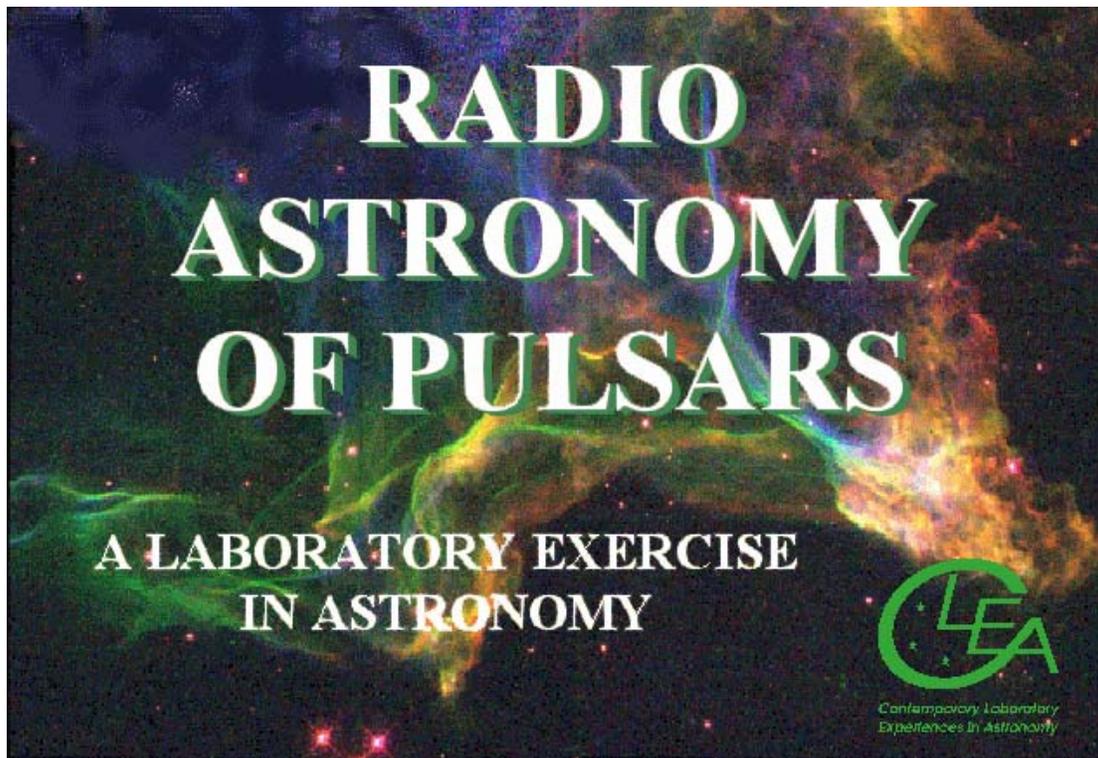


Radio Astronomy of Pulsars

Manuale dell'utente

Un manuale che accompagna il software con
l'esercitazione introduttiva del laboratorio di astronomia



Department of Physics
Gettysburg College
Gettysburg, PA

Telephone: (717) 337-6019
Email: clea@gettysburg.edu

Versione Italiana
Mario Sandri
Email: mario.sandri@katamail.com

Italian Amateur Radio Astronomy group
Gruppo Ricerca Radioastronomia Amatoriale Trentino
Sezione di Ricerca RadioAstronomia UAI



*Contemporary Laboratory
Experiences in Astronomy*

Indice

| | |
|--|-----------|
| Obiettivi..... | 3 |
| Background: Stelle di neutroni e pulsar..... | 4 |
| Avviare il programma..... | 7 |
| Procedura..... | 7 |
| Parte 1: Il Radiotelescopio..... | 8 |
| Parte 2: Osservazione di un pulsar con un ricevitore a singolo canale..... | 9 |
| Parte 3: I periodi di differenti pulsar..... | 12 |
| Parte 4: Misura della distanza della pulsar usando la dispersione..... | 13 |
| A. Metodo..... | 13 |
| B. Un esempio dal mondo quotidiano..... | 14 |
| C. La formula della dispersione del mezzo interstellare..... | 16 |
| D. Misurazione delle distanze delle Pulsar..... | 17 |
| E. Misurazione dei tempi di arrivo degli impulsi..... | 18 |
| Parte 5: Determinare la distanza della pulsar 2154+40 applicando le tecniche appena imparate..... | 20 |
| Esercitazioni supplementari..... | 21 |
| 1. La distanza di pulsar di breve periodo..... | 21 |
| 2. Misurazione della larghezza del fascio del radiotelescopio..... | 21 |
| 3. Misurazione del rallentamento di una pulsar..... | 21 |
| 4. Ricerca di pulsar..... | 22 |

Obiettivi

Capire:

- il funzionamento di un radiotelescopio e riconoscere somiglianze e differenze rispetto ad un telescopio ottico;
- come gli astronomi, per mezzo dei radiotelescopi, riconoscono le proprietà caratteristiche delle pulsar;
- il significato di dispersione interstellare e come esso ci permette di misurare le distanze delle pulsar.

Imparare a:

- utilizzare un simulatore di radiotelescopio dotato di una apparato ricevente multicanale;
- far funzionare i comandi del ricevitore per ottenere la migliore ricezione dei segnali della pulsar;
- registrare i dati acquisiti;
- analizzare i dati per determinare le proprietà delle pulsar quali il periodo, la potenza del segnale alle differenti frequenze, i tempi di arrivo dell'impulso, la potenza relativa dei segnali.
- capire come le differenze nei tempi di arrivo degli impulsi radio alle differenti frequenze permettano di calcolare la distanza della pulsar.

Si dovrebbe poter:

- capire il funzionamento e le caratteristiche di base di un radiotelescopio ;
- confrontare i differenti periodi delle pulsar e capire il range dei periodi delle pulsar;
- capire come la potenza del segnale dipende dalla frequenza;
- determinare la distanza di parecchie pulsar.

Termini utili

| | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Nebulosa del Granchio | mezzo interstellare | pulsar | frequenza |
| Declinazione | data Giuliana | radiotelescopio | parsec |
| dispersione | campo magnetico | onde radio | periodo |
| spettro elettromagnetico | stella di neutrone | risoluzione | velocità della luce |
| radiazione elettromagnetica | Tempo universale (UT) | giusta ascensione | |

