

AGA 315 – Aula 5

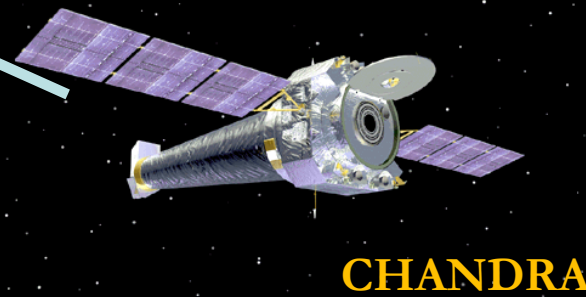
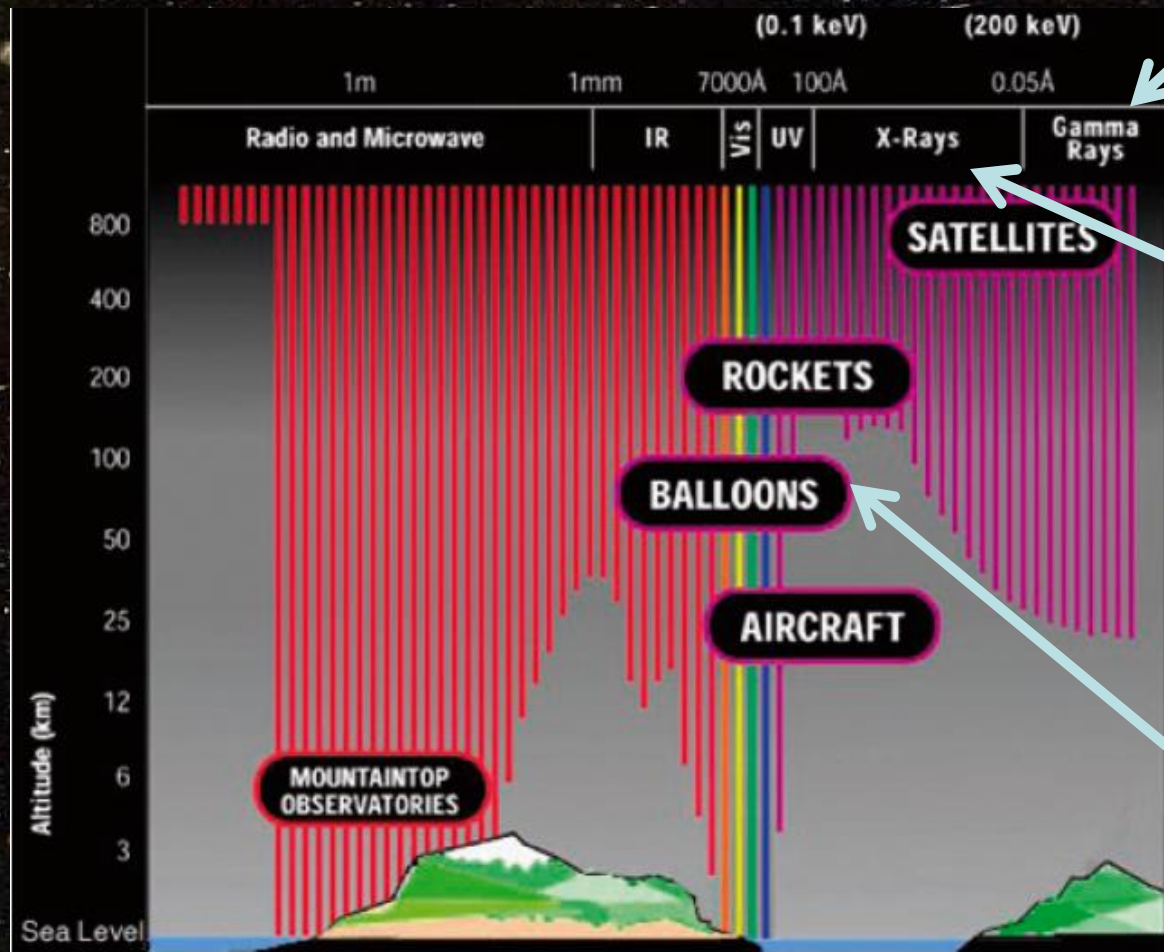
Telescópios e detectores

J.E. Horvath,
IAG – USP
São Paulo, Brasil

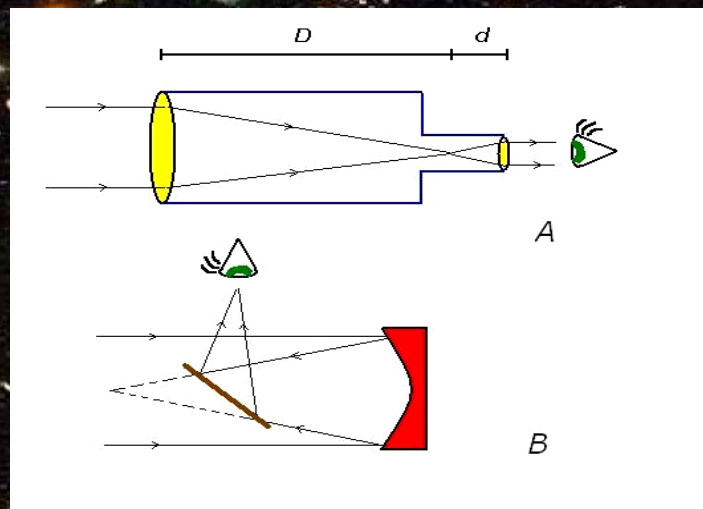


Aplicações do aprendizado das interações fótons-matéria

Faixas de energia



Para os telescópios ópticos, o foco é fácil de construir...



