ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΑΠΟ ΠΕΝΤΕ PULSARS



Πτυχιακή εργασία της Ελένης Γραίκου

Επιβλέπων καθηγητής Ιωάννης Χ. Σειραδάκης

Ιούνιος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Θεωρητική εισαγωγή4	1
1.1 Η ανακάλυψη των pulsars	4
1.2 Τα γενικά γαρακτηριστικά των pulsars	
1.2.1 Η γαλαξιακή κατανομή	7
1.2.2 H δομή των pulsars	8
1.2.3 Το μαγνητικό πεδίο	9
1.2.4 Το διάγραμμα (Ρ, Ρ΄) και η εξέλιξη των pulsars1	1
1.3 Το "ολοκληρωμένο" προφίλ των pulsars	4
1.3.1 Το πλάτος των "ολοκληρωμένων" προφίλ1	5
1.3.2 Μοντέλα περιγραφής της μορφολογίας των ολοκληρωμένων προφίλ τω	V
pulsars12	7
1.4 Μεμονωμένοι παλμοί	0
1.4.1 Mode changing)
1.4.2 Μετατόπιση των υποπαλμών (drifting)22	2
1.4.3 Σίγαση των παλμών (nulling)23	3
1.4.4 Μικροπαλμοί (micropulses)	5
2. Επεξεργασία δεδομένων	6
2.1 Οι παρατηρήσεις	б
2.2 Το πρόγραμμα	7
2.2.1 Πρώτο στάδιο σχεδίαση των ολοκληρωμένων προφίλ	9
2.2.2 Δεύτερο στάδιο προσθήκη νέων υπορουτινών ,σχεδιασμός των	
ιστογραμμάτων ενέργειας υπολογισμός του ποσοστού εμφάνισης nulling3	31
2.5 Προηγούμενες μελέτες	5
3. Ανάλυση των δεδομένων	7
4. Τα αποτελέσματα	8
4.1 O PSR B0329+54	8
4.2 O PSR B0525+21	5
4.3 O PSR B1133+16	8
4.4 O PSR B1237+25	2
4.5 O PSR B2020+28	5
5. Επίλογος)
Βιβλιογραφία	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ PULSARS

Η ύπαρξη των pulsars είχε προβλεφθεί πολύ πριν την ανακάλυψή τους. Το 1934 δυο αστρονόμοι οι Walter Baade και Fritz Zwicky πρότειναν την ύπαρξη μιας νέας μορφής αστέρα, τους αστέρες νετρονίων. Οι αστέρες αυτοί θα αποτελούσαν το υπόλειμμα μίας έκρηξης υπερκαινοφανούς, το εσωτερικό τους θα αποτελούνταν κυρίως από νετρόνια, η πυκνότητα στο εσωτερικό τους θα ήταν μεγαλύτερη από $10^{15}gcm^{-3}$ και η ακτίνα τους περίπου ίση με 20 kilometres.

Παρά την άνθιση της αστρονομίας τα 30 χρόνια που ακολούθησαν τον Β' Παγκόσμιου Πολέμου ο πρώτος pulsar ανακαλύφθηκε μόλις το 1967. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι αστρονόμοι δεν περίμεναν να ανακαλύψουν ραδιοπηγές με γρήγορες μεταβολές στην ένταση σαν αποτέλεσμα οι δέκτες και οι καταγραφείς που χρησιμοποιούσαν ήταν σχεδιασμένοι ώστε να απορρίπτουν σήματα με διάρκεια μικρότερη από μερικά λεπτά θεωρώντας τα θόρυβο.

Η μικρή χρονική απόκριση και οι επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις ήταν τα χαρακτηριστικά της παρατήρησης που χρησιμοποίησε ο Anthony Hewish για τη μελέτη του μεσοπλανητικού σπινθηρισμού και οδήγησαν στην ανακάλυψη των pulsars.

Το τρεμόπαιγμα των αστέρων που παρατηρείται στα οπτικά μήκη κύματος λόγω της διάθλασης του φωτός μετά το πέρασμά του από την γήινη ατμόσφαιρα παρατηρείται και στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Στα ραδιοφωνικά κύματα η διάθλαση, που είναι υπεύθυνη για το ραδιοφωνικό σπινθηρισμό, οφείλεται σε τρεις λόγους στην γήινη ιονόσφαιρα, στο μεσοπλανητικό ιονισμένο αέριο του ηλιακού συστήματος μας και στο μεσοαστρικό ιονισμένο αέριο του Γαλαξία. Και οι τρεις τύποι σπινθηρισμού ανακαλύφθηκαν και μελετήθηκαν στο πανεπιστήμιο του Gambridge. Κατά τη διάρκεια της μελέτης του μεσοπλανητικού σπινθηρισμού έγινε και η ανακάλυψη των pulsars.

Ο Anthony Hewish και η Jocelyn Bell κατασκεύασαν μία διάταξη αποτελούμενη από 2 084 δίπολα για παρατηρήσεις σε μήκος κύματος 3.7m. Σε αυτό το μήκος κύματος ο σπινθηρισμός είναι σημαντικός αλλά εμφανίζεται μόνο σε πηγές με μικρή γωνιακή διάμετρο. Τον Ιούλιο του 1967 ένα μήνα από την αρχή των μετρήσεων η Jocelyn Bell παρατήρησε μία έντονη διακύμανση στο σήμα η οποία εμφανιζόταν περίπου την ίδια ώρα κάθε ημέρα και η οποία έμοιαζε πολύ με γήινη παρεμβολή. Το σήμα έπαψε να εμφανίζεται για κάποιες μέρες όταν επανεμφανίστηκε και διαπιστώθηκε ότι εμφανίζεται τέσσερα λεπτά νωρίτερα κάθε μέρα δεν υπήρχε αμφιβολία ότι πρόκειται για μία ουράνια πηγή. Στην συνέχεια ακολούθησαν παρατηρήσεις με μικρότερη γρονική απόκριση και το Νοέμβριο του 1967 παρατηρήθηκαν περιοδικοί παλμοί με περίοδο 1.337s. Το Φεβρουάριο του 1968 έγινε στο περιοδικό Nature η πρώτη δημοσίευση της παρατήρησης του πρώτου pulsar, σήμερα είναι γνωστός ως PSR 1919+21, και προτάθηκαν οι πρώτες ερμηνείες για τη φύση των αστέρων από τους οποίους προέρχεται η παρατηρούμενη ακτινοβολία. Αρχικά το γεγονός ότι η παράλλαξη της πηγής δεν ήταν μεγαλύτερη από 2arc minutes οδήγησε στο συμπέρασμα ότι βρίσκεται έξω από το Ηλιακό σύστημα. Η μεγάλη ακρίβεια στην επανάληψη των παλμών και η ταχύτητα της επανάληψης υποδείκνυαν ότι η πηγή είναι συμπιεσμένος αστέρας, μικρής ακτίνας και συγκεκριμένα λευκός νάνος ή αστέρας νετρονίων.

Η δημοσίευση της ανακάλυψης του πρώτου pulsar πυροδότησε μια σειρά παρατηρήσεων από όλα τα μεγάλα ράδιο παρατηρητήρια. Μόνο το 1968 πάνω από 100 δημοσιεύσεις ανέφεραν την ανακάλυψη νέων pulsars.. Πέρα από τις προσπάθειες ανακάλυψης νέων pulsars δόθηκε έμφαση και στην μελέτη των παλμών και υποπαλμών, του προφίλ, της πόλωσης, της εκπομπής σε άλλες συχνότητες κ.α. Όλες αυτές οι παρατηρήσεις έδωσαν στους θεωρητικούς φυσικούς τη δυνατότητα να διατυπώσουν διάφορες θεωρίες για την φύση των pulsars.

Οι επικρατέστεροι μηχανισμοί οι οποίοι προτάθηκαν για να εξηγήσουν κυρίως τα περιοδικά σήματα και την μεγάλη ακρίβεια στην επανάληψη των παλμών ήταν τρεις: οι ταλαντώσεις, η περιφορά διπλού συστήματος και η περιστροφή. Οι ταλαντώσεις ήταν η πρώτη θεωρία που προτάθηκε. Αρχικά οι παρατηρούμενες περίοδοι ήταν πολλοί μικρές για λευκούς νάνους και πολλοί μεγάλες για αστέρες νετρονίων. Αργότερα όταν ανακαλύφθηκε οι Vela και Crab pulsars και οι δύο με περίοδο μικρότερη από 0.1s εγκαταλείφθηκε η θεωρία ταλάντωσης λευκών νάνων.

Η περιφορά λευκού νάνου ή αστέρα νετρονίων σε διπλό σύστημα απορρίφθηκε και αυτή. Οι λευκοί νάνοι απορρίφθηκαν γιατί δεν μπορούν να περιφέρονται σε διπλό σύστημα με περίοδο μικρότερη από 1.7s και οι αστέρες νετρονίων γιατί κατά την περιφορά τους σε διπλό σύστημα πρέπει να χάνουν ενέργεια με τη μορφή βαρυτικής ακτινοβολίας το αποτέλεσμα της απώλειας ενέργειας είναι η μείωση της περιόδου περιφοράς. Ωστόσο οι παρατηρήσεις των Crab και Vela pulsars έδειξαν ότι η περίοδος των pulsars δεν μειώνεται αλλά αυξάνεται σταδιακά.

Η περιστροφή λευκού νάνου ή αστέρα νετρονίων ήταν η τρίτη θεωρία. Η περιστροφή λευκού νάνου απορρίφθηκε αφού σε περιόδους περιστροφής μικρότερες από 1s οι φυγόκεντρες δυνάμεις θα κατέστρεφαν έναν αστέρα τέτοιου τύπου. Ακόμα ένας λευκός νάνος που βρίσκεται σε απόσταση ίση με αυτή του πλησιέστερου pulsar έπρεπε να είναι ορατός κάτι που δεν συμβαίνει. Στα μοντέλα περιστροφής η ακτίνα του αστέρα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ταχύτητα περιστροφής στον ισημερινό να μην ξεπερνά την ταχύτητα του φωτός. Για τον Crab pulsar η ακτίνα υπολογίστηκε ίση με 1700Km και μόνο οι αστέρες νετρονίων μπορούν να έχουν ακτίνες ίσες και μικρότερες από αυτή την τιμή.

Το 1967 στο περιοδικό Nature, λίγους μήνες πριν την δημοσίευση της ανακάλυψης των pulsars, ο Pacini διατύπωσε την ιδέα ότι ένας περιστρεφόμενος αστέρας νετρονίων, με ισχυρό διπολικό μαγνητικό πεδίο, μπορεί να αποτελέσει την πηγή ενέργειας της ακτινοβολίας νεφών όπως το Crab Nebula.

Το 1968 ο Τ. Gold με την δημοσίευσή του στο περιοδικό Nature ήταν αυτός που πρώτος πρότεινε ένα μοντέλο το οποίο συσχέτιζε τους pulsars με περιστρεφόμενους αστέρες νετρονίων. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο το lighthouse effect που παρατηρείται στους pulsars οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων διαθέτουν ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και μία ενσωματωμένη μαγνητόσφαιρα η οποία περιστρέφεται μαζί με τον αστέρα. Η ραδιοπηγή βρίσκεται μέσα στη μαγνητόσφαιρα κοντά στο κύλινδρο του φωτός. Επίσης ο Gold προέβλεψε ότι η απώλεια της ενέργειας λόγω της ακτινοβολίας θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας περιστροφής και την σταδιακή αύξηση της περιόδου των pulsars. Όταν το 1969 παρατηρήθηκε μία σταδιακή αύξηση στην περίοδο του Crab pulsar ίση με 36.5 ns per day το μοντέλο της περιστρεφής των αστέρων νετρονίων έγινε η επικρατέστερη ερμηνεία για την φύση των pulsars.

1.2 ΤΑ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ PULSARS

Όταν ένας αστέρας της κύριας ακολουθίας εξαντλήσει τα αποθέματα ενέργειάς του καταρρέει υπό την επίδραση της βαρύτητάς του. Ανάλογα με την αρχική του μάζα μπορεί να καταλήξει σε τρεις καταστάσεις : σε λευκό νάνο, σε αστέρα νετρονίων ή σε μαύρη τρύπα. Οι αστέρες της κύριας ακολουθίας με μάζα ίση περίπου με $6-15 M_{\circ}$ καταλήγουν σε αστέρες νετρονίων.

Η αστέρες νετρονίων δημιουργούνται μετά από μία έκρηξη υπερκαινοφανούς ή σε διπλά συστήματα όπου ο ένας αστέρας είναι λευκός νάνος. Στα συστήματα αυτά μάζα από το συνοδό αστέρα κατευθύνεται στο λευκό νάνο και όταν η συνολική τιμή της ξεπεράσει το όριο Chandrasekhar ($1.4~M_{\rm o}$) τότε ο λευκός νάνος καταρρέει δημιουργώντας ένα αστέρα νετρονίων.