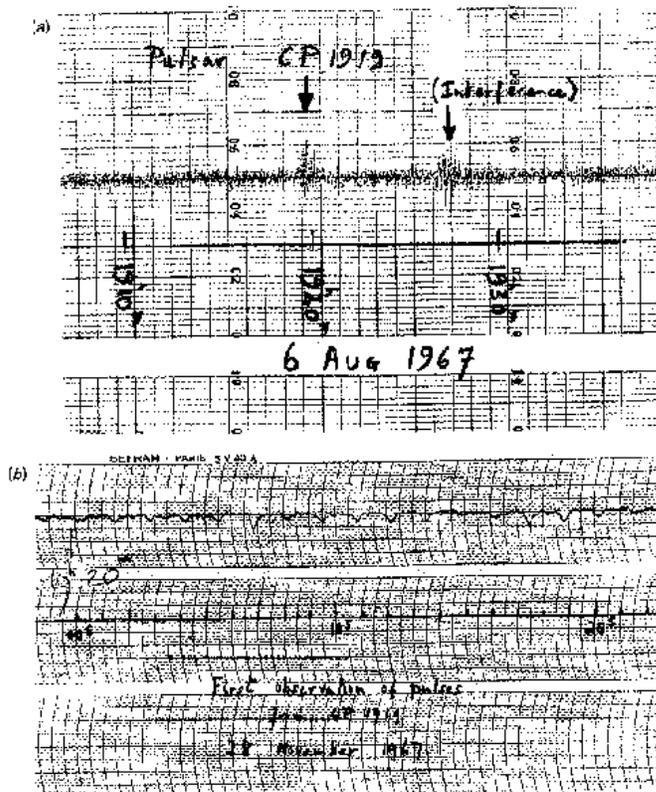
Background: Stelle di neutroni e pulsar

Gli astronomi credono che molte delle stelle più massive concludano la loro vita come stelle di neutroni. Questi sono oggetti bizzarri e sono così compresse che sono fatte interamente di neutroni, con così poco spazio fra loro che una stella che contiene la massa del nostro Sole occupa una sfera non più grande di circa 10 chilometri di diametro, approssimativamente le dimensioni dell'isola di Manhattan. Tali oggetti sembrerebbero molto difficili da rilevare. Le loro superfici sarebbero di parecchi miliardi di volte più piccole del Sole ed emetterebbero così poca energia (a meno che fossero incredibilmente calde) che non potrebbero essere viste a distanze interstellari.

Gli astronomi, quindi, sono stati sorpresi nello scoprire brevi, regolari aumenti di radiazione nella banda radio che provengono da stelle di neutroni - in effetti è occorso un certo tempo prima che realizzassero che cosa stavano vedendo. Gli oggetti che hanno scoperto sono stati denominati pulsar, che è l'abbreviazione per "sorgenti radio pulsanti".

La scoperta delle pulsar è stata fatta abbastanza casualmente. Nel 1967, Jocelyn Bell, che lavorava per il suo dottorato sotto la supervisione di Anthony Hewish a Cambridge, in Inghilterra, stava eseguendo un'indagine del cielo con un nuovo radiotelescopio che era stato destinato specificamente per cercare veloci variazioni nella potenza dei segnali ricevuti da oggetti distanti. I segnali di questi oggetti variavano velocemente ed in modo casuale a causa dei movimenti casuali nel gas interstellare, come le stelle scintillano a caso a causa dei movimenti dell'aria nell'atmosfera della terra.

Bell si sorprese, una sera di novembre del 1967, di scoprire un segnale che variava regolarmente e sistematicamente, non in un modo casuale. Assomigliava ad una serie infinita di brevi impulsi delle onde radio, spaziatosi uniformemente e precisamente di 1.33720113 secondi (si veda la figura sottostante, che mostra la tabella su cui Bell ha scoperto gli impulsi). Gli impulsi erano così regolari e così diversi dai segnali



naturali, che, per un istante, Bell e Hewish pensavano di aver trovato una fonte artificiale di radiazione - come un radar o un elettrodomestico - che stava producendo l'interferenza. Presto risultò evidente che gli impulsi regolari si erano mossi attraverso il cielo come le stelle e dunque dovevano provenire dallo spazio. Persino gli astronomi hanno immaginato che i segnali stavano venendo "dagli omini verdi" che stavano trasmettendo alla Terra. Ma quando si scoprirono tre sorgenti con differenti periodi (tutte intorno ad un secondo di durata) e potenze del segnale in differenti parti del cielo, è risultato evidente che queste "pulsar" erano un fenomeno naturale. Quando Bell e Hewish, ed i loro collaboratori, hanno pubblicato la loro scoperta, nel mese di febbraio del 1968, hanno suggerito che gli impulsi provenivano da un oggetto molto piccolo - quale una stella di neutroni - perché soltanto un oggetto così piccolo potrebbe variare la sua struttura o il suo orientamento in pochi secondi.

Soltanto circa sei mesi dopo la loro scoperta, i teorici hanno fornito una spiegazione per tali impulsi sconosciuti: effettivamente stavano osservando l'intenso campo magnetico di una stella di neutroni che ruotava velocemente. Tommy Gold

dell'università di Cornell fu il primo a stabilire questa idea e, benché molti particolari siano stati compresi nel corso degli anni, l'idea di base rimane la stessa.

Resta da capire perché le stelle di neutroni ruotino così velocemente partendo da una stella progenitrice anch'essa che ruota. Quando una stella si contrae, come un pattinatore che raggruppa le braccia verso il corpo, la stella ruota più velocemente (secondo un principio denominato Principio di conservazione del momento angolare). Poiché le stelle di neutroni sono circa 100.000 volte più piccole del normale, dovrebbero ruotare 100.000 volte più velocemente di una stella normale. Il nostro Sole ruota una volta ogni 30 giorni, così potremmo aspettarci che una stella di neutroni ruoti circa una volta al secondo. Una stella di neutroni dovrebbe anche avere un campo magnetico molto forte, superiore in potenza di parecchie decine di miliardi rispetto ad una stella normale - perché la superficie ristretta della stella concentra il campo. Il campo magnetico, in un pulsar, è inclinato di un angolo rispetto all'asse di rotazione della stella (si vedano le figure 2a e 2b).

Ora, secondo questo modello, la veloce rotazione e il campo altamente magnetico intrappolano gli elettroni e li accelerano ad alte velocità. Gli elettroni relativistici emettono forti onde radio che sono irradiate come un faro in due sensi, allineati rispetto all'asse del campo magnetico della stella di neutroni. Mentre la stella ruota, anche i fasci ruotano ed ogni volta che uno dei fasci attraversa la nostra linea di vista (essenzialmente una volta per rotazione della stella), vediamo un impulso delle onde radio, come succede ad un marinaio quando vede un impulso di luce dal falò di rotazione di un faro.

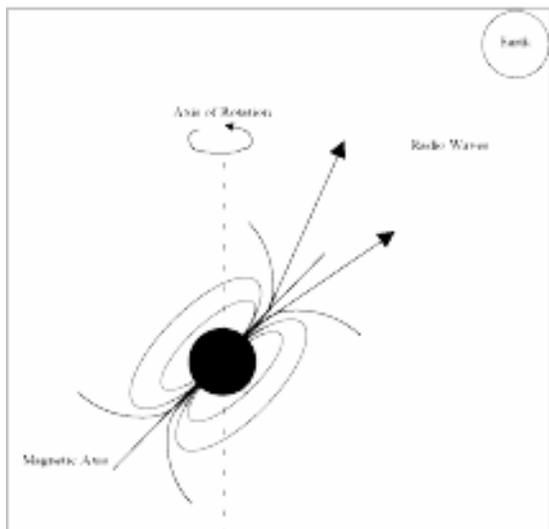


Figura 2a. L'impulso è "acceso". La Terra riceve le onde radio.