Quando a energia aumenta (raios X), não dá para fazer foco assim: duas possibilidades

1) Refletância rasante

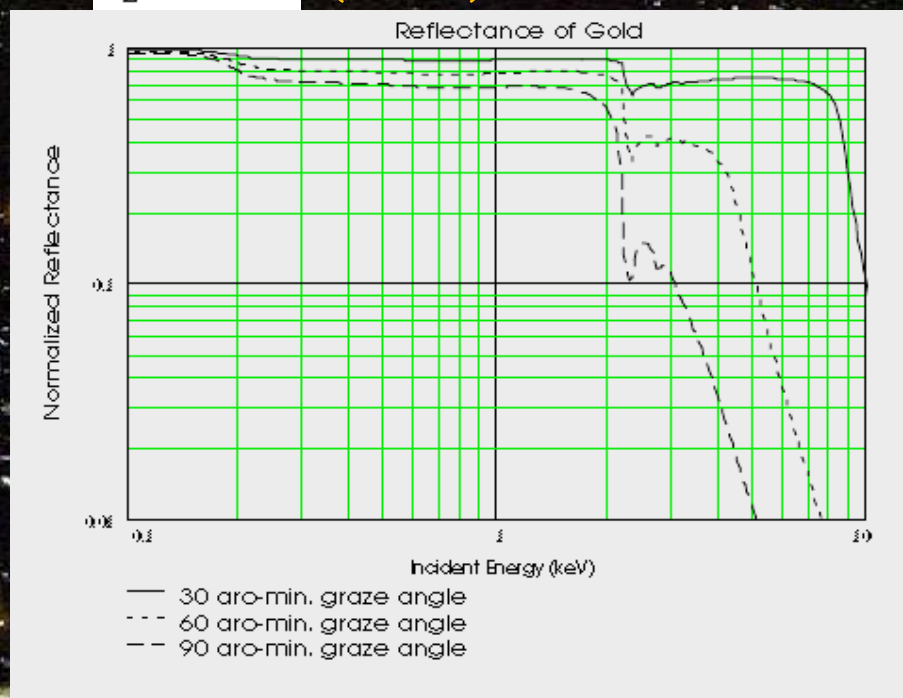
Para um raio que incide encima de um material refletante

$$\text{sen } \theta_t = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \text{sen } \theta_i$$

Snell

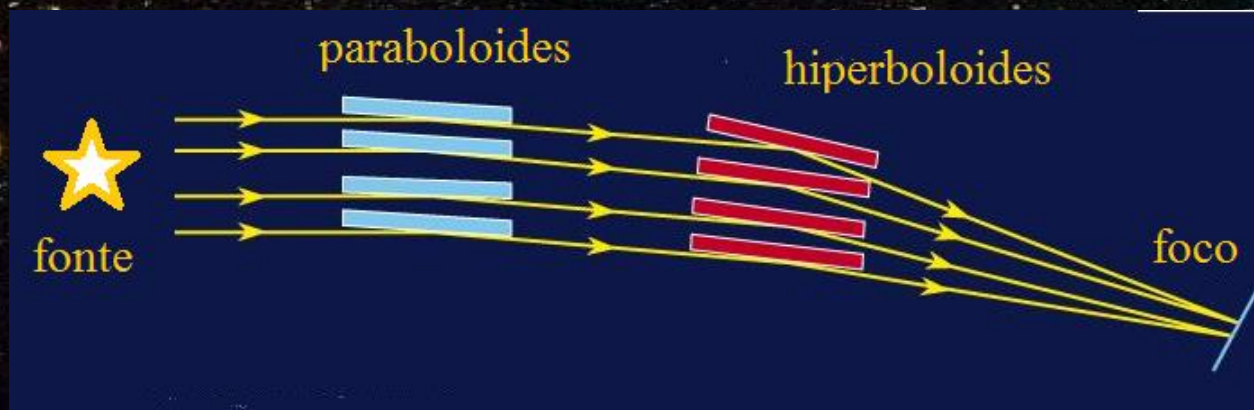
Como n_1 corresponde ao vácuo (espaço) e n_2 ao material da superfície (ouro, níquel) $n_1 > n_2$ e o ângulo θ_t é real só para $\theta_i < \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$. Para ângulos maiores não há transmissão

Por exemplo, se $n_2 = 0.99$ (ouro), $\theta_i < 81.9^\circ$

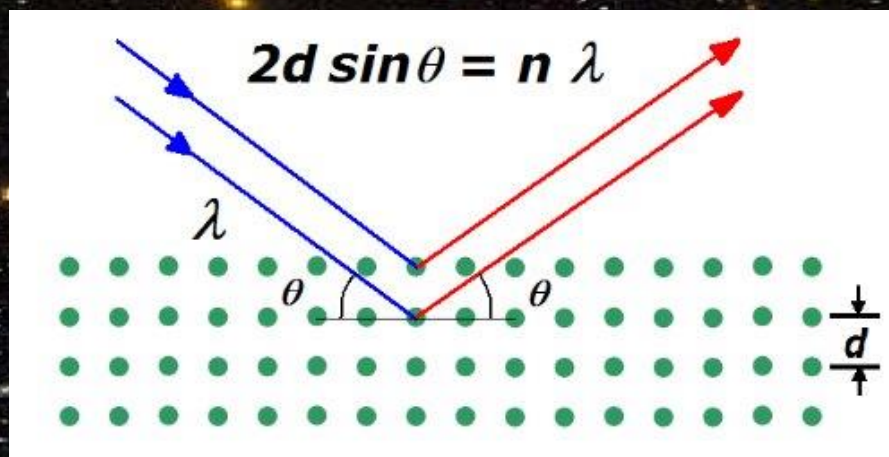


Então, o lance é que a refletância seja grande com o maior ângulo possível, para poder fazer foco e melhorar a resolução

Sem entrar nos detalhes técnicos específicos, o esquema de um telescópio de raios X que utiliza a refletância rasante é



A outra forma de conseguir foco é mais “convencional”, consiste em empilhar 50-500 camadas que alternem platino-carbono ou tungsteno-silício ou qualquer outra combinação de alto Z com baixo Z e aproveitar a interferência construtiva das frentes que satisfazem a condição de Bragg



conseguindo refletância de até 80% (sem precisar que seja rasante...a incidência dos multicamadas é mais normal)

