / 365 \approx 1^\circ$$

A diferença, em tempo, entre os dois dias é dada por:

$$\begin{array}{rcl} 24 \times 60min & \text{—————} & 360^\circ \\ x & \text{—————} & 1^\circ \end{array}$$

Assim, aproximadamente, a diferença é de **quatro minutos**.

Mais exactamente, de facto, o dia sideral tem de duração 23h56m4.1s.

1.2 As grandezas em Astronomia

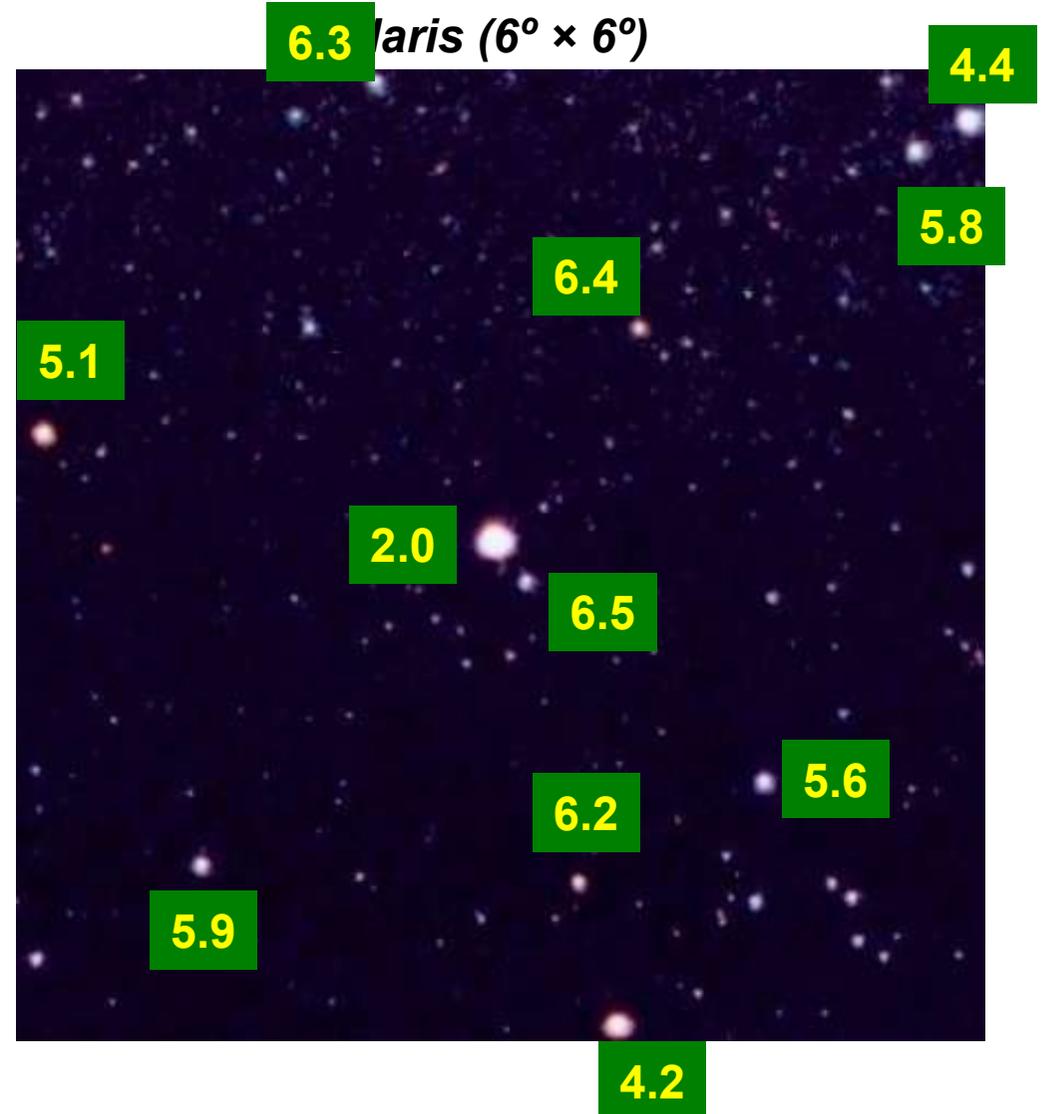
$m \equiv$ grandeza aparente

(gregos) estrela $m=1 \rightarrow$
100 vezes **mais** brilhante que
estrela $m=6$

(mais distante? mais **luminosa**?)

m (Vega) = 0.000
 m (Sol) = - 27
 m (Lua) > - 13
 m (Vénus) > - 4
 m (Sirius) = - 1.5
 m_{lim} (olho) = + 6.5
 m_{lim} (HST) = + 31

$M \equiv$ grandeza absoluta (= m à distância padrão
de 10 pc = 32.6 anos-luz)



M (Sol) = + 4.7
 M (Lua) > + 32
 M (Vénus) > + 30
 M (Sirius) = + 1.4

(gregos) estrela $m=1 \rightarrow$

100 vezes **mais** brilhante que
estrela $m=6$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (b_1/b_2)$$

$$M - m = 5 - 5 \log d(\text{pc}) \quad (\text{módulo de distância})$$

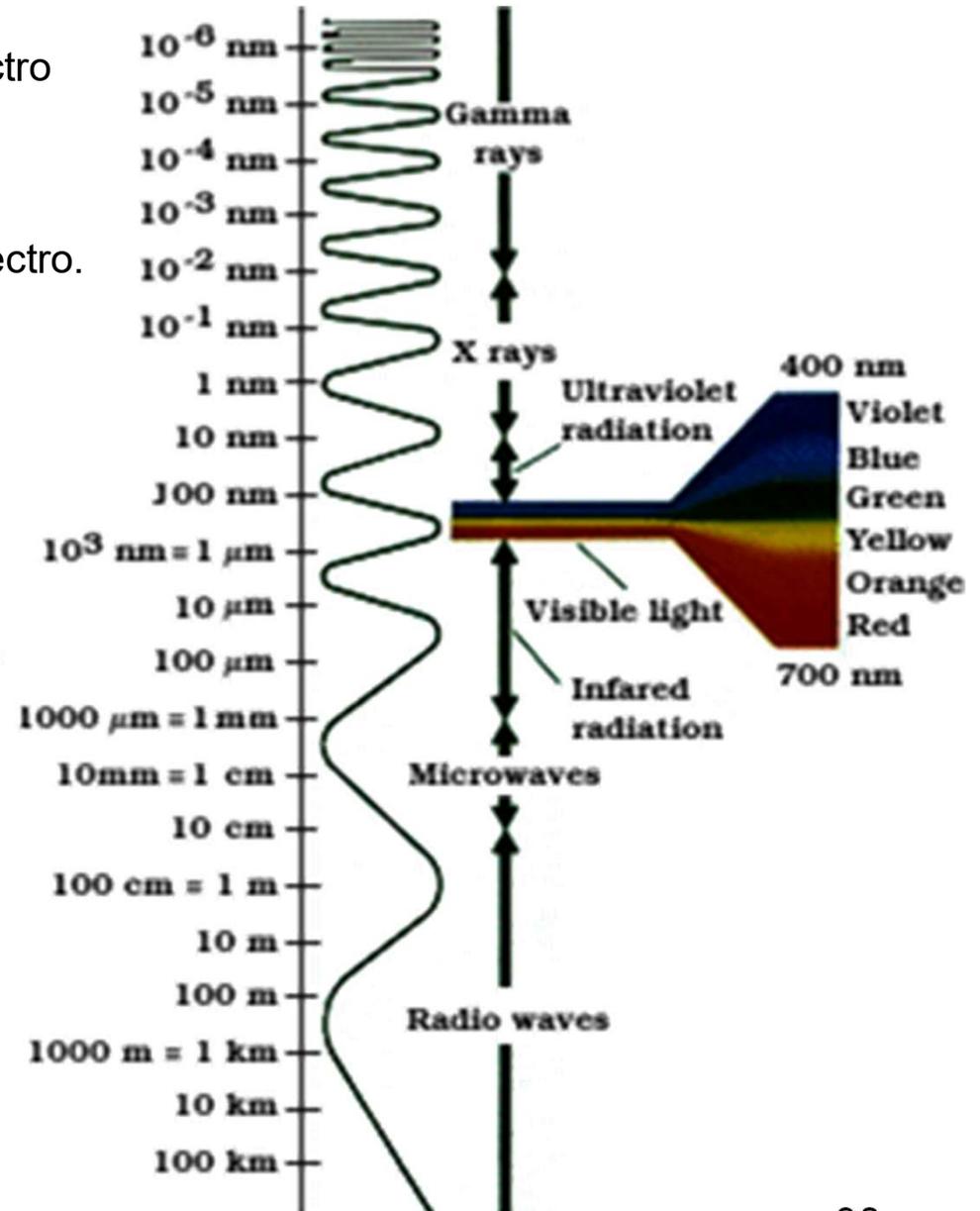
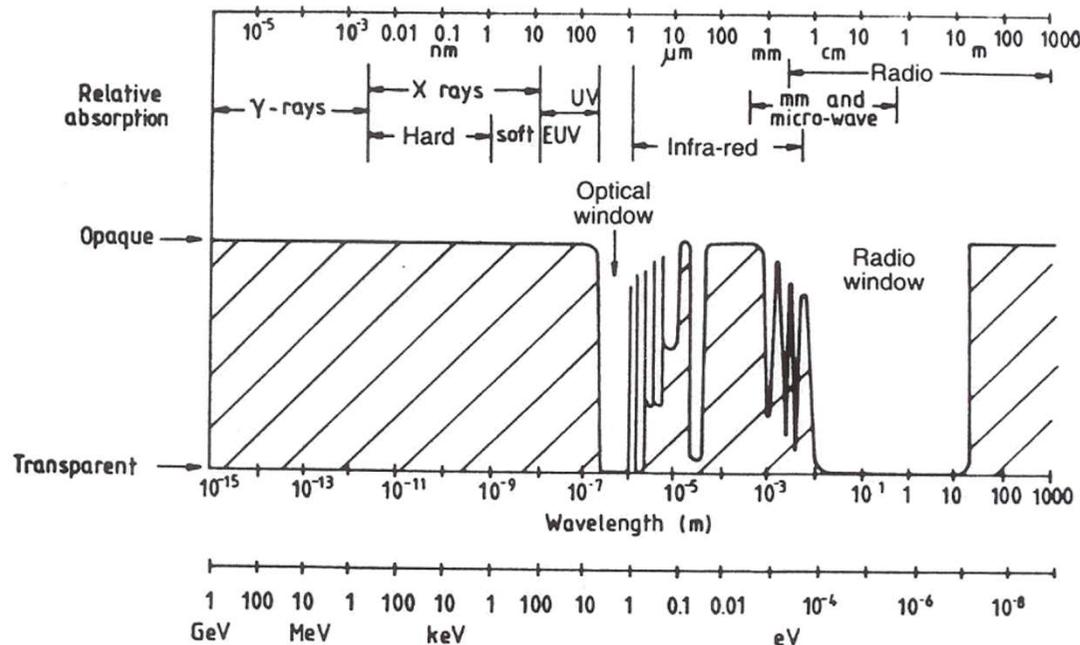
$L \equiv$ luminosidade, potência ou brilho intrínseco $= 4\pi d^2 b$

