

Bloco 8B

Detetores: rádio e altas-frequências

Bibliografia

- ↪ Léna – Cap. 5 (1 ed.) e Cap. 7 (2 ed.)
- ↪ Kitchin – Caps. 1.2 e 1.3
- ↪ Walker – Caps. 7

Radioastronomia

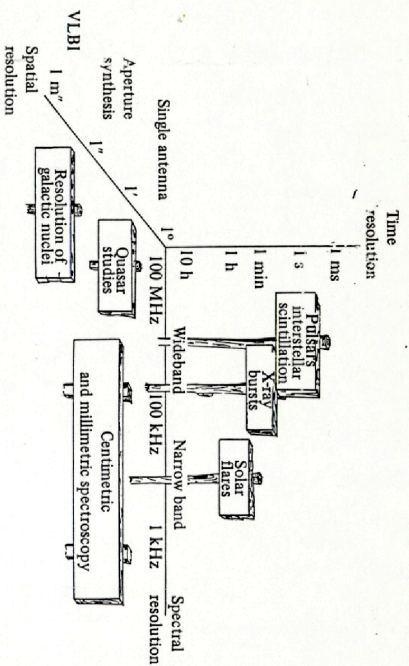


Fig. 5.18. The variety of receiver combinations in radioastronomy. The regimes are only shown to order of magnitude

- dependência espectral dos processos radiativos mais comuns

↪ térmica

$$F_{\nu} = \frac{2\pi k}{c^2} T \nu^2$$

↪ síncrotron

$$F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}, \text{ onde } 0,2 \leq \alpha \leq 1,2$$

- Mais velha das novas astronomias
 - ↳ ~1930: Jansky
- pode ser feita com instrumentos no solo
 - ↳ atmosfera transparente totalmente ou em janelas
- unidade de intensidade
 - ↳ Jansky: $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$
- fluxo das fontes típicas
 - ↳ $F_\nu < 1 \text{ Jy}$ (o que é pequeno!)
 - ↳ algumas fontes apenas tem fluxo maior que 1 Jy

Detetores em rádiofrequências

- detecção coerente
 - ↳ informação sobre a fase é preservada
- detetores típicos
 - ↳ 1 polarização
 - ↳ intervalos estreitos de frequências
- detecção em duas fases
 - ↳ conversão da onda em sinal elétrico feita pela antena
 - ↳ medida do sinal elétrico

Potência recebida. Sinal da antena.

- Considerando um espectro de corpo negro e $h\nu \ll kT$, a intensidade de uma fonte é dada por:

$$B_\nu = \frac{2kT}{\lambda^2}$$
- Pode ser mostrado que o tamanho do feixe é proporcional a λ^2 (Léna), assim o fluxo é proporcional a

$$F_\nu = 2kT$$
- Assim, podemos associar ao fluxo observado uma temperatura de antena – o que é comumente feito em radioastronomia
- Essa temperatura pode estar relacionada à fonte se
 - ↳ ela é opticamente espessa e está em equilíbrio termodinâmico
 - ↳ preenche o campo angular do telescópio

Ruído

- baixo sinal das fontes astronômicas implica em necessidade de instrumentação com baixo ruído
- ruído térmico
 - ↳ potência do ruído - *noise* (dedução devida a Nyquist)
 - ↳ $p_n = k T_n$
 - se $T_n = 300 \text{ K}$, $p_n = 4 \cdot 10^5 \text{ Jy}$ (compara com sinal típico)
 - ↳ assim, sistemas resfriados podem ser adequados em radioastronomia
 - ↳ se ruído térmico é constante, pode ser estimado e subtraído do sinal

Temperatura de ruído

- Fontes de flutuações
 - atmosfera, T_{atm}
 - solo, T_{solo} (atinge o sistema via lóbulos laterais)
 - detector, T_s (temperatura do sistema)
- Assim, a temperatura de ruído total, T_n , pode ser expressa como:
 - $T_n = T_{atm} + T_{solo} + T_s$

soma é possível, pois sinais são incoerentes

medida da fonte: $M = T_n + T_{fonte}$

medida do céu: T_n

$T_{fonte} = M - T_n$

Como medir T_n ?

