

A.R.I. - Sezione di Parma

Conversazioni del 1° venerdì del mese

I Radioamatori e la Radioastronomia

Come e perché.

Venerdì 2 ottobre 2015, ore 21:15

Carlo, I4VIL

Perché interessarsi di radioastronomia e cosa può fare l'OM medio ?

- Conoscere la tecnologia radio-elettronica per questi usi specifici
- Conoscere l'astronomia
- Ascoltare il rumore del Sole (utile anche per calcolare la NF dei preamplificatori)
- Ascoltare il rumore del Centro galattico.
- Studiare le tempeste gioviane
- Registrare i brillamenti solari e prevedere attività geomagnetica.
- Ascoltare una pulsar utilizzando il DSP (digital signal processing)
- Ascoltare radio sorgenti deboli
- Cercare segnali intelligenti extraterrestri.

Addestramento individuale

Ricerca tecnica

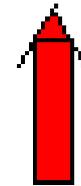
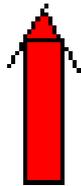
Autoformazione

Circolazione di nuove idee

Aperti a tutti

Sono appassionatamente curioso

L'importante è non smettere di farsi domande



Termini del servizio di radioamatore

Dichiarazioni di A.Einstein

La voglia di provare e la curiosità sono comuni.....

Tanti sono i radioamatori che, con passione, tenacia, genialità ed impegno hanno trovato soluzioni, talvolta molto interessanti, nel campo delle radio comunicazioni e tanti sono coloro che hanno unito il loro hobby con il lavoro professionale .

Ricordiamo i contributi di Reber (W9GFZ) nel campo del rumore cosmico e di Taylor (K1JT), premio Nobel 1993 per la Fisica, nel campo delle moderne tecniche digitali di recupero del segnale sommerso dal rumore.

Molti sono stati i radioamatori-scientiati legati alla radioastronomia e molte scoperte sono dovute alla aperta disponibilità a condividere le proprie esperienze tipica dei radioamatori e degli scientiati.

Questo desiderio di confronto e di condividere con altri le proprie idee e le proprie esperienze ha portato a scoperte che hanno rivoluzionato la nostra conoscenza.

E' bello rileggere l'avventura di R.Wilson e A.Penzias, la meticolosità che hanno dimostrato per cercare di eliminare quel rumore di troppo che non aveva spiegazione. Avevano speso un enorme quantità di tempo, fatica e denaro per individuare l'origine e minimizzare il rumore del loro radiotelescopio.

I due radioastronomi frustrati non avevano capito di essere incappati in una delle scoperte più importanti nella storia della cosmologia. Ma ebbero l'umiltà di appoggiarsi ad amici del M.I.T. E questi non tardarono a manifestare il loro entusiasmo per la scoperta della radiazione cosmica di fondo, prevista da Gamov, Alpher e Herman già 16 anni prima e che avrebbe confermato l'esattezza del modello del big bang!

Così come lo stesso Jansky, anni prima, che si era trovato di fronte ad un rumore , molto debole, ma strano..... Il giovane ricercatore di 22 anni non ignorò la debole sorgente di rumore, insignificante rispetto ad altre sorgenti (fulmini, e di origine elettrica di ambienti antropizzati). La sorgente sconosciuta era strana; il picco di intensità si riproponeva non dopo 24 ore, ma dopo 23 h e 56 m; quasi un giorno intero, ma non proprio.....

Ebbe l'umiltà e l'avvedutezza di parlarne con un collega (M.Skellet) che fu subito in grado di spiegarne il significato. La sorgente era extraterrestre con una periodicità legata al giorno siderale.

Facili esperienze:

- Ascoltare il rumore del Sole (microonde)
- Registrare il rumore delle tempeste su Giove a frequenze basse (20 MHz) con comuni antenne direttive e ricevitore specifico a larga banda.
- Ascoltare il rumore del Centro Galattico in HF.

.... e meno facili:

- Ascoltare le pulsar

a meno che.....

[Vela Pulsar 0833-45](#)

Pulsar nella nebulosa Vela . Ruota alla velocità di 11 giri al secondo (periodo 89.3 ms)

[PSR 0329+54](#)

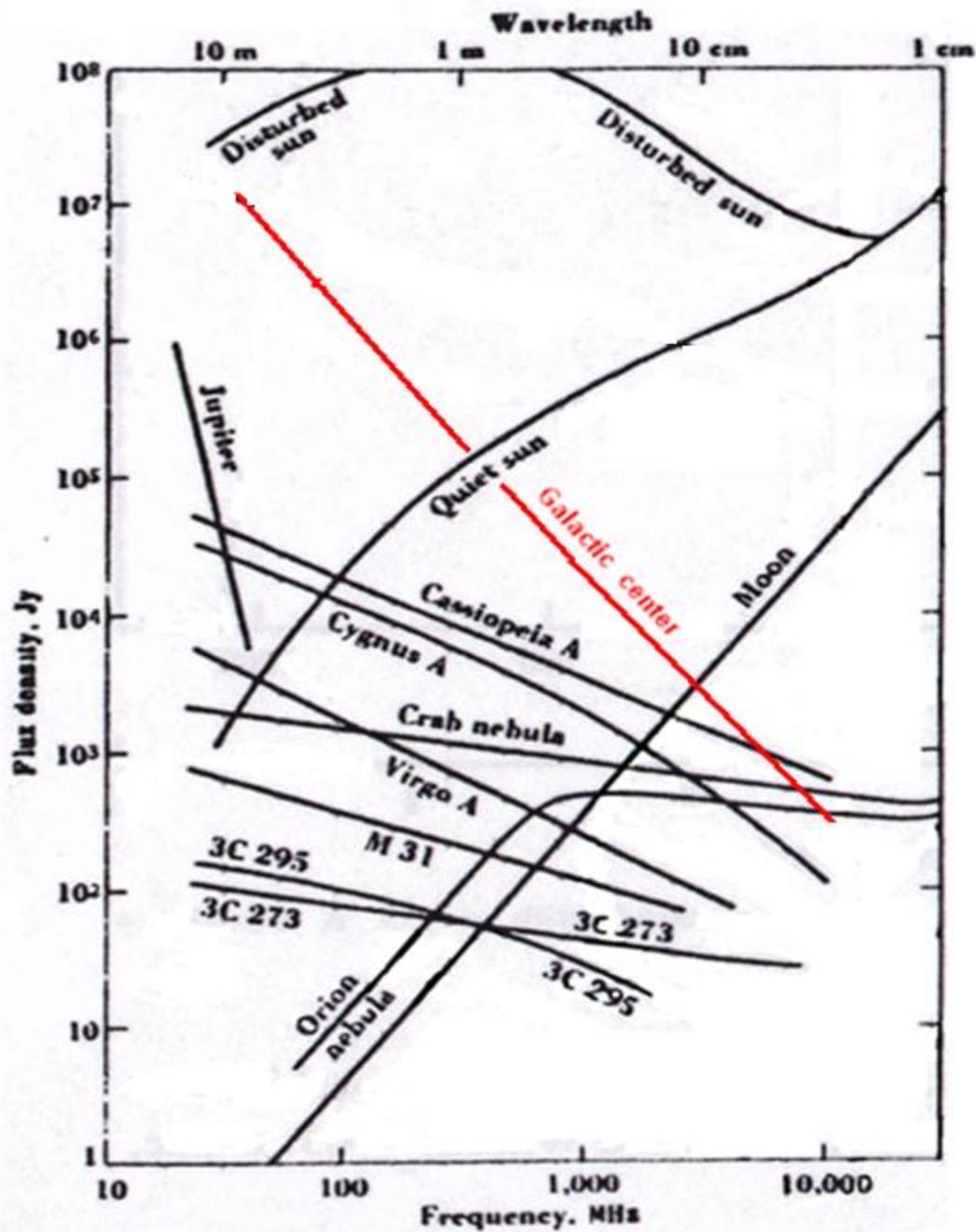
Questa pulsar ruota alla velocità di 1.4 volte al seconde ed è una delle pulsar più “lente” : periodo 0.714 ms.

[PSR 1939+21](#)

Questa è una delle pulsar più veloci. Ruota alla incredibile velocità di 642 volte al secondo.

Le stelle di neutroni hanno una massa di circa 1.5 volte quella del Sole e un diametro di circa 10 km.

Questo significa che la loro densita' e' elevatissima: un cucchiaino della loro massa pesa qualche miliardo di tonnellate !