$$M_1 - M_2 = -2.5 \log (L_1/L_2)$$

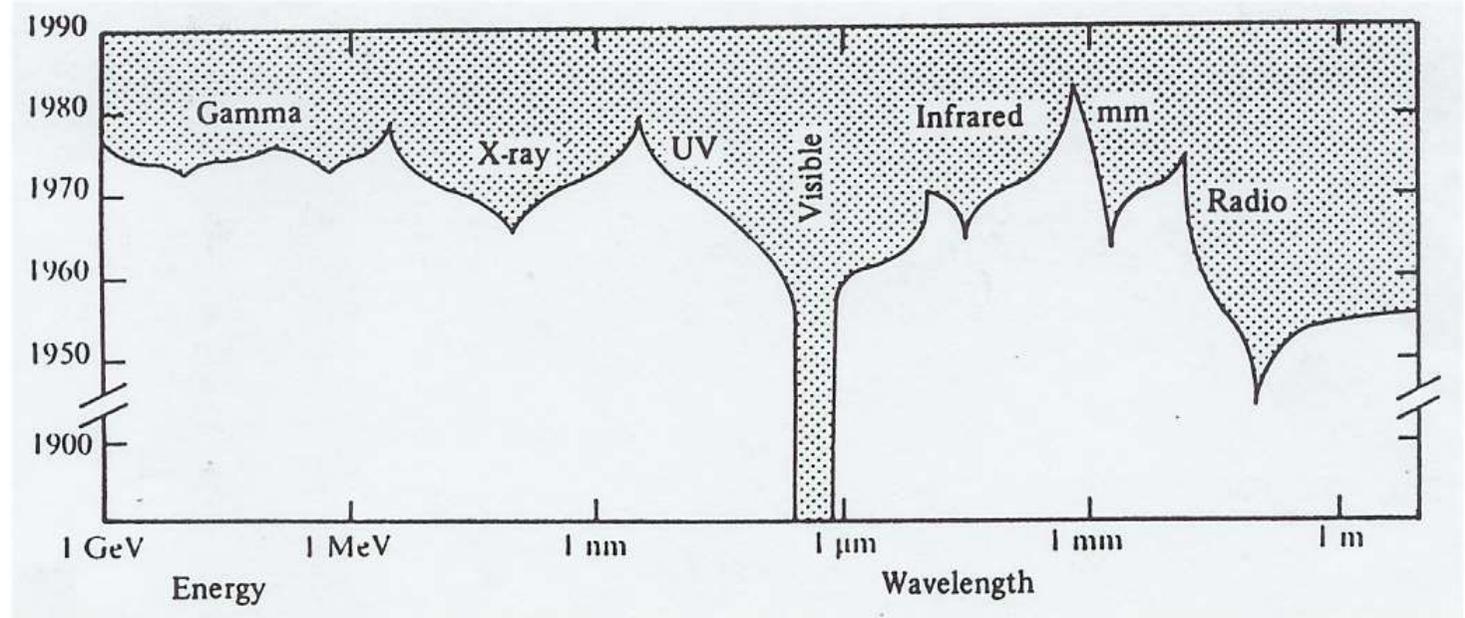
1.3 O Espectro Electromagnético

A luz visível é apenas uma pequena porção do espectro electromagnético. O estudo de qualquer objecto astronómico não fica completo sem se conhecer informação sobre o mesmo em outras partes do espectro.

(In)felizmente, contudo, a atmosfera da Terra bloqueia a maioria da radiação. Só o óptico e o rádio chegam com facilidade, havendo também algumas “janelas” no IV e micro-ondas...



...Daí só há relativamente poucos anos termos conquistado todo o espectro para a Astronomia.



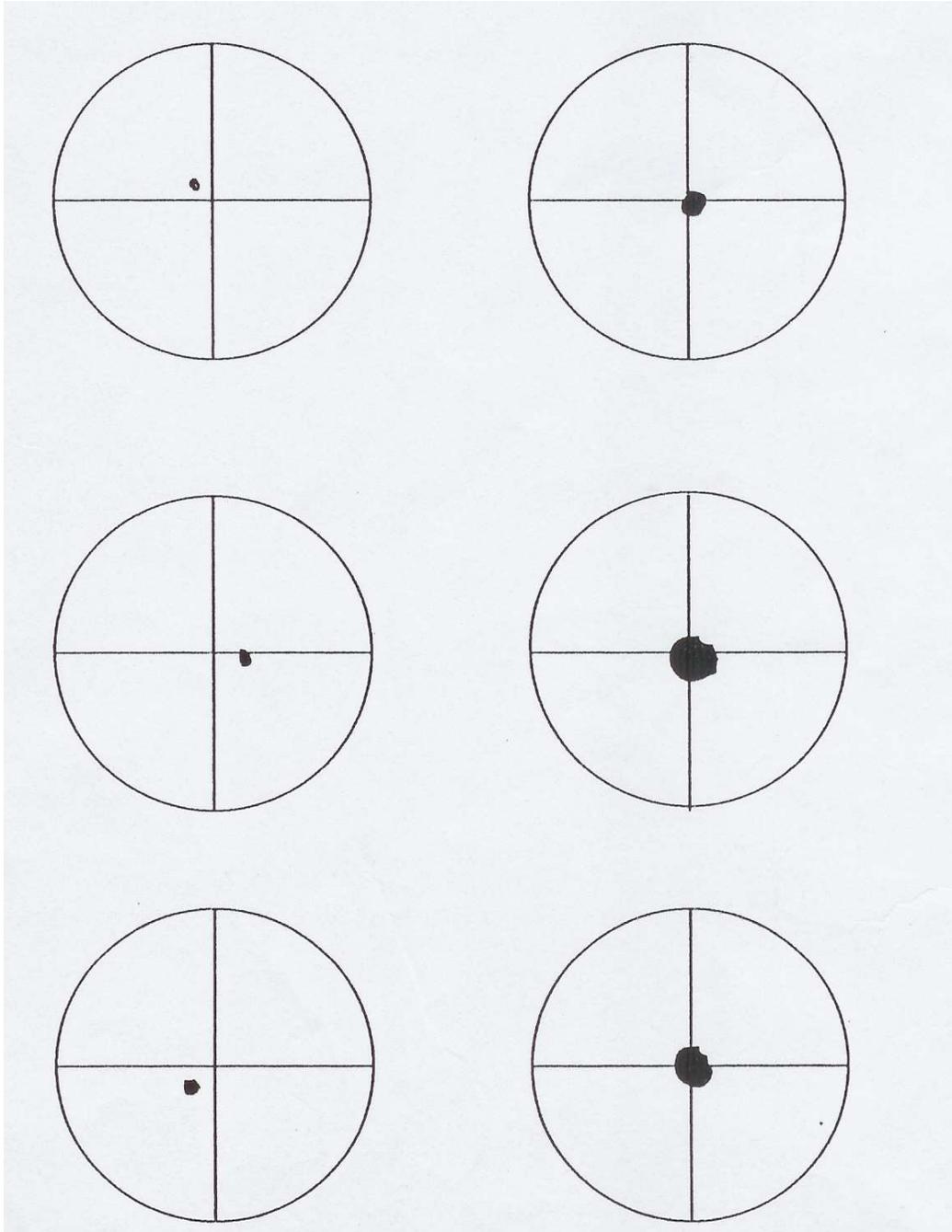
Por definição, para um telescópio de diâmetro D a observar no comprimento de onda λ :

$$\text{Resolução} \propto D / \lambda \quad [\text{rad}] \quad \alpha_{\text{sep}} = 1.22 \lambda / D \quad [\text{rad}]$$

Ainda, temos que:

$$\text{Sensibilidade} \propto D^2$$

A atmosfera faz bem pior à Astronomia do que simplesmente bloquear bandas: gera efeitos perturbadores das observações. No caso do óptico, tais efeitos produzem o disco de “[seeing](#)” efectivamente limitando a resolução das observações a 0.5-2”, independentemente do diâmetro do telescópio utilizado.