Receptor superheteródino

- uma das possíveis configurações de um detector em rádio
- transformação do sinal de altas para baixas frequências, onde os amplificadores são mais estáveis

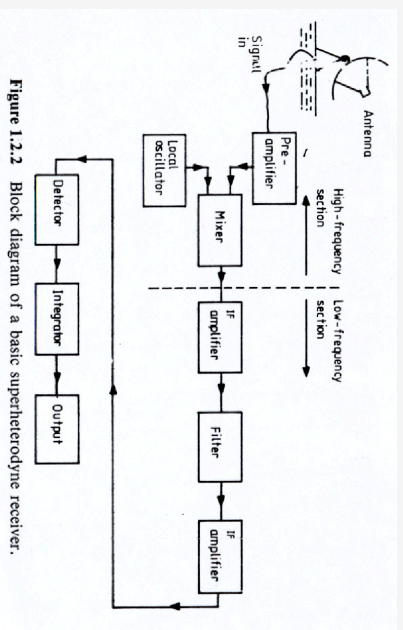


Figure 1.2.2 Block diagram of a basic superheterodyne receiver.

Kitchin

- amplificação

- todos os detectores em rádio, possuem um estágio onde o sinal astronômico é amplificado (ganho: G)
- enquanto T_n pode ser controlado e mantido constante, o mesmo não se aplica a G – principalmente em altas frequências
- supondo que T_a é o sinal da fonte e T_n é o ruído, e que DG é a variação de G entre a medida na direção da fonte e do fundo a variação do sinal da fonte DT_a é dada por:
 - medida total: $G(T_a + T_n)$
 - fundo (ruído): $G T_n$

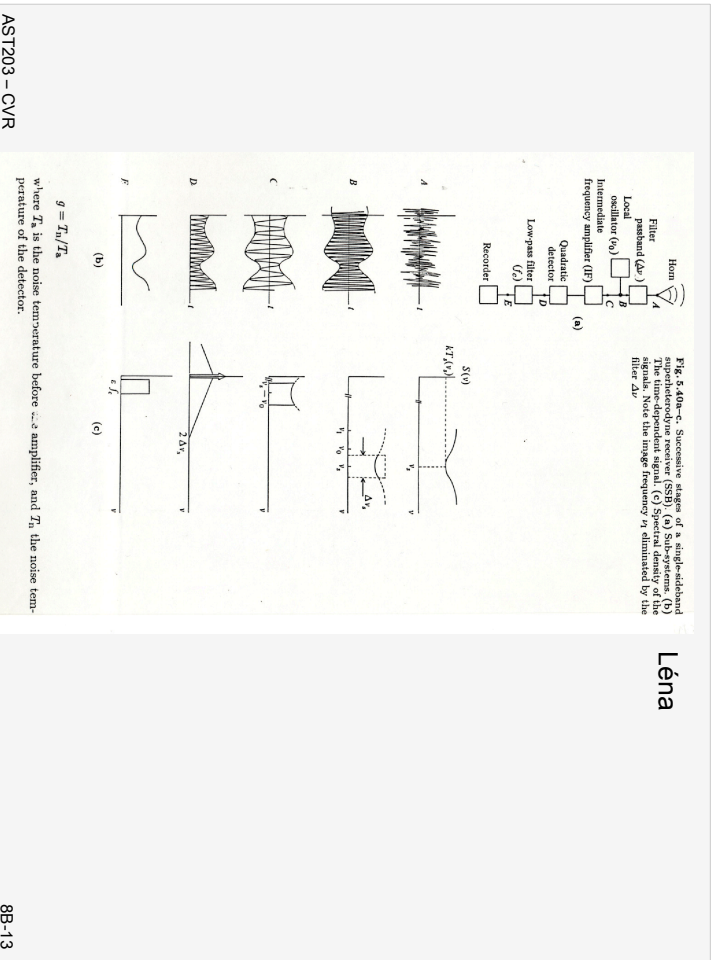
$$G \Delta T_a = \Delta G (T_a + T_n)$$

quanto menor o sinal da fonte, maior o erro

$$\frac{\Delta T_a}{T_a} = \frac{\Delta G}{G} \left(1 + \frac{T_n}{T_a} \right)$$

- etapas de recepção

- pré-amplificador: ganho entre 100 e 1000
- misturador
 - mistura o sinal de entrada de frequência η_{in} com sinal de um oscilador local de frequência η_{loc}
 - batimento entre os sinais produz um sinal de frequência V_{if} , onde $V_{in} = V_{loc} \pm V_{if}$
 - potência de saída do misturador é diretamente proporcional ao sinal de entrada
- amplificador: ganho de $10^6 - 10^9$