Algumas missões especialmente importantes

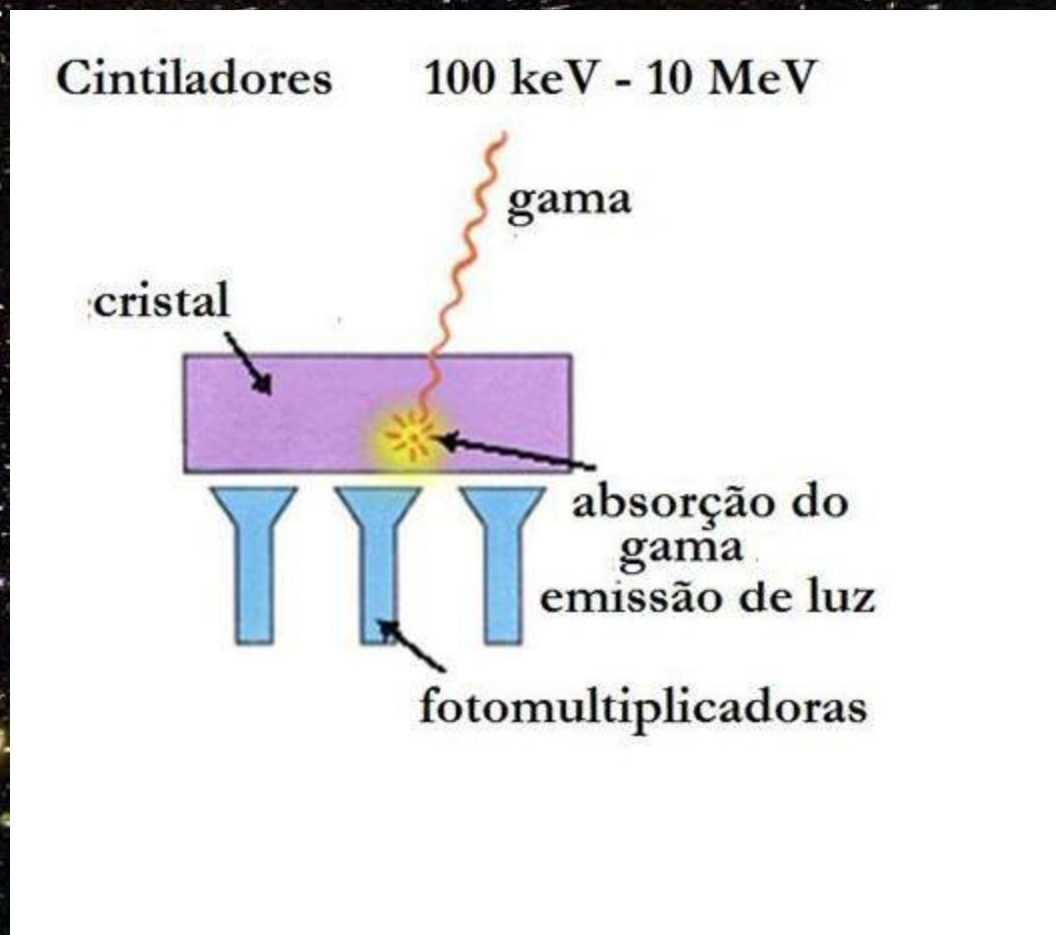
Table 1. An abbreviated list of some of the more notable x-ray telescopes.

Mission	Type	Effective area (cm ²)	Resolution (HPD, arcsec)	Energy bandwidth ^a (keV)	Comments
Skylab (1975)	GI	42 (collecting area)	~2 arcsec resolution	0.2–2	First x-ray telescope; solar observations
Einstein Observatory (1978–81)	GI	~200 at 1 keV	~15	0.2–4.5	First telescope observatory; discovered 7000+ sources
RXRS ^b (1987)	NI	~50 (collecting area)	~2 arcsec resolution	17.3, 25.6 nm	First NI solar telescope(s); 6.3 cm diameter primary mirror
ROSAT (1990–9)	GI	400 at 1 keV	~5	0.1–2.4	4 Au coated Zerodur shells; discovered 150 000+ sources
ASCA (1993)	GI	1300 at 1 keV, 600 at 7 keV	174	0.5–10	Conical foil Al mirrors, Au coat over lacquer, 4 separate telescopes
BeppoSAX (1996)	GI	330 at 1 keV	60	0.1–10	Nickel-replicated conical optics, 30 nested shells
TRACE (1998)	NI	~20	1	17, 20, 28 nm	30 cm diameter primary, 2 m focal length solar telescope
Chandra (1999)	GI	800 at 1 keV	0.5	0.1–10	Highest resolution, 4 shells, largest mirror 1.2 m diameter transmission gratings
XMM (1999)	GI	4650 at 1 keV, 1800 at 8 keV	14	0.1–12	Nickel replicas, 3 telescopes, 58 shells each, reflection gratings
Constellation-X (200?)	GI	15 000 at 1 keV 1500 at >6 keV	15 (<10 keV) 60 (>25 keV)	0.25–10, 6–40	Replicated optics (type to be determined), ~80+ shells, largest 1.2 m diameter grating

^a For NI telescopes the tabulated values represent the approximate centers of the reflection bandpass(es).

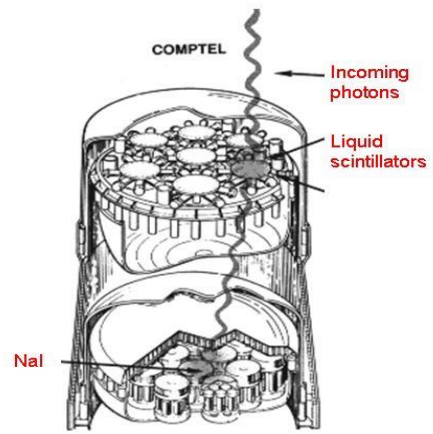
^b Stanford University/NASA Marshall Space Flight Center Rocket X-Ray Spectroheliograph.