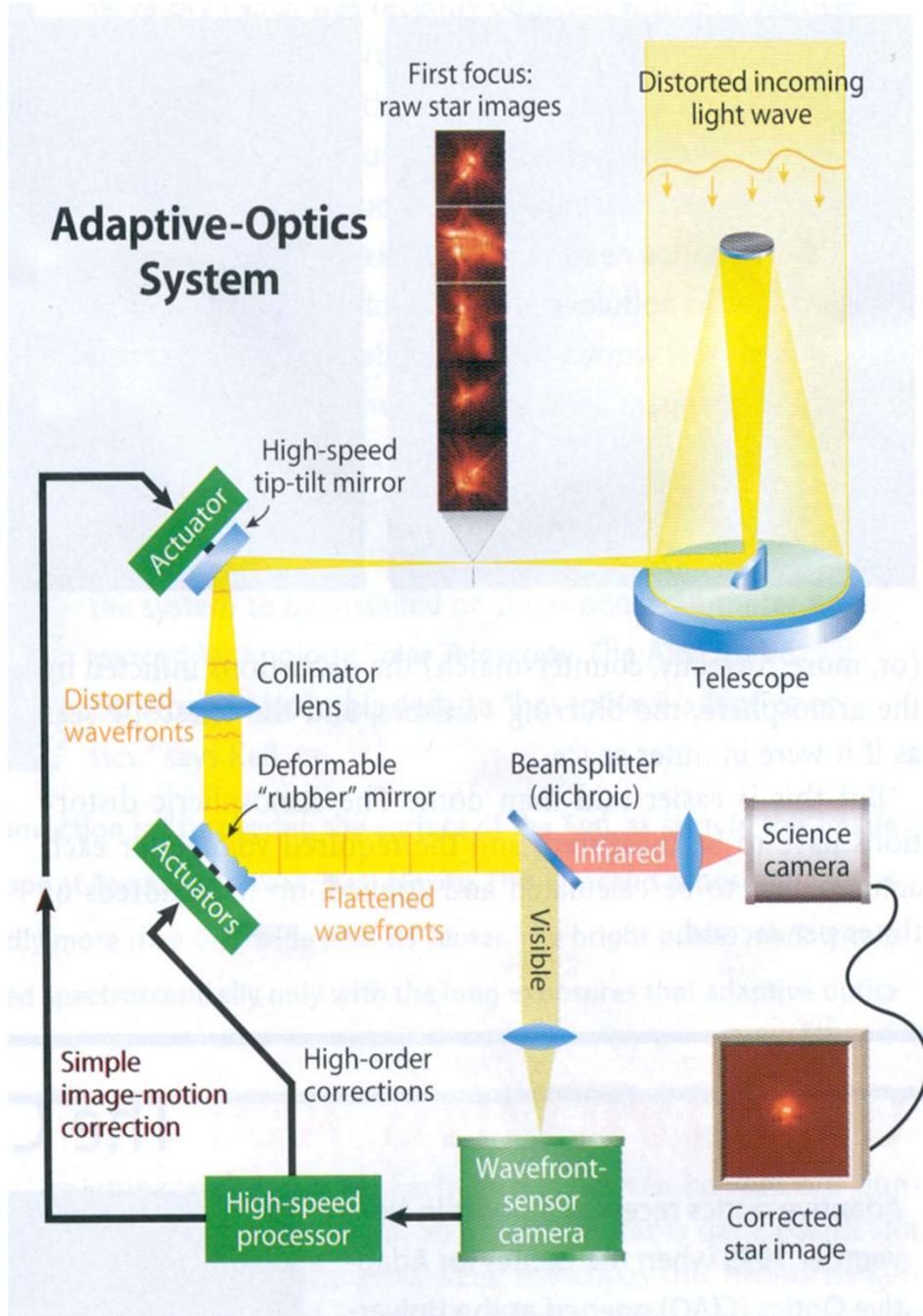
Os típicos efeitos do “seeing” num telescópio pequeno (coluna da esquerda) e num grande. Note-se que não só a **forma** da estrela observada é constantemente alterada pelo seeing como também a sua **posição**. Quando o telescópio é grande a distorção mantém-se mas a posição não se altera tanto.

Por exemplo, para o caso do Keck I ($D=10\text{m}$), observando no visível ($\lambda = 0.55\mu\text{m}$), vem:

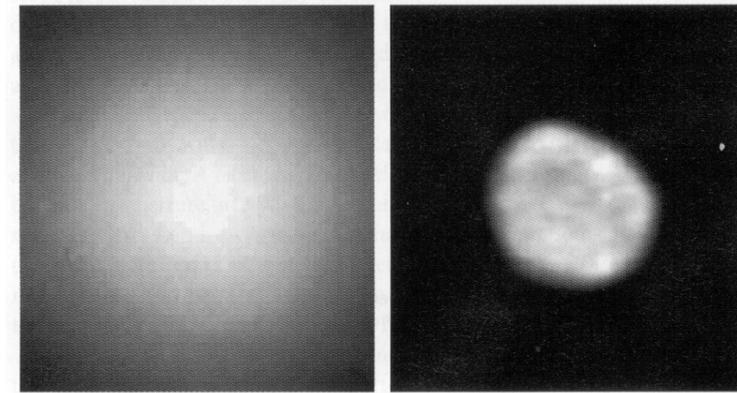
Mínima separação detectável

$$1.22 \lambda / D \sim 6.7 \times 10^{-8} \text{ rad} \sim 0.013''$$

[óptica adaptativa]

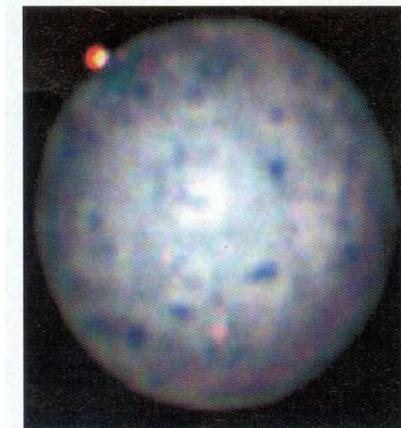


AO numa estrela...



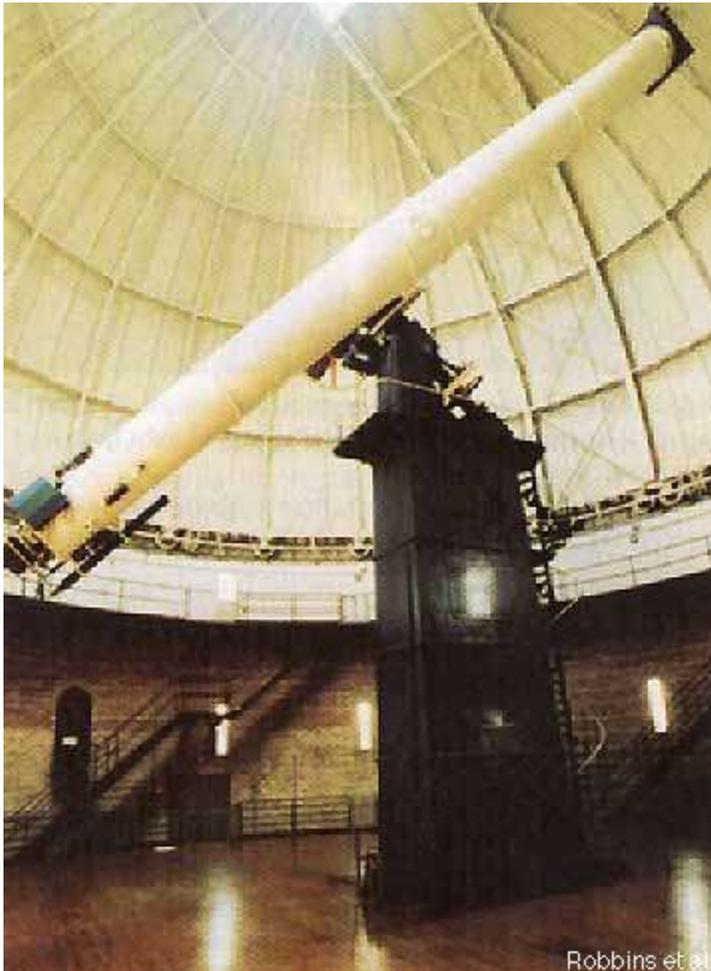
AO para Vesta (asteróide)

AO para Io (satélite de Júpiter)



1.4 Telescópios e detectores

Longe vai o tempo em que o astrónomo “clássico” usava o velhinho modelo de telescópio **refractor** (no caso mais simples com apenas duas lentes). Hoje em dia o telescópio **reflector** é o utilizado quase 100% das vezes. Principais vantagens: o pouco peso relativo e a inexistência de aberrações.