PRINCIPALI SORGENTI RADIO

John D. Kraus,
Radio Astronomy (2nd ed.),
Cygnus-Quasar Books



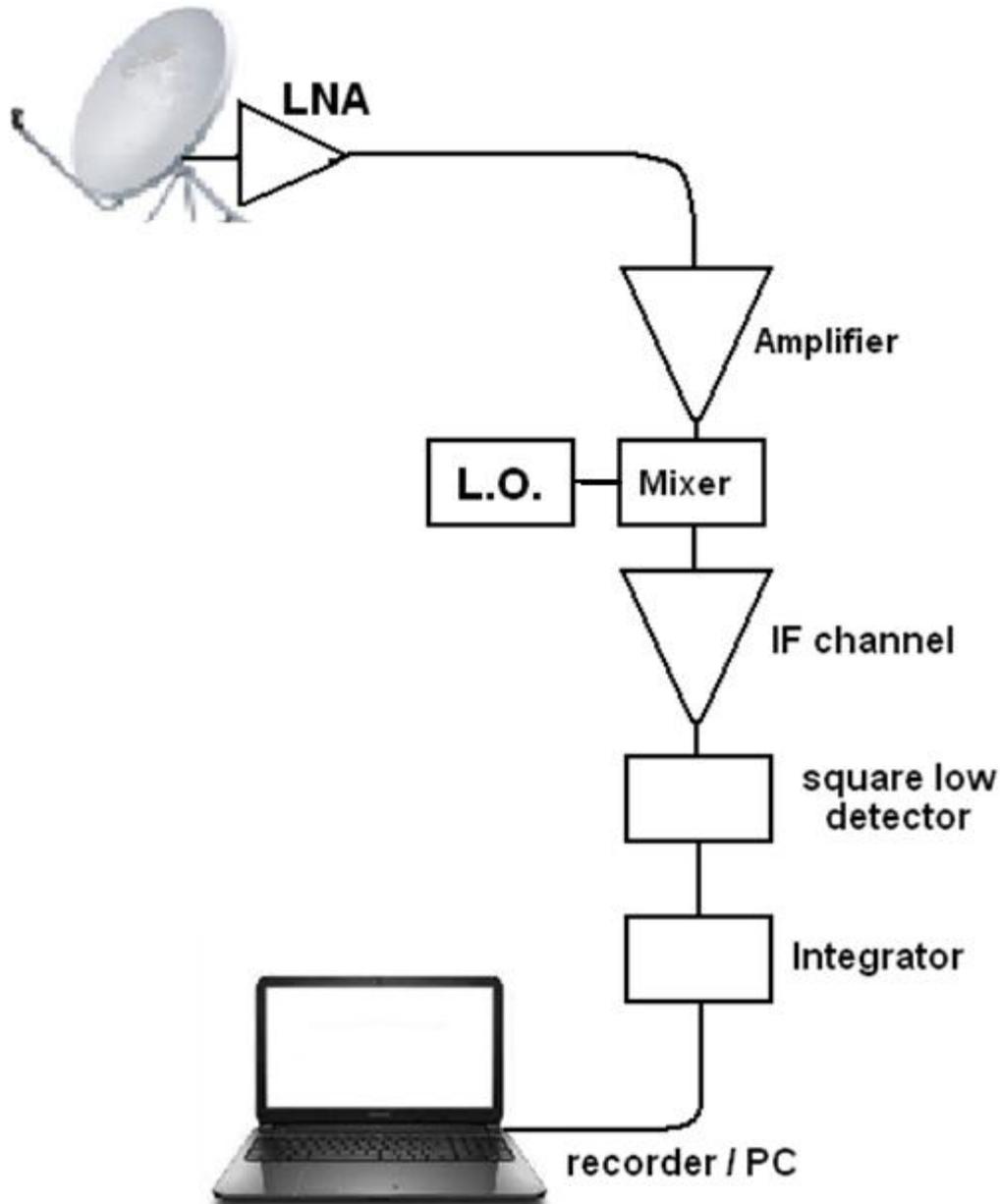
Famosa antenna a paraboloidi di Arecibo, Puerto Rico, assemblata all'interno di un cratere per uso in radio-astronomia. Il diametro è circa 305 m .



RADIOASTRONOMIA DAL GIARDINO DI CASA

Tizzano (PR) - agosto 2010

Semplice ricevitore per radioastronomia



Communication Receiver

La banda passante ottimale del ricevitore è fissata da considerazioni estranee al ricevitore stesso, ma legate al tipo di modulazione che si intende ricevere.

CW		SSB	AM	FM
1 wpm	10 wpm			
10 Hz	100 Hz	3 kHz	6 kHz	$2\delta + 2f_m$

Larghezze di banda approssimative per vari tipi di modulazione.
Per la FM, δ è la deviazione e f_m è la massima frequenza modulante.

Siccome il rumore, a parità di altre condizioni, è proporzionale alla banda di rumore ricevuta (praticamente uguale alla banda passante Df), occorrerà limitare la banda passante del ricevitore Δf alla minima larghezza che consenta il transito del segnale modulato senza limitazioni o distorsioni, evitando così di aggiungere più rumore del necessario.

Il rumore, in un ricevitore ideale, posto a temperatura ambiente è dato da (in potenza riferita all'ingresso):

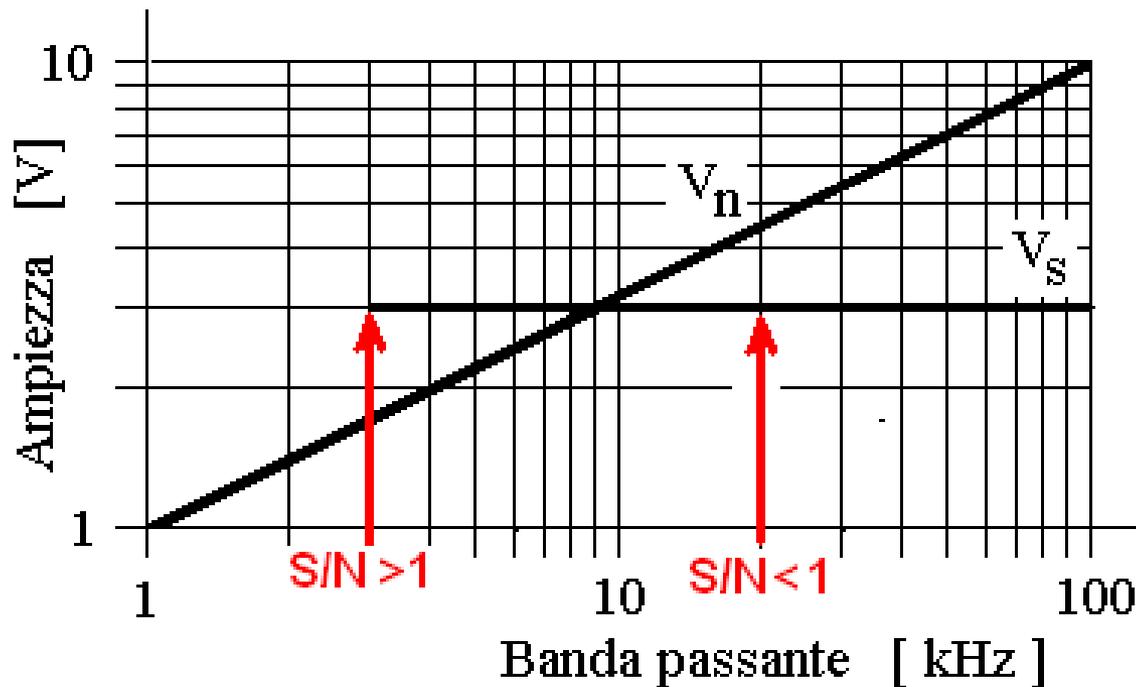
$$P_r = k T \Delta f$$

dove: k = costante di Boltzmann ($k = 1.28 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T = temperatura del sistema ideale ($T = 300$ K)

Δf = banda passante rumore del ricevitore [Hz]

Il valore efficace del solo rumore è proporzionale a $\sqrt{\Delta f}$, mentre la tensione dovuta al segnale rimane costante al variare di Δf , purchè al di sopra della banda richiesta dal tipo di modulazione (3 kHz per segnali SSB).