Οι μάζες τους μπορούν να μετρηθούν μόνο αν ανήκουν σε διπλά συστήματα και οι τιμές που έχουν προκόψει είναι ίσες με $1.34\pm0.04\,{\rm M_o}$. Η ακτίνα τους είναι περίπου ίση με 20 Km.

Η περίοδοι περιστροφής κυμαίνονται από 1.4ms έως 8.5s περίπου. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των pulsars και οι δύο κορυφές που παρουσιάζει. Η κορυφή στις μικρές περιόδους αντιστοιχεί στους millisecond pulsars (αστέρες νετρονίων μεγάλης ηλικίας) στους οποίους θα αναφερθούμε στη συνέχεια.



Σχήμα 1 : Η κατανομή των περιόδων για τους πρώτους 558 pulsars που έχουν ανακαλυφθεί (σήμερα γνωρίζουμε 1880) (Taylor et al 1993).

Το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια ξεκινάει από κυμαίνεται από 10^8 G και μπορεί να ξεπεράσει και τα 10^{13} G.



Σχήμα 2 : Η κατανομή του μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια των pulsars (Taylor et al 1993).

1.2.1 Η ΓΑΛΑΞΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ PULSARS

Οι πλειοψηφία των pulsars βρίσκονται στο δικό μας Γαλαξία με εξαίρεση τους PSR 0540-69 και ο PSR 0042-73 που βρίσκονται στο Μεγάλο και στο Μικρό νέφος του Μαγγελάνου αντίστοιχα. Η κατανομή των pulsars σε γαλαξιακές συντεταγμένες παρουσιάζονται στο σχήμα 3 και όπως παρατηρούμε οι περισσότεροι βρίσκονται στο γαλαξιακό επίπεδο ± 1 Kpc.

Το γεγονός ότι οι pulsars μπορούν να βρεθούν σε αποστάσεις που φτάνουν το 1 Κρς, πολύ μεγάλες σε σχέση με τους αστέρες μεγάλης και τα υπολείμματα έκρηξης υπερκαινοφανών υποδηλώνει ότι απομακρύνονται αρκετά από το σημείο γέννησής του. Οι τυπικές τιμές ταχύτητας απομάκρυνσης για ένα κοινό pulsar είναι της τάξης των 100 200 Km / s.Στους νέους pulsarsοι ταχύτητες απομάκρυνσης είναι της τάξης των 450 Km / s κατι που οφείλεται στην κινητική ενέργεια που αποκτούν από την έκρηξη υπερκαινοφανούς από την οποία προήλθαν.



<u>Σχήμα 3</u> : Η κατανομή των pulsars σε γαλαξιακές συντεταγμένες. Οι ανοιχτοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τους millesecond pulsars (http://www.jb.man.ac.uk/pulsarhandbook).

Οι αποστάσεις των pulsars μπορούν να υπολογισθούν από την παράλλαψη, την απορρόφηση στην περιοχή του ουδέτερου υδρογόνου και από τη συσχέτιση με ορατά οπτικά αντικείμενα. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι με τον προσδιορισμό του μέτρου διασποράς (dispersion measure, DM). Το μέτρο διασποράς αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των ηλεκτρονίων στην περιοχή ανάμεσα στον pulsar και στον παρατηρητή.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή των pulsars στο γαλαξιακό επίπεδο. Όπως φαίνεται από το σχήμα οι pulsars οι οποίοι βρίσκονται κοντά στο κέντρο του είναι λίγοι. Οι αποστάσεις από το κέντρο του γαλαξία κυμαίνονται κυρίως από 4 έως 12 Kpc και οι περισσότεροι φαίνεται να είναι συγκεντρωμένοι στο local spiral arm.

Οι συγκεντρώσεις αυτές οφείλονται στο ότι οι παρατηρήσεις στο κέντρο του Γαλαξία επηρεάζονται έντονα από το θόρυβο, το μεσοαστρικό σπινθιρισμό και τις μεγάλες τιμές του μέτρου διασποράς ο οποίος προκαλεί μία καθυστέρηση στην άφιξη των παλμών, η οποία είναι εντονότερη στις μικρές συχνότητες και μπορεί να καταστρέψει τον παρατηρούμενο παλμό.



<u>Σχήμα 4</u> : Η προβολή της κατανομής των pulsars, που βρίσκονται σε γαλαξιακά πλάτη (b < 20°), στο γαλαξιακό επίπεδο (http://www.jb.man.ac.uk/pulsarhandbook).

1.2.2 H $\Delta OMH T\Omega N$ Pylsars

Οι αστέρες νετρονίων αποτελούν μία από τις πιο συμπαγείς μορφές ύλης που μπορεί να περιγραφεί με νόμους της φυσικής. Η βαρυτική πίεση στο εσωτερικό τους εξισορροπείται κυρίως από την πίεση των εκφυλισμένων νετρονίων. Οι συνθήκες πίεσης στο εσωτερικό τους μοιάζουν πολύ με τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό ενός πυρήνα. Για ένα αστέρα νετρονίων με ακτίνα ίση με 10 Km και μάζα 1.4 μάζες Ήλιου η μέση πυκνότητα είναι $6.7 \cdot 10^{14} \, g \, cm^{-3}$ πολύ κοντά στη πυκνότητα 2.7 $\cdot 10^{14} \, g \, cm^{-3}$ που επικρατεί στο εσωτερικό των πυρήνων. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η δομή ενός τυπικού αστέρα νετρονίων με μάζα ίση με $1.4 \, M_{\circ}$. Η πυκνότητα στο εσωτερικό κυμαίνεται μεταξύ $10^6 \, g \, cm^{-3}$ στην επιφάνεια και $10^{15} \, g \, cm^{-3}$ στο εσωτερικό.

Το στρώμα που βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια του αστέρα αποτελείται από πυρήνες σιδήρου περιτριγυρισμένος από μία θάλασσα εκφυλισμένων ηλεκτρονίων. Η εξωτερική επιφάνεια έχει πυκνότητα ίση με 10^{6} g·cm⁻³, είναι στερεή και οι πυρήνες σιδήρου σχηματίζουν κρυσταλλικό πλέγμα. Καθώς προχωράμε στο εσωτερικό η πυκνότητα αυξάνεται και σαν αποτέλεσμα αυξάνεται και η ενέργεια Fermi των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια διεισδύουν στους πυρήνες, ενώνονται με με τα πρωτόνια και σχηματίζουν πυρήνες με μεγάλο αριθμό νετρονίων όπως ο ¹¹⁸Κ, ο οποίος περιέγει 82 νετρόνια και 36 πρωτόνια. Το στρώμα αυτό αποτελείται από βαρύς πυρήνες οι οποίοι σχηματίζουν κρυσταλλικό πλέγμα περιτριγυρισμένοι από εκφυλσμένα ηλεκτρόνια. Όταν η πυκνότητα γίνει ίση με $4 \cdot 10^{11}$ g·cm⁻³ (neutron drip point) δεν υπάρχει σχεδόν κανένα νετρόνιο εκτός πυρήνα. Πάνω από αυτή τη τιμή οι πυρήνες γίνονται ασταθείς και ο αριθμός των νετρονίων αυξάνεται. Όταν η πυκνότητα γίνει ίση με $2.7 \cdot 10^{14}$ g cm⁻³ (η πυκνότητα στο εσωτερικό ενός πυρήνα) τότε το εσωτερικό του αστέρα νετρονίων αποτελείται κυρίως από ρευστό νετρονίων και σε ποσοστό περίπου 5% από ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Καθώς πηγαίνουμε προς το κέντρο του αστέρα το ρευστό νετρονίων και πρωτονίων γίνεται υπερρευστό

σχηματίζοντας ένα στρώμα το οποίο κινείται ανεξάρτητα από τον εξωτερικό στερεό πυρήνα. Ο πυρήνας με πυκνότητα που φτάνει τα 10^{15} g·cm⁻³ μπορεί να περιέχει μεσόνια ή Kaons τα οποία μπορεί να σχηματίζουν στερεό στρώμα.



 $\underline{\Sigma} \underline{\chi} \underline{\eta} \underline{\mu} \underline{\alpha} \, \underline{5}$: Κάθετη τομή ενός αστέρα νετρονίων μάζας 1.4 $M_{_0}$.

1.2.3 ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΩΝ PULSARS

Οι pulsars διαθέτουν πολύ ισχυρά μαγνητικά πεδία ίσος από τα ισχυρότερα που υπάρχουν στο σύμπαν. Στην επιφάνεια των νέων pulsars το μαγνητικό πεδίο είναι της τάξης των 10¹² gauss, στους αστέρες μέσης ηλικίας η ένταση φτάνει τα 10¹⁰ G ενώ στους millisecond pulsars, που είναι και οι μεγαλύτερη σε ηλικία, το μαγνητικό πεδίο είναι ίσο με 10⁸ G. Η δομή των pulsars, παρά τις υψηλές έντασης του μαγνητικού πεδίο που παρατηρούνται, δεν υφίσταται κάποια τροποποίηση εκτός από κάποιες μεταβολές στην κρυσταλλική δομή κοντά στην επιφάνεια. Ωστόσο στο χώρα πάνω από την επιφάνεια το μαγνητικό πεδίο παίζει κυρίαρχο ρόλο. Ο λόγος

των βαρυτικών προς τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις $\frac{GMm}{r^2}/\frac{e\Omega rB}{c}$ είναι ίσος με 10^{-12} .

Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο είναι και η αιτία αρκετών φαινομένων που παρατηρούνται στα pulsars. Πρώτα απ όλα ο παλμός που παρατηρούμε οφείλεται στο γεγονός ότι ο άξονας του μαγνητικού διπόλου δεν είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα περιστροφής. Καθώς περιστρέφεται ο pulsar περιστρέφεται και το μαγνητικό δίπολο, όταν ο μαγνητικός άξονας συναντήσει την γραμμή οράσεως τότε παρατηρούμε τον παλμό του pulsar. Ακόμα στην εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οφείλεται και η αύξηση της περιόδου των pulsars (\dot{P}). Από την περίοδο (P) και το ρυθμό αύξησης της περιόδου (\dot{P}) μπορούμε να υπολογίσουμε και το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια των pulsars: $B = 3.2 \times 10^{19} (P\dot{P})^{1/2}$. Στους νέους αστέρες η ένταση της ακτινοβολίας είναι ικανή να προκαλέσει εκπομπή σύγχροτρον από το νεφέλωμα που τους περιβάλει.



<u>Σχήμα 6</u>: Η μαγνητόσφαιρα των pulsars (http://www.jb.man.ac.uk/pulsarhandbook).

Όπως είδαμε οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις στο χώρο γύρω από τους pulsars είναι πολύ ισχυρές συγκρινόμενες με τις βαρυτικές. Το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του αστέρα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των πόλων και του ισημερινού. Λόγω της διαφοράς δυναμικού φορτισμένα σωματίδια αποσπώνται από την επιφάνεια των pulsars. Το μαγνητικό πεδίο αναγκάζει το πλάσμα που έχει δημιουργηθεί να περιστρέφεται μαζί με τον αστέρα. Η ιονισμένη αυτή ύλη αποτελεί την μαγνητόσφαιρα του αστέρα και η ακτίνα της εκτείνεται μέχρι το σημείο όπου η ταχύτητα περιστροφής του πλάσματος γίνεται ίση με την ταχύτητα του φωτός δηλαδή $r_c = c / \Omega$ (σχετικιστική ακτίνα). Η ακτίνα αυτή ορίζει έναν κύλινδρο ο οποίος ονομάζεται και κύλινδρος του φωτός (σχήμα 6). Μέσα στη μαγνητόσφαιρα οι μαγνητικές γραμμές χωρίζονται σε ανοιχτές και κλειστές. Το πλάσμα που βρίσκεται στις κλειστές μαγνητικές γραμμές μένει παγιδευμένο στη μαγνητόσφαιρα. Το πλάσμα που βρίσκεται στις ανοιχτές μαγνητικές γραμμές μπορεί να κινηθεί με σχετικιστικές ταχύτητες και να απομακρυνθεί από την επιφάνεια των pulsars σε αποστάσεις των δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιομέτρων. Το πλάσμα που βρίσκεται στις ανοιχτές μαγνητικές γραμμές είναι και ο παλμός των pulsars που παρατηρούμε.

Στο σχήμα 7 γίνεται μία χρονική αναπαράσταση της περιστροφής ενός αστέρα νετρονίων και της εκπομπής της ακτινοβολίας του.