O telescópio de Yerkes, o maior refractor do mundo (1m de diâmetro).

Um típico telescópio reflector profissional (Cerro Tololo 4m).



O VLT, considerado o melhor (conjunto) telescópio do mundo: Quatro telescópios reflectores de 8m de diâmetro + vários de 2m.



O Keck, com dois telescópios reflectores de 10m de diâmetro.



O diâmetro dos espelhos dos maiores telescópios reflectores do mundo. Da antiga “classe dos 4m” já estamos na “classe dos 8-10m”.

COLLECTING AREA OF THE LARGE TELESCOPES



GranTeCan	10.4m (2009)
Giant Magellan Telescope (GMT)	24m (2018)
Thirty-Meter Telescope (TMT)	30m (2018)
Extremely Large Telescope (ELT)	42m (2018)

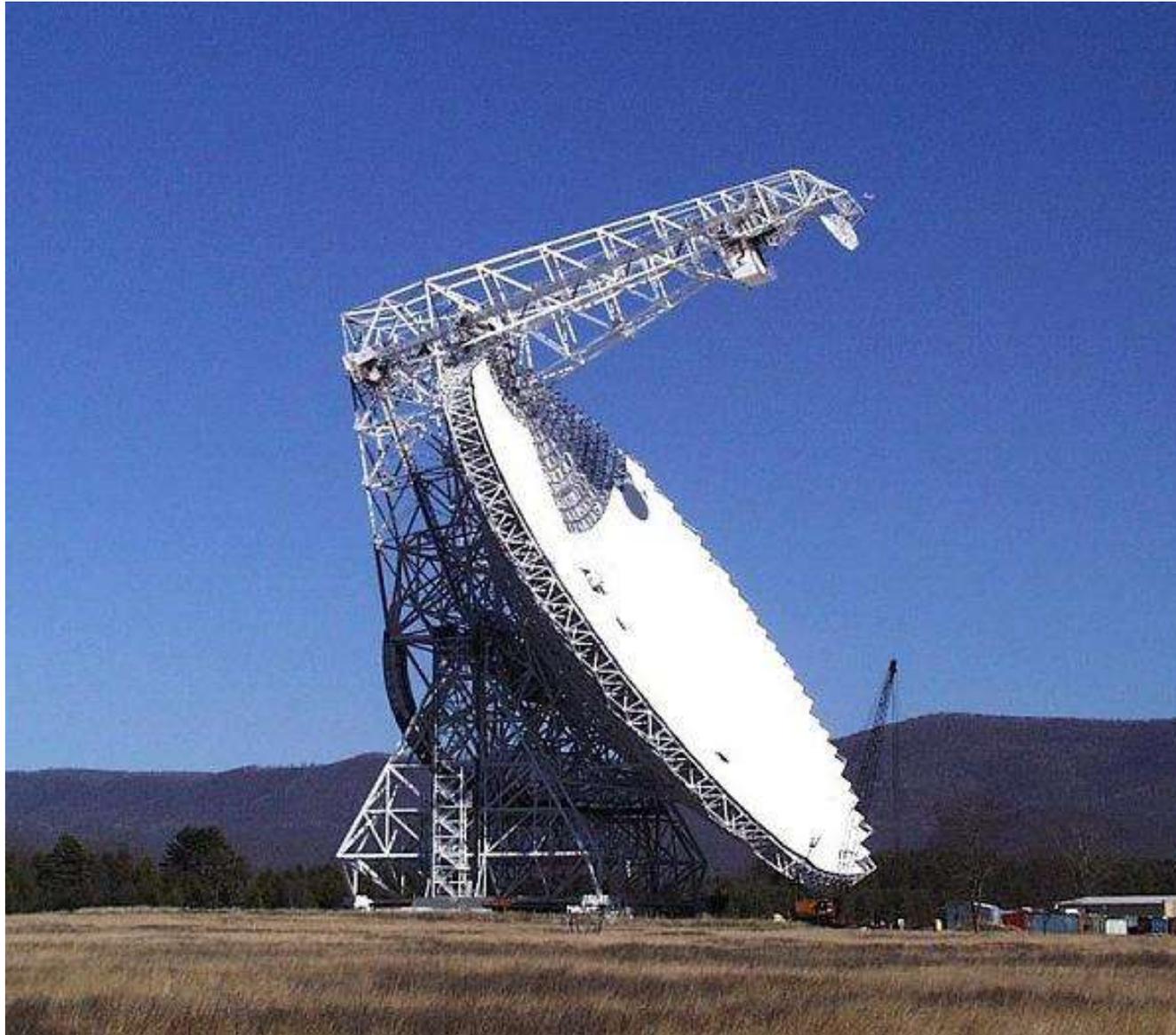
Desde há décadas que a Rádio Astronomia entrou em acção, com os seus **Rádio Telescópios**, muitos bem diferentes de um telescópio óptico.

O maior do mundo (300m) - Arecibo



É “furado”! E agora?!...

O maior do mundo amovível (110×100m²) – Green Bank (Virginia)



Um clássico (76m, Jodrell Bank)



Uma antena VLBI (32m, Cambridge)



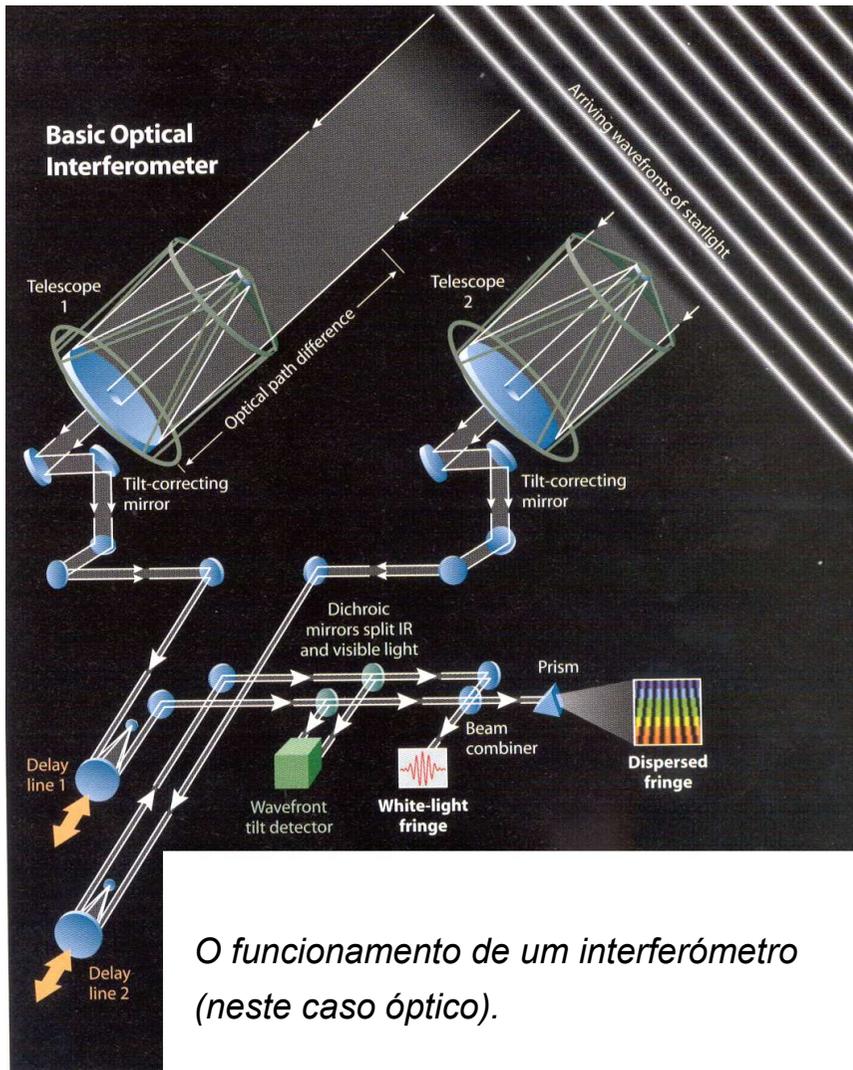
Rede de dipolos BSA (Puschino, Rússia); 70000m².



Rede de dipolos em forma parabólica (MOST, Austrália); 18000m².