Léna

8B-13

$$B_{\min} = \frac{2k \nu^2 K T_s}{c^2 \sqrt{t \Delta \nu}}$$

- ↪ T_s : temperatura do sistema
- ↪ t : tempo de integração
- ↪ $\Delta \nu$: largura de banda
- ↪ $K \sim 1$ (constante) – depende do receptor

Brilho mínimo detectável

AST203 – CVR

8B-15

- ↪ detector: *square law device*
 - tensão → **detector** → saída \propto tensão² \propto potência
- ↪ integração
 - diminuição do ruído
 - exclusão de frequências altas
- ↪ após a integração o sinal está pronto para ser registrado
- Problemas
 - ↪ ruído é alto
 - solução: diminuir temperatura do sistema, principalmente das primeiras fases
 - ↪ ganho é instável
 - solução: monitoramento de fonte de calibração

AST203 – CVR

8B-14

Contaminação do sinal

- a contaminação dos sinais astronômicos por sinais artificiais (criados por humanos) é um grande problema da astronomia de baixas frequências
- foram definidas bandas de uso exclusivo astronômico, onde não é permitido portanto a transmissão de sinais

AST203 – CVR

8B-16

Detetores em raios-X e raios-γ

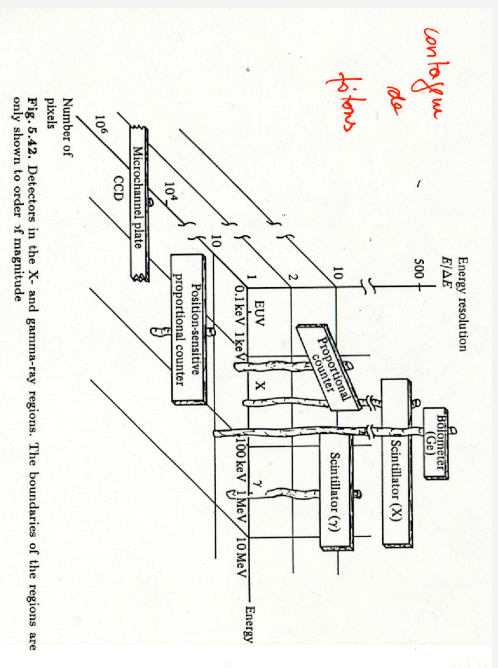


Fig. 5.42. Detectors in the X- and gamma-ray regions. The boundaries of the regions are only shown to order of magnitude

Léna

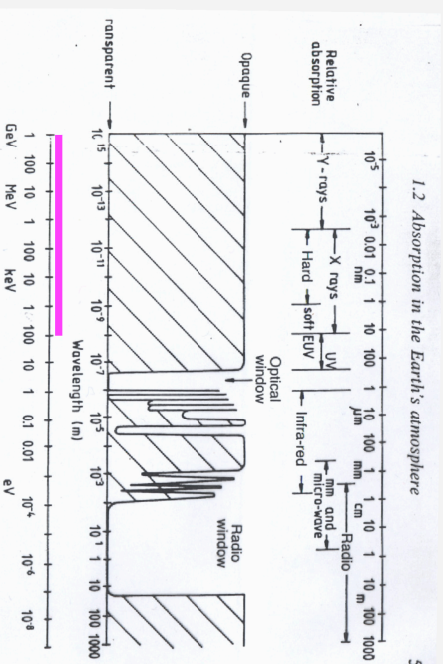


Fig. 1.1. The electromagnetic spectrum, showing the absorption by the Earth's atmosphere. At the Earth's surface only radiation in the radio, infrared and optical windows can be detected. The divisions between the various named wavebands are somewhat arbitrary, and there is some overlap in usage. The wavelength scale is shown at the top of the diagram in the units normally employed in the wavebands shown below them. At the very shortest wavelengths it is more common to describe photons by their energies, shown on the lowermost scale. Even above the atmosphere, the interstellar medium in our Galaxy effectively cuts out radiation in the EUV and soft X-ray region, and is also opaque to the very lowest energy radio waves and the very highest energy gamma-rays.