Ο μπλέ κώνος αντιστοιχεί στη μαγνητόσφαιρα του αστέρα και ο χρυσός στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία. ακτινοβολίας. Όταν η κωνική δέσμη της ακτινοβολίας συναντήσει την ευθεία οράσεως τότε έχουμε και την παρατήρηση του παλμού. Τα προφίλ των pulsars (δηλαδή αν είναι απλό ή πολλαπλό) εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζει η ευθεία οράσεως με τον άξονα του μαγνητικού διπόλου, την συχνότητα παρατήρησης και από τις διάφορες περιοχές εκπομπής μέσα στην κωνική δέσμη ακτινοβολίας. Η περίοδος επανάληψης των παλμών είναι και η περίοδος περιστροφής των pulsars.



<u>Σχήμα 7</u> : Ένας περιστρεφόμενος αστέρας νετρονίων και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία του. Σχήμα από αναφορά (<u>http://www.livingreviews.org/lrr-2008-8</u>).

1.2.4 TO Δ IAFPAMMA (P, P) KAI H EEEAIEH TON PULSARS

Όπως έχει παρατηρηθεί η περίοδος των pulsars σταδιακά αυξάνεται. Η αύξηση είναι αποτέλεσμα της μείωσης της κινητικής ενέργειας λόγω περιστροφής και της μείωσης της στροφορμής που οφείλονται στην εκπομπή σωματιδίων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους pulsars.

Η μείωση περιγράφεται από τη σχέση

$$\Omega = -\kappa \Omega^n \tag{1}$$

όπου Ω η γωνιακή ταχύτητα, κ σταθερά και n 'braking index'. Αν υποθέσουμε ότι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι και η κύρια πηγή μείωσης της ενέργειας τότε n παίρνει την τιμή 3. Ολοκληρώνοντας τη σχέση (1)

$$t=-\frac{\Omega}{\stackrel{\cdot}{(n-1)\,\Omega}}[\,1{-}(\frac{\Omega}{\Omega_{_{i}}})^{^{n-1}}\,]$$

και υποθέτοντας ότι η γωνιακή ταχύτητα κατά τη δημιουργία των pulsars ήταν πολύ μικρότερη από τη σημερινή τιμή, προκύπτει ότι η χαρακτηριστική ηλικία δίνεται από τη σχέση:

$$\tau = -\frac{1}{n-1} \frac{\Omega}{\cdot} = \frac{1}{2} \frac{P}{\cdot}$$

Ωστόσο οι χαρακτηριστικές ηλικίες που προκύπτουν από τις μετρήσεις δεν συμπίπτουν πάντα με τις πραγματικές ηλικίες. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι αρχικές γωνιακές ταχύτητες είναι γνωστές μόνο για τους pulsars οι οποίοι σχετίζονται με κάποιο νεφέλωμα. Για τους υπόλοιπους pulsars υποθέσαμε ότι η αρχική γωνιακή ταχύτητα πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από την παρατηρούμενη σημερινή, έρευνες ωστόσο έχουν δείξει ότι οι περίοδοι κατά τη γέννηση των pulsars κυμαίνονται από 14ms έως και 140ms. Η απόκλιση μπορεί να οφείλεται και στο ότι ο συντελεστής n (brakkinf index) δεν είναι πάντα ίσος με 3.

Οι παρατηρούμενες περίοδοι (P) των pulsars κυμαίνονται από 1.4 ms μέχρι 8.5 s περίπου. Από την περίοδο (P) και τον ρυθμό μεταβολής της περιόδου (\dot{P}) σχεδιάζουμε το διάγραμμα (P, \dot{P}) (σχήμα 8) στο οποίο απεικονίζεται και η εξέλιξη των pulsars. Εφόσον το μαγνητικό πεδίο B = $3.2 \times 10^{19} (P\dot{P})^{1/2}$ και η χαρακτηριστική ηλικία τ = P / 2 P των pulsars εξαρτώνται από το P και P τότε πάνω στο διάγραμμα (P, \dot{P}) μπορούμε να σχεδιάζουμε και τις καμπύλες σταθερού μαγνητικού πεδίου και χαρακτηριστικής ηλικίας. Οι pulsars εκπέμπουν συνεχώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η εκπομπή αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας. Ο ρυθμός εκπομπής δίνεται από τη σχέση $E = 4\pi^2 IP P^{-3}$ erg /s. Στο σχήμα 8 απεικονίζονται και οι καμπύλες σταθερού ρυθμού απώλειας ενέργειας.

Οι περισσότεροι pulsars ξεκινούν την ζωή τους με περιόδους μικρότερες από 0.1s και καθώς χάνουν κινητική ενέργεια λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας οδηγούνται σε μεγαλύτερες περιόδους και μικρότερους ρυθμούς μεταβολής. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 8 οι pulsars καταλαμβάνουν δύο περιοχές του διαγράμματος. Η πλειοψηφία των pulsars βρίσκονται πάνω δεξί τμήμα του διαγράμματος. Η χαρακτηριστική ηλικία τους κυμαίνεται από περίπου 10^5 yr έως 10^8 yr, οι περίοδοι από 0.1s έως 1s, ο μέσος ρυθμός μεταβολής της περιόδου είναι ίσος με 10^{-15} s/s και το μαγνητικό πεδίο είναι της τάξης των 10^{12} G.



Σχήμα 8 : Το διάγραμμα (P, P) για περίπου 1700 pulsars. (Σήμερα είναι γνωστά 1880 pulsars). Στο διάγραμμα απεικονίζονται μεμονωμένοι pulsars αλλά και pulsars που ανήκουν σε διπλά συστήματα (ανοιχτοί κύκλοι). Ακόμα είναι σχεδιασμένες οι καμπύλες σταθερού μαγνητικού πεδίου, χαρακτηριστικής ηλικίας και ρυθμού εκπομπής ενέργειας (http://www.jb.man.ac.uk/pulsarhandbook).

Το κάτω αριστερό τμήμα του διαγράμματος καταλαμβάνει μία άλλη κατηγορία pulsars οι millisecond pulsars.. Οι αστέρες αυτοί έχουν πολλοί μικρές περιόδους μεταξύ περίπου 1.4 ms και 30 ms, μέσο ρυθμό μεταβολής περιόδου ίσο με 10⁻¹⁸ s/s και μαγνητικό πεδίο της των 10⁸ G. Παρά τις μεγάλες ταχύτητες περιστροφής και ενώ κανείς θα νόμιζε ότι είναι νέοι σε ηλικία pulsars η χαρακτηριστική ηλικία τους είναι μεγαλύτερη από αυτή ενός κοινού pulsar και φτάνει τα 10¹⁰ yr. Το "παράδοξο" αυτό οφείλεται στον τρόπο δημιουργίας τους. Γενικά οι περισσότεροι αστέρες ανήκουν σε διπλά συστήματα. Έτσι και οι περισσότεροι πρόγονοι των pulsars ήταν μέλει διπλών συστημάτων. Ο τρόπος δημιουργίας τους όμως (έκρηξη υπερκαινοφανούς) έχει, τις περισσότερες φορές, ως αποτέλεσμα την καταστροφή του συστήματος. Στις περιπτώσεις όπου το σύστημα επιβιώνει από αυτή την έκρηξη και συνοδός αστέρας του pulsar έχει κατάλληλη μάζα ώστε να περάσει στο στάδιο του γίγαντας αστέρα τότε έχουμε περαιτέρω εξέλιξη του συστήματος. Μετά από περίπου $10^7 - 10^8$ yr εκπομπής ακτινοβολίας από τον pulsar ο συνοδός αστέρας μετατρέπεται σε γίγαντα και μάζα από την επιφάνειά του μεταφέρεται στον pulsars και μαζί με αυτή γωνιακή ταχύτητα η οποία επιταχύνει τον pulsar και τον μετατρέπει σε millisecond pulsar. Έτσι ενώ ο pulsar χωρίς την επιτάχυνση που του δίνει η πρόσληψη μάζας θα οδηγούνταν σε θάνατο, τώρα επανεκπέμπει ραδιοφωνική ακτινοβολία.

Ο τρόπος δημιουργίας τους επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι το 80% των millesecond pulsars είναι μέλει διπλού συστήματος, το αντίστοιχο ποσοστό για ένα μέσο pulsar είναι 1%. Το τελικό σύστημα που θα προκύψει εξαρτάται από την αρχική μάζα του συνοδού αστέρα. Για συνοδό αστέρα μικρής μάζας το διπλό σύστημα θα αποτελείται από το millisecond pulsar και ένα λευκό νάνο. Και στην περίπτωση όπου ο συνοδός αστέρας είναι μεγάλης μάζας τότε είναι πιθανό να έχουμε και μία δεύτερη έκρηξη υπερκαινοφανούς και αν δεν καταστραφεί το σύστημα τότε να προκύψει ζεύγος αστέρων νετρονίων.



<u>Σχήμα 9</u> : Απεικόνιση της εξέλιξης των pulsars. (Lorimer 2008)

Η συνεχή εκπομπή ακτινοβολίας από τους pulsars έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της περιόδου περιστροφής. Στη περίπτωση όπου δεν ανήκουν σε διπλό σύστημα καθώς μεγαλώνουν σε ηλικία οι pulsars κινούνται προς το κέντρο του διαγράμματος (P, P). Η εξέλιξη αυτή δεν συνεχίζεται επ αόριστο όταν η περίοδος P και ο ρυθμός αύξησής της περάσουν μία κρίσιμη τιμή τότε ο pulsar παύει να εκπέμπει ακτινοβολία. Ο θάνατος των pulsars πιθανότατα οφείλεται στην αδυναμία τους να παράξουν το πλάσμα το οποίο είναι και υπεύθυνο για την εκπομπή της ραδιοφωνικής ακτινοβολίας. Με βάση αυτή τη θεωρία είναι σχεδιασμένη η καμπύλη θανάτου των pulsars στο διάγραμμα (P, P). Ωστόσο έχουν παρατηρηθεί και pulsars με περιόδους στα 8.5 sec να βρίσκονται σε αυτή την "απαγορευμένη" περιοχή (σχήμα 8).

1.3 ΤΟ ''ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ'' ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ PULSARS

Οι μεμονωμένοι παλμοί που παρατηρούμε από ένα pulsar διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ένταση και τη μορφολογία. Η σταθερή περίοδος των pulsars μας επιτρέπει να προσθέσουμε δεκάδες ή και εκατοντάδες μεμονωμένους παλμούς. Το προφίλ που προκύπτει λέγεται "ολοκληρωμένο" προφίλ (*integrate profile*) και σε αντίθεση με τους μεμονωμένους παλμούς είναι σταθερό και έχει χαρακτηριστική μορφή για κάθε pulsar στη συχνότητα που γίνεται η παρατήρηση.

Τα ολοκληρωμένα προφίλ διαφέρουν από pulsar σε pulsar. Η έκταση του προφίλ είναι μία από τις διαφορές. (Επειδή οι pulsars επανεκπέμπουν τους παλμούς τους μετά από διάστημα το οποίο είναι ίσο με τις περιόδους τους, ο χρόνος μίας περιόδου μπορεί να περιγραφεί με το γεωγραφικό μήκος έτσι ώστε μία περίοδος να αντιστοιχεί σε 360° γεωγραφικού μήκους.) Ένα τυπικό προφίλ καταλαμβάνει 10° με 20° του γεωγραφικού μήκους περιστροφής (~ 3 % και 5.5 % της περιόδου αντίστοιχα). Ωστόσο έχουν παρατηρηθεί και ακραίες περιπτώσεις όπου pulsars καταλαμβάνουν 1° και άλλα 360° γεωγραφικού μήκους.

Τα "ολοκληρωμένα" προφίλ διαφέρουν και ως προς τη μορφολογία. Οι δύο κύριες κατηγορίες είναι το απλό και το πολλαπλό προφίλ. Το απλό προφίλ αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα ενώ το πολλαπλό από δύο και πάνω συνιστώσες. Στο σχήμα 10 παρουσιάζονται διάφορα "ολοκληρωμένα" προφίλ.





Σχήμα 10 : Διάφοροι τύποι "ολοκληρωμένων" προφίλ στη συχνότητα παρατήρησης 1.42 GHz. (Seiradakis et al. 1995)

Στο χώρο που βρίσκεται γύρω από το προφίλ η ένταση της ακτινοβολία παίρνει πολύ μικρές τιμές. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου παρατηρείται και ένας μικρός σε ένταση παλμός, σε σχέση με τον κύριο παλμό, ο οποίος απέχει 180° από τον κύριο. Οι παλμοί αυτοί ονομάζονται *interpulses.* Ένα παράδειγμα pulsar στο προφίλ του οποίου παρατηρούνται τέτοιοι παλμοί, ο B1937+21, παρουσιάζεται στο σχήμα 10. Η επικρατέστερη ερμηνεία αυτού του φαινομένου είναι ότι οι παλμοί οφείλονται στις δύο δέσμες ακτινοβολίας που εκπέμπονται από τους δύο μαγνητικούς πόλους. Η παρατήρηση και των δύο αυτών δεσμών οφείλεται στο ότι ο άξονας περιστροφής είναι σχεδόν κάθετος με το άξονα του μαγνητικού διπόλου και τη γραμμή οράσεως (σχήμα 11, α = 90°). Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου ενώ παρατηρούμε δύο παλμούς οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους περίπου 180° οι τιμές που παίρνει η γωνία α είναι πολύ μικρότερες από 90°. Οι παλμοί προέρχονται από τον ίδιο μαγνητικό πόλο και αντιστοιχίζουν σε pulsars με εκτεταμένα σε πλάτος προφίλ.