Quando chegamos aos raios gama, o foco é quase impossível. Utiliza-se a técnica de cintilação

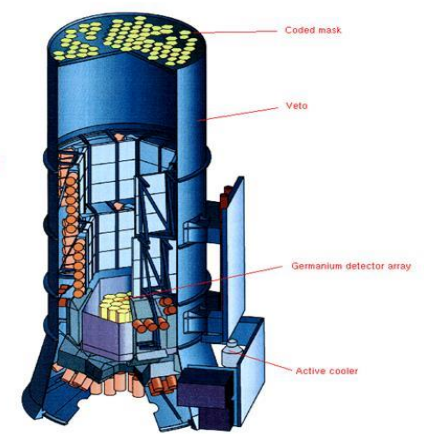


Exemplos COMPTEL e INTEGRAL

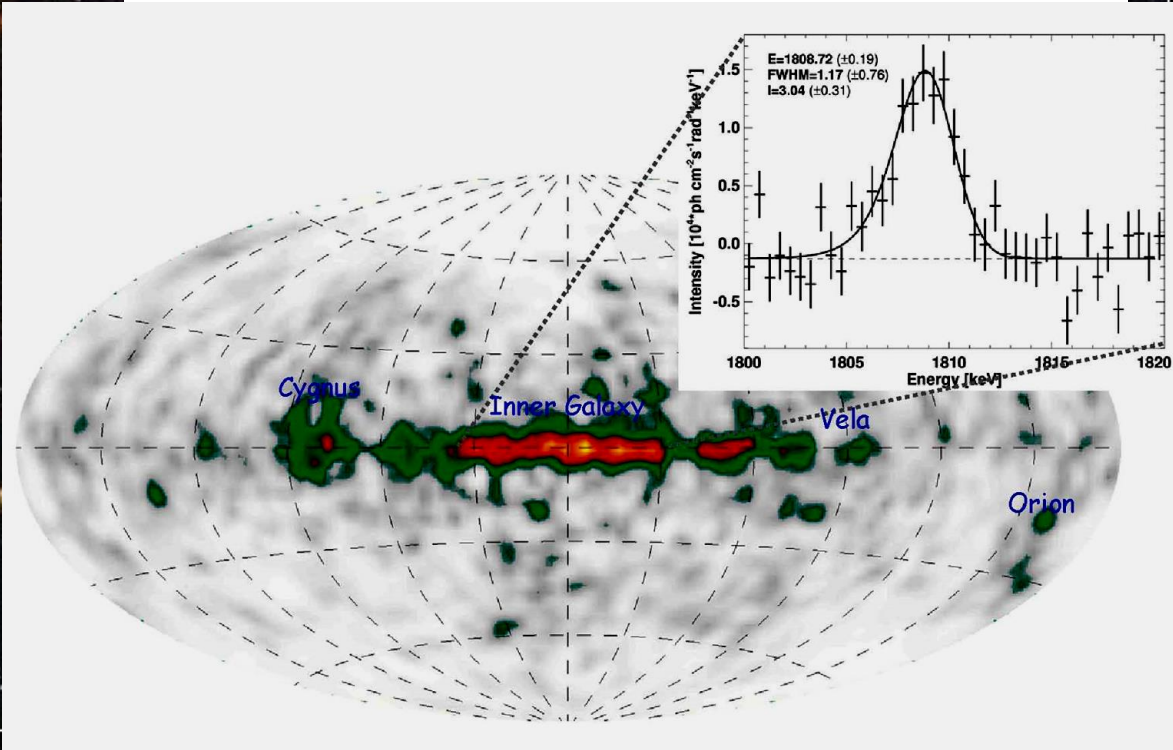
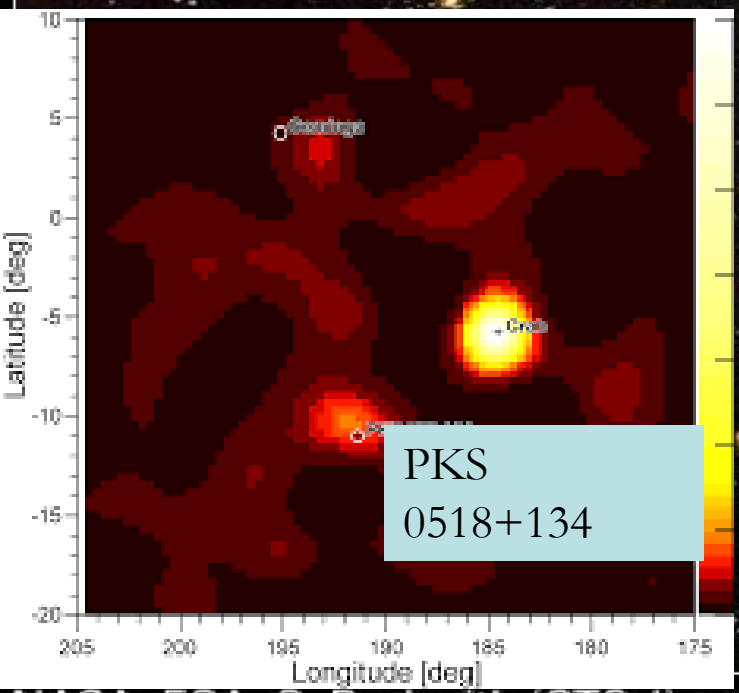
Faixa de energias até 20 MeV



CGRO/COMPTEL
(1991.04.05 ~ 2000.06.04)



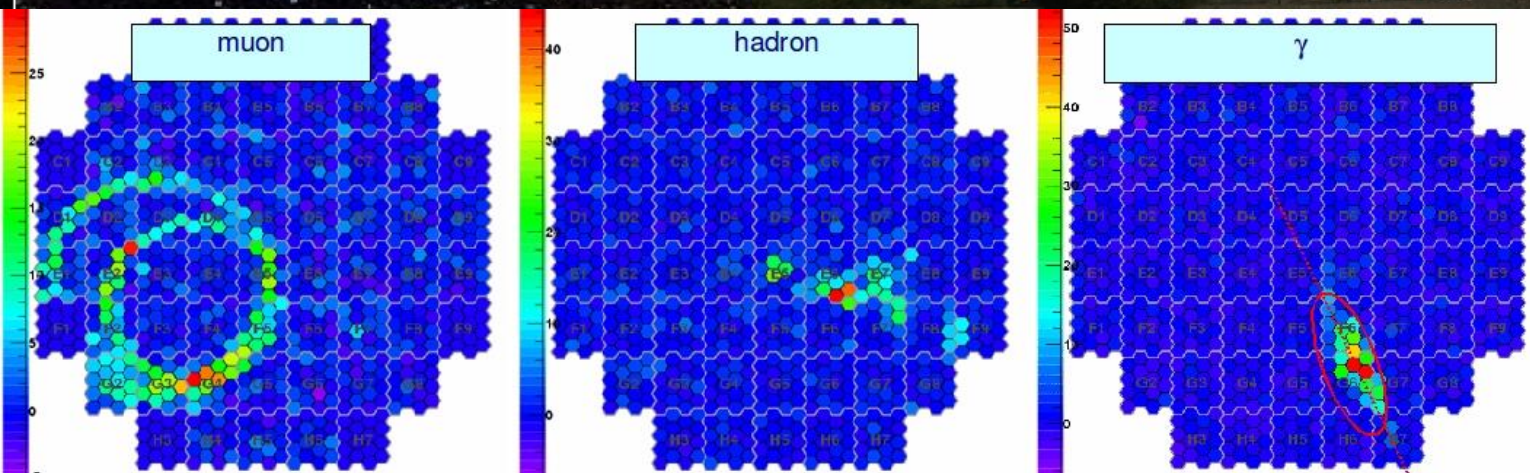
INTEGRAL/SPI
(2002.10.17 ~ now)