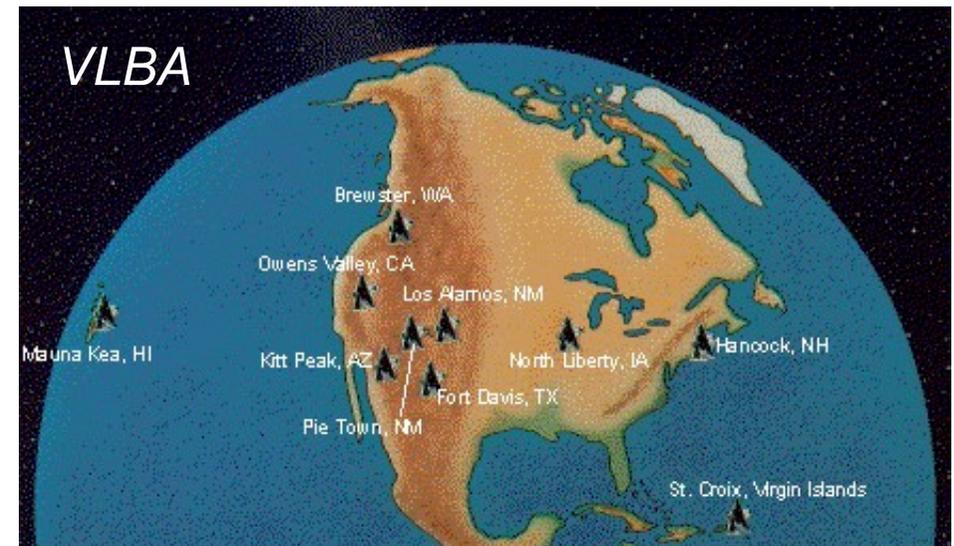
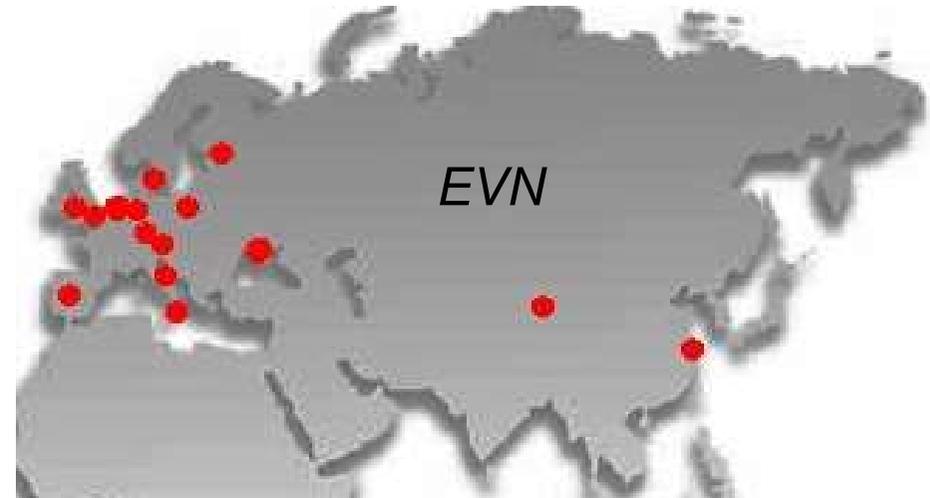
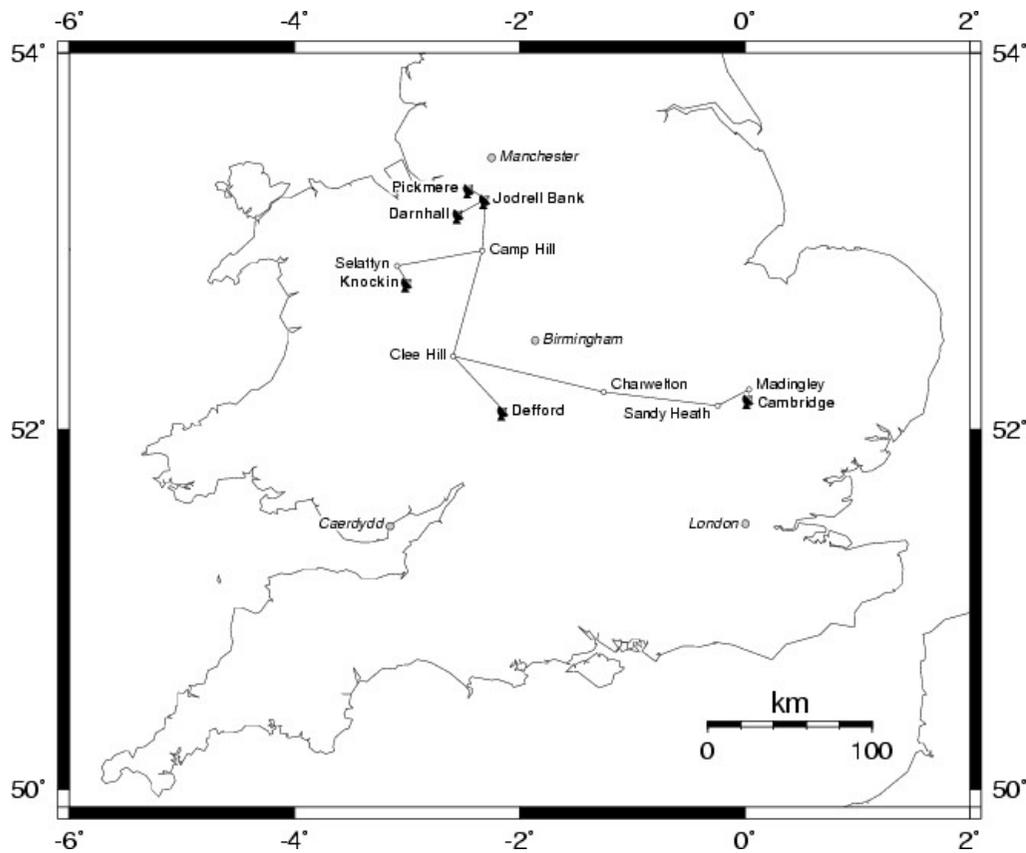
Mas a principal revolução que a Rádio Astronomia trouxe, só em 2001 concretizada no óptico (VLT e Keck), foi a técnica da **interferometria**. A ideia é colocar vários rádio telescópios a observar o mesmo objecto (ao mesmo tempo) e combinar o sinal. Na prática, obtém-se o equivalente a um rádio telescópio com o diâmetro da **distância máxima** entre antenas (em termos de resolução).



O VLA, o interferómetro mais sensível (e famoso) do mundo. Tem flexibilidade o suficiente para ter quatro comprimentos máximos: 1, 3.6, 10 e 36 km.

O VLBI junta o EVN e o VLBA para chegar ao diâmetro da Terra.

O MERLIN (Inglaterra) tem um comprimento máximo de 230 km.



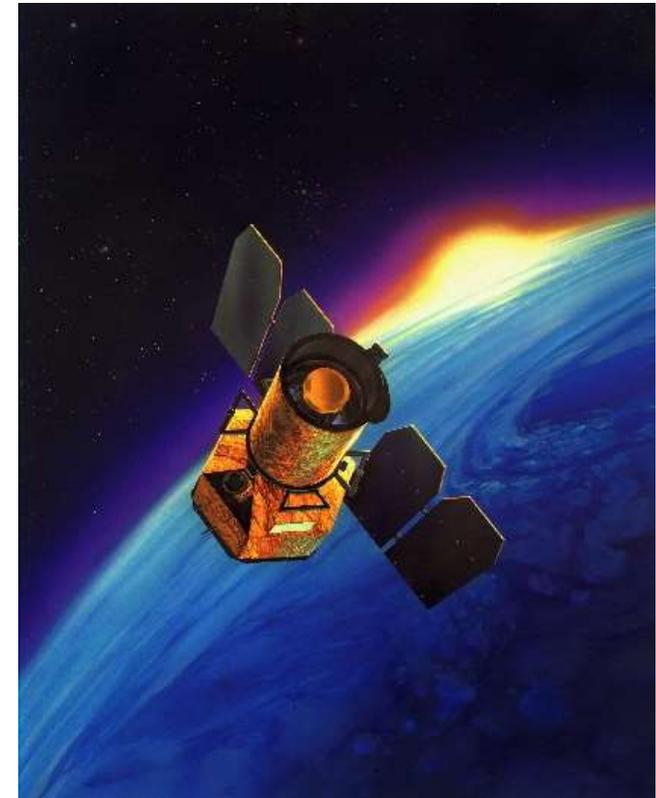
UV:



IUE



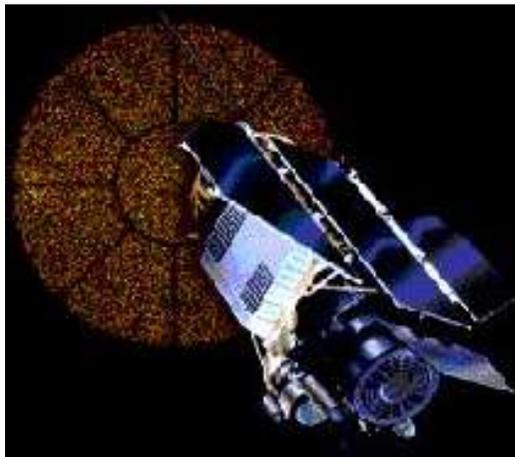
FUSE



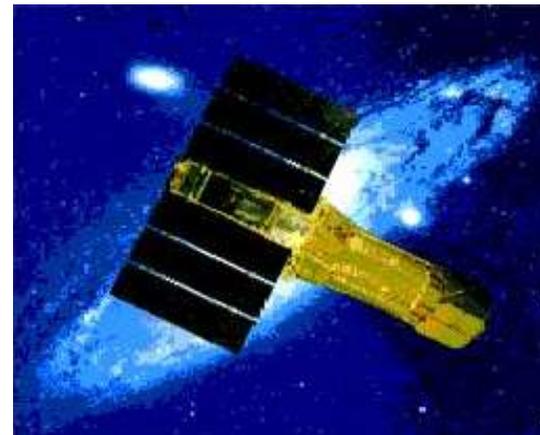
GALEX

Raios X:

ROSAT



ASCA



O Universo

Chandra



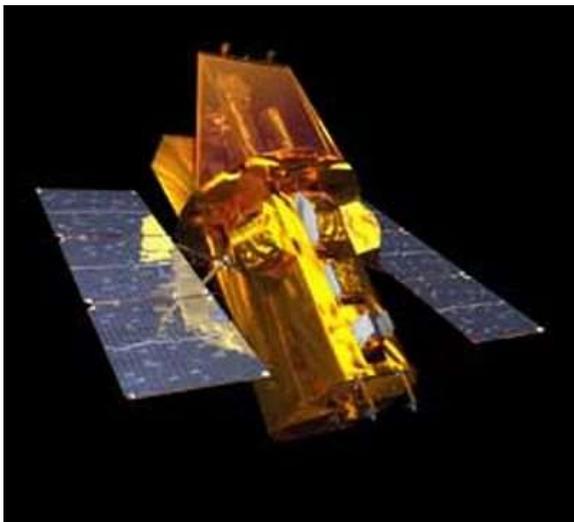
XMM-Newton



Beppo-SAX

Raios γ :

Swift



Integral



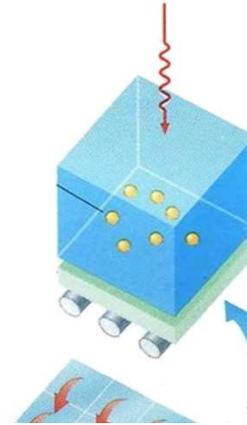
CGRO

Detectores

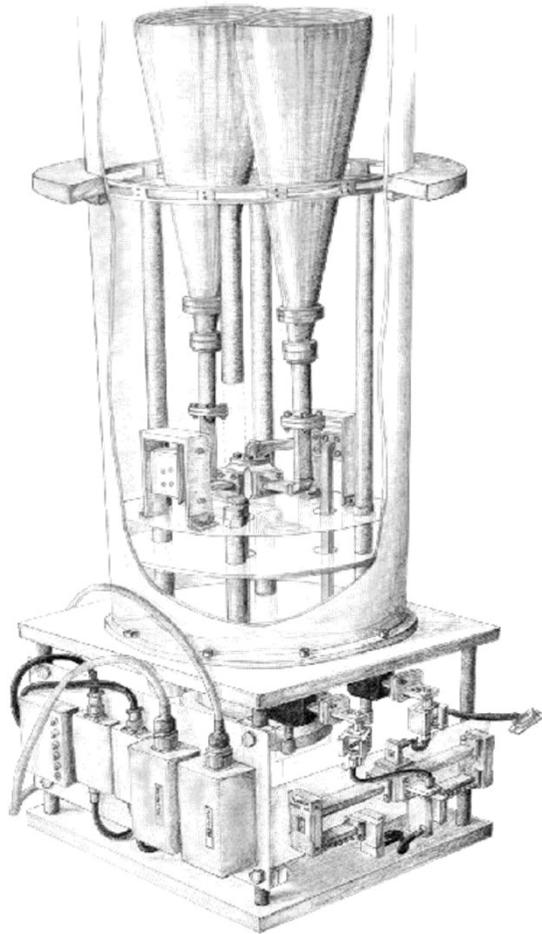
Óptico CCD (Charge-coupled device)

Uma CCD é 500 vezes mais sensível que a película

*lixéis:
os*



P
d



Nobel
ca 2009

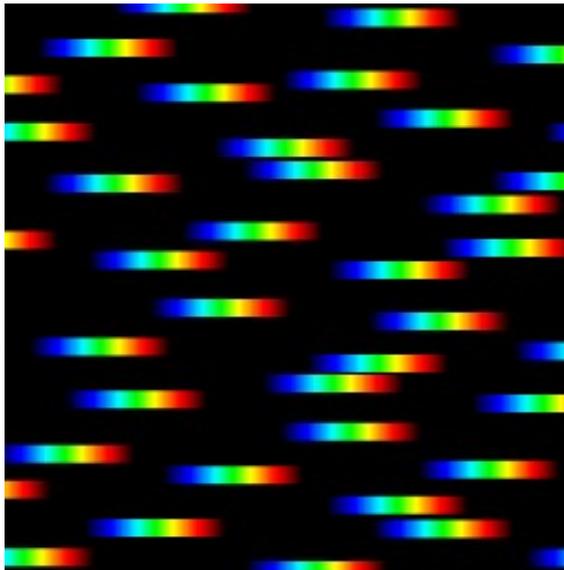
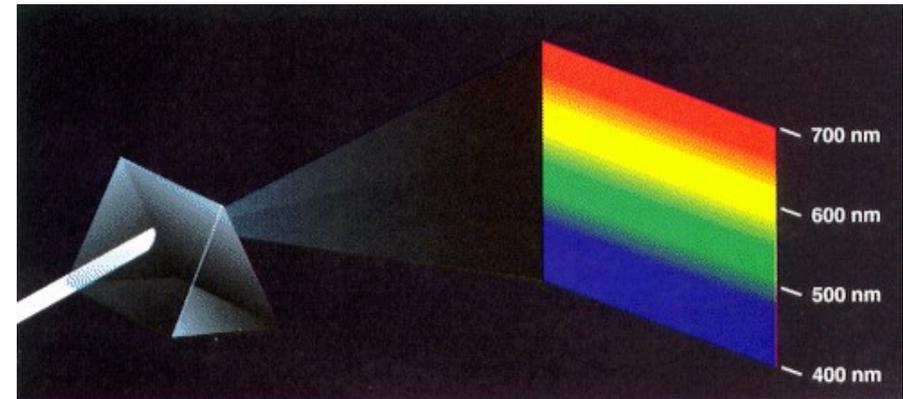
Espectroscopia

Define-se **resolução espectral** (adimensional) por:

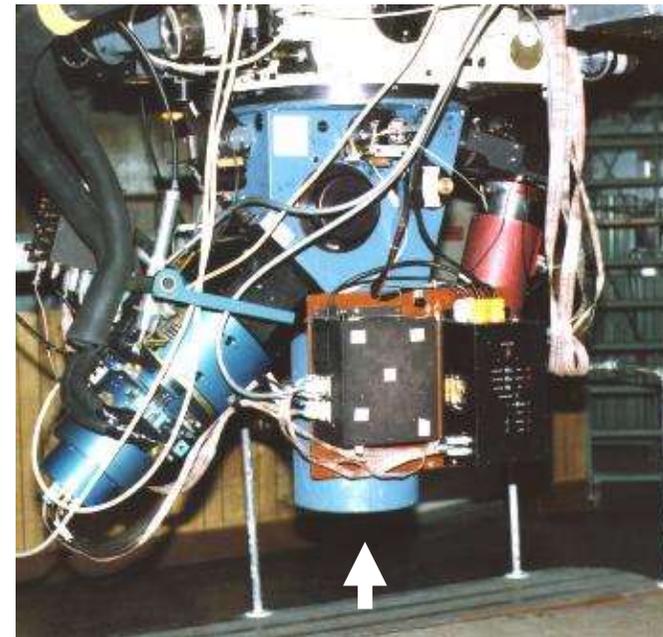
$$R = \lambda / \Delta\lambda$$

Operacionalmente: $R < 100$ (fotometria)

$R > 100$ (espectroscopia)