Ένα μικρό μόνο ποσοστό των pulsars εμφανίζει στο προφίλ του interpulses. Πρόσφατες έρευνες (Weltevrede & Johston 2008) έχουν δείξει ότι το ποσοστό εμφάνισης interpulses είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιόδου. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να οφείλεται στο ότι ο άξονας του μαγνητικού διπόλου τείνει να ευθυγραμμιστεί με τον άξονα περιστροφής μετά από το πέρασμα 10⁷ yr. Ωστόσο οι miliisecond pulsars που είναι αστέρες μεγάλης ηλικίας θα έπρεπε να έχουν τους δύο αυτούς άξονες ευθυγραμμισμένους κάτι που δεν παρατηρείται.

1.3.1 ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΩΝ "ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ" ΠΡΟΦΙΛ

Όπως είδαμε και παραπάνω το πλάτος του "ολοκληρωμένου" προφίλ διαφέρει από pulsar σε pulsar. Οι διαφορές που παρατηρούμε μπορεί να οφείλονται αρχικά στη γεωμετρία της εκπομπής (σχήμα 11). Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον pulsar σχηματίζει μία κωνική δέσμη φωτός. Στην περίπτωση όπου η κωνική αυτή δέσμη συναντήσει τη γραμμή οράσεως του παρατηρητή τότε ο παλμός γίνεται ορατός. Το πλάτος του παλμού (W) εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής με το κέντρο της κωνικής δέσμης (inclination α) και από τη γωνία που σχηματίζει η γραμμή οράσεως με το κέντρο της κωνικής δέσμης (impact angle β). Το πλάτος σχετίζεται με την ακτίνα της κωνικής δέσμης (ρ) μέσω της σχέσης:

 $sin^{2}(\frac{W}{4}) = \frac{sin^{2}(\rho/2) - sin^{2}(\beta/2)}{sin(\alpha) \cdot sin(\alpha + \beta)}$





Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει το πλάτος του "ολοκληρωμένου" προφίλ είναι η περίοδος περιστροφής. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί (Lyne & Manchester 1988) το πλάτος που καταλαμβάνει ο παλμός είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιόδου (σχήμα 12).

Η μείωση του πλάτους με την αύξηση της περιόδου είναι αναμενόμενη αφού οι μεγάλες τιμές περιόδου αντιστοιχούν σε μεγάλες γωνίες μεταξύ των ανοιχτών μαγνητικών γραμμών και του μαγνητικού άξονα και άρα σε μεγαλύτερα πλάτοι στο "ολοκληρωμένο" προφίλ. Η γωνία που σχηματίζει η τελευταία ανοιχτή μαγνητική γραμμή με τον μαγνητικό άξονα είναι ανάλογη με ~ $(\Omega r/c)^{-1/2}$ όπου $\Omega = 2\pi / P$ και r η απόσταση από το κέντρο του pulsar μέχρι την περιοχή της εκπομπής.

Διαφορές στο πλάτος δεν παρατηρούνται μόνο από pulsar σε pulsar αλλά και στο ίδιο pulsar σε διαφορετικές συχνότητες παρατήρησης. Τα περισσότερα pulsars στις χαμηλές συχνότητες έχουν μία τάση να παρουσιάζουν πιο διευρυμένα προφίλ σε σχέση με τις υψηλές συχνότητες παρατήρησης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου παρατηρείτε απώλεια ή προσθήκη κάποιων συνιστωσών κάτι που οφείλεται στις διαφορετικές τιμές που παίρνει ο φασματικός δείκτης α ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές συνιστώσες. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει (Xilouris et. al. 1996) σε 6 pulsars το πλάτος που αντιστοιχεί στο 50% της έντασης (W₅₀)και η συχνότητα συσχετίζονται μέσω του εκθετικού νόμου:

$$W_{50} = \alpha_0 + \alpha_1 \nu^{-\gamma}$$

με τον εκθέτη γ να μεταβάλλεται από 0.3 έως 0.9.

Εκτός από το πλάτος, η συχνότητα παρατήρησης επηρεάζει και την απόσταση μεταξύ των συνιστωσών. Και η εξάρτηση αυτή περιγράφεται από ένα εκθετικό νόμο παρόμοιο με τον παραπάνω (Thorsett 1991). Η εξάρτηση του πλάτους από τη συχνότητα μπορεί πιθανόν να οφείλεται και σε μια εξάρτηση του ύψους εκπομπής της ακτινοβολίας από τη συχνότητα. Η εξάρτηση αυτή ονομάζεται "radius-to-frequency mapping" (RFM) (Ruderman & Sutherland 1975) σύμφωνα με το οποίο στις χαμηλές συχνότητες η ακτινοβολία προέρχεται από περιοχές ψηλά στη μαγνητόσφαιρας σε αντίθεση με τις υψηλές συχνότητες όπου η ακτινοβολία προέρχεται από περιοχές πιο κοντά στην επιφάνεια του αστέρα νετρονίων.



Σχήμα 12 : Η περίοδος των pulsars σε συνάρτηση με την ακτίνα της κωνικής δέσμης στις περιπτώσεις όπου ο άξονας περιστροφής και ο άξονας του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετοι (α= 90°). (Lyne & Manchester 1988)

1.3.2 MONTEAA ΠΕΡΙΦΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΛΟΚΑΗΡΩΜΕ-NΩΝ ΠΡΟΦΙΑ ΤΩΝ PULSARS

Όπως φαίνεται στο σχήμα 10 τα προφίλ των pulsars παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στη μορφολογία τους. Άλλα παρουσιάζουν διπλό προφίλ, άλλα αποτελούνται από περισσότερες από δύο συνιστώσες και άλλα από μια μόνο συνιστώσα. Για την ερμηνεία αυτών των διαφορών έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα.

Το 1976 ο Backer πρότεινε ένα μοντέλο σύμφωνα με το οποίο ο κώνος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αποτελείται από δύο ομόκεντρες περιοχές μία κεντρική και μία εξωτερική περιοχή. Οι διάφορες συνιστώσες που παρατηρούμε στα προφίλ των pulsars προέρχονται από ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτές τις περιοχές και από τη γωνία που σχηματίζει η γραμμή οράσεως με τον κώνο ακτινοβολίας (impact angle, β). Ωστόσο το μοντέλο αυτό είναι πολύ στατικό και δεν μπόρεσε να ερμηνεύσει τις διαφορές που παρατηρούμε στα προφίλ στις διάφορες συχνότητες παρατήρησης.

Η Rankin μελετώντας την μορφολογία των pulsars και την πόλωση τους σε διάφορες συχνότητες πρότεινε το "core and cone model" (Rankin 1983). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο η εκπεμπόμενη ακτινοβολία προέρχεται από δύο περιοχές μία κε-

ντρική (core region) και μία εξωτερική περιοχή (conal region) που περιβάλει την εσωτερική (σχήμα 13).

Η ακτινοβολία που προέρχεται από την κεντρική περιοχή (core radiation) δεν είναι απαραίτητο να βρίσκεται ακριβός στο κέντρο του κώνου ακτινοβολίας (σχήμα 13). Ο κώνος ακτινοβολίας μπορεί να διαιρεθεί σε δύο ή περισσότερους δακτύλιους εκπομπής. Η εκπομπή από αυτές τις περιοχές είναι υπεύθυνη για τα πολλαπλά προφίλ με πέντε συνιστώσες. Ακόμα η ακτινοβολία δεν εκπέμπεται ομοιόμορφα σε όλο τον κώνο εκπομπής αλλά αποτελείται μόνο από κάποιες περιοχές εκπομπής. Έτσι μπορεί σε ένα διπλό προφίλ το πρώτο μισό να οφείλεται στην κεντρική περιοχή εκπομπής (core component) και το δεύτερο στην εξωτερική περιοχή (conal componenet).



Σχήμα 13 : Απεικόνιση του "core and conal model". Εκτός από τη δομή του κώνου ακτινοβολίας παρουσιάζονται και μερικά από τα προφίλ που μπορούν να προκύψουν σύμφωνα με αυτό το μοντέλο και για τρεις τιμές της γωνίας που σχηματίζει η γραμμή οράσεως με τον άξονα του μαγνητικού διπόλου (impact angle, β) (Rankin 1993)

Η ένταση των διαφόρων συνιστωσών που παρατηρούμε στα προφίλ των pulsars μεταβάλλεται με τη συχνότητα παρατήρησης. Οι συνιστώσες που αντιστοιχούν στην κεντρική περιοχή εκπομπής (core componenet) έχουν μικρότερες τιμές φασματικού δείκτη (spectral index) και άρα διαγράμματα ακτινοβολίας με μεγαλύτερη κλίση σε αντίθεση με τις συνιστώσες που αντιστοιχούν στις εξωτερικές περιοχές εκπομπής (conal component). Έτσι στις χαμηλές συχνότητες επικρατούν οι πρώτες συνιστώσες και στις υψηλές συχνότητες οι δεύτερες.

Η Rankin μελέτησε και τα πλάτη των συνιστωσών που παρατηρούμε στα προφίλ. Για τις συνιστώσες που προέρχονται από την κεντρική περιοχή εκπομπής (core componenet) και για τις συνιστώσες που προέρχονται από τους δακτύλιους εκπομπής (conal componenet), το πλάτος μεταβάλλεται σύμφωνα με τις σχέσεις $W_{s0,CORE} = 2.5P^{-1/2}/sin\alpha$ και $W_{s0,CONAL} = 1.75P^{-1/2}/sin\alpha$. Όπως φαίνεται από τις δύο αυτές σχέσεις το πλάτος όλων των συνιστωσών εξαρτάται μόνο από την περίοδο περιστροφής του pulsar και από την γωνία που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής με τον άξονα του μαγνητικού διπόλου (inclination angle,α). Άρα το ύψος εκπομπής της ακτινοβολίας είναι ανεξάρτητο από την περίοδο περιστροφής και τη γωνία α και εξαρτάται μόνο από τη συχνότητα παρατήρησης. Η εκπομπή από την κεντρική περιοχή (core radiation) εντοπίζεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του αστέρα ενώ οι περιοχές εκπομπής της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στους εξωτερικούς δακτύλιους (conal radiation) βρίσκονται σε μεγαλύτερα ύψη. Συγκεκριμένα για παρατήρηση στο

1GHz το ύψος εκπομπής που αντιστοιχεί στον εσωτερικό δακτύλιο είναι περίπου ίσο 130 km ενώ για τον εξωτερικό δακτύλιο είναι 220 km.

Το 1988 οι Lyne & Manchester πρότειναν το "patchy-beam model". Μετά από μετρήσεις της γωνίας α (inclination angle) και της γωνίας β (impact angle) διαπίστωσαν ότι ο κώνος ακτινοβολίας δεν εκπέμπει ακτινοβολία ομοιόμορφα αλλά και ότι οι συνιστώσες που παρατηρούμε στα προφίλ (core, conal componenet) δεν προέρχονται από συγκεκριμένες περιοχές εκπομπής δηλαδή μια κεντρική περιοχή και δύο ή περισσότερους δακτύλιους, όπως πρότεινε η Rankin, άλλα από περιοχές τυχαία τοποθετημένες μέσα στον κώνο ακτινοβολίας.



<u>Σχήμα 14</u> : Απεικόνιση του "patchy-beam model" και ο τρόπος δημιουργίας κάποιων προφίλ. (Lorimer 2005)

Το 2001 οι Han & Manchester σχεδίασαν δισδιάστατα διαγράμματα του πλάτους του προφίλ και της γωνίας β (impact angle), που είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία οράσεως με τον άξονα του μαγνητικού πεδίου, για παρατηρήσεις γύρω στο 1GHz σε 87 pulsars μέσης και μεγάλης ηλικίας. Επιβεβαίωσαν το "patchy-beam model" ότι δηλαδή στον κώνο ακτινοβολίας οι περιοχές εκπομπής είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες αλλά διαπίστωσαν ότι η εκπομπή της ακτινοβολίας είναι λίγο πιο έντονη στην κεντρική περιοχή και στην περιοχή που βρίσκεται σε ακτίνα 0.7 από το κέντρο.