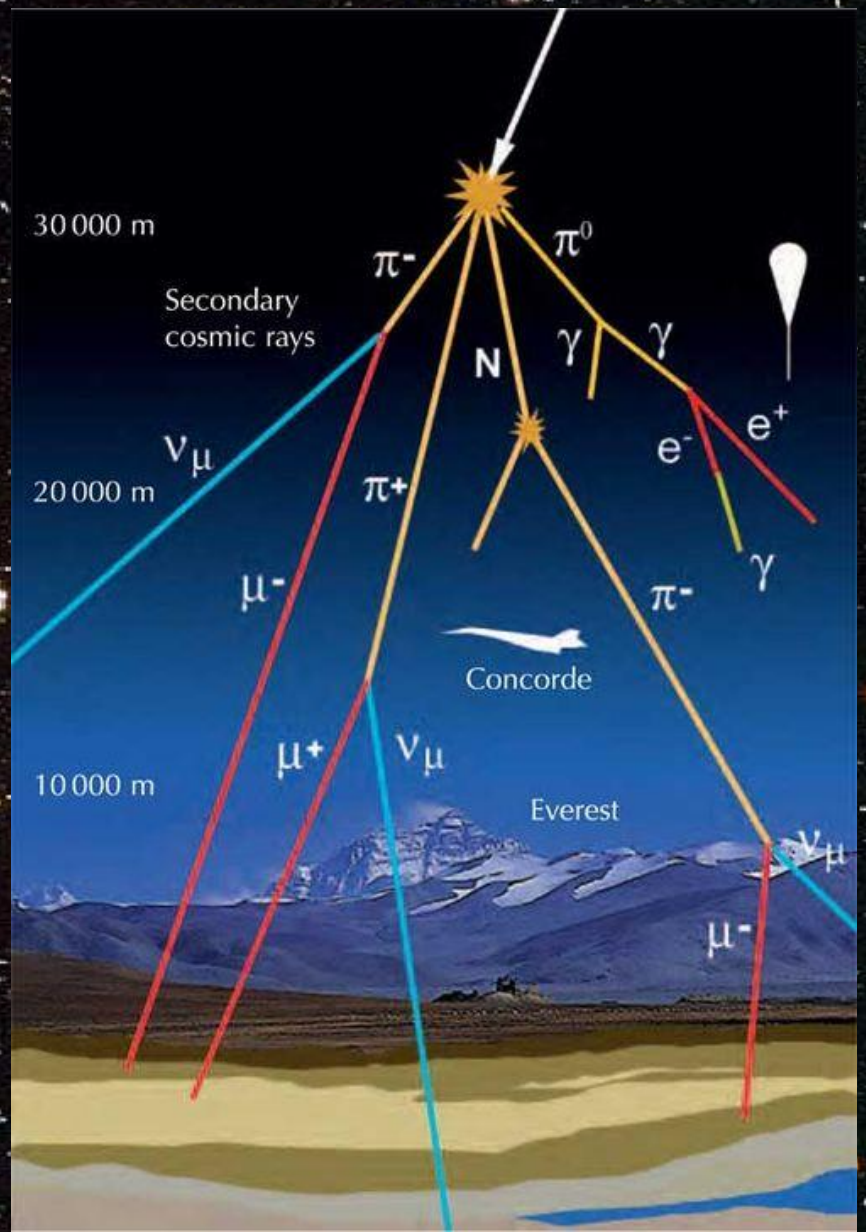
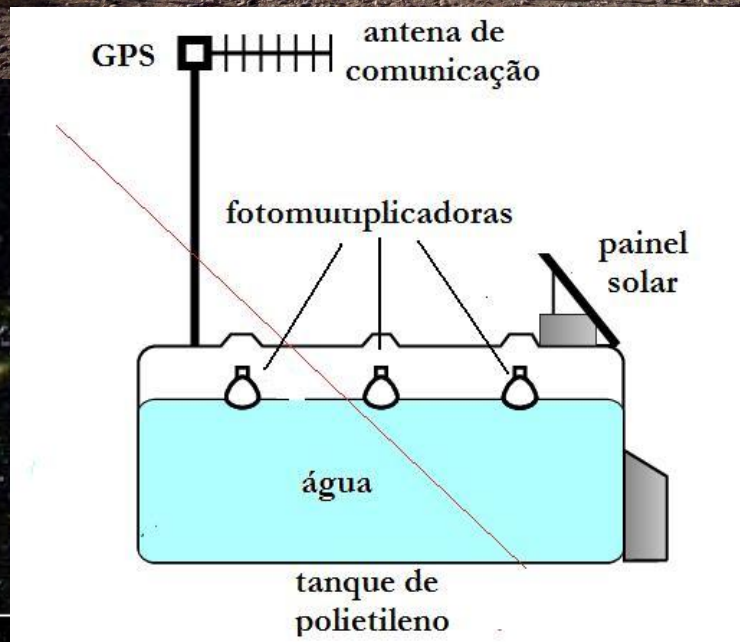
Ainda para energias mais altas recorre-se ao efeito Cerenkov

