

Distance et age du pulsar du Crabe

Introduction

C'est en 1968, que fut découvert un "pulsar" au centre de la nébuleuse dite du Crabe. Il s'agit du résidu de l'étoile massive qui a explosée en 1054 sous les yeux des astronomes chinois et dont subsiste environ 1.4 masse solaire confinée dans un rayon de 10 km environ appelée "étoile à neutrons". Dotée d'un champ magnétique, l'étoile émet deux faisceaux radio qui balaient l'espace et sont captées sur Terre sous forme d'impulsions radio régulières.

La présence d'électrons libres dans le milieu interstellaire produit le phénomène de dispersion : tout signal radio est d'autant plus retardé que sa fréquence est basse. Ce phénomène peut s'observer assez facilement dans les signaux pulsés reçus des pulsars (n'oublions pas toutefois que tout signal électromagnétique en est affecté). Ce retard est également d'autant plus important que la matière traversée est importante. C'est en supposant une densité électronique constante dans le milieu interstellaire qu'est apparue la première méthode de détermination des distances des pulsars.

En assimilant le pulsar à un dipole magnétique ralentissant sa rotation par perte d'énergie émise par radiation, on peut définir un âge caractéristique :

$$\text{age} = P / 2 \dot{P}$$

Activité

La présence d'électrons libre dans le milieu interstellaire provoque un retard des ondes radio d'autant plus important que la fréquence est basse. Le retard de dispersion est de la forme

$$t = k \text{ DM} / f^2$$

ou f est la fréquence d'observation

k est une constante égale à 4148.79 (unités?)

DM (la Dispersion Measure) est la valeur intégrée du contenu en électrons le long de la ligne de visée.

En observant un pulsar simultanément à plusieurs fréquences, on pourra donc obtenir la DM. La DM est l'intégrale sur la ligne de visée de la densité électronique n_e , son unité est le pc.cm^{-3} , c'est l'inverse d'une surface car on a multiplié une longueur (en parsec ou pc) par l'inverse d'un volume (en cm^{-3}). En supposant une densité constante, on peut estimer la distance au pulsar.

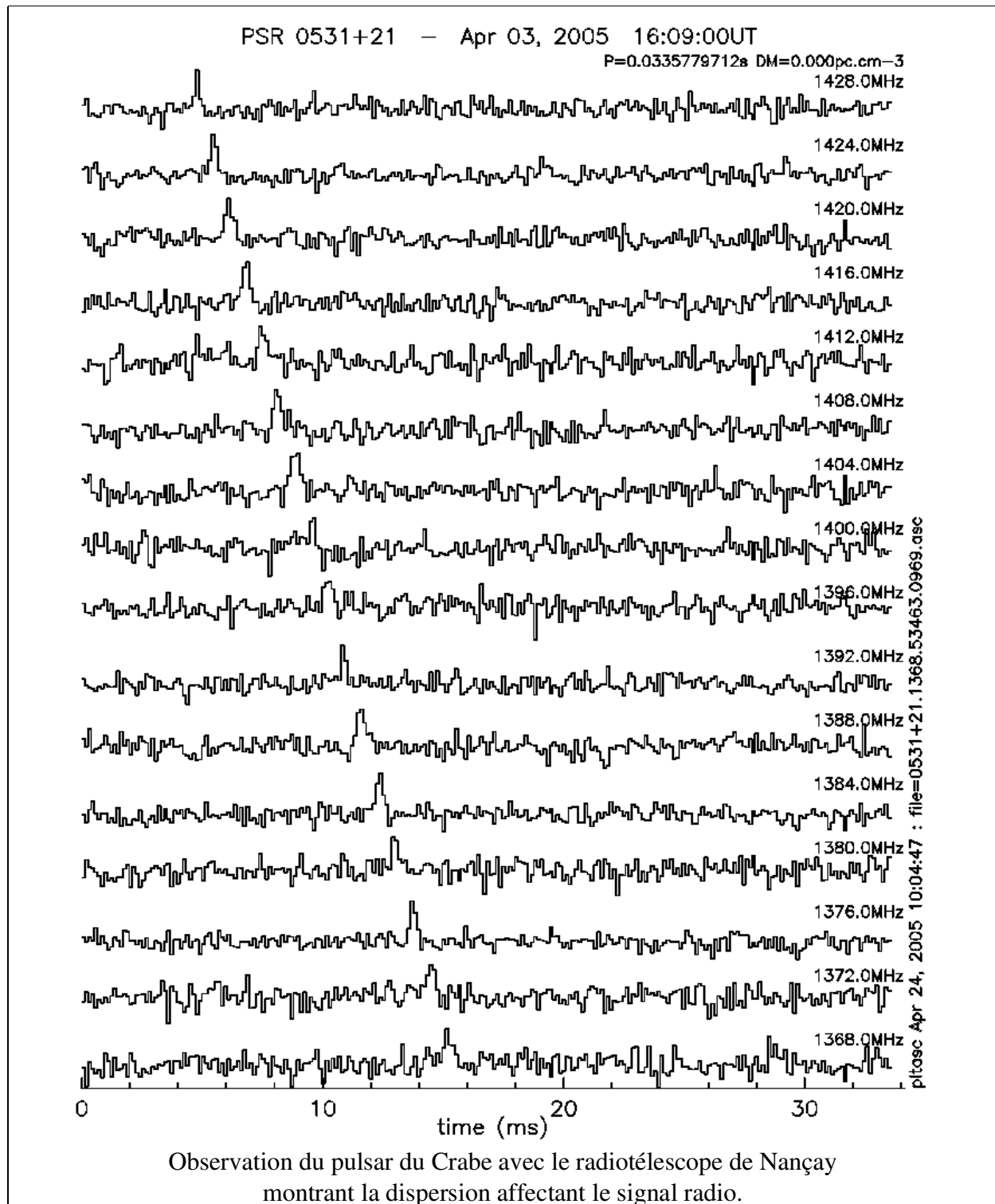
1. A partir de la figure, déterminer le retard accumulé entre deux fréquences radio éloignées. En déduire la constante DM pour le pulsar du Crabe.
2. En faisant l'hypothèse d'une densité électronique constante égale à 30 électrons par litre (0.03 cm^{-3}), estimer la distance au pulsar.