Το πιο πρόσφατο μοντέλο διατυπώθηκε από τους Karastergiou & Johnston (2007) (σχήμα 15). Το μοντέλο αυτό είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων μοντέλων. Σύμφωνα με αυτό η εκπεμπόμενη ακτινοβολία προέρχεται από τις εξωτερικές δυναμικές γραμμές. Οι περιοχές εκπομπής στον κώνο της ακτινοβολίας είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες. Ακόμα το μέγιστο ύψος εκπομπής είναι περίπου στα 1 000 km σε συχνότητα ίση με 1 Ghz ενώ το ελάχιστο ύψος εκπομπής μεταβάλλεται με τη ηλικία, για τους νεαρούς pulsars (P < 0.15 ms) είναι αρκετά μεγάλο κοντά στο μέγιστο και για τους pulsars μεγαλύτερης ηλικίας είναι γύρω στο 20 Km.

Με το μοντέλο αυτό οι Karastergiou & Johnston ερμήνευσαν το γεγονός ότι συναντούμε πιο συχνά πολλαπλά προφίλ σε pulsars μεγάλης ηλικίας σε αντίθεση με τα pulsars μικρής ηλικίας όπου τα προφίλ αποτελούνται συνήθως από μια συνιστώσα.



<u>Σχήμα 15</u> : Απεικόνιση του μοντέλου που πρότειναν οι Karastergiou & Johnston. Στα αριστερά απεικονίζεται ένας pulsars μικρής ηλικίας. Η εκπομπή της ακτινοβολίας εντοπίζεται σε μεγάλο ύψος από την επιφάνεια και πηγάζει από περιοχές εκπομπής ανομοιόμορφα κατανεμημένες στο κώνο ακτινοβολίας. Στα δεξιά ένας pulsars μεγαλύτερης ηλικίας η ακτινοβολία του οποίου προέρχεται από περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια του αστέρα νετρονίων. Στο κεντρικό διάγραμμα παρουσιάζεται το ελάχιστο ύψος εκπομπής σε συνάρτηση με τη χαρακτηριστική ηλικία. (Karastergiou & Johnston 2007)

1.4 ΜΕΜΩΝΟΜΕΝΟΙ ΠΑΛΜΟΙ

Όπως είδαμε παραπάνω το "ολοκληρωμένο" προφίλ είναι μια σύνθεση από πολλούς μεμονωμένους παλμούς. Σε αντίθεση με το ολοκληρωμένο προφίλ το οποίο παρουσιάζει σταθερή μορφή για κάθε pulsar οι μεμονωμένοι παλμοί διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ένταση και τη μορφολογία. Κάθε μεμονωμένος παλμός μπορεί να αποτελείται από έναν ή περισσότερους υποπαλμούς (subpulses). Οι υποπαλμοί καταλαμβάνουν συνήθως 1° με 3° γεωγραφικού μήκους περιστροφής και εντοπίζονται συνήθως στα γεωγραφικά μήκη όπου το ολοκληρωμένο προφίλ παρουσιάζει μέγιστο χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούμε να τους συναντήσουμε σε κάποια άλλα γεωγραφικά μήκη.

Οι υποπαλμοί θεωρούνται από τα βασικά χαρακτηριστικά του προφίλ των pulsars. Ο κάθε υποπαλμός αντιπροσωπεύει και μία μεμονωμένη περιοχή εκπομπής της ακτινοβολίας από το σύνολο των περιοχών εκπομπής οι οποίες δημιουργούν το "ολοκληρωμένο" προφίλ.

Μελετώντας τις διαφορές στην ένταση των υποπαλμών διακρίνουμε κάποιες χαρακτηριστικές μεταβολές: την ολική αλλαγή του προφίλ (mode changing), την μετατόπιση των υποπαλμών (drifting) και την σίγαση των παλμών (nulling).

1.4.1 MODE CHANGING

Τα "ολοκληρωμένα" προφίλ όπως είδαμε είναι σταθερά και χαρακτηρίζουν τον pulsar στον οποίο αντιστοιχούν. Ωστόσο το 1970 ο Backer παρατήρησε ότι ο PSR 1237+25 μπορεί να πάρει παραπάνω από μια σταθερές μορφές προφίλ διαφορετικές





<u>Σχήμα 16</u> : Οι αλλαγές που παρουσιάζονται στο "ολοκληρωμένο" προφίλ δύο pulsars, τους PSR 1237+25 και PSR 0329+54, σε διάφορες συχνότητες (Rankin 1986).

Το 1986 η Rankin διαπίστωσε ότι τα pulsars που εκδηλώνουν αυτό το φαινόμενο έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Όλα έχουν πολλαπλά προφίλ κάτι που σημαίνει σύμφωνα με το core and cone model ότι εκπέμπουν ακτινοβολία και από την κεντρική περιοχή και από τις εξωτερικές περιοχές εκπομπής. Ακόμα έχει παρατηρηθεί ότι mode changing συναντούμε κυρίως σε pulsars μεγάλης ηλικίας. Τέλος το φαινόμενο mode change έχει συσχετιστεί και με τη σίγαση των παλμών (nulling). Και τα δύο φαινόμενα συναντώνται σε μεγάλους σε ηλικία pulsars και η διάρκειά τους είναι περίπου η ίδια. Η σίγαση των παλμών μπορεί να θεωρηθεί και σαν mode changing στην οποία η ένταση όλων των συνιστωσών του προφίλ παίρνουν πολύ μικρές τιμές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο PSR B0826-34 ο οποίος ενώ θεωρούνταν ότι βρισκόταν σε κατάσταση σίγασης διαπιστώθηκε ότι η μεταβολές στο προφίλ οφείλονταν σε mode changing (Esamdin et al. 2005).

1.4.2 ΜΕΤΑΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΠΑΛΜΩΝ (DRIFTING)

Συνήθως το γεωγραφικό μήκος στο οποίο παρουσιάζεται ο υποπαλμός δεν σχετίζεται με το γεωγραφικό μήκος στο οποίο βρισκόταν στον προηγούμενο ή που θα βρίσκεται στον επόμενο παλμό. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι υποπαλμοί μετατοπίζονται σταδιακά προς μικρότερα ή μεγαλύτερα γεωγραφικά μήκη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετατόπιση των υποπαλμών (drifting) και παρατηρήθηκε πρώτη φορά στους pulsars PSR 1919+21 PSR 2016+28 από τους Drake και Craft (1968). Στο σχήμα 17 απεικονίζεται το φαινόμενο και οι τρεις περίοδοι που το περιγράφουν. Η περίοδος P_1 που αντιστοιχεί στην περίοδο του pulsar, η περίοδος P_2 μεταξύ δύο υποπαλμών και P_3 ο χρόνος που χρειάζεται ένας υποπαλμός για να βρεθεί στο ίδιο γεωγραφικό μήκος. Ο λόγος P_2/P_3 ονομάζεται drift rate και στα περισσότερα pulsars μένει σταθερός (±10%). Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις όπου παίρνει παραπάνω από μια τιμές, για παράδειγμα στους PSR B0031-07 και PSR B2319+60, ή περιπτώσεις όπου η κάθε συνιστώσα του pulsar έχει διαφορετική τιμή λόγου.



Σχήμα 17 : Η απεικόνιση της μετατόπισης των υποπαλμών και των τριών περιόδων που την περιγράφουν (Backer 1973).

Η υποπαλμοί μπορεί να μετατοπίζονται από μεγάλα γεωγραφικά μήκη σε μικρότερα ή και το αντίστροφο. Στους περισσότερους αστέρες νετρονίων η μετατόπιση ακολουθεί μία μόνο κατεύθυνση ωστόσο στον PSR B0826-34 έχουν παρατηρηθεί δύο κατευθύνσεις μετατόπισης.



Σχήμα 18 : Μετατόπιση των υποπαλμών (drifting) και σίγαση (nulling) σε τρεις pulsars, Κάθε οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί σε ένα παλμό (Taylor & Huguenin 1971).

Το φαινόμενο της μετατόπισης των υποπαλμών το συναντάμε κυρίως στις εξωτερικές συνιστώσες του προφίλ. Στις εσωτερικές συνιστώσες εμφανίζεται σπάνια και όταν εμφανίζεται ο λόγος P_2/P_3 συνήθως παίρνει μικρότερες τιμές σε σύγκριση με αυτές των εξωτερικών συνιστωσών. Σύμφωνα με το core and cone model αυτή η παρατήρηση υποδηλώνει ότι η μετατόπιση των υποπαλμών σχετίζεται με τον εξωτερικό κώνο εκπομπής.

1.4.3 ΣΙΓΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ (NULLING)

Η ένταση των παλμών παρουσιάζει μεταβολές από περίοδο σε περίοδο. Σε κάποιους pulsars η ένταση μπορεί να μειωθεί απότομα σε τιμές ίσες με το 1% της μέσης έντασης και στη συνέχεια να επιστρέψει σε κανονικά επίπεδα. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο παρατηρήθηκε πρώτη φορά από τον Backer το 1970, ονομάζεται σίγαση των παλμών (nulling).

Η διάρκεια και η επανάληψη του φαινομένου διαφέρουν από pulsar σε pulsar. Κάποια pulsars βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για μία με τρεις περιόδους η ένταση τους επανέρχεται σε κανονικές τιμές και το φαινόμενο επανεμφανίζεται ύστερα από διάστημα 100 παλμών. Ενώ σε άλλα pulsars η κατάσταση σίγασης καταλαμβάνει πάνω από το 50% των παρατηρούμενων παλμών. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο PSR B0826-34 ο οποίος βρίσκεται σε κατάσταση σίγασης για διάστημα που αντιστοιχεί στο 70% των παλμών. Τέλος υπάρχουν και περιπτώσεις όπου το φαινόμενο εμφανίζεται σποραδικά, η διάρκειά του είναι πολύ μικρή και δεν επαναλαμβάνεται σε σταθερά διαστήματα.

Το 1976 ο Ritchings μελετώντας αυτό το φαινόμενο διαπίστωσε ότι η σίγαση των παλμών παρατηρείται συχνότερα σε αστέρες μεγάλης ηλικίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 19 οι αστέρες που εμφανίζουν σίγαση παλμών τοποθετούνται στο πάνω δεξί τμήμα του διαγράμματος (Ρ, Ρ΄) κοντά στη γραμμή θανάτου, θέσεις όπου εμφανίζονται οι αστέρες μεγάλης ηλικίας.

Ακόμα ο Ritchings πρότεινε ότι η ακτινοβολία των pulsars προέρχεται από "εκρήξεις" ενέργειας (bursts) η διάρκεια και η χρονική απόκλιση των οποίων μπορεί να διαφέρει από pulsar σε pulsar. Σύμφωνα με το Ritchings το διάστημα μεταξύ αυτών των εκρήξεων αντιστοιχεί στη σίγαση των παλμών. Η συχνότερη παρατήρηση του φαινομένου της σίγασης σε αστέρες μεγαλύτερης ηλικίας μπορεί να οφείλεται είτε στο ότι η διάρκεια των εκρήξεων μικραίνει είτε στο ότι η χρονική απόκλιση μεταξύ τους αυξάνεται.

Τέλος το φαινόμενο της σίγασης μπορεί να οφείλεται σε μια κατάρρευση του μηχανισμού εκπομπής ή σε μία μη ομοιόμορφη ροή σωματιδίων στην περιοχή εκπομπής.



<u>Σχήμα 19</u> : Ol pulsars που παρουσιάζουν nulling στο διάγραμμα (P, P) (Ritchings 1976)

Το 1986 η Rankin συνέδεσε τη σίγαση των παλμών με τον τύπο του "ολοκληρωμένου" προφίλ. Για τους pulsars το προφίλ των οποίων αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα η ακτινοβολία της οποίας προέρχεται από την κεντρική περιοχή εκπομπής (core single profile) το ποσοστό εμφάνισης nulling είναι μικρό. Στην κατηγορία αυτή (S_t) ανήκουν οι pulsars μικρής ηλικίας κάτι που έρχεται σε συμφωνία με τη πρόταση του Richings. Για τους υπόλοιπους pulsars τον οποίον η ακτινοβολία προέρχεται και από τις κωνικές περιοχές εκπομπής το ποσοστό εμφάνισης nulling είναι μεγαλύτερο. Οι pulsars αυτοί ανήκουν στις άλλες κατηγορίες (S_d , D, T και M) και

είναι μεγαλύτερη σε ηλικία. Ωστόσο δεν έχει παρατηρηθεί στους pulsars που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, από τις παραπάνω τέσσερις, κάποια αύξηση του nulling με την ηλικία.