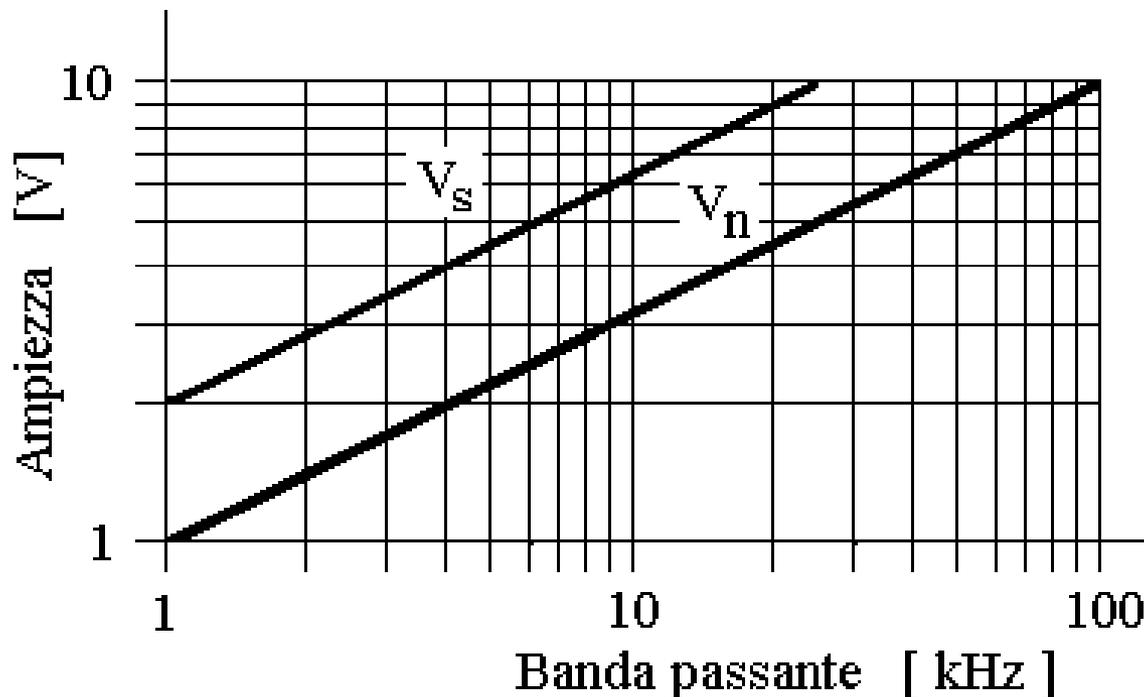
Esempio di ampiezza del segnale di picco SSB (V_s) e del rumore (V_n), presi separatamente, all'ingresso del rivelatore in funzione della banda passante del ricevitore.

Con Δf minima, il rapporto S/N, in tensione, è maggiore di 1, mentre per Δf maggiori (circa 10 kHz, in questo esempio), il rapporto S/N diviene minore di 1 ed il segnale non è più "ricevibile".

Ricevitore per radioastronomia

La radiazione ricevuta dalle sorgenti extraterrestri ha, quasi sempre, caratteristiche simili a quelle del rumore bianco. Tale radiazione, cioè, è presente su una estesissima gamma di frequenze e, all'interno di ogni banda ricevuta, può essere ritenuta di ampiezza costante.

In pratica, quindi, più sarà grande la larghezza di banda del ricevitore, maggiore sarà la radiazione ricevuta .



Sia il “segnale” sia il rumore proprio del ricevitore hanno spettro “bianco”. Il rapporto S/N prima del rivelatore è indipendente dalla banda passante del ricevitore.

Si nota che se il segnale da osservare (V_s) è maggiore del rumore locale (V_n), tale rapporto rimane invariato per qualunque valore di Δf . Sembrerebbe che il valore della banda passante Δf del ricevitore non sia importante per la migliore ricezione possibile.

Ciò non è vero perché, anche se il rapporto S/N **prima** del rivelatore non cambia al variare di Δf , cambia, invece, il rapporto S/N **dopo** il rivelatore; ed è proprio questo che lo sperimentatore avrà a disposizione per le sue valutazioni.

Seguendo Robinson [*], per rivelatore quadratico, il rapporto S/N in uscita diviene:

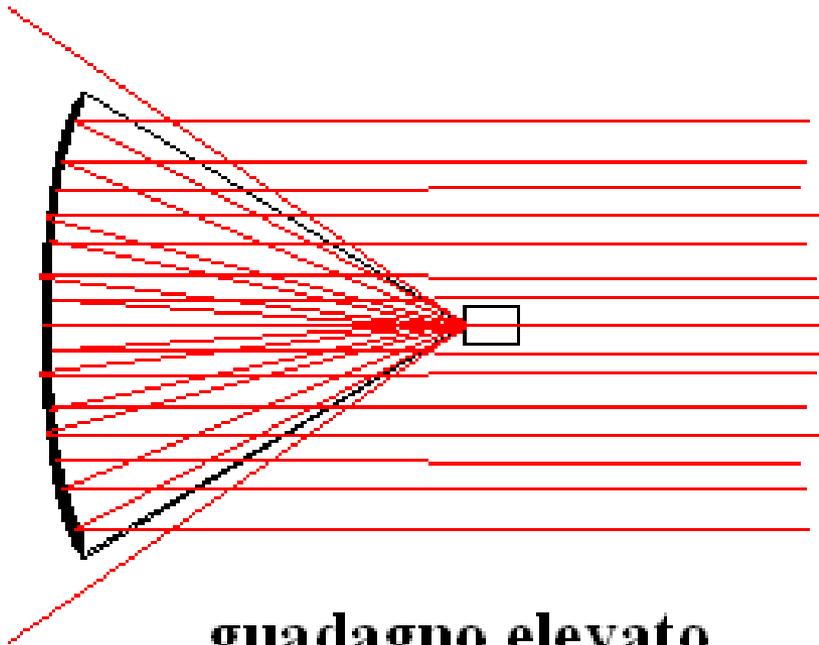
$$R = \sqrt{2 \frac{\Delta F}{\Delta f}}$$

Conviene, quindi, avere una grande larghezza di banda Δf prima del rivelatore ed una piccola banda passante ΔF dopo il rivelatore (ottenuta, per esempio, con una grande costante di tempo t di un circuito passa-basso).

[*] F.N.H.Robinson, **Noise in electrical circuits**, Oxford University Press (1962)

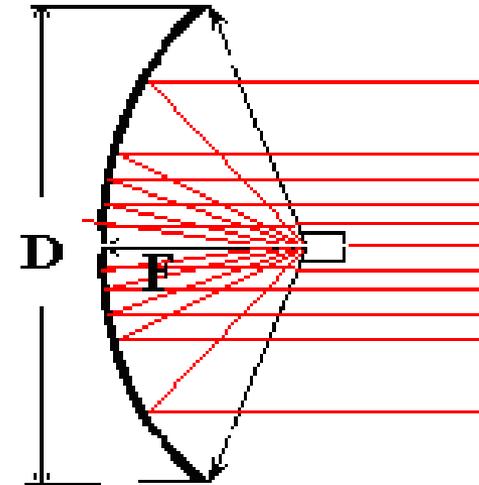
L'amplificazione g del ricevitore deve essere costante; la stabilità del ricevitore deve essere particolarmente curata, magari ricorrendo a forte controreazione e utilizzando alimentazioni stabilizzate.

Paraboloide per radioastronomia



guadagno elevato

lobi laterali !