Telescópio MAGIC

Diferenças grandes na radiação produzida por partículas carregadas ou gamas



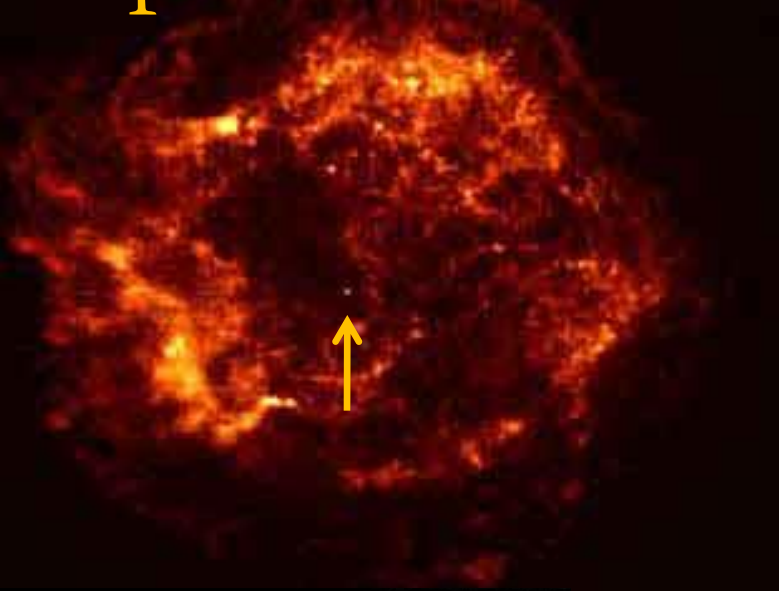
As partículas mais energéticas do Universo: o observatório Pierre Auger



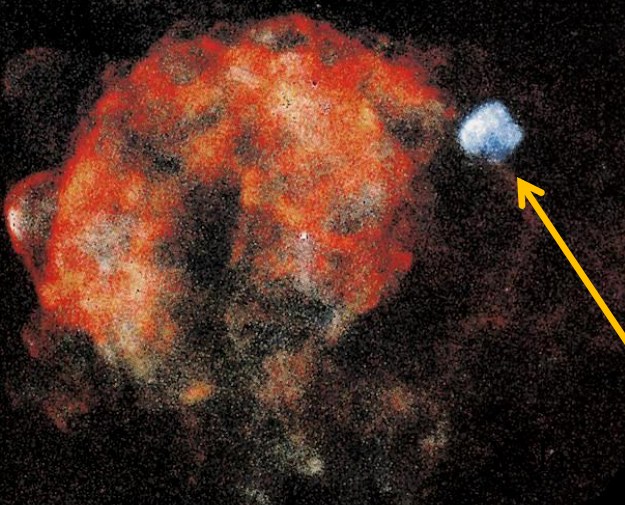
Neutrinos e ondas gravitacionais mais adiante neste curso...



Supernovas no ISM



ROSAT PSPC
Vela & Puppis SNR's

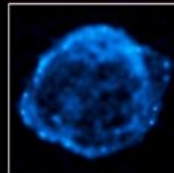
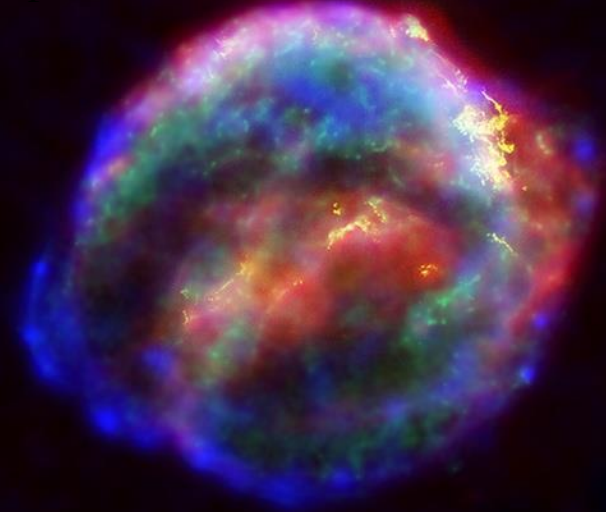


2 degrees

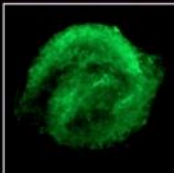
MPE 11,90

Kepler

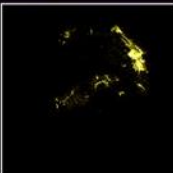
ACS



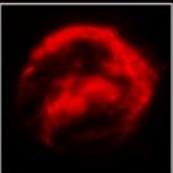
CHANDRA X-RAY
(HIGH ENERGY)



CHANDRA X-RAY
(LOW ENERGY)