Το 1992 ο Biggs μελέτησε το φαινόμενο της σίγασης σε 72 pulsars κοντά στις συχνότητες 645 MHz και 843 MHz και προσπάθησε να βρει μια συσχέτιση αυτού του φαινομένου με την περίοδο, την ηλικία, και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εκπομπής. Η σίγαση των παλμών σχετίζεται με την περίοδο περιστροφής. Pulsars με μεγάλες περιόδους τείνουν να εμφανίζουν περισσότερους παλμούς σε σίγαση. Σχετίζεται ακόμα και με την ηλικία των pulsars όπως έδειξαν και οι μελέτες του Ritchings. Το ποσοστό εμφάνισης παλμών σε κατάσταση σίγασης είναι αντιστρόφος ανάλογο της γωνίας α (η γωνία που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής με τον άξονα του μαγνητικού πεδίου).

Η σίγαση των παλμών σχετίζεται με τη μετατόπιση των υποπαλμών. Οι Lyne και Ashworth μελετώντας αυτό το φαινόμενο διαπίστωσαν ότι ο λόγος P_2/P_3 μεταβάλλεται δέκα ή και περισσότερους παλμούς πριν από την εμφάνιση της σίγασης. Το διάστημα στο οποίο οι παλμοί βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης η μετατόπιση των υποπαλμών σταματά και με το τέλος της σίγασης επανέρχεται στην προηγούμενη κατάσταση. Ο χρόνος επαναφοράς εξαρτάται από την διάρκεια της σίγασης. Για pulsars οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για μικρά χρονικά διαστήματα ο χρόνος επαναφοράς είναι περίπου 10 sec ενώ για μεγάλα χρονικά διαστήματα ο χρόνος επαναφοράς είναι περίπου 20 sec.

1.4.4 MICROSTRUCTURE

Αυξάνοντας της ανάλυση του φάσματος αποκαλύπτονται παλμοί που βρίσκονται μέσα στους υποπαλμούς. Οι παλμοί αυτοί ονομάζονται μικροπαλμοί (micropulses). Η παρατήρησή τους είναι δυνατή μόνο σε pulsars μεγάλης έντασης. Η διάρκειά τους είναι περίπου ίση με λίγα microseconds ή nanoseconds.

Η σχέση των μικροπαλμών με τους υποπαλμούς είναι κατά πολλούς τρόπους όμοια με τη σχέση των υποπαλμών με το ολοκληρωμένο προφίλ, π.χ. οι μικροπαλμοί εμφανίζονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στους υποπαλμούς (όπως και οι υποπαλμοί εμφανίζονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στο ολοκληρωμένο προφίλ).

Οι μικροπαλμοί μπορούν να παρατηρηθου σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Η περίοδος εμφάνισης τους είναι ανεξάρτητη από την συχνότητα παρατήρησης. Σήμερα οι μικροπαλμοί θεωρούνται μάλλον ως κάποιες μικρομεταβολές του υποπαλμού και όχι διακριτές συνιστώσες της ακτινοβολίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΕΞΑΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 ΟΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όλες οι παρατηρήσεις που χρησιμοποιήσαμε πραγματοποιήθηκαν στο 100m Effelsberg radio telescope του Max-Planck Institut für Radioastronomie, της Βόννης ($\lambda = 6^{\circ} 53'$ 0.3", $\varphi = 50^{\circ} 31' 30$ "). Το ραδιοτηλεσκόπιο αυτό διαθέτει δέκτες για μετρήσεις από 0.8 GHz έως 96 GHz. Η καταγραφή έχει γίνει συνήθως σε τέσσερα κανάλια: τα πρώτα καταγράφουν τις δύο κυκλικές πολώσεις, κατευθείαν από τα αντίστοιχα ενεργά στοιχεία που βρίσκονται στην εστία του τηλεσκοπίου ενώ τα άλλα δύο δίνουν τις μετρήσεις των δύο πρώτων καναλιών πολλαπλασιασμένες με τις τριγωνομετρικές συναρτήσεις sin και cos για την εύρεση της πόλωσης.

Τα δεδομένα καταγράφονται σε συμπιεσμένα αρχεία τύπου PULXXXX.DAT. Κάθε τέτοιο αρχείο μπορεί να περιλαμβάνει διαδοχικές ή μη διαδοχικές μετρήσεις ενός ή περισσότερων pulsars οι οποίες είναι καταχωρημένες σε scans. Κάθε scan περιέχει κάποιες παρατηρήσεις (blocks). Οι παρατηρήσεις αυτές μπορεί να αντιστοιχούν σε μεμονωμένους παλμούς (single pulse) (int = 1) ή σε ολοκληρωμένους παλμούς (int > 1).

Κάθε scan περιέχει κάποιες αρχικές πληροφορίες παρατήρησης (header information) όπως το όνομα του pulsars, την ημερομηνία και ώρα της παρατήρησης, τον αριθμό των blocks, τον αριθμό των μεμονωμένων παλμών που ολοκληρώνεται σε κάθε παρατήρηση (int), την διακριτική ικανότητα των δεδομένων (resolution), των αριθμό των blocks κ.α. Το κάθε block περιέχει 1024 καταγραφές της έντασης του pulsars που παρατηρούμε, και επειδή όπως είδαμε τα δεδομένα καταγράφονται σε τέσσερα κανάλια οι συνολικές καταγραφές είναι 4×1024 = 4096. Ο συνολικός αριθμός των παλμών που έχουν καταχωρηθεί σε κάθε scan εξαρτάται από το int. Όταν int = 1 τότε οι παλμοί που καταγράφονται είναι μεμονωμένοι και άρα ο συνολικός αριθμός παλμών στο scan είναι 1 × blocks, ενώ όταν int > 1 τότε οι παλμοί που καταγράφονται είναι ολοκληρωμένοι και ο συνολικός αριθμός παλμών στο scan είναι ίσος με int × blocks.

Η διακριτική ικανότητα των δεδομένων (resolution) μετριέται σε μs. Με βάση το resolution υπολογίζουμε το χρόνο παρατήρησης που αντιστοιχεί σε κάθε block (resolution x 1024 = χρόνο παρατήρησης). Γνωρίζοντας την περίοδο του pulsar μπορούμε να διαπιστώσουμε αν η ανάλυση με την οποία έχει καταγραφεί ο παλμός είναι καλή ή κακή.

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν να σχεδιάσουμε τα ιστογράμματα ενέργειας μεμονωμένων παλμών (single pulses) πέντε pulsars σε τρεις διαφορετικές συχνότητες παρατήρησης (όπου ήταν δυνατών) (Πίνακας 1). Εκτός από τα ιστογράμματα ενέργειας της ολικής εκπομπής του pulsar (ON window) σχεδιάσαμε και τα ιστογράμματα της κάθε συνιστώσας του pulsar. Με βάση τα ιστογράμματα αυτά μελετήσαμε το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης (nulling) και εντοπίσαμε τις διαφορές στην ένταση ανάμεσα στις συνιστώσες του ίδιου pulsar.

Οι παρατηρήσεις που χρησιμοποιήσαμε πραγματοποιήθηκαν το διάστημα από το 1991 έως το 1996, σε μήκη κύματος 21 cm (1.4 - 1.7 GHz), 6 cm (4.75 4.85 GHz)και 2.8 cm (10.55 GHz). Στο πίνακα 2 δίνεται και ο αριθμός των μεμονωμένων παλμών

που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση. Τέλος στον πίνακα 3 παρατίθενται κάποια γενικά χαρακτηριστικά των πέντε pulsars που μελετήσαμε, η περίοδος Ρ, η παράγωγος της περιόδου Ρ΄, η ηλικία και το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια. (Όλες οι τιμές βασίζονται στο κατάλογο των pulsars των J. H. Taylor, R. N. Manchester, A. G. Lyne (1993). Κατάλογος των pulsars διατίθεται και στο διαδικτυακό τόπο http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/.)

Pulsar	21 cm	6 cm	2.8 cm
0329+54	×	v	~
0525+21	×		
1133+16	 ✓ 	v	
1237+25	×		
2020+28	v	v	

<u>Πίνακας 1</u>: Οι πέντε pulsars που επεξεργαστήκαμε και οι συχνότητες στις οποίες παρατηρήθηκε ο καθένας.

<u>Πίνακας 2</u>: Ο αριθμός των μεμονωμένων παλμών που χρησιμοποιήθηκαν στην

Pulsar	21 cm	6 cm	2.8 cm
0329+54	3553	1794	7069
0525+21	3292		
1133+16	7526	7799	
1237+25	8422		
2020+28	6889	2984	

<u>Πίνακας 3</u>: Γενικά χαρακτηριστικά των πέντε pulsars.

Pulsar		Number of components	P (s)	Þ (10⁻¹⁵)	log τ (yr)	log(B) (G)
B0329+54	J0332+5434	5	0.715	2.048	6.74	12.09
B0525+21	J0528+2200	2	3.746	40.053	6.17	13.09
B1133+16	J1136+1551	3	1.188	3.734	6.70	12.33
B1237+25	J1239+2453	5	1.382	0.960	7.36	12.07
B2020+28	J2022+2854	3	0.343	1.894	6.46	11.91

2.2 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε για την ανάλυση των δεδομένων είναι το "JHSNULL". Το πρόγραμμα αυτό άρχισε να δημιουργείται το 1983 από τον W. Sieber και έχει υποστεί μέχρι σήμερα αρκετές τροποποιήσεις και προσθέσεις από τους A. Sievers, A. Jessner, J.H. Seiradakis, και Μ. Kramer. Έχει γραφεί σε Fortran 77 και τρέχει σε λειτουργικό περιβάλλον Linux. Κάποιες από τις δυνατότητες αυτού του προγράμματος είναι να διαβάζει τους παλμούς (blocks) και να τους προσθέτει, να σχεδιάζει το ολοκληρωμένο προφίλ και των τεσσάρων καναλιών ή να προσθέτει τα δύο κανάλια και να σχεδιάζει το ολοκληρωμένο προφίλ που προκύπτει, να σχεδιάσει μία ακολουθία μεμονωμένων παλμών ώστε να εντοπιστούν οι διαφορές από παλμό σε παλμό κ.α.

	***** Pulsar data reduction program ***** LINUX-g77 - Version 06-DEC-2005	
	PULSAR ANALYSIS: MAIN MENUE 1.0	
(help)	list of options	
(exit)	program end	
(addata)	add data	
(ad12)	add channel 1 and 2. (ad34) add channel 3 and 4	
(base)	subtract baseline (data overwritten) [150- 250- 900-1000]	
(fast)	fast plot of successive blocks	
(filt)	smooth data with FFT (data overwritten) [1.0000]	
(head)	print header	
(look)	quick look (lineprinter mode) of successive pulses	
(mean)	compute mean, rms over baseline range and ratio max/sigma	
(flux)	compute pulse energy and flux	
(tsys)	evaluate calibration and tsys	
(plot)	plot the profile	
(print)	print current data	
(read)	read and integrate blocks	
(radd)	read data from .ADD or .ASC file	
(scan)	read and integrate a whole scan	
(shift)	read & shift blocks in time & write to new file	
(sequ)	plot sequence of successive blocks	
(show)	show contents of file	
(smooth)	smooth data with running mean (data overwritten) [0]	
(succ)	succession of fluxes	
(peak)	compute ratios of the peaks	
(wadd)	write data to .ADD and/or .ASC file	
(freq)	set observation frequency	
(file)	choose input file, default= ./ pul9999.dat	
(quality)	classify data according to their quality	
(path)	choose input path, default= ./	
(call)	read commands from file	
(retu)	return from macro execution	
(exec)	execute an OS command	
(quit)	exit program	
(pr12)	print each of the 12 windows	
(stat)	statistics	
JHSPULS>		

<u>Σχήμα 20</u> : Το κύριο μενού του προγράμματος JHSNULL.

Στο σχήμα 20 παρουσιάζεται το κύριο μενού του προγράμματος. Στη συνέχεια παρατίθενται οι εντολές που χρησιμοποιήσαμε και η λειτουργία της κάθε μίας.

2.2.1 ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ-ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΠΡΟΦΙΛ

Αρχικά ο στόχος ήταν να σχεδιάσουμε τα ολοκληρωμένα προφίλ που αντιστοιχούν στη συνένωση των δύο πρώτων καναλιών. Από τα ολοκληρωμένα προφίλ εντοπίσαμε την αρχή και το τέλος του παλμού αλλά και την αρχή και το τέλος της κάθε συνιστώσας του pulsar. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

Η εντολή "file". Με την εντολή αυτή επιλέγουμε το αρχείο το οποίο περιέχει τα δεδομένα που θα μελετήσουμε και το ανοίγουμε.

Η εντολή "show". Η εντολή αυτή εμφανίζει το περιεχόμενο (scans) του αρχείου που επιλέξαμε με την εντολή "file". Εκτός από τον αριθμό των scans εμφανίζεται ακόμα το όνομα του pulsars, η ημερομηνία και η ώρα παρατήρησης και ο αύξων αριθμός που αντιστοιχεί στο πρώτο block. Το scan που θα επιλέξουμε πρέπει να είναι περιέχει μεμονωμένους παλμούς (int = 1).