Activité

Un radiotélescope équipé de l'instrumentation adéquate permet la mesure de temps d'arrivée d'impulsions radio de pulsars. Les faisceaux radio balayant l'espace provoquent la réception régulière d'impulsions radio dont on cherche à dater le plus précisément l'instant d'arrivée. Pour les pulsars les plus rapides, ceci peut être fait avec une précision bien meilleure que la microseconde (le millionième de seconde!). Ce sont les temps d'arrivée d'une succession (contigue ou non) d'impulsions radio qui permet, à partir d'une valeur approximative, de déterminer la période et de l'affiner à mesure que davantage d'observations s'accumule ou même de déterminer sa variation lente avec le temps.

1. A l'aide de la série de temps d'arrivée (du 3 avril au 13 mai 2005) donnée en annexe, estimer la période du pulsar pour différentes dates. On remarquera que les temps d'arrivée sont donnés par groupes de deux étalés sur plusieurs semaines.
2. A partir des différentes valeurs de la période obtenues pour différentes dates, estimer la dérivée de la période du pulsar (appelée $P\dot{}$). On pourra s'aider en traçant un graphique des périodes et en approximant l'évolution à une dérive linéaire, c'est à dire en faisant passer au mieux une droite dans les points de données.
3. Estimer l'âge à partir de P et $P\dot{}$. Discuter le résultat par rapport aux observations anciennes existantes.

Annexes



53463.672917000658
53463.673264124074
53473.672971320120
53473.673318448236
53483.673134552904
53483.673481683320
53493.673407087554
53493.673754223993
53503.673788156811
53503.674135296664

Ensemble de temps d'arrivée du pulsar du Crabe PSR B0531+21 de période 33.398ms
tel qu'observé au radiotélescope de Nançay durant quelques semaines.

Les temps d'arrivée sont ici exprimés en Jours Juliens Modifiés,
les Jours Juliens sont des jours numérotés les uns après les autres,
avec une origine à midi le 1er janvier -4712.

Les Jours Juliens Modifiés ont été introduits en soustrayant 2400000.5
de façon à ce que 0h corresponde avec un début de Jour Julien.