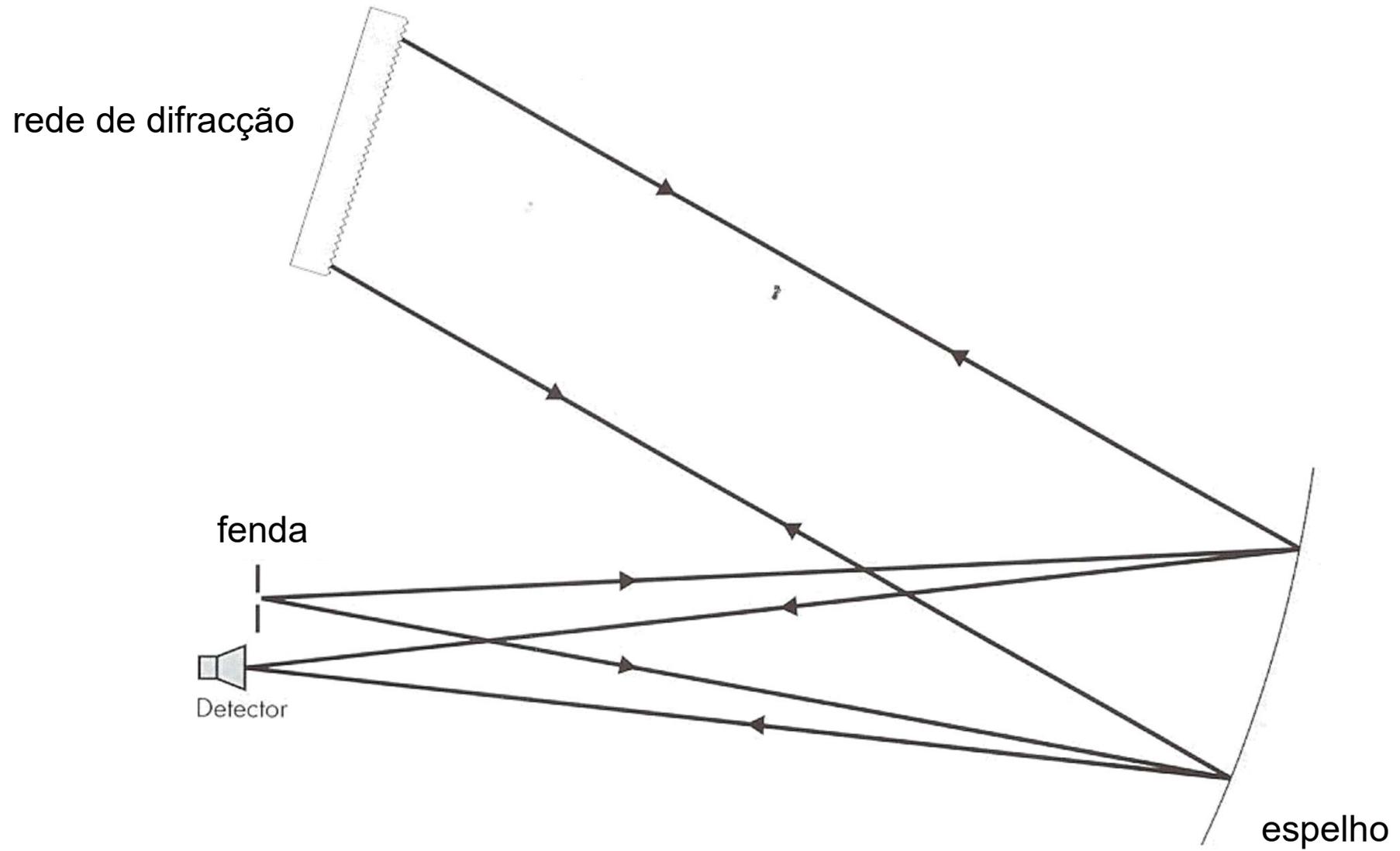


Com um prisma todos os objectos observados aparecem com o seu espectro (baixa resolução).



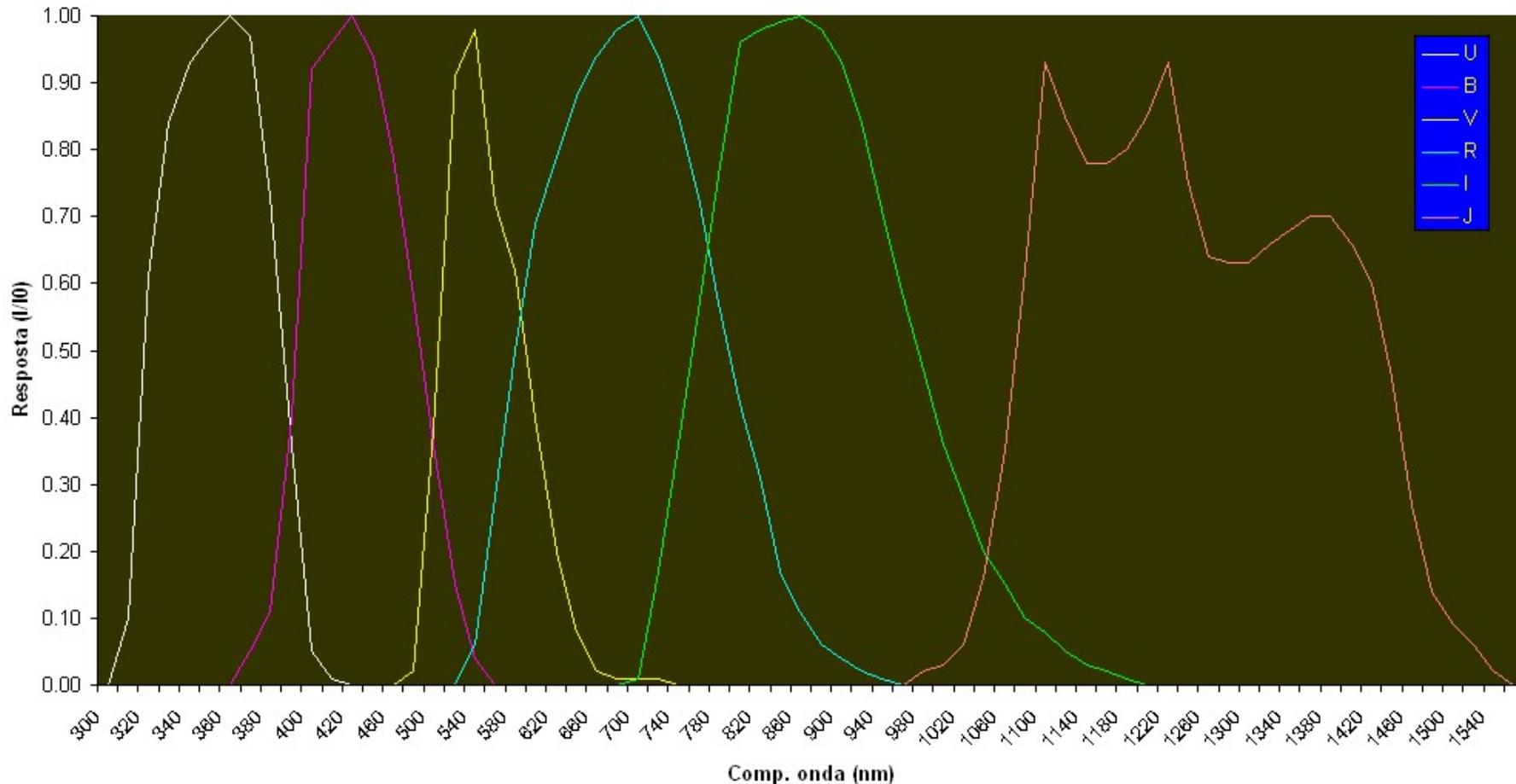
Espectrómetro →

↑
CCD

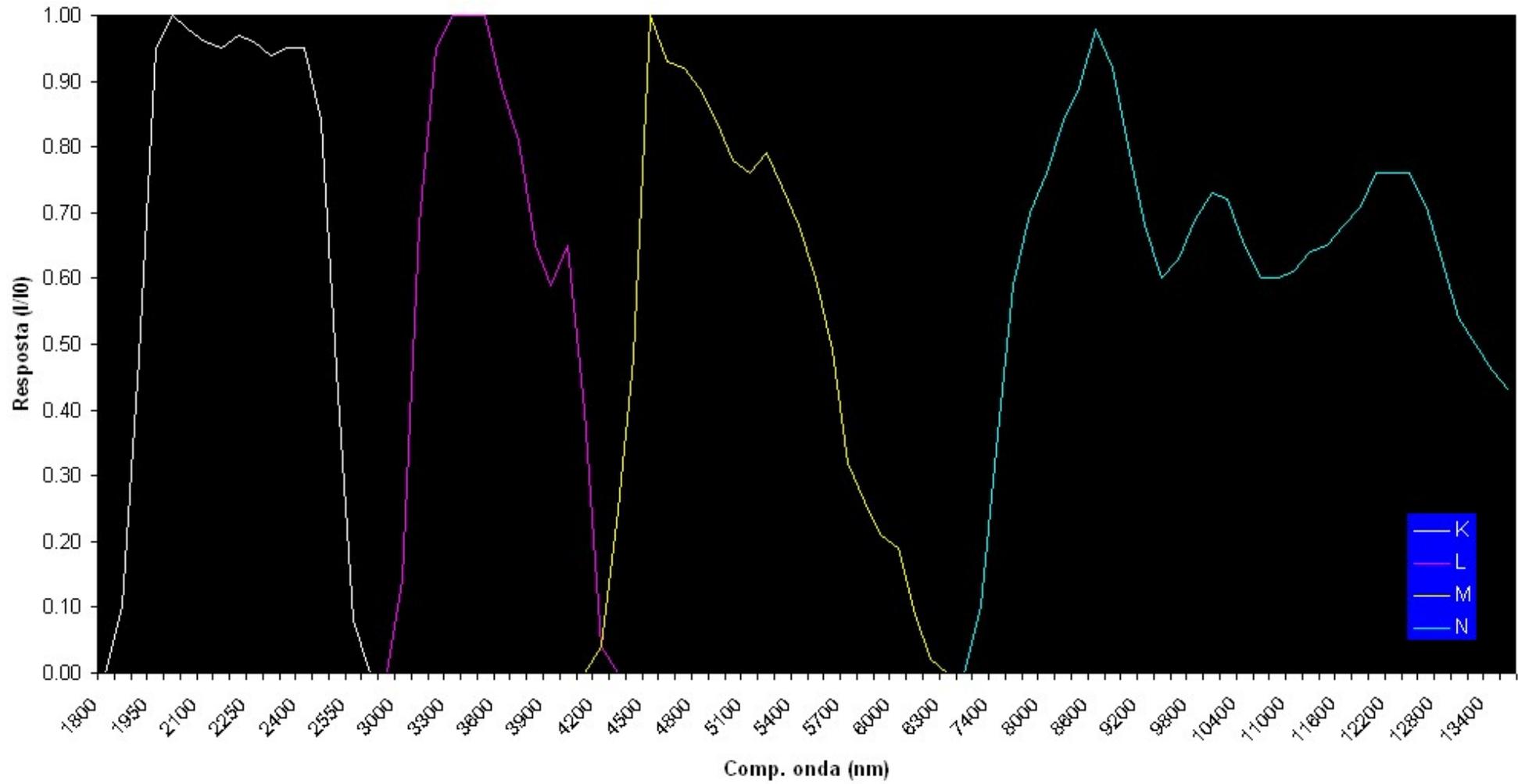


1.5 Sistemas de grandezas e filtros

Na prática, para conhecerem a Física dos objectos que estudam, os astrónomos não se limitam a observar os objectos em “qualquer” (ou “toda”) região do espectro (e.g. todo o visível: 400-700nm) mas têm de separar a sua luz em partes. A análise detalhada requer **espectroscopia**. Uma análise mais grosseira é a **fotometria**. Por exemplo, esta separa o visível em três bandas “Johnson” BVR, com os sistemas “estendidos” (até ao UV e IV) UBVRI, ou UBVRIJ...