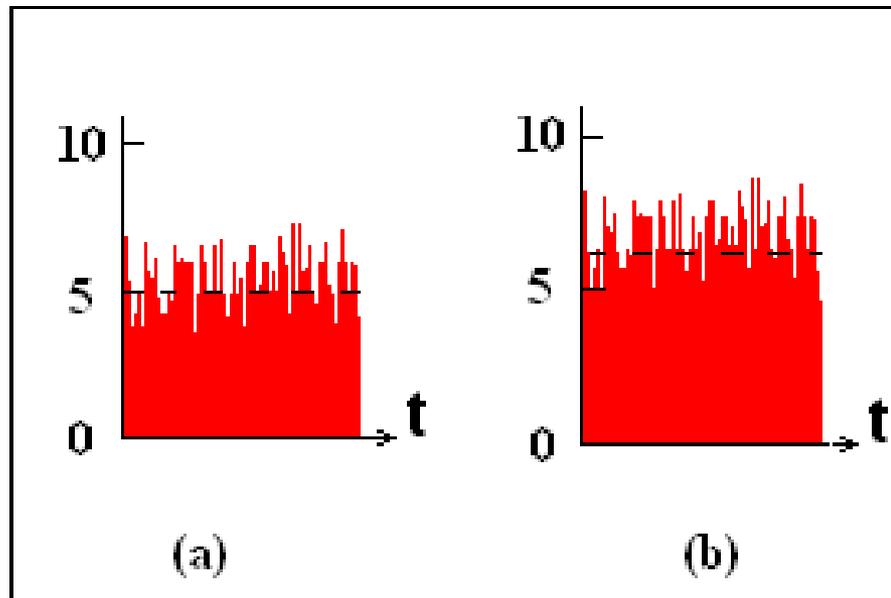


minor guadagno

lobi laterali quasi assenti

Sensibilità di un radiotelescopio

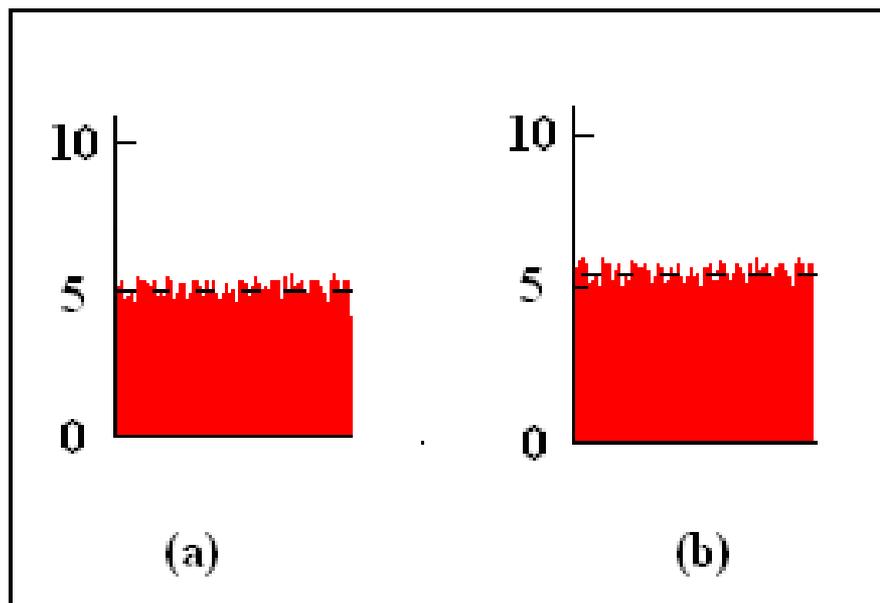
La sensibilità di un radiotelescopio ad una data frequenza può essere espressa con il valore dell'incremento della potenza applicata all'ingresso necessario per produrre un aumento del livello all'uscita dell'integratore pari al valore RMS delle fluttuazioni.



Uscita al post-rivelatore:

- a) solo rumore con fluttuazioni di valore $RMS = 1$**
- b) in presenza di segnale astronomico che produce una variazione sul segnale di uscita pari al valore RMS delle fluttuazioni.**

Per diminuire le fluttuazioni (ed aumentare, quindi, la sensibilità) occorre aumentare la banda passante Δf prima del rivelatore e diminuirla dopo il rivelatore (cioè filtrarla con una grande costante di tempo, in genere indicata con t).



Uscita al post-rivelatore:

- a) solo rumore con fluttuazioni di valore $RMS = 0.3$**
- b) in presenza di segnale astronomico che produce una variazione sul segnale di uscita pari al valore RMS delle fluttuazioni.**

Aumentando, per esempio, la costante di tempo dopo la rivelazione il livello di rumore in (a) è rimasto invariato (5 u.a.), ma sono diminuite le fluttuazioni. Per rivelare un segnale radioastronomico, in (b), basta un segnale circa tre volte più basso!

Per esprimere la sensibilità, al posto della potenza (in watt), può essere usata la temperatura di rumore (in gradi K), oppure anche la densità di flusso occorrente per produrre l' aumento di rumore minimo (in W/ m² Hz) secondo il criterio di rivelabilità precedente.

Vale a dire:

$$\Delta T_{\min} = \frac{T_{\text{sys}}}{\sqrt{n \Delta f \tau}}$$

dove: T_{sys} = temperatura di sistema ($T_{\text{sys}} = T_a + T_e$)

n = numero di acquisizioni

Δf = banda passante del ricevitore, prima della rivelazione [Hz]

τ = costante di tempo, dopo la rivelazione [s]

Utilizzando, invece, la densità di flusso che una sorgente produce a livello dell'antenna (occorre conoscere l'area efficace A_e), si ha che il livello minimo di flusso S_{\min} (livello di sensibilità) è legato alla variazione minima di temperatura, ΔT_{\min} dalla:

$$S_{\min} = \frac{2 k \Delta T_{\min}}{A_e} \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ Hz}]$$

Conoscendo le caratteristiche dell'antenna (A_e) si è in grado di calcolare il flusso minimo rivelabile (che, spesso, è espresso in Jy).

La sensibilità migliora con lo sviluppo delle tecnologie. L'Onsala Space Observatory (Svezia) usa, per esempio, HEMT a bassa temperatura (15 K) per frequenze da 1.4 a 43 GHz



Satellite PLANCK



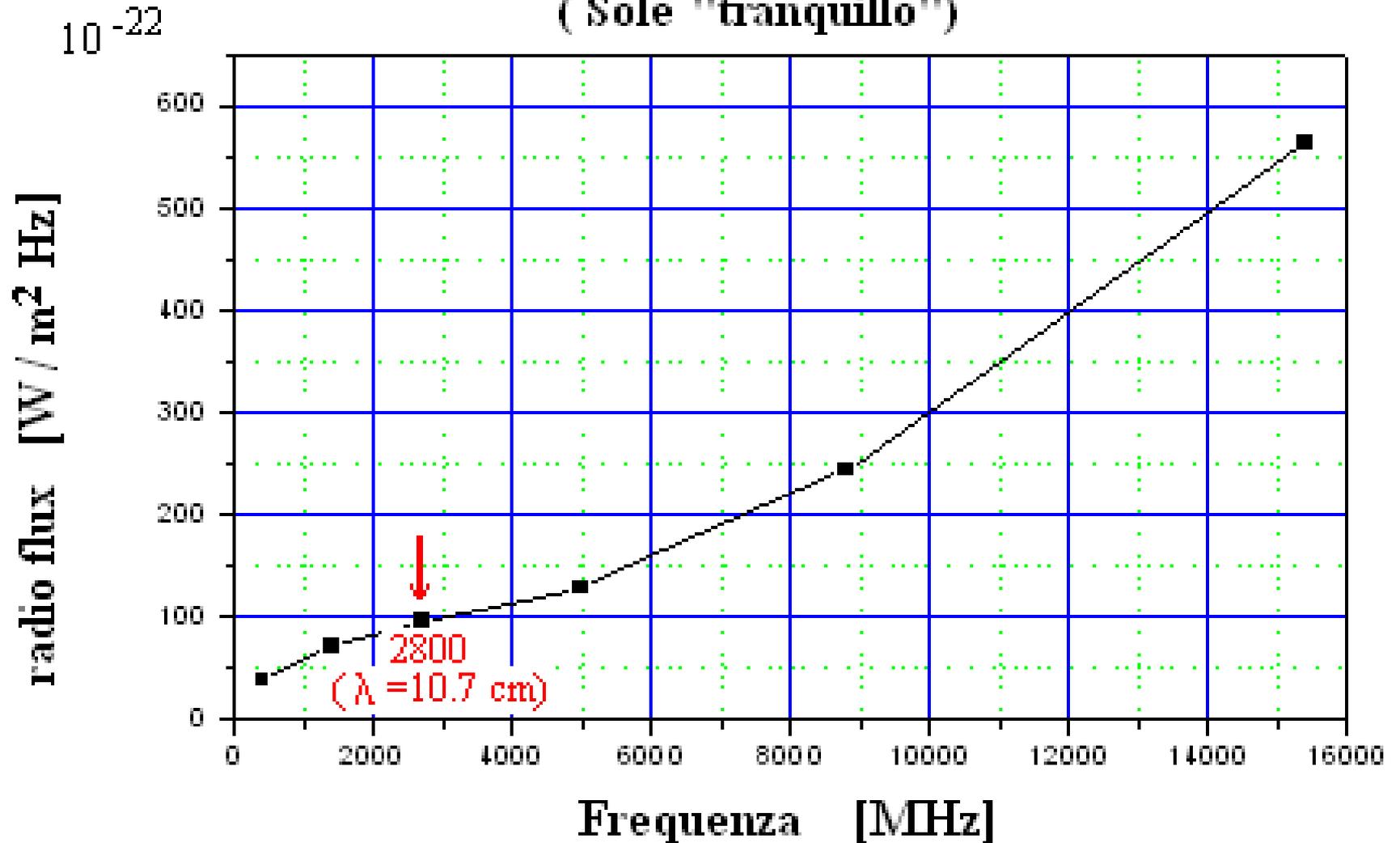
**Low Frequency:
30 ÷ 70 GHz**

**High Frequency
Instrument:
100 ÷ 857 GHz**

Cosa si può osservare ?