HUBBLE OPTICAL

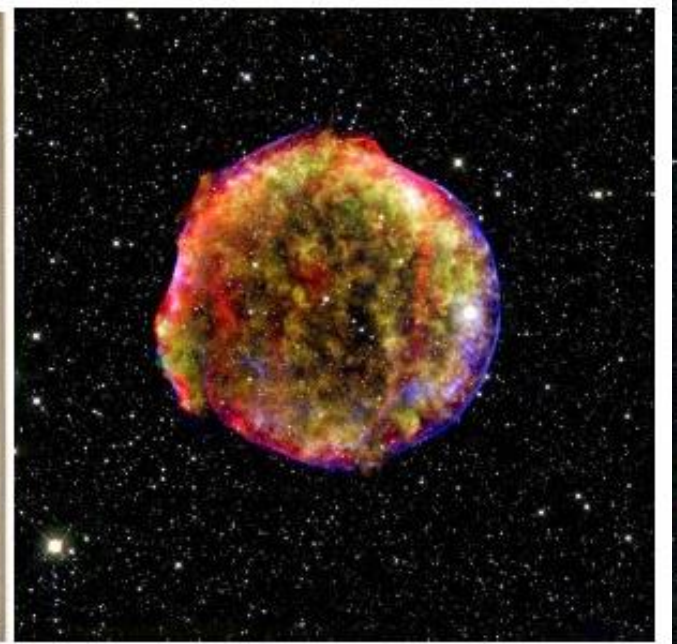


SPITZER INFRARED



l) and The HUD

Supernovas históricas



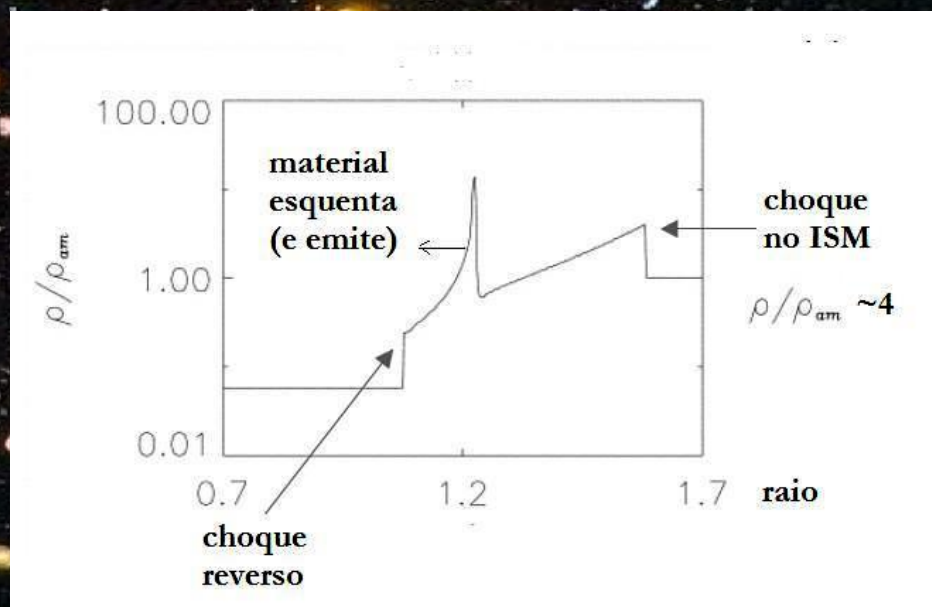
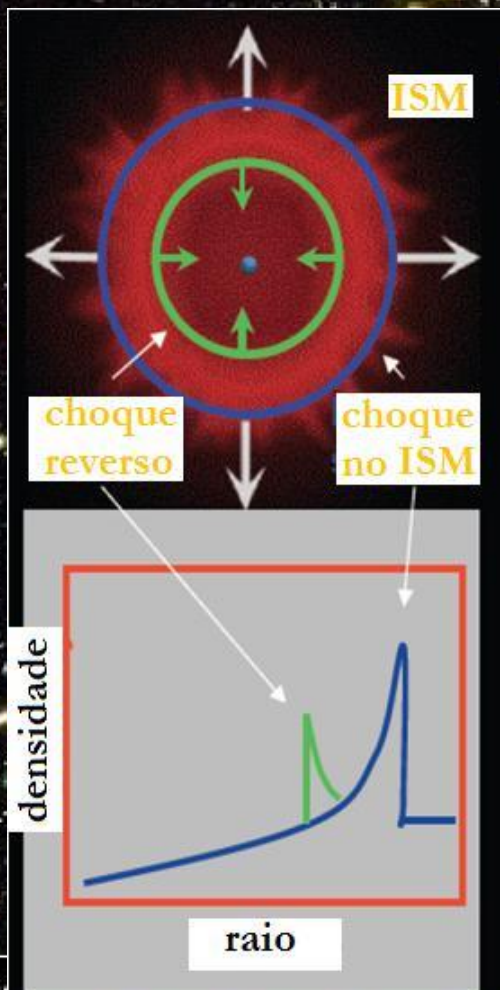
Tycho (1572) (tipo Ia, próximas aulas!)



Supernovas históricas: SN 185 A.D e SN 393 A.D. não foram registradas no Ocidente, mas sim na China
Os outros eventos são

Nome	Ano	Distância (kpc)	longitude	latitude	Tipo
Lupus (SN1006)	1006	2.2	327.57	14.57	Ia
Caranguejo	1054	2.0	184.55	-5.79	II
3C58 (SN1181)	1181	2.6	130.73	3.07	II
Tycho	1572	2.4	120.09	1.42	Ia
Kepler	1604	4.2	4.53	6.82	? (controverso)
Cas A	1680	2.9	111.73	-2.13	Ib

Independientemente da progenitora da explosão, uma teoria geral pode ser formulada começando com a deposição pontual de uma grande quantidade de energia no ISM, supondo que densidade deste segue a expressão $\rho_{ISM} = \rho_0 r^{-k}$



A massa total do remanescente que vai varrendo o ISM cresce como

$$M_{SNR} = M_{ej} + \int_0^{R_{SNR}} 4\pi r^2 \rho_{ISM} dr = M_{ej} + \frac{4\pi}{3-k} \rho_0 R_{SNR}^{3-k}$$

Quando R_{SNR} é de $>\sim 1$ pc, a massa empilhada é comparável à massa ejetada M_{ej} . Bem no início $M_{SNR} \approx M_{ej}$ e as perdas por radiação são pequenas (processo adiabático)

As soluções nesta fase de *expansão livre* são

$$\dot{R}_{SNR} = \sqrt{2E_{exp}/M_{ej}} \equiv v_{SNR} = 3.2 \times 10^3 \text{ km/s} \left(\frac{M_{ej}}{10 M_{\odot}}\right)^{-1/2} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}}\right)^{1/2}$$

$$R_{SNR} = \sqrt{2E_{exp}/M_{ej}} t = 0.32 \text{ pc} \left(\frac{M_{ej}}{10 M_{\odot}}\right)^{-1/2} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}}\right)^{1/2} \left(\frac{t}{100 \text{ anos}}\right)$$

Se igualarmos a M_{ej} e $\int_0^{R_{SNR}} 4\pi r^{-k} \rho_{ISM} dr$, achamos os valores para os quais a dinâmica muda de regime

$$R_{SNR} = 4.8 \text{ pc} \left(\frac{M_{ej}}{10 M_{\odot}} \right)^{1/3} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/3}$$

$$t = 1.4 \times 10^3 \text{ anos} \left(\frac{M_{ej}}{10 M_{\odot}} \right)^{5/6} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{-1/2} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/3}$$

A energia interna do gás aumenta a expensas da energia cinética da expansão, e assim a pressão deste não pode mais ser ignorada

$$P_{int} = (\gamma_{int} - 1) U_{int} \left(\frac{4\pi}{3} R_{SNR}^3 \right)^{-1}$$