... ou mesmo UVRIJKLMN:



Os filtros Johnson, por serem tão generalizados, acabaram por definir o mais antigo **sistema de grandezas** – as grandezas aparentes têm de estar associadas a uma **cor**. Temos (por exemplo):

$$U = m_U \quad B = m_B \quad V = m_V \quad R = m_R$$

É, agora, óbvio que um objecto de cor vermelha será mais brilhante no vermelho – R do que noutras cores, por exemplo azul – B. Será assim tão óbvio?

$$B - V > 0 \quad \text{é azul ou vermelho?}$$

$$B - V > 0 \Leftrightarrow B > V \quad \text{mais brilhante no amarelo/verde, menos no azul; logo é } \text{vermelho!}$$

$$U - R > 0 \quad \text{é azul ou vermelho?}$$

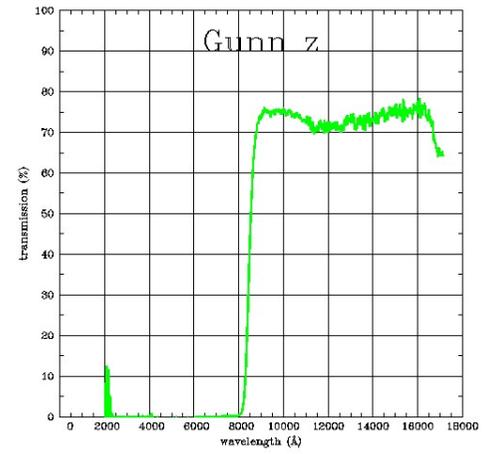
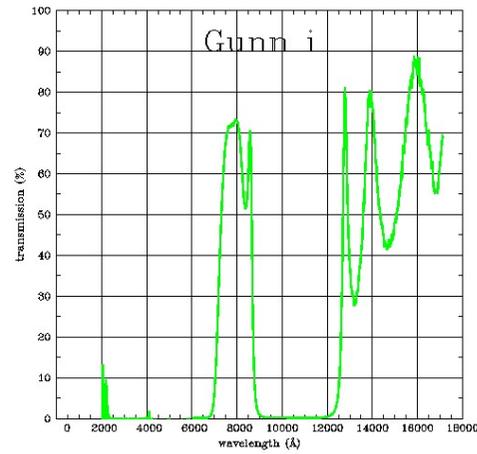
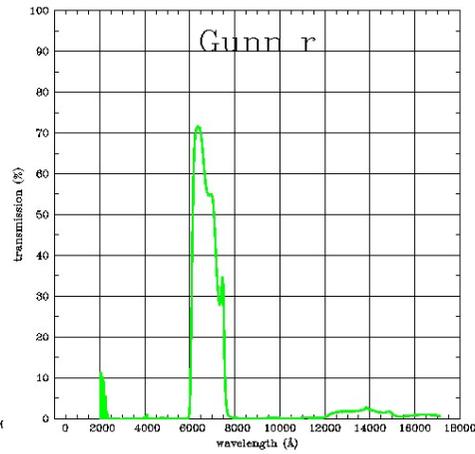
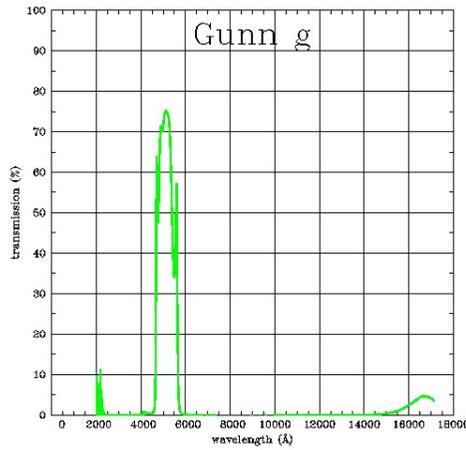
$$U - R > 0 \Leftrightarrow U > R \quad \text{mais brilhante no vermelho, menos no ultravioleta/azul; logo é } \text{vermelho!}$$

Filtros

Há outros sistemas de grandeza, definidos por conjuntos de **filtros**.

Gunn *griz*

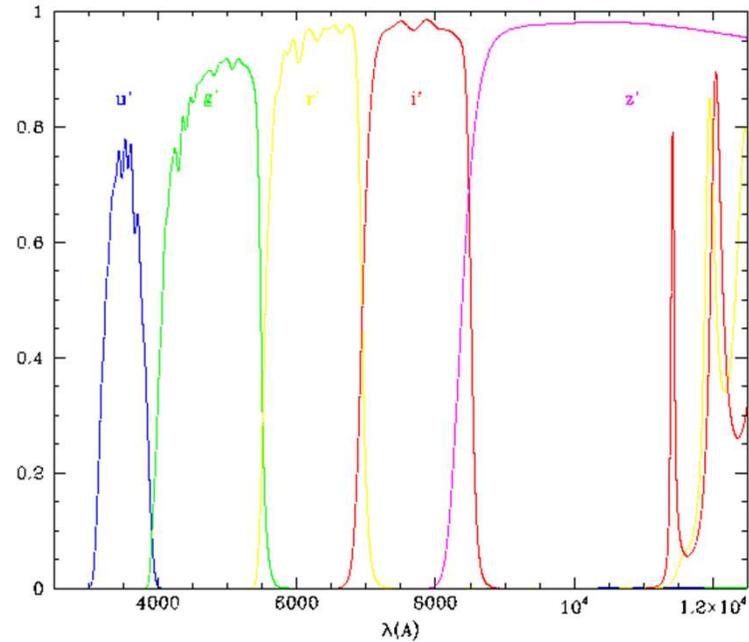
Infra-vermelho



Visível

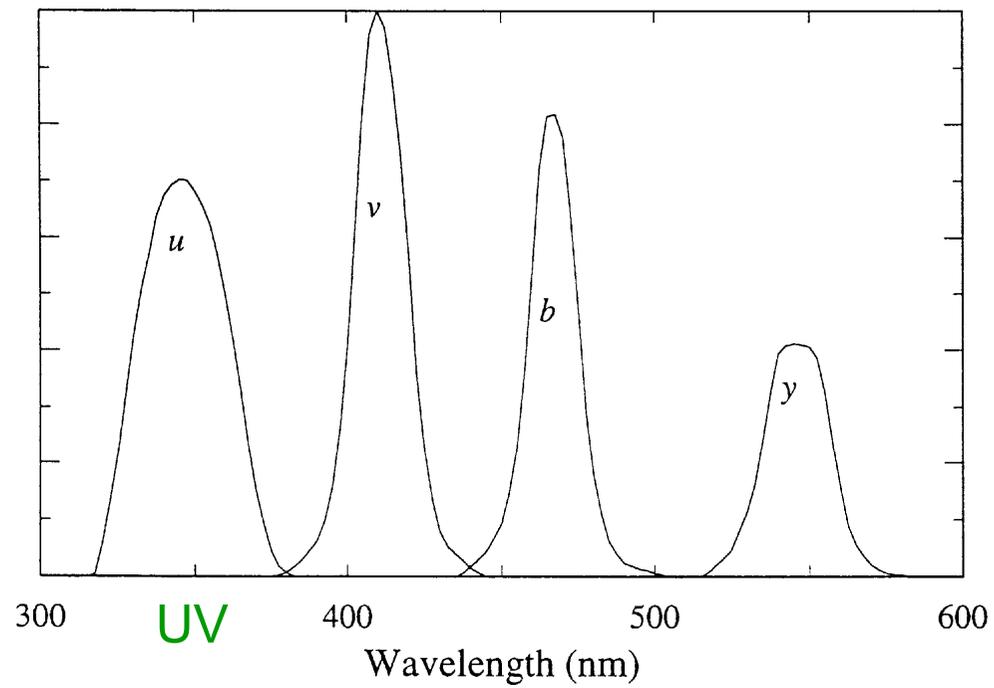
Sloan

u' g' r' i' z'
 { } { }
Visível **IV**



Stromgren

u v b y



Visível... e ainda falta!