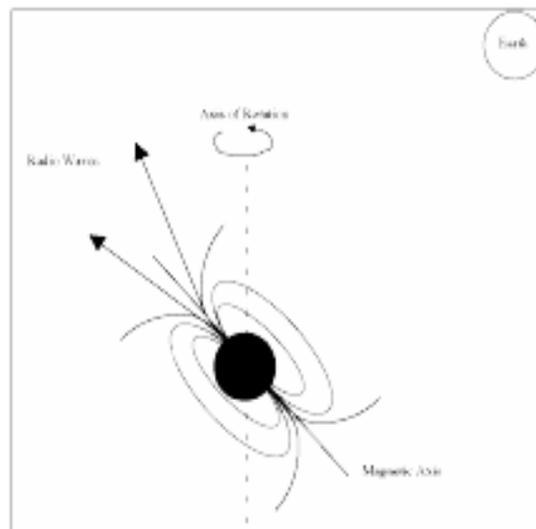


Figura 2b. L'impulso è "spento". La Terra non riceve le onde radio.

Oggi oltre mille pulsar sono state scoperte e conosciamo molto più di loro rispetto al 1967. Le pulsar sembrano essere concentrate verso il piano della Galassia e si trovano a distanze superiori a mille parsec. Questo è ciò che si prevede come prodotti finali dello sviluppo di stelle massive, poiché le stelle massive sono formate preferenzialmente nei bracci a spirale che si trovano nel piano della nostra galassia. Tranne alcune pulsar molto veloci dell'ordine dei "millisecondi", i periodi delle pulsar variano da circa 1/30 di un secondo a parecchi secondi. I periodi della maggior parte delle pulsar aumentano ogni anno - una conseguenza del fatto che mentre irradiano, perdono energia di rotazione. A causa di ciò, si prevede che un pulsar rallenti e invecchiando risulti invisibile in circa un milione di anni dopo la sua formazione. Le pulsar più veloci sono così le pulsar più giovani (tranne le pulsar "millisecondo", un tipo separato di pulsar, che sembrano rivitalizzarsi grazie alle interazioni con un compagno vicino).



Figura 3. Tipico segnale di una pulsar.

Ad un osservatore, una pulsar compare come segnale in un radiotelescopio ; il segnale può essere monitorato attraverso una vasta gamma di frequenze (in questa esercitazione, si può sintonizzare il ricevitore da 400 a 1400 MHz). Il segnale è caratterizzato da burst corti di energia separati da lacune regolari. (Si veda Figura 3). Il periodo di rotazione di una pulsar è indipendente dalla frequenza in cui si va ad indagare la stella, in quanto il periodo di rotazione di una stella di neutroni è uno soltanto. Ma, come si vedrà in questo laboratorio, il segnale sembra più debole alle frequenze più alte. Gli impulsi inoltre arrivano prima alle frequenze più alte, dovute al fatto che le onde radio di frequenza più alta viaggiano più velocemente attraverso il mezzo interstellare, un fenomeno denominato dispersione interstellare. Il fenomeno di dispersione, come descritto successivamente nel testo di questa esercitazione, permette di determinare la distanza delle pulsar.

In questo laboratorio, si imparerà come far funzionare un semplice radiotelescopio e lo si userà per studiare i periodi, la potenza del segnale e le distanze di parecchie pulsar.

Avviare il programma

Il computer dovrebbe essere acceso e Windows funzionante. Dovrete trovare sulla barra dei menù **CLEA Exercises** e selezionare **Pulsar Lab**.

1. Posizionare il mouse sopra l'icona del programma e doppio click per iniziare il programma.
 - Quando il programma parte, il marchio di CLEA dovrebbe comparire in una finestra sullo schermo.
2. Selezionare **File** sulla barra dei menu e successivamente **Login**.
 - Riempire il form che compare con il nome, quello dei compagni di gruppo e del numero del tavolo. Questi due ultimi se necessario. Non usare i segni di interpunzione.
3. Quando tutte le informazioni sono state inserite, premete **OK** per continuare e **Yes** una volta chiesto se avete finito. Lo schermo di apertura *Radio Astronomy of Pulsars* comparirà.

Procedura

Il laboratorio si articola nelle seguenti parti:

1. Familiarizzazione col radiotelescopio;
2. Osservazione di un pulsar con un apparecchio radoricevente ad un solo canale per imparare il funzionamento del ricevitore e le caratteristiche dei segnali radio emessi da un pulsar alle varie regolazioni del ricevitore;
3. Determinazione dei periodi di parecchie pulsar;
4. La misura della distanza di una pulsar usando il ritardo nei tempi di arrivo degli impulsi alle differenti frequenze dovuto a dispersione interstellare;
5. Determinare la distanza di un pulsar usando le tecniche appena imparate.

Parte 1: Il Radiotelescopio

1. Clicca su **File** sulla barra dei menu, seleziona **Run** ed poi **Radiotelescopio**.
 - La finestra dovrebbe ora mostrarvi il pannello di controllo del radiotelescopio di CLEA. Lo schermo al centro mostra il radiotelescopio in se, un grande piatto orientabile, che funge da antenna per raccogliere le onde radio e per trasmetterle al ricevitore.
 - Il tempo universale (UT) ed il tempo siderale locale per la posizione sono indicati nei grandi display numerici a sinistra (si veda Figura 4).
 - Le coordinate in cui osserva il radiotelescopio sono l'ascensione retta (RA) e la declinazione (DEC) e sono indicate nei grandi display nella parte inferiore (si veda Figura 4).
2. Appena sotto ed alla destra di questi display vi è un tasto identificato con **View** (si veda Figura 4). Cliccando sopra tale tasto lo schermo nel centro vi mostrerà un'immagine del cielo, con le linee indicanti le coordinate.
 - Un quadrato giallo vi mostra dove il radiotelescopio è indirizzato.
3. Potete direzionare il radiotelescopio nel cielo utilizzando i tasti **N-E-S-W** sulla parte sinistra della finestra. Provare e guardare il movimento del quadrato, indicante che il radiotelescopio si sta muovendo.
 - Le coordinate inoltre si muoveranno.
 - Potete cambiare la velocità del radiotelescopio utilizzando il tasto in basso a sinistra. Provare a regolarlo a 100 e vedere quanto più velocemente si può spostare il radiotelescopio .
4. Si può spostare il radiotelescopio in altri due modi:
 - selezionando il pulsante **Set Coordinates** e dando direttamente le coordinate dell'oggetto desiderato;
 - selezionando **Hot List** sulla barra dei menu. Si utilizzerà **Hot List** in questa esercitazione, perché è molto conveniente.
5. Il radiotelescopio ha un motore d'inseguimento destinato per mantenerlo puntato sulla stessa zona di cielo. Ora il motore è disinserito e, anche se non state spostando il radiotelescopio con i tasti di **N-E-S-W**, si vede la posizione di ascensione retta cambiare, perché la rotazione della terra sta inducendo il radiotelescopio a spazzare il cielo. Si deve accendere il motore d'inseguimento per rimediare a questo. Appena sotto i tempi sulla sinistra dello schermo c'è un tasto identificato con **Tracking**. Se lo si seleziona, si vedrà la parola **On** comparire vicino al tasto e noterete che la posizione di ascensione retta smette di cambiare. Il radiotelescopio ora inseguirà ogni oggetto selezionato.
6. Ora è possibile ricevere il segnale di una pulsar.