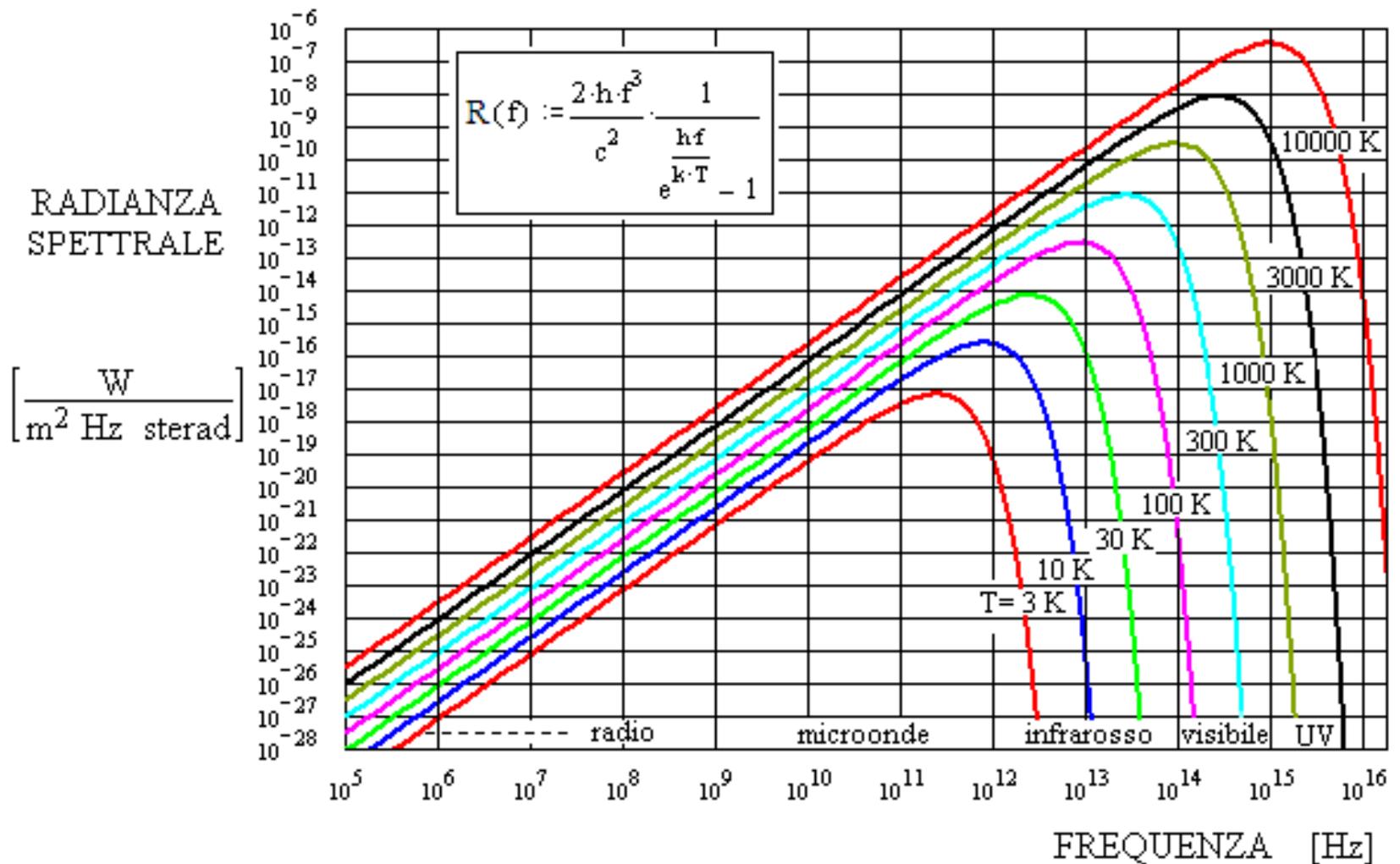
SOLAR RADIO FLUX

San Vito radio flux - 13 Feb. 2010 - 12:00 UTC
(Sole "tranquillo")



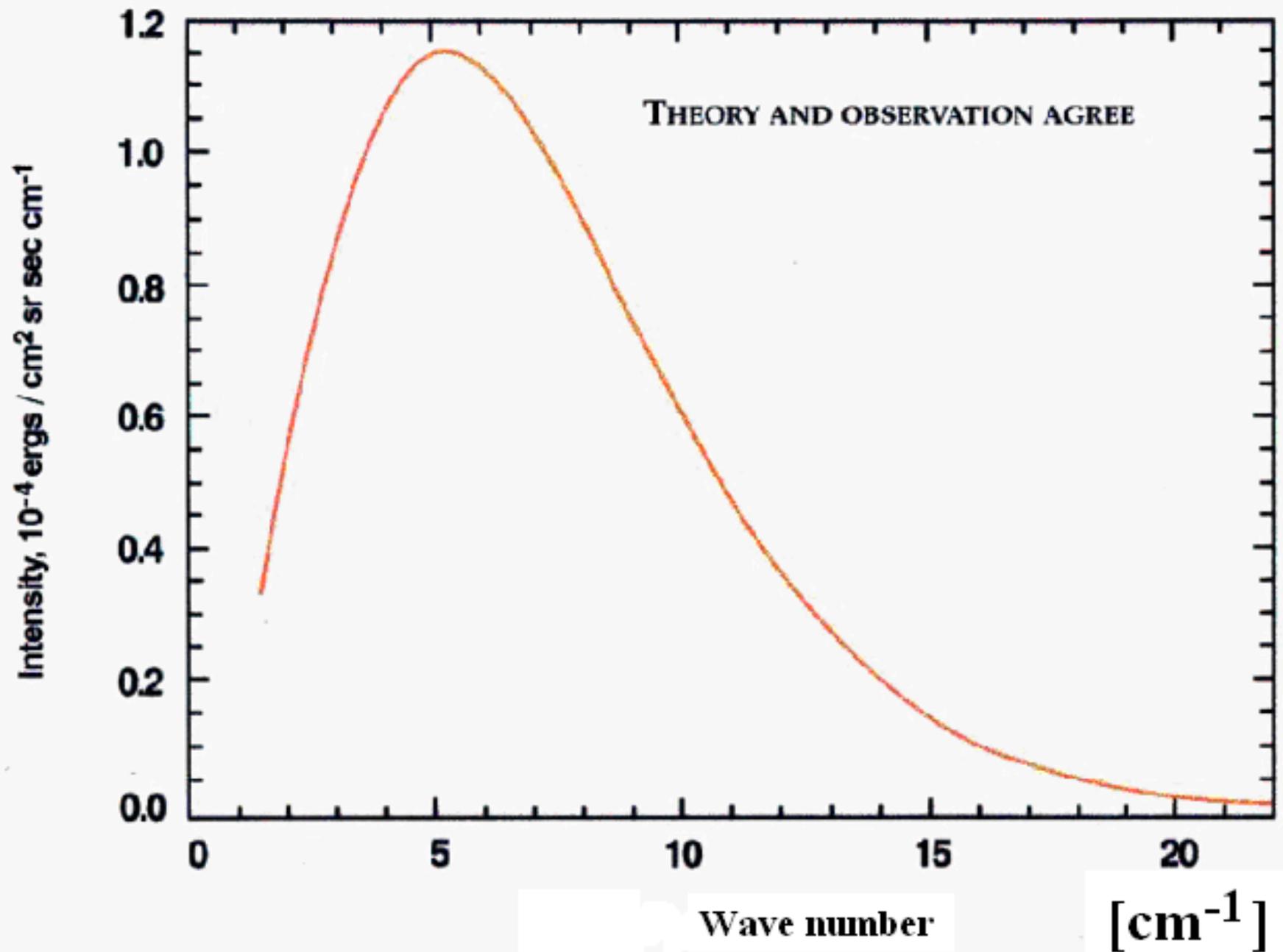
CORPO NERO

Corpo che è un perfetto assorbitore di radiazione. Assorbe qualunque radiazione incidente, di qualsiasi frequenza, senza alcuna riflessione e riemette la energia assorbita con uno spettro elettromagnetico caratteristico che è funzione solo della temperatura.



Spettri di corpo nero per alcune temperature.