Η εντολή "read". Με την εντολή read προσθέτουμε τα block που εμείς έχουμε ορίσει.

Η εντολή "**plot**". Με την επιλογή αυτής της εντολής εμφανίζεται το μενού του σχήματος 21.

(wind)	start - end sample	[1-1024]
(base)	choose baseline range	[150- 250- 900-1000]
(factor)	plotfactor	[0.00000]
(mult)	period multiplication factor	[1.00]
(channel)	channel number	[1]
(nplo)	number of channels to be plot	ted [1]
(nerg)	energy computation	[0]
(errorbox)	plot a Resolution [0.00msec]	x 1 RMS box
(hpfl)	creates a hpg-file output	
(help)	show options	
(back)	go back to main program	
(start)	start plotting	
(pl12)	plot each of the 12 windows	
(pr12)	print each of the 12 windows	

<u>Σχήμα 21</u> : Το μενού που εμφανίζεται με την εντολή plot.

Η εντολή "**nplo**" καθορίζει τον αριθμό των καναλιών που θα σχεδιαστούν. Όταν nplo = 1 σχεδιάζονται ταυτόχρονα τέσσερα κανάλια ενώ όταν nplo = 0 σχεδιάζεται μόνο ένα κανάλι. Στη δική μας περίπτωση nplo = 0. Η εντολή ''channel''. Με την εντολή αυτή προσδιορίζουμε το κανάλι που θέλουμε να σχεδιάσουμε.

Η εντολή "start". Με την εντολή αυτή γίνεται και η σχεδίαση του ολοκληρωμένου προφίλ που αντιστοιχεί στο κανάλι που έχουμε επιλέξει.

Η εντολή "base". Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται μόνο όταν το ολοκληρωμένο προφίλ που έχει σχεδιαστεί δεν έχει καλό baseline. Το baseline ορίζεται με τέσσερα σημεία στην περιοχή του θορύβου (OFF window).

Η εντολή "factor". Με την εντολή αυτή αλλάζει η κλίμακα σχεδίασης.

Η εντολή "wind". Με την εντολή αυτή μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα μέρος του ολοκληρωμένου προφίλ π.χ. την περιοχή στην οποία βρίσκεται ο παλμός ή την περιοχή όπου βρίσκεται το σήμα βαθμονόμησης (calibration signal). Ορίζουμε την περιοχή που καταλαμβάνει το calibration signal.



Σχήμα 22: Το ολοκληρωμένο προφίλ του PSR 0329+54 σχεδιασμένο έτσι όπως περιγράψαμε παραπάνω.

Με την εντολή "back" επιστρέφουμε στο κυρίως μενού.

Χρησιμοποιούμε πάλι την εντολή "read" για να διαβάσουμε τα δεδομένα του scan που έχουμε επιλέξει.

Η εντολή "ad12". Αρχικά μας ζητείται να ορίσουμε την περιοχή την οποία καταλαμβάνει το calibration signal (calibration window), το μήκος αυτής της περιοχής το έχουμε υπολογίσει από το ολοκληρωμένο προφίλ που έχουμε σχεδιάσει όπως περιγράψαμε παραπάνω. Με βάση αυτή την περιοχή το πρόγραμμα υπολογίζει τους

συντελεστές με τους οποίους πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα δύο κανάλια ώστε να μπορέσουμε να τα προσθέσουμε. Η πρόσθεση των δύο καναλιών αποθηκεύεται στο κανάλι 1 και η διαφορά στο κανάλι 2.

Με την εντολή plot όπως περιγράψαμε παραπάνω σχεδιάζουμε το κανάλι 1+2. Από το ολοκληρωμένο προφίλ που έχει προκύψει προσδιορίζουμε την αρχή και το τέλος του συνολικού παλμού αλλά και την αρχή και το τέλος της κάθε συνιστώσας του pulsar.



Σχήμα 23 : Το ολοκληρωμένο προφίλ του σχήματος 17 μόνο που εδώ το προφίλ αντιστοιχεί στα κανάλια 1+2.

2.2.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ - ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΩΝ ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΩΝ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ NULLING

Το πρόγραμμα JHSNULL δεν έχει ακόμα τη δυνατότητα να σχεδιάζει τα ιστογράμματα ενέργειας ούτε να υπολογίζει το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης. Έτσι χρειάστηκε να προστεθεί μία ακόμα εντολή στο κύριο μενού, την εντολή statistics, η οποία έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την μέση ενέργεια κάθε μεμονωμένου παλμού προς τη μέση ενέργεια ολόκληρου του scan (E/[E]) και το ποσοστό εμφάνισης παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για το ολικό και για τους μεμονωμένους παλμούς.

Δεν περιοριστήκαμε μόνο στον υπολογισμό της E/[E] στο παράθυρο όπου βρίσκεται ο παλμός (ON window) αλλά με τις υπορουτίνες που προσθέσαμε μπορούμε να υπολογίσουμε την E/[E] για κάθε συνιστώσα του pulsar (ON pulse subwindow). Για την σχεδίαση των ιστογραμμάτων χρειάστηκε να υπολογίσουμε και την ένταση του θορύβου (OFF pulse subwindow). Το παράθυρο που αντιστοιχεί στο θόρυβο πρέπει να έχει το ίδιο μήκος, όπου ήταν δυνατό, με το παράθυρο που αντιστοιχεί στο ON window ή στο ON pulse subwindow. Ο θόρυβος υπολογίστηκε ως η μέση ενέργεια των σημείων κάθε παλμού που αντιστοιχούν στο OFF window προς τη μέση ενέργεια των παλμών όλου του block που αντιστοιχούν στο ON window.

Το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης υπολογίστηκε ως εξής : υπολογίσαμε το λόγο της μέγιστης έντασης κάθε παλμού, για το ολικό προφίλ και για τις συνιστώσες, προς την τυπική απόκλιση σ του θορύβου. Στις περιπτώσεις όπου η μέγιστη ένταση δεν ξεπερνάει τα 3σ ο παλμός παρουσιάζει nullling.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν ώστε να σχεδιαστούν τα ιστογράμματα ενέργειας.

Αρχικά επιλέγουμε την εντολή "read" από το κύριο μενού η οποία διαβάζει τα blocks που εμείς έχουμε επιλέξει και τα προσθέτει.

Στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή "stat" και εμφανίζεται το μενού που παρουσιάζεται στο σχήμα 20.

		ı
(onwind)	specify the begining and the end of pulse	
(offwind)	specify the off window	
(base)	choose baseline range [150-250-900-1000]	
(blocks)	first and last block	
(ad12)	add channel 1 and 2	
(subwindow)	give the number of components [1]	
(back)	go back to main program	
(start)	start calculations	

<u>Σχήμα 24</u> : Το μενού statistcs.

Με την εντολή "onwind" και "offwind" προσδιορίζουμε το εύρος της περιοχής την οποία καταλαμβάνει όλος ο παλμός (ON window) και ο θόρυβος (OFF window) αντίστοιχα. Το μήκος των δύο αυτών περιοχών πρέπει να είναι ίδιο όπου αυτό είναι δυνατό. Statistics: Option:?? onwi Please specify the begining and the end of pulse 350 790 Statistics: Option:?? offw Please specify the begining and the end of off window 80 300 800 1020

Σχήμα 25 : Μέρος του υποπρογράμματος που αντιστοιχεί στην εντολή "stat" - οι εντολές "onwindow" και "offwindow"

Στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή "block" με την οποία προσδιορίζουμε το πρώτο και το τελευταίο block που θα διαβάσουμε.

Statistics: Option:?? bloc Please specify first and last block 320 519

<u>Σχήμα 26</u> : Μέρος του υποπρογράμματος που αντιστοιχεί στην εντολή "stat" - η εντολή "block"

Οι παλμοί τους οποίους θα μελετήσουμε αντιστοιχούν στην ένωση των δύο πρώτων καναλιών. Με την εντολή "ad12" προσθέτουμε τα δύο πρώτα κανάλια, ακριβώς όπως είδαμε και με την εντολή ad12 του κύριου προγράμματος.

Statistics: Option:??
ad12
To calculate factors, please specify end of calibration window: [50]
52
1 52
Computing the average of channel 1 and 2.
Average goes to channel 1, difference to channel 2.
Please specify factors for both channels:
suggested Factor 1: 240.05379 Factor 2: 283.79160
/
Channels 1 and 2 averaged.
Factor 1: 240.05379 Factor 2: 283.79160

<u>Σχήμα 27</u> : Μέρος του υποπρογράμματος που αντιστοιχεί στην εντολή "stat" - η εντολή "ad12".

Στη συνέχεια αν θέλουμε να σχεδιάσουμε τα ιστογράμματα μόνο του συνολικού παλμού (ON window) τότε επιλέγουμε την εντολή "start" και έχουμε αυτόματα τα αποτελέσματα την ενέργειας κάθε παλμού προς τη μέση ενέργεια όλου του scan E/[E] και την ενέργεια του OFF window.

Στην περίπτωση όπου θέλουμε να σχεδιάσουμε τα ιστογράμματα όλων των

συνιστωσών τότε επιλέγουμε την εντολή "subwindow". Με την εντολή αυτή ορίζουμε τον αριθμό των συνιστωσών, την περιοχή που καταλαμβάνει η κάθε συνιστώσα (ON pulse window) και την περιοχή του θορύβου (OFF pulse window). Σε κάθε συνιστώσα αντιστοιχεί μία περιοχή θορύβου ίδιου μήκους. Και στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή "start".

Statistics: Option:?? subw Please give the number of componets 2 Please specify the begining and the end of each component 350 590 590 790 Please specify the OFF window 70 310 800 1000

<u>Σχήμα 28</u> : Μέρος του υποπρογράμματος που αντιστοιχεί στην εντολή "stat" - η εντολή "subwindow".

Statistics: Option: ??
star
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 27 37 14 11 8 10 6 2 3 10 4 6 3 8 2 1 4
1213343120011021201020200010000
000000001000000001100010000000000000000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
000000000000000000083 111 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
000000000000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000000000000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 5 29 27 20 15 9 8 9 6 3 3 3 6 5 2 2 3 1 0
543032111011101211020201011000000001110
000000001000100001101000000000000000000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
00000000000000000078493151000000000000000
000000000000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000000000000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 34 41 15 15 5 4 10 11 3 5 4 2 4 4 5 2 3
3111001211130100011100000000021000100000
10000000000101010000
0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 92 101 5 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
000000000000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000000000000

<u>Σχήμα 29</u>: Μέρος του υποπρογράμματος που αντιστοιχεί στην εντολή "stat" - η εντολή "start".

2.3 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Όπως είδαμε στη θεωρητική εισαγωγή η ενέργεια των μεμονωμένων παλμών παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις από παλμό σε παλμό. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να οφείλεται είτε στον μεσοαστρικό σπινθιρισμό είτε σε φαινόμενα που σχετίζονται με την εκπομπή του ίδιου του pulsar, όπως mode changing, η μετατοπιση των υποπαλμών (drifting) και η σίγαση των παλμών (nulling). Έτσι η σχεδίαση και η μελέτη των ιστογραμμάτων ενέργειας μπορεί να μας δώσει πολλές πληροφορίες για τα παραπάνω φαινόμενα αλλά και για την διαδικασία εκπομπής.

Μόλις το 1968 σχεδιάστηκαν τα πρώτα ιστογράμματα ενέργειας από τον Wielebinski. Ο Wielebinski μελέτησε τα ιστογράμματα ενέργειας του PSR 1919+21 σε παραπάνω από μια συχνότητες και διαπίστωσε ότι η μορφή τους είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα παρατήρησης.

Το 1973 ο Smigth σχεδίασε τα ιστογράμματα ενέργειας τριών pulsars, των PSR 0834+06, PSR 0950+08 και PSR1642-03, προσθέτοντας 1000 παλμούς στη συχνότητα 408 MHz (σχήμα 30). Ο Smith διαπίστωσε ότι για κάθε ένα από τους παραπάνω pulsars η μορφή των ιστογραμμάτων παραμένει σταθερή αλλά μεταξύ τους παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές.



<u>Σχήμα 30</u> : Ιστογράμματα ενέργειας των PSR 0834+06, PSR 0950+08 και PSR1642-03 στα 408 MHz (Smith 1973).

Οι Hesse & Wielebinski (1974) σχεδίασαν τα ιστογράμματα ενέργειας 11 pulsars στη συχνότητα 2695 MHz. Με βάση αυτή τη μελέτη και προηγούμενες δημοσιεύσεις μπόρεσαν να ταξινομήσουν τα ιστογράμματα ανάλογα με τη μορφή τους σε τρεις κατηγορίες. Ακόμα προσπάθησαν να συσχετίσουν τους τύπους των ιστογραμμάτων με κάποιες από τις ιδιότητες των pulsars.