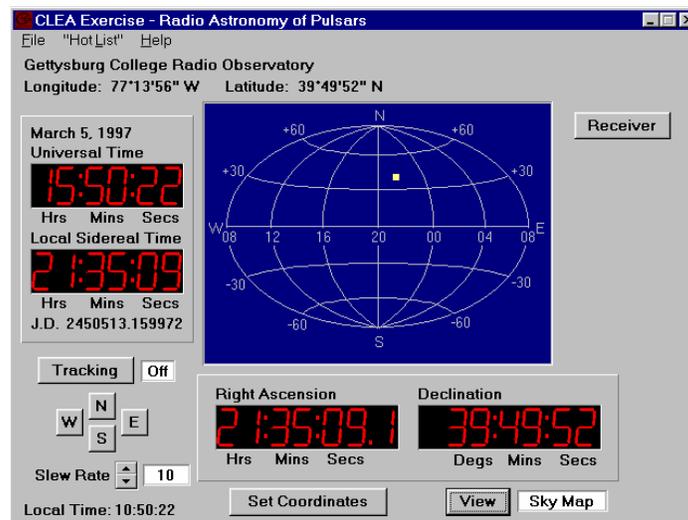


Figura 4. Il pannello di comando

Parte 2: Osservazione di un pulsar con un ricevitore a singolo canale

Si cominci familiarizzando con il ricevitore e con le proprietà generali delle pulsar. In questa parte dell'esercitazione si punterà il radiotelescopio su una pulsar moderatamente forte e, usando un radiorecettore con un dispositivo grafico, si guarderà il segnale radio pulsante e si dedurrà una certa idea delle relative generali caratteristiche. Le onde radio che riceviamo dalla pulsar sono caratterizzate dagli impulsi stretti di breve durata, dal loro periodo di ripetizione, con i periodi corti quanto alcuni millisecondi fino a parecchi secondi. La potenza dei singoli impulsi varia un po', in modo casuale, ma la potenza dei segnali dipende maggiormente dalla frequenza a cui si osserva. L'apparecchio radiorecettore può essere sintonizzato a qualsiasi frequenza fra 400 e 1400 MHz (megahertz) ed si utilizzerà questa caratteristica per vedere, qualitativamente, come la potenza del segnale della pulsar cambia con frequenza.

1. Puntiamo il radiotelescopio sulla pulsar **0628-28**. Per spostare il radiotelescopio verso le coordinate adeguate, useremo la **Hot List**. **Hot List** è situata sulla barra dei menu. Si selezioni e si scelga **View/Select from List**. Si selezioni la pulsar desiderata, **0628-08** (il nome è nella colonna di estrema sinistra) e selezionare il tasto **OK**.
 - Dopo avere chiesto la verifica, il radiotelescopio comincerà a muoversi. Vedrete il quadrato sul cielo spostarsi e le posizioni delle coordinate cambiare, fino a che il radiotelescopio non indichi all'oggetto.
 - Annotare, nello spazio fornito, l'ascensione retta e declinazione che sta indicando a:

RA _____ DEC _____

2. Ora che l'antenna è posizionata, si accenda l'apparecchio radiorecettore. Selezionare il pulsante **Receiver** nella parte destra in alto della finestra di controllo del radiotelescopio.
 - Si aprirà una finestra rettangolare che presenta i comandi per il ricevitore a destra e un dispositivo grafico della potenza del segnale in funzione del tempo a sinistra (Si veda Figura 5).
 - La frequenza è visualizzata nella parte in alto e può essere regolata. Attualmente è regolata a 600 MHz e non vanno modificati (per ora). Ci sono tasti vicini per sintonizzare il ricevitore a frequenze differenti. La sintonizzazione fine può essere compiuta cambiando **Freq.Incr.** (incremento di frequenza), tasto alla destra del tasto di sintonia principale. Ci sono inoltre tasti per controllare la scala orizzontale e verticale del dispositivo grafico.

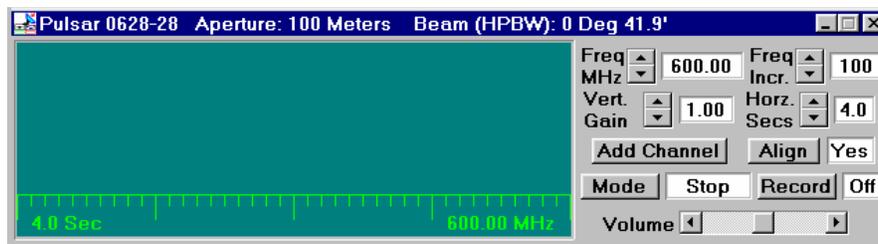


Figura 5. Finestra principale del ricevitore

3. Osserviamo a che cosa il segnale della pulsar assomiglia. Selezionare il tasto **Mode** per accendere il ricevitore. Si vedrà un grafico cominciare a sinistra dello schermo, rappresentante la potenza del segnale in funzione del tempo. Assomiglia a del rumore dove ogni tanto appaiono dei salti (se il computer è dotato di scheda sonora, si può anche sentire come il suono del segnale). Si osservi con quanta regolarità si ripete il segnale.
4. Si selezioni nuovamente **Mode** per spegnere il ricevitore. Si osservi che completa un'esplorazione completa dello schermo prima di arrestarsi.
5. Vediamo a che cosa servono gli altri comandi. Si accenda ancora la ricevente. Ora si osservi come la traccia cambia se si modifica **Vertical Gain**. Questo si comporta come il volume su una radio, tranne che esso controlla soltanto il dispositivo grafico.