Na aproximação de *casca fina* (toda a massa concentrada em uma concha de raio $R \ll R_{SNR}$ e supondo um *choque forte* $\rho_{SNR} = 4\rho_{ISM}$)
As equações de movimento levam à solução de Sedov (1950)

$$R_{SNR} = \left(\frac{50 E_{exp}}{9\pi \rho_{ISM}} \right)^{1/5} t^{2/5}$$



Fase de Sedov-Taylor

$$R_{SNR} = 15 \text{ pc} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{1/5} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/5} \left(\frac{t}{10^4 \text{ anos}} \right)^{2/5}$$

$$v_{SNR} = 580 \text{ km/s} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{1/5} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/5} \left(\frac{t}{10^4 \text{ anos}} \right)^{-3/5}$$

Nesta fase o choque reverso esquenta o gás e este emite em raios X com energias $T_{SNR} \geq 10^6 \text{ K}$ ($\sim 0.1 \text{ keV}$)

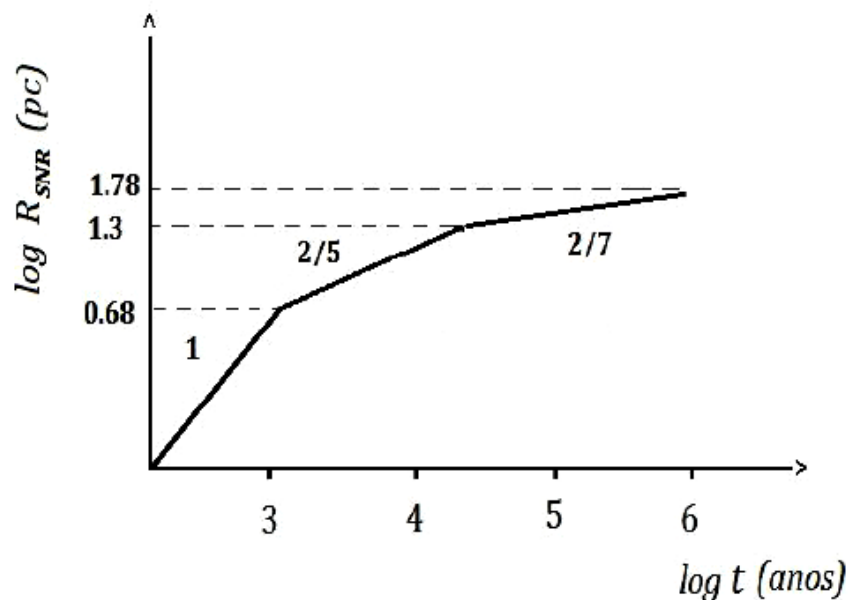
Esta fase dura até uns 10^4 anos. Daí para frente as transições ligado-livre e ligado-ligado produzem uma emissividade $\propto T_{SNR}^{-1/2}$ e podemos pensar que a casca fica mais densa, mas o gás interno se expande de forma adiabática $P_{SNR} V_{SNR}^{5/3} = const$

Propondo uma lei de potência para R_{SNR} e resolvendo
Fase de *snow-plow*

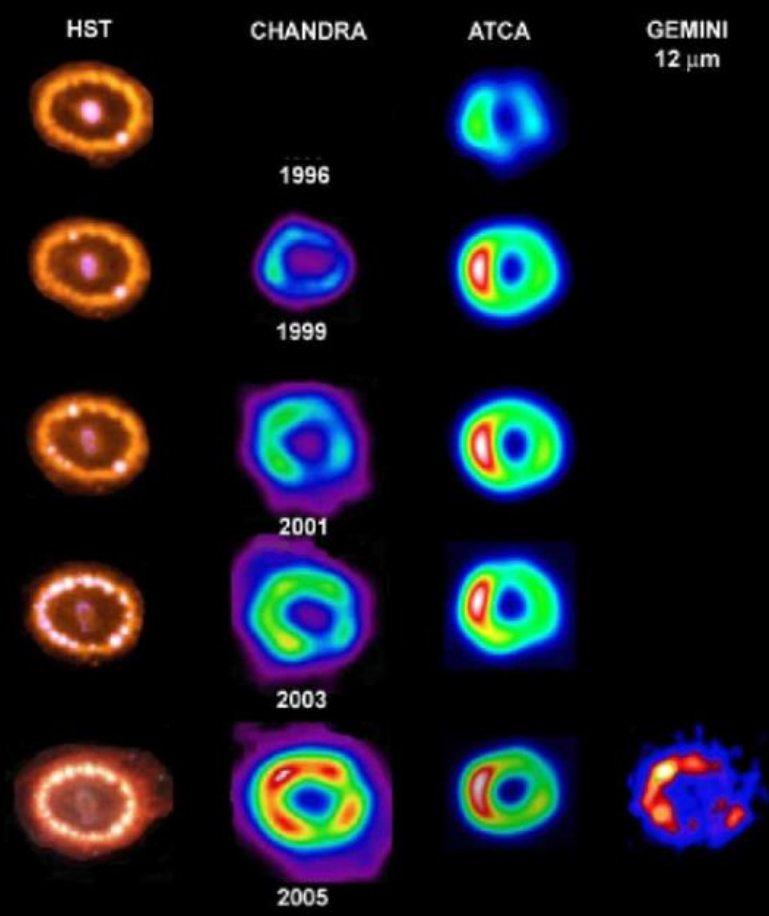
$$R_{SNR} = 30 \text{ pc} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{11/49} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-13/49} \left(\frac{t}{10^4 \text{ anos}} \right)^{2/7}$$

$$v_{SNR} = 120 \text{ km/s} \left(\frac{E_{exp}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{-4/49} \left(\frac{n_{ISM}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-13/49} \left(\frac{t}{10^4 \text{ anos}} \right)^{-5/7}$$

Finalmente, por volta dos $\sim 10^6$ anos, a casca se quebra e a velocidade se confunde com a r.m.s. do ISM, uns $\sim 20 \text{ km/s}$.
O remanescente some



SN 1987A na Nuvem Maior de Magalhães com 20 anos de idade



Perguntas?