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



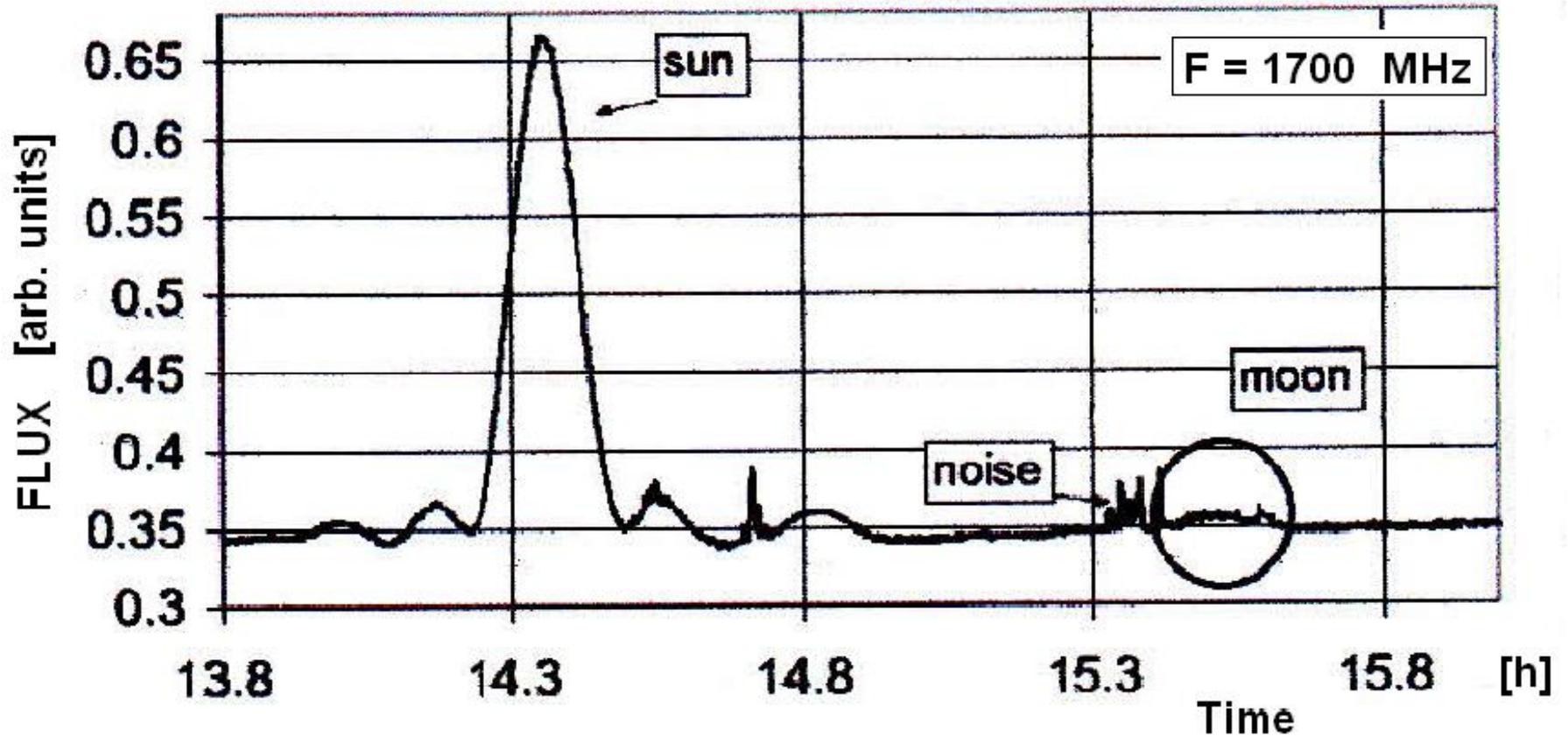
La curva continua mostra l'intensità prevista per uno spettro di corpo nero ad una precisa temperatura, come previsto dalla teoria del Big Bang.

I dati ottenuti dal FIRAS fittano la curva teorica così bene che le incertezze sono più piccole delle dimensioni della traccia. La temperatura osservata è di 2.726 K.

(Mather J.C. *et al* , Measurement of the cosmic microwave background spectrum by the COBE FIRAS instrument. - *Astrophys. J.* **420**, 439-444 (1994).)

(George F.Smoot - Nobel Lecture: Cosmic microwave background radiation anisotropies: Their discovery and utilization. *Rev.Mod.Phys.* **79**, 1349-1379 (2007)).

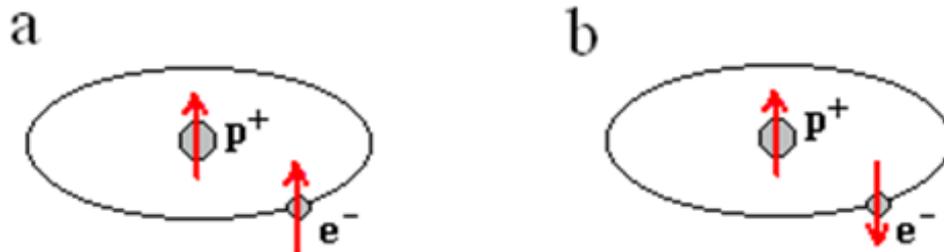
Moon transit with sun, 3.3. 2003, 15.30 UT



RIGA 21 centimetri

Data la grande abbondanza di idrogeno nell'universo fu ovvio ricercare l'emissione di righe spettrali da parte di elettroni che ricadono nel livello fondamentale dell'idrogeno dopo essere stati eccitati. E' abbondante, ha un solo elettrone ed è più semplice l'analisi teorica.

Una transizione iperfine dell'idrogeno neutro presenta una frequenza di transizione a circa 1420.405 MHz (riga di 21 centimetri).



Modello di atomo neutro di idrogeno.

Il protone e l'elettrone dell'atomo di idrogeno hanno entrambi *spin* $I = 1/2$.

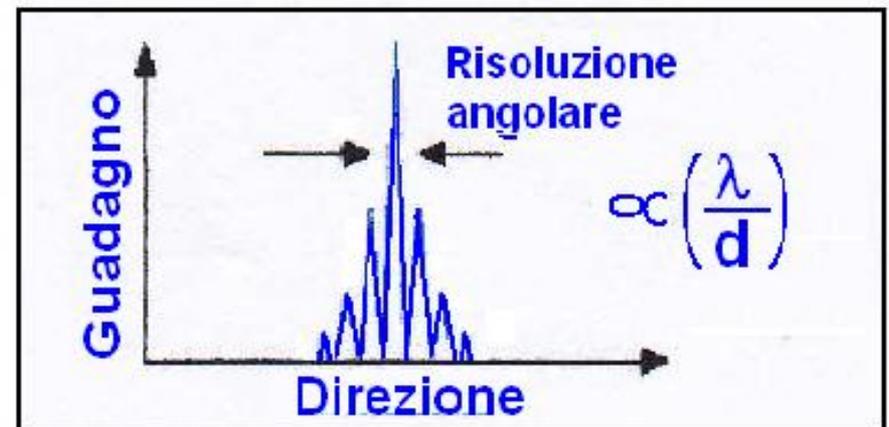
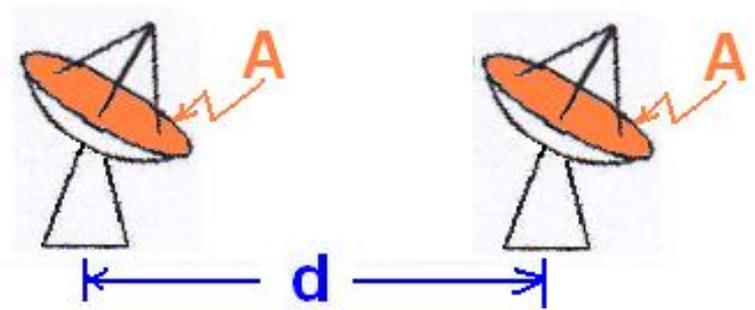
L'energia associata è minima quando gli spin sono antiparalleli.