- Quando il guadagno è alto (si può selezionarlo fino ad un massimo di 8), la traccia grafica è più grande, sia il background che il segnale della pulsar è ingrandito.
 - Quando il guadagno è basso (si può selezionarlo fino ad un minimo di 0.25) si può vedere a mala pena la pulsar. Si troverà come la regolazione migliore è una dove gli impulsi sono alti, ma non esce dal riquadro.
 - Si annoti il guadagno migliore: _____. La regolazione varierà da pulsar a pulsar ed inoltre dipende da come avete regolato il controllo **Horz. Secs.** (dovrebbe essere regolata a 4, ora).
6. Si provi a cambiare la scala orizzontale (**Horz. Secs.**). Si può regolare questo controllo solo quando la ricevente è spenta. Si provi a selezionare tale parametro su 2. Si accenda nuovamente il ricevitore.
 - Si vede la traccia muoversi attraverso lo schermo più velocemente.
 - Si può anche notare che il segnale sembra più debole, perché la vostra ricevente sta spendendo meno tempo per raccogliere le onde radio prima che le visualizzi sullo schermo (gli astronomi direbbero che “il tempo di integrazione” è più corto).
 7. Si provi a impostare **Horz. Secs.** a 0.5 secondi. Gli impulsi sono difficili da distinguere e si deve aumentare il guadagno verticale per osservarli meglio.
 8. Si provi a impostare **Horz. Secs.** a 16 secondi. La traccia fuoriesce dallo schermo perché il ricevitore sta raccogliendo maggior segnale in maniera più lenta, ed i segnali sembrano più forti. Bisogna regolare il guadagno verticale per poterli osservare meglio.
 9. Ora si misuri il periodo della pulsar. Si regoli il guadagno verticale a 4 e quello orizzontali a 4 secondi e ci si assicuri che la frequenza della ricevente è di 600 MHz. Si accenda il ricevitore. La si lasci funzionare per alcuni secondi per osservare gli impulsi, quindi spegnerla. Quando la traccia smette di muoversi, si può misurare il tempo fra gli impulsi sullo schermo.
 - Il programma ha cursori di misurazione per aiutare nel fare questa operazione. Cliccando col pulsante sinistro del mouse sullo schermo appare una linea blu verticale che si può spostare col medesimo tasto. La si posizioni nel mezzo di uno degli impulsi vicino alla parte sinistra dello schermo. Si notino i numeri blu sullo schermo che dicono il tempo in secondi a cui l'impulso è arrivato.
 - Si desideri misurare l'ora d'arrivo dell'impulso seguente (il tempo aumenta verso destra) - in modo da poter evidenziare un'altra linea, bianca, che comparirà cliccando con il tasto destro del mouse. Lo si posizioni sopra l'impulso seguente. Si può leggere questa volta dei numeri sullo schermo. Ora si registri l'ora d'arrivo di entrambi gli impulsi sulla tabella qui sotto. La differenza fra questi è il periodo della pulsar!

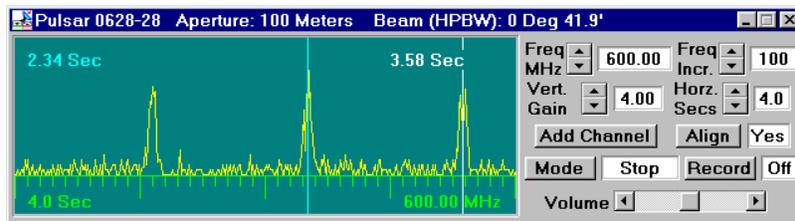


Figura 6. Finestra principale del ricevitore

- Periodo del primo impulso (T_1) _____
- Periodo dell'impulso seguente (T_2) _____
- Periodo della pulsar ($T_2 - T_1$) _____

10. Un modo più preciso di misurare il periodo è quello di misurare il tempo trascorso fra parecchi impulsi ed successivamente si divide per il numero di periodi che sono trascorsi.

- Regolare il controllo orizzontale a 16 secondi, abbassare il guadagno verticale di una tacca o due ed accendere il ricevitore. Si misuri il tempo che occorre per 10 periodi ed si usi questo per calcolare il periodo della pulsar. Si osservi se questo fornisce lo stesso valore. Si registrino le misure qui sotto.

- Periodo del primo impulso (T_0) _____
- Periodo dell'undicesimo impulso (T_{10}) _____
- Periodo della pulsar $(T_{10} - T_0)/10$ _____

11. Ora si osservi il rapporto fra il periodo della pulsar e la frequenza. Si può sintonizzare il ricevitore a differenti frequenze e, usando il metodo più conveniente, misurare il periodo alle differenti frequenze. Poiché la potenza del segnale cambia con la frequenza, si deve registrare il guadagno verticale o quello orizzontale per vedere chiaramente gli impulsi ad ogni frequenza.

Si riempia la seguente tabella:

| Frequenza | Periodo primo impulso | Periodo ultimo impulso | Numero di periodi | Periodo della pulsar |
|-----------|-----------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| 400 MHz | | | | |
| 600 MHz | | | | |
| 800 MHz | | | | |
| 1000 MHz | | | | |
| 1200 MHz | | | | |
| 1400 MHz | | | | |

12. Da ciò che è stato misurato si discuta brevemente di come il periodo del pulsar dipende dalla frequenza:

13. Come la potenza del segnale della pulsar dipende dalla frequenza? Per vedere come cambia in un modo più sistematico, si lasci i comandi regolati su un certo valore - per esempio, 4 per il guadagno verticale e 4 secondi per quello orizzontale. Allora si osservi il segnale alle varie frequenze da 1400 megahertz fino a 400 megahertz. Si risponda alle seguenti domande.

- Il segnale del pulsar è più forte alle frequenze più _____ (alte/basse).
- Se si cercano delle pulsar nel cielo, o si desidera misurare il periodo di un pulsar che non si è mai studiata prima, la frequenza migliore per sintonizzare il ricevitore sarebbe _____ MHz.
- Il motivo per questa scelta è:

14. Si può ora uscire dal ricevitore per poter andare ad indagare molte altre pulsar

Parte 3: I periodi di differenti pulsar

Ora si osserveranno i periodi di differenti pulsar. Il breve periodo della pulsar appena misurato è notevole, considerando che è il tempo che la stella impiega per ruotare su se stessa una volta. Si immagini un oggetto massivo quanto il Sole che ruota una volta al secondo! Gli impulsi di ogni pulsar sono distintivi, sia nel periodo che nella potenza.

1. Essendo in grado di posizionare il radiotelescopio sugli oggetti della Hot List, si misuri il periodo delle pulsar elencate. Inoltre si segnali la potenza del segnale. Si provi a catalogare le pulsar in funzione della potenza del segnale, con 1 il segnale più forte, con 2 il seguente, etc. Si registrino i dati nella tabella.

| Pulsar | Frequenza | Periodo primo impulso | Periodo ultimo impulso | Numero di periodi | Periodo della pulsar | Potenza relativa |
|--|------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0628-28 | | | | | | |
| 2154+40 | | | | | | |
| 0740+28 | | | | | | |
| 0531+21 (pulsar della nebulosa Granchio) | | | | | | |

2. Generalmente parlando, la rotazione di un pulsar rallenta quando questa invecchia. Sulla base delle misure, si ordino le quattro pulsar, 0628-28, 2154+40, 0740-28 e 0531+21, per l'età, dalla più giovane alla più vecchia:

Più giovane _____
2 _____
3 _____
Più vecchia _____

Parte 4: Misura della distanza della pulsar usando la dispersione

A. Metodo

La maggior parte delle pulsar non possono essere viste con i telescopi ottici, cosicché non è possibile usare le loro dimensioni assolute per determinare la distanza. Come è possibile allora determinare la loro distanza? Un metodo efficace utilizza il fenomeno della dispersione. Tutte le forme di radiazione elettromagnetica, comprese le onde radio, viaggiano alla stessa velocità nel vuoto. Questa è la velocità della luce

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Tuttavia, lo spazio interstellare non è abbastanza vuoto. In media il mezzo interstellare consiste di alcuni atomi e di alcuni elettroni liberi in ogni centimetro cubo. Non è molto, ma è abbastanza per rallentare un po' le onde elettromagnetiche. Più bassa è la frequenza, più lentamente la radiazione viaggia. Ciò significa che, benché l'effetto sia piccolo, gli impulsi di una pulsar arrivano una frazione di secondo prima alle più alte frequenze che alle frequenze più basse, perché gli impulsi di più alta frequenza viaggiano più velocemente nel mezzo interstellare. Si può vedere facilmente ciò per mezzo del radiotelescopio, poiché si può ricevere simultaneamente i segnali a fino a tre lunghezze d'onda e si può confrontare i tempi di arrivo sui tre dispositivi grafici.