- processo físico
 - ↳ fotoionização de um gás
- câmara com gás confinado e submetido a uma ddp muito próxima do valor de descarga
- cargas produzidas pela radiação disparam a descarga

Contadores Geiger

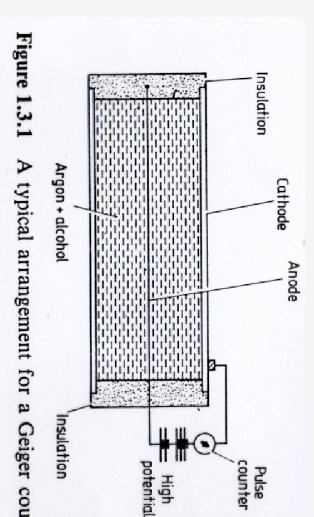


Figure 1.3.1 A typical arrangement for a Geiger counter. Kitchen

- e- são acelerados pela ddp e causam mais ionizações
 - ↳ ganho 10^8
- composição química
 - ↳ gás nobre
 - ↳ gás orgânico
- tempo morto: 200 μ s
- pulso saturado = sem resolução de energia
- primeira detecção de fonte astronômica (não-solar) em 1962
 - ↳ Sco X-1
 - ↳ experimento em foguete
 - ↳ raios-X moles

Contadores proporcionais

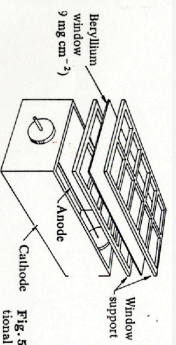


Fig. 5.43. Exploded view of a proportional counter

Table 5.15. Proportional counters

Window	Thickness [μm]	Gas filling	Spectral response [μm]
Beryllium	125	Neon or argon	0.02–0.8
Aluminum	6	Neon	0.02–6.6 and 0.8–1.6
Nylar	6	Nitrogen or helium	1.02–1.5 and 4.4–6
Nitrocellulose	0.1	Argon	< 30
-none-	-none-	Helium	< 50.43
-none-	-none-	Xenon	< 102.21
Lithium fluoride	1000	Ethyl bromide	100–120
Quartz (silicon)	1000	Tri-n-propylamine	100–111.5

- faixa de energia:
 - ↳ 0.1 – 10 keV
- similar ao Geiger, mas com tensão menor o que leva a um pulso controlado
- ganho: $10^4 - 10^5$
- intensidade do pulso é proporcional à energia do fóton (daí o nome...)
- na configuração básica não possui resolução espacial

Exemplo de utilização

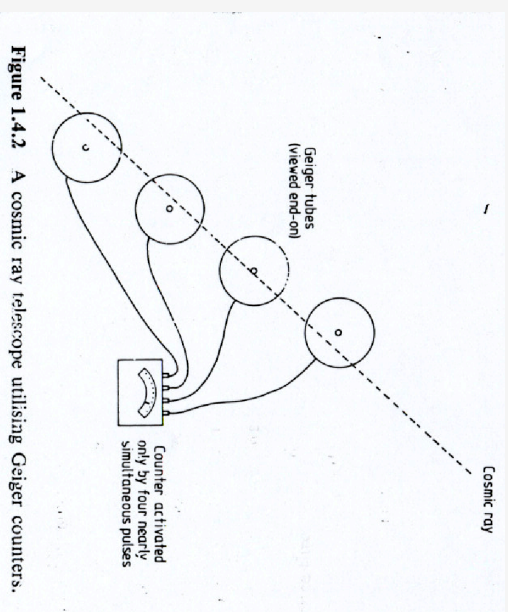


Figure 1.4.2 A cosmic ray telescope utilizing Geiger counters.

Kitchin

Placa de microcanais

- faixa de energia: 0.1 a 10 keV (UV distante e raios-X moles)
- efeito fotoelétrico

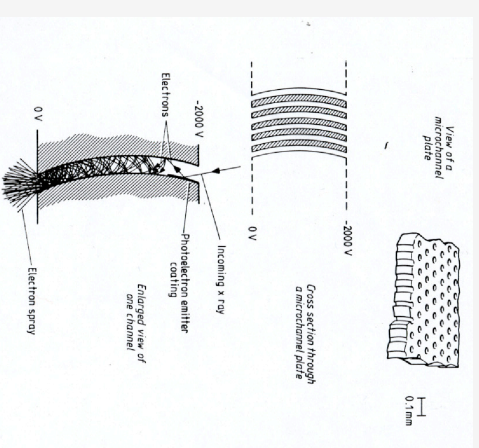


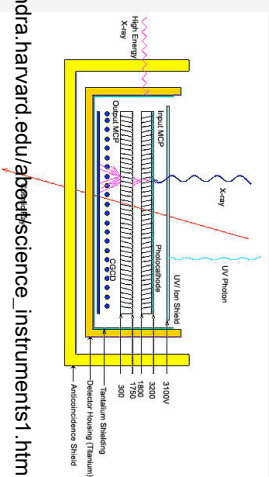
Figure 1.3.4 Schematic view of the operation of a microchannel plate.