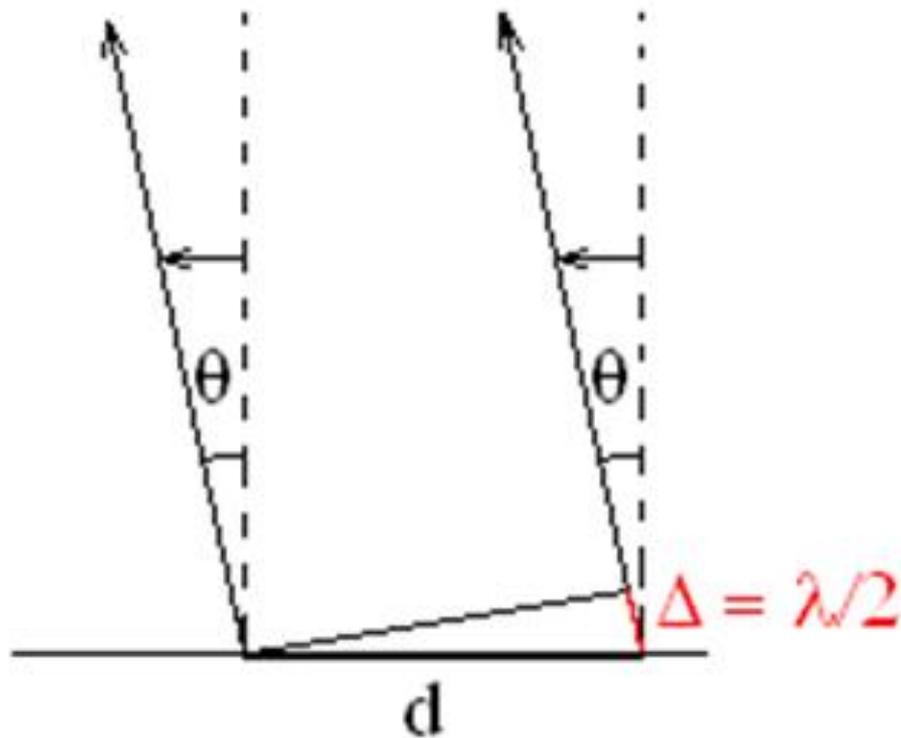
Quando l'atomo si eccita (a), per esempio per avere assorbito energia di un fotone, gli spin diventano paralleli. La situazione, però, non è stabile e l'atomo tende a ritornare allo stato fondamentale (b) emettendo un fotone di energia ben definita (riga di 21 cm)

La transizione da spin paralleli ad anti-paralleli causa l'emissione di fotoni alla lunghezza d'onda di 21 cm. Questo avviene per ogni atomo mediamente ogni 10^7 anni e, nello spazio interstellare, c'è solo circa un atomo di idrogeno per centimetro cubo, per cui sembra impossibile poter osservare questa emissione..... Essendo però il numero di centimetri cubi dello spazio interstellare estremamente grande, la riga di emissione di 21 cm è facilmente osservabile tramite i radiotelescopi.

Tramite la riga a 21 cm fu possibile nel 1952 tracciare le prime mappe della distribuzione dell'idrogeno neutro nella Galassia, rivelando per la prima volta la struttura a spirale della Via Lattea. Anche la curva di rotazione della galassia fu determinata tramite la riga a 21 cm dell'idrogeno neutro (effetto doppler)

INTERFEROMETRO



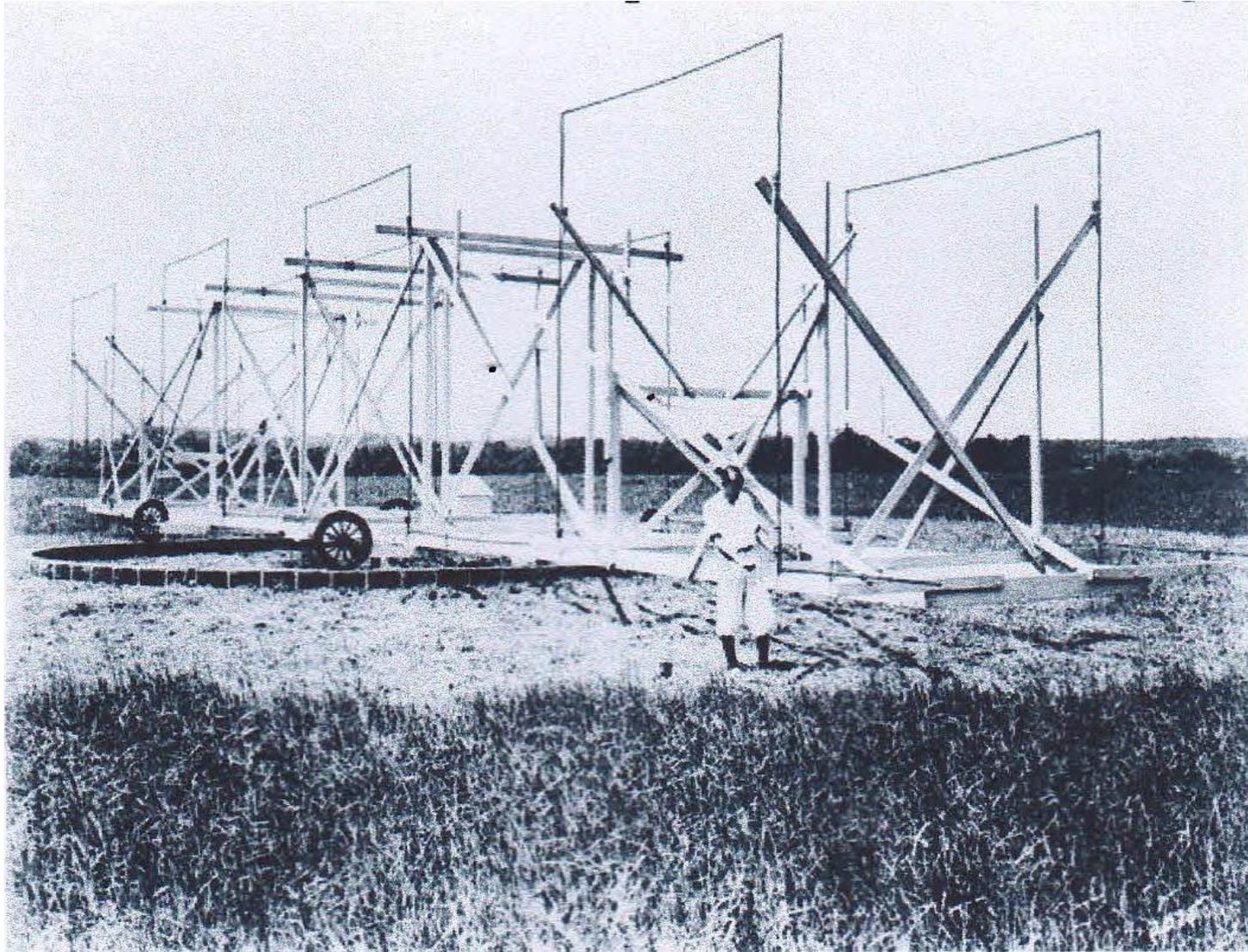


$$d \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

coppia di antenne
a distanza d

Condizioni per
primo nullo.

La "giostra di Jansky" . Quest'antenna, larga 14,6 metri, montata su una piattaforma girevole, poteva ruotare, come una giostra, in qualunque direzione (NRAO National Radio Astronomy Observatory)



Nonostante la semplicità degli apparati riceventi dell'epoca, Jansky riuscì a rivelare le emissioni del Centro Galattico ottimizzando il sistema ricevente (usando un lungo tempo di integrazione, di circa 13 s), ma anche con una buona dose di fortuna.....

1) Jansky usò la frequenza di 20.5 MHz, ma proprio a questa frequenza l'emissione del Centro Galattico è massima.

2) La temperatura del Centro Galattico, a 20 MHz, è molto alta (circa 100.000 K), ma non molto superiore alla temperatura di rumore del suo apparato.

3) Negli anni 1932-35 l'attività solare era ad un minimo rendendo trasparente la ionosfera terrestre alla frequenza di 20 MHz; nei massimi di attività solare, infatti, le onde corte sarebbero state riflesse all'esterno ed il rumore galattico non si sarebbe potuto ascoltare sulla Terra.



**Radiotelescopio di Reber,
Wheaton, IL (U.S.A.)
(NRAO)**

La storia dell'astronomia è fortemente legata alla storia della radio e dei radioamatori.

Quando, nel 1936, il radioamatore americano Grote Reber, W9GFZ contattò radioamatori di tutto il mondo e ottenne il diploma WAC (Worked All Continents) disse che ormai "non c'era più niente da conquistare".

Ma solo poco dopo, letto gli articoli di Jansky, trovò subito l'occasione di una nuova sfida: ascoltare le emissioni radio provenienti dal Cosmo!

Cominciò con il costruire nel suo giardino un paraboloide di 9.5 m di diametro (il primo usato per ricerche di radioastronomia).

Nel 1940 pubblicò la prima mappa radio della Via Lattea

Riga di 21 cm (1420.405 MHz) dell'idrogeno



Antenna a tromba usata da H.I.Ewen e E.M.Purcell nella prima rivelazione della riga di 21 cm dell'idrogeno neutro nella Via Lattea (1951), ora al National Radio Astronomy Observatory, Green Bank, WV (U.S.A.).