Misurando il tempo d'arrivo degli impulsi dalla stessa pulsar a differenti frequenze si può determinare la distanza della pulsar, conoscendo la velocità delle onde radio nel mezzo interstellare alle differenti frequenze. In effetti si conosce che la frequenza modifica la velocità della radiazione elettromagnetica e ciò lo suggerisce la teoria dell'elettromagnetismo sviluppata in 100 anni fa.

B. Un esempio dal mondo quotidiano

In un caso semplificato indipendente da fenomeni elettromagnetici, possiamo guardare i tempi di arrivo aiutino a determinare la distanza che due atleti hanno percorso facendo una corsa. Si supponga che vi siano due corridori (A e B) che stanno correndo. Il corridore A percorre i 5 chilometri in un'ora; ed il corridore B percorre i 10 chilometri in un'ora.

Non sappiamo da quanto tempo e a che distanza stanno correndo, ma conosciamo le loro velocità e che entrambi hanno iniziato a correre allo stesso tempo. È facile da osservare che la differenza nei tempi con cui attraversano la linea di arrivo dipende dalla lunghezza della corsa (Si veda Figura 7). Si supponga che il percorso è di lunghezza 10 chilometri. Il corridore A termina in due ore. Il corridore B termina in un'ora. Così c'è una differenza di 1 ora fra loro se il percorso è di lunghezza 10 chilometri. Se il percorso è di lunghezza 20 chilometri, il corridore A finisce in quattro ore ed il corridore B finisce in 2 ore, e vi è una differenza di tempo di 2 ore fra i due. Si può, in linea di principio, determinare la lunghezza del percorso dalla differenza dei tempi di arrivo.

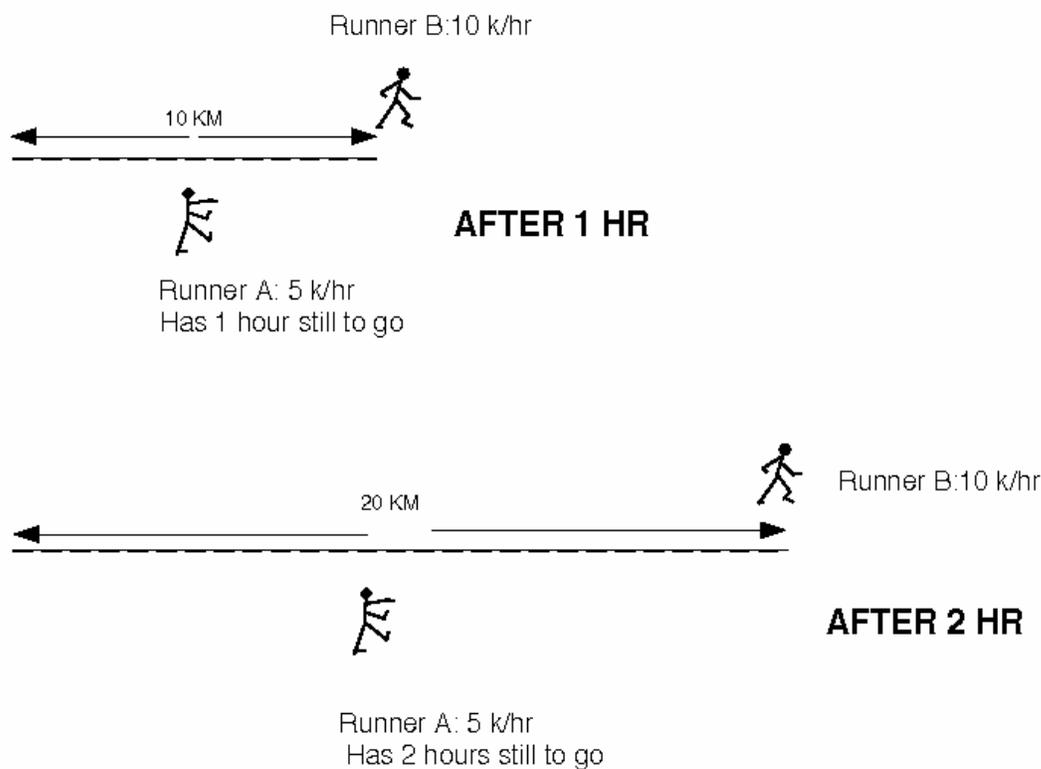


Figura 7. Illustrazione dell'esempio

Si può rappresentare matematicamente questo derivando una formula dove la durata per il corridore A per compiere il percorso è la lunghezza del percorso L divisa per la sua velocità:

$$T_A = \frac{L}{v_A}$$

Allo stesso modo, la durata per il corridore B per compiere il percorso è la lunghezza del percorso L divisa per la sua velocità:

$$T_B = \frac{L}{v_B}$$

Così la differenza nei tempi può essere descritta come

$$T_B - T_A = \frac{L}{v_B} - \frac{L}{v_A}$$

o (raccogliendo lo spazio)

$$T_B - T_A = L \left(\frac{1}{v_B} - \frac{1}{v_A} \right)$$

E risolvendo per rispetto allo spazio

$$L = \frac{T_B - T_A}{\frac{1}{v_B} - \frac{1}{v_A}}$$

Si provi l'equazione usando i seguenti valori numerici presi dal suddetto esempio:

$$v_A = 5 \text{ km/h}$$

$$v_B = 10 \text{ km/h}$$

$$T_B - T_A = 1 \text{ h} - 2 \text{ h},$$

e si vedrà si otterrà $L = 10$ chilometri per una differenza di 1 ora e la $L = 20$ chilometri per una differenza di 2 ore.

C. La formula della dispersione del mezzo interstellare

Le leggi della fisica ci permettono di calcolare la velocità della radiazione elettromagnetica nel mezzo interstellare e di derivare una formula simile a quella qui sopra esposta per la distanza percorsa in termini del ritardo nell'arrivo fra gli impulsi radio ricevuti alle differenti frequenze. Frequenze più basse viaggiano più lentamente, arrivando successivamente. In più, il numero di particelle cariche - la densità elettronica - del mezzo interstellare è causa del ritardo, aumentandolo se la densità è più alta. In generale, la velocità della radiazione elettromagnetica è proporzionale al quadrato della frequenza divisa per la densità elettronica e la teoria prevede la seguente equazione:

$$v = \frac{f^2}{4150 \cdot n_e}$$

Per gli scopi di questo laboratorio, si supponrà che la densità elettronica del mezzo interstellare sia uniforme ed abbia valore di 0.03 elettroni/cm³, un numero derivato dalle osservazioni delle pulsar alle distanze conosciute usando altri metodi. Di conseguenza,

$$v = \frac{f^2}{124.5}$$

Usando questa assunzione e osservando che T_1 è il tempo d'arrivo (in secondi) di un impulso da un pulsar a frequenza radio f_1 (in megahertz) e T_2 è il tempo d'arrivo dello stesso impulso a frequenza f_2 , allora la distanza, D , della pulsar (espressa in parsec) è data dallo stesso tipo di equazione che è stata derivata sopra, con la velocità dei corridori sostituita con la velocità della radiazione elettromagnetica!

$$D = \frac{T_2 - T_1}{124.5 \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)}$$

Così per determinare la distanza di una pulsar, si deve semplicemente misurare il tempo d'arrivo di un impulso a due differenti frequenze.