Kitchin

- ganho: 10⁴
- eficiência quântica: 20%

- Usado no High Resolution Camera(HRC)/Chandra
 - ↳ <http://hea-www.harvard.edu/HRC/mcp/mcp.html>

The primary components of the HRC are two Micro-Channel Plates (MCP). They each consist of a 10-cm (4-inch) square cluster of 69 million tiny lead-oxide glass tubes that are about 10 micrometers in diameter (1/8 the thickness of a human hair) and 1.2 millimeters (1/20 an inch) long.



http://chandra.harvard.edu/about/science_instruments1.html

energy range: 0.06-10 keV
 ang. resolution < 0.5 arcsec over field-of-view 31x31 arcmin;
 time resolution: 16 micro-sec
 sensitivity: 4×10^{-15} ergs-cm⁻²-sec⁻¹ in 10⁵ s

- a energia do fóton é transferida para os átomos de um sólido e excita modos dos fónons
- decaimento radiativo
 - ↳ radiação ultravioleta e visível
 - ↳ se meio é transparente, a detecção pode ser feita por uma fotomultiplicadora
- pulso depende fracamente da energia, mas permite uma modesta resolução em frequência
- eficiência pequena e ruído alto
- raios cósmicos também provocam pulsos, mas que podem ser diferenciados dos provocados pela raios-X

Cintiladores

- faixa de energia: 100 keV a 10 MeV
- espalhamento Compton em um sólido
 - ↳ NaI ou CsI + impurezas (Na ou TI)

$$\lambda' > \lambda$$



Wikipedia

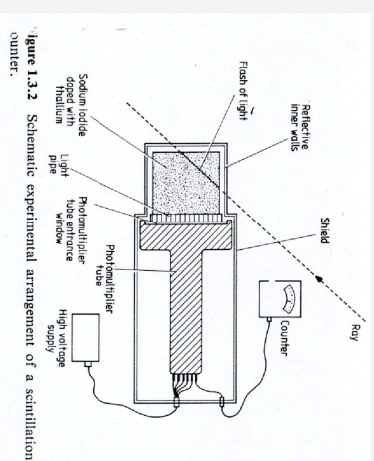
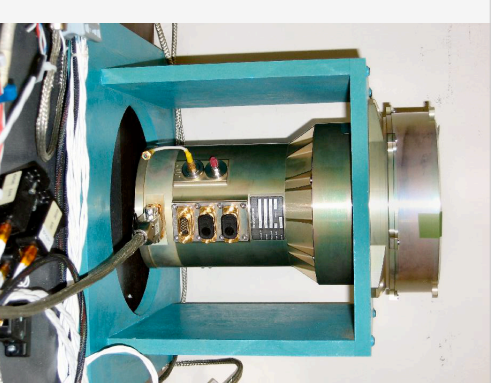


Figure 1.3.2. Schematic experimental arrangement of a scintillation counter.

Kitchin

Um dos instrumentos do Fermi é um cintilador: the GLAST Burst Monitor

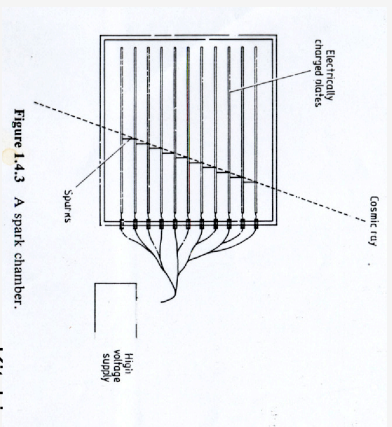
- ↳ 12 cintiladores de NaI: poucos keV a MeV
- ↳ 2 cintiladores de BGO (germanato de bismuto): 150 keV a 30 MeV