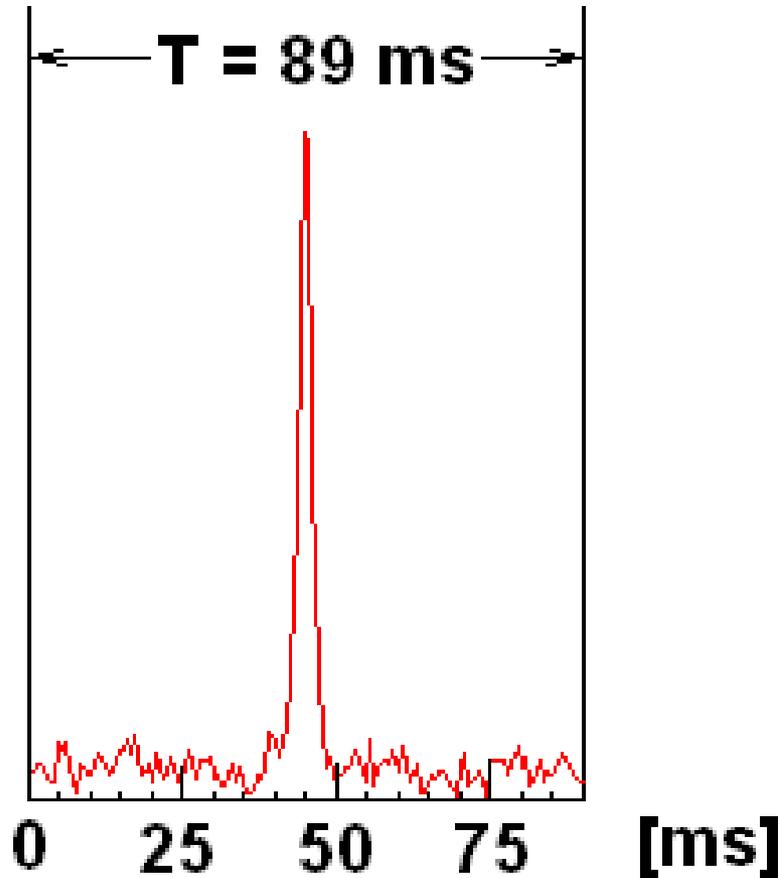
PULSAR

Radio osservazione a 400 MHz

PULSAR	Periodo [s]	Durata impulso [ms]	Flusso medio [Jy]	Flusso di picco [Jy]
PSR 0833 -45	0.089	1.7	4.5	235
PSR 0329+54	0.714	8.7	1.7	138
PSR 1749 -28	0.562	6	0.9	83
CP 1919	1.337	25	0.1	6

VELA PULSAR

PSR 0833 -45



L'ascolto delle pulsar richiede ricevitori a banda relativamente stretta e antenne di alto guadagno. Il flusso, in Jansky, è molto basso!

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2 \text{ Hz}$$

Esempio:

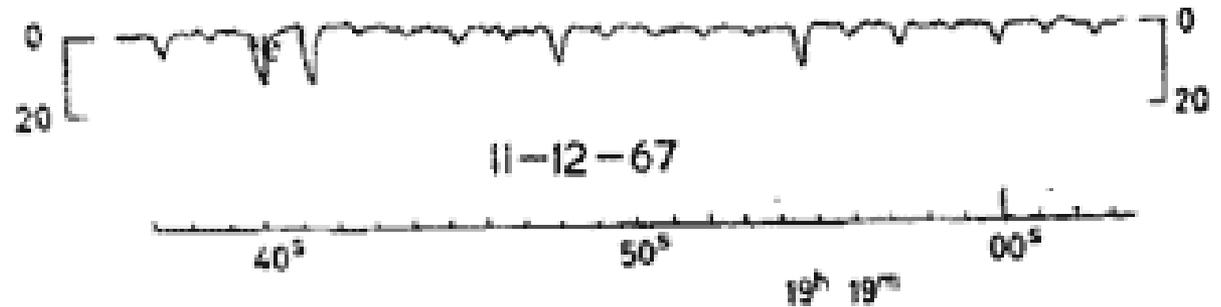
se il flusso è di 1 Jy, con antenna di area 1 m^2 e $\text{BW} = 10 \text{ MHz}$, la potenza ricevuta è 10^{-19} W

Anche la scoperta delle pulsar è stata benedetta dalla fortuna.....

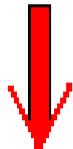
La prima pulsar venne scoperta quasi per caso nel 1967 da Antony Hewish e Jocelyn Bell. Jocelyn Bell, non aveva inserito il condensatore del circuito RC che , normalmente, integra il segnale ricevuto con costanti di tempo dell'ordine di decine di secondi, e..... i due astronomi poterono osservare una serie di impulsi radio che si ripetevano con un periodo di 1,33 s.. ..

Una pulsar (abbreviazione di "pulsating star") è una stella di neutroni che si comporta come una sorgente di impulsi radio (nell'ottico, nell'ultravioletto e nella regione dei raggi X). Le pulsar eseguono un movimento di rotazione intorno al proprio asse, ad una velocità molto elevata (se non fosse una stella di neutroni si disintegrerebbe a causa della enorme forza centrifuga).

E' presente un fortissimo campo magnetico, ma con asse diverso dall'asse di rotazione. L'emissione radio avviene lungo l'asse magnetico che non coincide, però, con l'asse di rotazione della stella. La pulsar diviene un faro che illumina ad ogni passaggio una particolare direzione.



Prima registrazione di pulsar.
 $f=81.5$ MHz, $BW = 1$ MHz , $\tau = 0.1$ s ,
Array 2048 dipoli full-wave
Fondo scala: $20 \cdot 10^{-26}$ W/ m² Hz

 **Nobel
Prize**

 **Jocelyn Bell**

A.Hewish, S.J.Bell, J.D.H.Pilkington, P.F.Scott, R.A.Collins, *Observation of Rapidly Pulsating Radio Source* – Naturem Volume 217, Issue 5139, 709-713 (1968)

Unusual signals from pulsating radio sources have been recorded at the Mullard Radio Astronomy Observatory. The radiation seems to come from local objects within the galaxy, and may be associated with oscillations of white dwarf or neutron stars.

MISURARE LA TEMPERATURA DI ZONE DI CIELO

Prima di effettuare misure, occorre conoscere molto bene le caratteristiche del ricevitore e del sistema di ricezione.

La potenza (di rumore) in uscita dal ricevitore è:

$$P_R = G k (T_A + T_R) \Delta B$$

dove:

G = guadagno del ricevitore (in potenza)

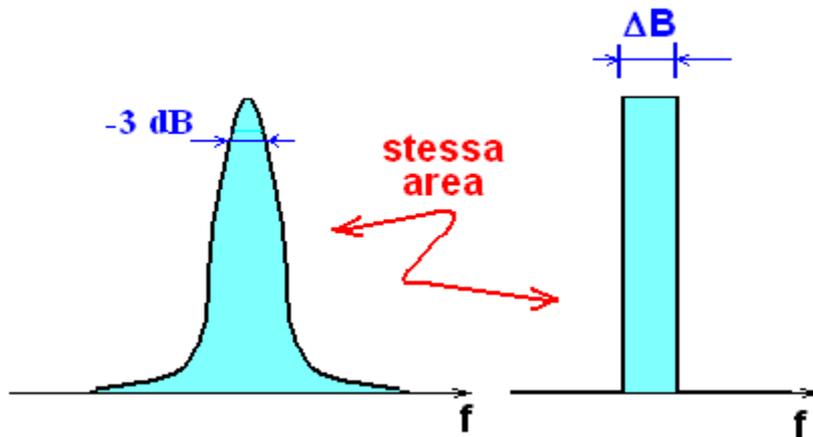
k = costante di Boltzmann $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K

T_A = temperatura d'antenna [K]

T_R = temperatura di rumore del ricevitore [K]

ΔB = banda passante equivalente di rumore [Hz]

La banda passante equivalente di rumore, ΔB , è calcolabile conoscendo la risposta al segnale del canale di media frequenza del ricevitore.



Col metodo delle due temperature si può conoscere T_R .
 Occorre sostituire l'antenna con una resistenza R (50Ω) ed effettuare due misure con la resistenza R posta a due temperature diverse e note..

$$\begin{cases} P_{R1} = G k (T_{A1} + T_R) \Delta B \\ P_{R2} = G k (T_{A2} + T_R) \Delta B \end{cases}$$



Si trovano T_R e G