D. Misurazione delle distanze delle Pulsar

1. Usando il pannello di controllo del radiotelescopio, si vada alla pulsar **0628-28**. Si apra la finestra del ricevitore, si regoli il guadagno verticale a 4 come quello orizzontale a 4 secondi e si sintonizzi il ricevitore a 400 MHz. Allora si accenda l'apparato e ci si assicuri di ottenere degli impulsi forti.
2. Ora si arresti il sistema. Si aggiunga una seconda ricevente. Si selezioni il pulsante **add channel** e un secondo ricevitore dovrebbe comparire sotto il primo, allineato con esso. Si regolino i comandi verticali, orizzontali e di frequenza agli stessi valori del primo ricevitore, una frequenza di 400 MHz, 4 per il guadagno verticale e 4 secondi per quello orizzontale.
3. Impostare **Freq Incr** nella parte bassa del ricevitore a 10 MHz, (permette di fare salti in frequenza per il secondo ricevitore di 10 MHz).
4. Accendere i ricevitori utilizzando il pulsante Mode sul primo ricevitore. Entrambi i ricevitori cominciano a registrare.
 - Poiché entrambe ricevono lo stesso segnale alla stessa frequenza, le due tracce dovrebbero essere esattamente le stesse (tranne, forse per un leggero rumore casuale).

In che modo i tempi di arrivo degli impulsi dipendono dalla frequenza?

5. Si accenda il sistema. Mentre i ricevitori stanno funzionando, sintonizzare la seconda ricevente a 410 MHz. Si nota una differenza nei tempi di arrivo dell'impulso di più alta frequenza? Si osservi per alcuni secondi.
6. Si sintonizzi la ricevente fino a 420 MHz, poi a 430 MHz. Il comportamento è diventato più chiaro?
 - Sintonizzare lentamente la seconda ricevente con incrementi di 10 MHz fino a 600 MHz, osservando di volta in volta i mutamenti.

Che cosa potete dire circa i tempi di arrivo degli impulsi alle più alte frequenze? Arrivano prima o dopo rispetto agli impulsi alle frequenze più basse? Si scriva brevemente la conclusione qui sotto.

7. Si spengano i ricevitori. Si apra ora un terzo ricevitore tramite il pulsante **add channel** e lo si sintonizzi a 800 MHz e si regoli sia il guadagno verticale che quello orizzontale a 4.
8. Si accendano le riceventi e si osservi le tracce dei tre ricevitori.

Il comportamento che si osserva è in sintonia con quanto osservato precedentemente? Si dia una spiegazione.

E. Misurazione dei tempi di arrivo degli impulsi

Si è in attesa di misurare il tempo di arrivo degli impulsi. In primo luogo, si registrino i dati riportati sui vari schermi, si salvino in un file, ed infine si analizzi il file in una finestra grafica separata.

1. Si spengono i ricevitori con l'interruttore mode e si verifichi che i tre ricevitori siano regolati per ottenere simultaneamente i dati a 400, 600 e 800 MHz con il guadagno orizzontale regolato a 4 secondi ed il guadagno verticale a 4 in ogni ricevitore.
2. Si selezioni il tasto **record** per permettere di registrare i dati ed in seguito si accendano i ricevitori con **mode**.
3. Si lasci l'esplorazione del ricevitore per un valore di cinque o sei schermi di dati (soltanto i primi 4 saranno conservati). Successivamente si spengono i ricevitori.
 - Il computer dirà che 1600 punti di riferimenti sono stati registrati.
 - Successivamente apparirà il nome dell'oggetto per la verifica. Selezionate **OK**.
 - Una finestra vi mostrerà le informazioni sull'oggetto che è stato appena registrato, compreso il tempo di inizio della registrazione (in tempo Giuliano), le frequenze ed il tempo fra ogni campione del segnale. Si veda Figura 8 qui sotto.
 - Non si possono editare questi dati. Questo schermo è solo per informazione.

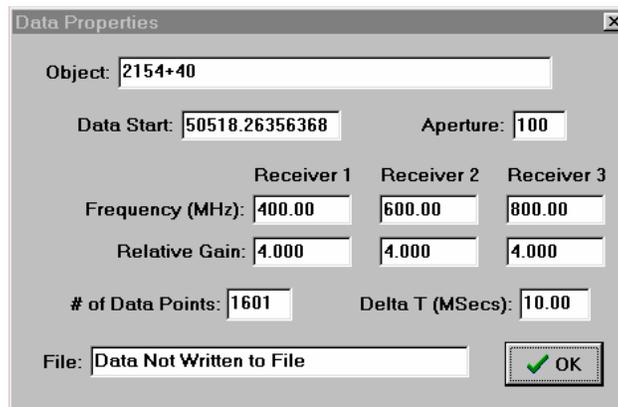


Figura 8. Lo schermo con le proprietà dei dati acquisiti

4. Selezionare il pulsante **OK**. Il computer allora chiederà se si desidera conservare i dati o analizzarli immediatamente. Selezionare yes ed il computer li chiama con il nome di archivio. Utilizzerà il nome con cui si è entrati. Se si desidera cambiare questo nome, potete farlo così. Inserite il nuovo nome nello spazio a disposizione:

NOME DEL FILE _____

Avendo salvato i dati in un file, ora si possono analizzare.

5. Per prima cosa si chiudano i ricevitori.
6. Dal menù principale scegliere **File**, e poi selezionare **Run...Data Analysis**. Se non è stato spento il programma, una finestra dovrebbe apparire e mostrare le informazioni sul file di dati che è stato appena generato (al contrario, chiederà di usare il menu **Files..load** per selezionare il file da un archivio).
7. Si selezioni il file da analizzare. Quando si è sicuri di avere il giusto file da analizzare, si vedrà una finestra di misurazione con le tre tracce identificate. Questo è simile ai tre ricevitori, ma visualizza i dati memorizzati che sono stati appena ottenuti.
 - Si possono utilizzare linee di misurazione e spostarle avanti e indietro sui grafici.