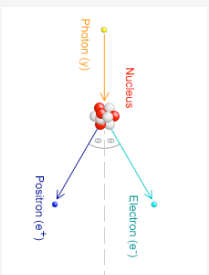
GLAST Burst Monitor
 Detetor de NaI

Spark chamber

- faixa de energia: > 20 MeV
- produção de pares: $e^- + e^+$



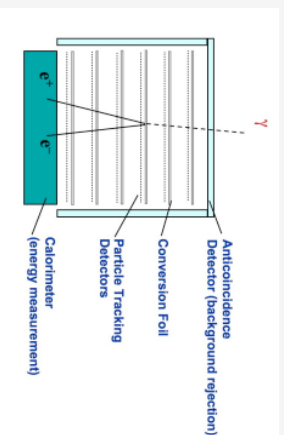
Produção de pares ocorre se energia do fóton é maior que 1.022 MeV (2 x massa de repouso do elétron)



Wikipedia

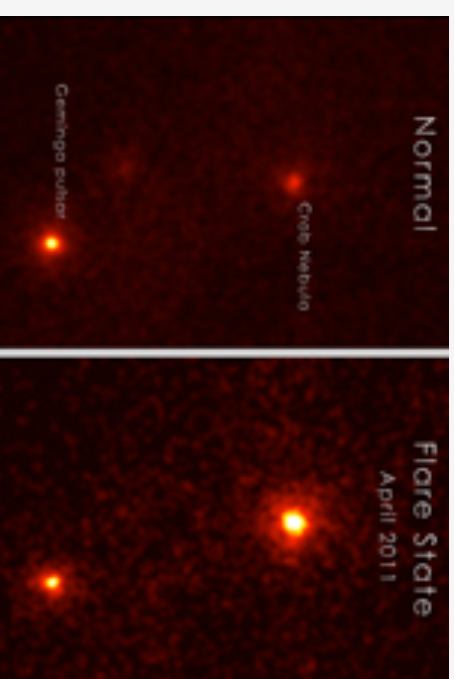
Fermi satellite: LAT instrument - Large Area Telescope

Incoming gamma rays pass freely through the thin plastic anticoincidence detector, while charged cosmic rays cause a flash of light, allowing the LAT identify the relatively rare gamma rays. A gamma ray continues until it interacts with an atom in one of the thin tungsten foils, producing two charged particles: an electron and a positron. They proceed on, creating ions in thin silicon strip detectors. The silicon strips alternate in the X and Y directions, allowing the progress of the particles to be tracked. Finally the particles are stopped by a cesium iodide calorimeter which measures the total energy deposited. The information from the anticoincidence detector, tracker and calorimeter is combined to estimate the energy and direction of the gamma ray.



<http://www-glast.stanford.edu/instrument.html>

- câmara com gás néon
 - ↳ série de eletrodos
- pares produzem ionização do gás
- pulsos de raios cósmicos = pulsos de raios- γ
 - ↳ utilização de detectores tipo cintilador para diferenciar
- Detecção de raios- γ
 - ↳ prêmio Nobel de Física em 1948: Patrick Blackett



Flare da nebulosa do Carangueijo detectado pelo LAT do Fermi

Detetores de estado sólido

- faixa de energia: 10 keV – 10 MeV
- fotoionização em semicondutores
- detecção dos e- no anodo
- ↳ #e- é proporcional à energia com resolução espectral boa
- materiais
 - ↳ germânio: 100 keV – 10 MeV
 - ↳ silício: 0.4 – 4 keV

AST203 – CVR

8B-33

ACIS/Chandra

- The Advanced CCD Imaging Spectrometer (ACIS)
- Ten CCD chips in 2 arrays provide imaging and spectroscopy
- imaging resolution is 0.5 arcsec over the energy range 0.2 - 10 keV
- sensitivity: 4×10^{-15} ergs $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ in 10^5 s

AST203 – CVR

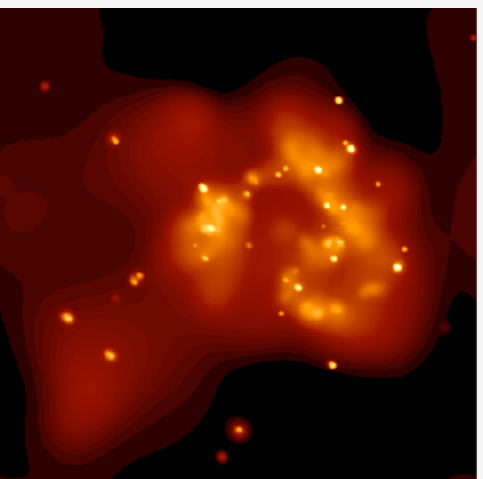
8B-34



Galáxia Antennae

WFPC2/HST

ACIS/Chandra



AST203 – CVR

<http://chandra.harvard.edu/photo/2000/0120/index.html>

8B-35