- Si può spostare il grafico verso destra o sinistra.
 - Si può utilizzare uno zoom, che ingrandisce la scala delle tracce.
8. Si misuri ora il tempo d'arrivo di un impulso alle tre differenti frequenze che sono state registrate. Si faccia lo zoom fino a quando non sono osservabili due impulsi. Questo ingrandimento permetterà di misurare più facilmente i tempi di arrivo degli impulsi. Spostare il grafico di 400 MHz per avere un segnale nella metà sinistra dello schermo. Si dovrebbe vedere lo stesso impulso arrivare prima (a sinistra, in anticipo) alla frequenza di 600 MHz ed ancora prima (ancora più a sinistra) alla frequenza di 800 MHz.
 9. Ora si misuri. Premendo col pulsante sinistro del mouse sullo schermo di misura dovrebbe apparire una linea che si sposta se si continua a premere tale pulsante. Si posizioni una linea nel mezzo dell'impulso a 400 MHz. È possibile leggere il tempo di arrivo nella finestra blu alla destra del riquadro di misurazione. Si rifaccia la stessa operazione per il grafico a 600 e 800 MHz.
 10. Si registri il tempo d'arrivo dell'impulso alle tre frequenze di T_{400} , T_{600} e T_{800} sulla tabella qui sotto.

Dati della Dispersione della PULSAR 0628-28

T_{400} _____

T_{600} _____

T_{800} _____

11. Ora, usando la formula della dispersione per le onde radio descritta precedentemente, si usi la differenza nei tempi di arrivo a due frequenze differenti per calcolare la distanza della pulsar (poiché ci sono tre accoppiamenti differenti in funzione delle frequenze, si può calcolare la distanza in questi tre casi).

$$D = \frac{T_2 - T_1}{124.5 \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)}$$

PULSAR 0628-28

Analisi della distanza di dispersione

| f_1 | f_2 | $T_2 - T_1$ | $\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2}$ | D (pc) |
|-------|-------|-------------|-------------------------------------|--------|
| 600 | 400 | | | |
| 800 | 400 | | | |
| 800 | 600 | | | |

Se non sono stati fatti errori numerici, le vostre tre distanze dovrebbero essere simili e dovrebbero essere dell'ordine di 1000 parsec. Si ricontrollino i dati se c'è un certo disaccordo.

Parte 5: Determinare la distanza della pulsar 2154+40 applicando le tecniche appena imparate

Si determini la distanza della pulsar 2154 +40 (il pulsar è nella Hot List). Per mezzo del radiotelescopio, individuare la pulsar. Si registrino i dati a tre frequenze a scelta e li si conservi. Si analizzino i dati per determinare la distanza della pulsar. Le seguenti tabelle aiuteranno ad organizzare ed analizzare i dati.

Nome del file per i dati della Pulsar 2154+40 _____

Frequenze utilizzate (MHz)

1. _____

2. _____

3. _____

Dati di dispersione per la Pulsar 2154+40

T_{freq1} _____

T_{freq2} _____

T_{freq3} _____

$$D = \frac{T_2 - T_1}{124.5 \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)}$$

PULSAR 2154-40

Analisi della distanza di dispersione

| f_1 | f_2 | $T_2 - T_1$ | $\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2}$ | D (pc) |
|-------|-------|-------------|-------------------------------------|--------|
| 600 | 400 | | | |
| 800 | 400 | | | |
| 800 | 600 | | | |

Esercitazioni supplementari

1. La distanza di pulsar di breve periodo

Misurare la distanza della nebulosa del Granchio ed della pulsar 0740-28 usando il metodo della dispersione. Si può usare il metodo imparato in questa esercitazione - ma attenzione a non perdere di vista l'impulso selezionato! Si deve identificare lo stesso impulso ad ogni frequenza (suggerimento: sintonizzare i tre ricevitori alla stessa frequenza e re-sintonizzare gradualmente i ricevitori con piccoli incrementi, 10 MHz o meno, tenendo sotto controllo gli impulsi).

2. Misurazione della larghezza del fascio del radiotelescopio

Si misura il tempo che intercorre affinché il segnale di una pulsar si dimezzi in potenza quando il radiotelescopio non insegue l'oggetto. Poiché la terra gira un grado ogni 4 minuti, si può calcolare, con questo tempo, quanto lontana si trova la pulsar rispetto al centro che il radiotelescopio stava indicando (in gradi) quando la potenza relativa ricevuta del segnale si è dimezzata. Questo è 1/2 della "larghezza del fascio a metà potenza" (half-power beam width o HPBW) del radiotelescopio (il fattore 1/2 viene dal fatto che il HPBW è misurato rispetto a entrambi i lati del centro).

Procedura

- Si scelga una pulsar forte con un periodo relativamente corto come 0740-28.
- Si posizioni il radiotelescopio sopra la pulsar.
- Si accenda il ricevitore e si registri il guadagno verticale in modo che il segnale medio della pulsar si pari ad un valore circa della metà di altezza dello schermo.
- Si spenga l'inseguimento e si registri il tempo quando è stato fatto ciò.

Si cronometri con l'inseguimento spento: _____

- Si guardi con attenzione e si valuti il tempo in cui il segnale raggiunge la metà del relativo valore originale. Si può allora accendere l'inseguimento.

Tempo che il segnale ha impiegato per dimezzarsi: _____

- Si utilizzino questi valori per calcolare la larghezza del fascio di metà potenza in minuti d'arco ($60' = 1^\circ$).
- Larghezza del fascio a metà potenza, HPBW: _____

3. Misurazione del rallentamento di una pulsar

Le pulsar rallentano con tempo, perché perdono l'energia. Si può misurare questo effetto con questo radiotelescopio, anche se i particolari del metodo sono troppo elaborati per descriverli. L'idea di base è misurare il periodo in una certa data (che potete regolare usando **Files...Date/time**) e successivamente in una data diversa. Si necessita di una precisione estremamente alta (circa una parte in 10^{15}) per misurare il rallentamento. Così le due date di osservazione devono essere separate da un anno o da due per permettere di rilevare l'effetto di piccoli cambiamenti. In più, in entrambe le date, è necessario prendere una media di molte decine di migliaia di impulsi per ottenere i periodi delle pulsar con abbastanza precisione. Ciò può essere fatto soltanto osservando i tempi di arrivo di un impulso preciso in parecchi giorni e calcolando il numero di impulsi che si sono presentati fra le due osservazioni.

4. Ricerca di pulsar

Il radiotelescopio può funzionare come strumento “di transito” - con il motore d'inseguimento non operante si lascia che la Terra sposti il radiotelescopio nel cielo e si osservano le pulsar quando entrano nella linea di vista. Se la larghezza del fascio del radiotelescopio è troppo piccola, occorrerà molto tempo per trovare le pulsar in questo modo, poiché occorrerà molto tempo per esplorare l'intero cielo. Ma si può regolare il radiotelescopio in modo che abbia una grande larghezza del fascio e poter trovare più facilmente le pulsar. Questo può essere un progetto di lunga durata. Oltre 500 pulsar sono incluse nel catalogo per questo radiotelescopio. Una volta che si conoscono le coordinate approssimative delle pulsar, si possono memorizzarle. Le pulsar sono concentrate in una zona particolare del cielo? Che cosa è il significato di distribuzione?