Από τα 15 pulsars που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε ότι τα ιστογράμματα

ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους (σχήμα 31). Τα pulsars τα οποία ανήκουν στο πρώτο τύπο Ι παρουσιάζουν ιστογράμματα τα οποία δεν εμφανίζουν μέγιστο στο μηδέν. Τα ιστογράμματα δεύτερου τύπου ΙΙ εμφανίζουν μέγιστο στο μηδέν και τα ιστογράμματα τρίτου τύπου ΙΙΙ εμφανίζουν δύο μέγιστα το ένα στο μηδέν.



Σχήμα 31 : Οι τρεις τύποι ιστογραμμάτων ενέργειας που μπορούν να παρατηρούνται σύμφωνα με τους Hesse & Wielebinski (1974).

Το 1976 ο Ritcings πραγματοποίησε μια από τις πιο εκτεταμένες μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα. Σχεδίασε τα ιστογράμματα ενέργειας 32 pulsars χρησιμοποιόντας συνολικά 10 000 παλμούς για τον καθένα στη συχνότητα 408 MHz. Με βάση αυτά τα ιστογράμματα υπολόγισε και το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης (nulling) και τις διακυμάνσεις της ενέργειας σε συνάρτηση με το χρόνο. Ένα μέρος των αποτελεσμάτων έχει παρατεθεί στη θεωρητική εισαγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως είπαμε και παραπάνω οι παλμοί που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση ήταν όλοι μεμονωμένοι. Τα scan στα οποία περιέχονται αυτοί οι παλμοί δεν περιείχαν λιγότερα από 200 blocks για την αποφυγή του μεσοαστρικού σπινθηρισμού.

Η παλμοί οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης είναι αυτοί για τους οποίους το μέγιστο της έντασης είναι < 3σ. Ωστόσο για τον PSR B0329+54 σε όλα τα μήκη κύματος που είχαμε δεδομένα το κριτήριο του μεγίστου που χρησιμοποιήσαμε ήταν < 2σ με εξαίρεση το ολικό προφίλ στα 21cm. Το ίδιο κριτήριο (< 2σ) και για τον PSR B 2020+28 μόνο στα 6cm. Η διαφορά αυτή στο κριτήριο οφείλεται μάλλον στα επίπεδα του θορύβου είναι μεγαλύτερο στις υψηλότερες συχνότητες κάτι που επηρέασε την ένταση των παλμών σε αυτά τα pulsars.

Από τις τιμές που μας έχει δώσει το πρόγραμμα όπως είδαμε παραπάνω σχεδιάζουμε τα ιστογράμματα ενέργειας για τα ολικά προφίλ αλλά και για την κάθε συνιστώσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 **O** PSR B0329+54

Ο πρώτος pulsars που μελετήσαμε ο PSR B0329+54 όπως είδαμε και στη θεωρητική εισαγωγή παρουσιάζει mode changing στις διάφορες συχνότητες παρατήρησης (σχήμα 16). Κατά την αλλαγή του προφίλ οι συνιστώσες ΙΙ και ΙV συγχωνεύονται με τις δύο εξωτερικές και το προφίλ γίνεται τριπλό.

Το προφίλ του όπως πρότεινε η Rankin είναι πολλαπλό και συγκεκριμένα αποτελείται από πέντε συνιστώσες. Η συνιστώσα ΙΙΙ είναι η κεντρική συνιστώσα και αυτή η οποία προέρχεται από την εσωτερική περιοχή ακτινοβολίας (core). Οι υπόλοιπες αντιστοιχούν στους δύο δακτύλιους εκπομπής (cone components) που περικλείουν το κεντρικό. Το 2001 οι R. T.Ganngadhara και Υ. Gupta πρότειναν την ύπαρξη άλλων τεσσάρων συνιστωσών και κατ επέκταση άλλων δύο κωνικών περιοχών εκπομπής (σχήμα 32).



<u>Σχήμα 32</u> : Οι μεμονωμένες συνιστώσες και το ενοποιημένο προφίλ του PSR 0329+54 στα 606 MHz. (R. T.Ganngadhara και Y. Gupta 2001)

Όπως είπαμε και παραπάνω οι παρατηρήσεις για τον PSR B0329+54 πραγματοποιήθηκαν και στις τρεις συχνότητες και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα ιστογράμματα ενέργειας.

• <u>21 cm (1.4 - 1.7 GHz)</u>

Στα 21 cm προστέθηκαν 3553 παλμοί. Τα ιστογράμματα ενέργειας του ολοκληρωμένου προφίλ και της κάθε συνιστώσας παρουσιάζονται στο σχήμα 34.

Σύμφωνα με τους Hesse & Wielebinski (1974) τα ιστογραμμάτα ενέργειας που αντιστοιχούν στο ολοκληρωμένο προφίλ αυτού του pulsar είναι τύπου Ι δηλαδή το μέγιστο δεν συναντάται στο μηδέν. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήξαμε και εμείς.

Τα ιστογράμματα όλων των υπόλοιπων συνιστωσών ανήκουν και αυτά στον ίδιο τύπο. Παρόλο που οι περιοχές εκπομπής της ακτινοβολίας δεν είναι ίδιες για όλες τις συνιστώσες οι διαφορές που παρουσιάζουν τα ιστογράμματα ενέργειας

μεταξύ τους είναι ελάχιστες.







<u>Σχήμα 34</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 0329+54 στο μήκος κύματος 21 cm.



Η πρώτη και η πέμπτη συνιστώσα είναι πολύ πιθανό να προέρχονται προέρχονται από την ίδια κωνική περιοχή τα ιστογράμματά τους είναι πανομοιότυπα. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και για τη δεύτερη και τέταρτη συνιστώσα.

Από τα ιστογράμματα διαπιστώνουμε ότι ένα μικρό ποσοστό των παλμών βρίσκεται σε σίγαση. Σύμφωνα με το Ritchings το ποσοστό αυτό είναι ίσο με 0.25% στη συχνότητα 408 MHz. Από τους υπολογισμούς μας καταλήξαμε ότι για όλο το προφίλ το ποσοστό nulling είναι 0.93%, για την πρώτη συνιστώσα 13%, για την δεύτερη 1.46%, για την τρίτη 0.87%, για την τέταρτη 7.74% και για την πέμπτη 4.64%.

• <u>6 cm (4.75 GHz)</u>

Στα 6 cm (4.75 GHz) προστέθηκαν 1794 μεμονωμένοι παλμοί. Σε αυτή τη συχνότητα μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις συνιστώσες. Η τέταρτη συνιστώσα (IV) δεν παρατηρείται πλέον. Τα ιστογράμματα ενέργειας του ολοκληρωμένου προφίλ αλλά και όλων των συνιστωσών παρουσιάζονται στο σχήμα 36. Σε αυτή τη συχνότητα όπως περιμέναμε ο θόρυβος είναι έντονος. Στα ιστογράμματα ο θόρυβος δεν είναι καλά ορισμένος στο 0 σε σύγκριση με τη προηγούμενη συχνότητα. Η πρώτη και πέμπτη συνιστώσα έχουν επηρεαστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον θόρυβο τόσο που τα ιστογράμματα ενέργειας της συνιστώσας (ON window subwindow) και του θορύβου συμπίπτουν.

Και σε αυτή τη συχνότητα τα ιστογράμματα ενέργειας όλου του προφίλ και των συνιστωσών ΙΙ και ΙΙΙ (σχήμα 36) είναι τύπου Ι με ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους.



<u>Σχήμα 35</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 0329+54 στο μήκος κύματος 6 cm.



Από τους υπολογισμούς μας καταλήξαμε ότι για το ολικό προφίλ το ποσοστό nulling είναι 1.23%, για την δεύτερη συνιστώσα (II) 17.56% και για την τρίτη (III) 14.05%.

• <u>3 cm (10.55 GHz)</u>

Σε αυτή τη συχνότητα παρατήρησης προστέθηκαν 7069 μεμονωμένοι παλμοί. Το πλάτος του προφίλ σε αυτή τη συχνότητα είναι μικρότερο σε σχέση με τις δύο προηγούμενες. Το προφίλ του pulsar παίρνει μία διαφορετική μορφή από αυτήν που παρατηρούμε στα δύο προηγούμενα μήκη κύματος (mode changing). Οι ΙΙ και ΙV συνιστώσες δεν μπορούν να παρατηρηθούν. Η τρίτη συνιστώσα είναι εμφανώς εξασθενημένη και η πέμπτη είναι αυτή που τώρα κυριαρχεί στο προφίλ. Συνολικά οι συνιστώσες που παρατηρούμε είναι τρις οι Ι, ΙΙΙ και V.

Όπως και στα 6 cm ο θόρυβος δεν είναι καλά ορισμένος στο 0. Κυρίως η πρώτη (Ι) αλλά και η πέμπτη (V) συνιστώσα έχουν επηρεαστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον θόρυβο τόσο που τα ιστογράμματα ενέργειας της πρώτης συνιστώσας (ON window subwindow) και του θορύβου συμπίπτουν.

Και σε αυτή τη συχνότητα τα ιστογράμματα ενέργειας όλου του προφίλ και των συνιστωσών ΙΙΙ και V (σχήμα 36) είναι τύπου Ι με ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους.



<u>Σχήμα 36</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 0329+54 στο μήκος κύματος 3 cm.



Από τους υπολογισμούς μας καταλήξαμε ότι για όλο το προφίλ το ποσοστό nulling είναι ίσο με 3.64% και για την τρίτη συνιστώσα (III) 16.61%.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας (Πίνακας 4) με τα ποσοστά των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για τον PSR B 0329+54 στα τρία μήκη κύματος παρατήρησης.

		1000	00 I DIL D 002	1011		
	ολικό	1η συνιστώσα	2η συνιστώσα	3η συνιστώσα	4η συνιστώσα	5η συνιστώσα
21 cm	0.93%	13%	1.46%	0.87%	7.74%	4.64%
6 cm	1.23%		17.56%	14.05%		
2.8 cm	3.64%			16.10%		

<u>Πίνακας 4 :</u> Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για τον PSR B 0329+54.

4.2 **O** PSR B0525+21

Ο δεύτερος pulsar που μελετήσαμε ήταν ο PSR B0525+21. Ο pulsars αυτός δεν παρουσιάζει mode changing ή μετατόπιση των υποπαλμών (drigting). Ωστόσο οι παλμοί του παρουσιάζουν σίγαση σε ένα ποσοστό ίσο περίπου με 25 \pm 5% (Ritchings 1976).

Το προφίλ αυτού του pulsar σύμφωνα με την Rankin είναι διπλό. Και οι δύο συνιστώσες αντιστοιχούν στον εξωτερικό δακτύλιο εκπομπής (cone components).

Οι παρατηρήσεις για τον PSR B0525+21 πραγματοποιήθηκαν μόνο στα 21 cm

• <u>21 cm (1.4 1.7 GHz)</u>

Στα 21 cm προστέθηκαν 3292 μεμονωμένοι παλμοί. Τα ιστογράμματα ενέργειας του ολοκληρωμένου προφίλ και της κάθε συνιστώσας παρουσιάζονται στο σχήμα 38.

Σύμφωνα με τους Hesse & Wielebinski (1974) τα ιστογραμμάτα ενέργειας που αντιστοιχούν στο ολοκληρωμένο προφίλ αυτού του pulsar είναι τύπου ΙΙΙ παρουσιάζουν δύο μέγιστα το ένα εκ τον οποίων στο μηδέν.

Από τις δικές μας παρατηρήσεις καταλήξαμε ότι τα ιστογράμματα του ολικού προφίλ αλλά και της κάθε συνιστώσας είναι τύπου ΙΙ παρουσιάζουν μόνο ένα μέγιστο στο μηδέν οι διαφορές μεταξύ τους είναι ελάχιστες. Ο θόρυβος είναι καλά ορισμένος στο μηδέν.



<u>Σχήμα 37</u> : Το ολοκληρωμένο προφίλ του PSR B 0525+21 στα 21 cm.





<u>Σχήμα 37</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 0525+21 στο μήκος κύματος 21 cm.

Από τη μορφή των ιστογραμμάτων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι δύο συνιστώσες προέρχονται από την ίδια κωνική περιοχή εκπομπής.

Σύμφωνα με τον Ritchings το ποσοστό των παλμών οι οποίοι παρουσιάζουν nulling είναι $25\pm5\%$. Από τους δικούς μας υπολογισμούς βρέθηκε ότι για το ολικό προφίλ το ποσοστό είναι 19.05% για το ολικό προφίλ και 30.19% και 29.80% για την πρώτη και δεύτερη συνιστώσα αντίστοιχα.

<u>Πίνακας 5</u> :Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για τον PSR B 0525+21.

	ολικό	1η συνιστώσα	2η συνιστώσα
21 cm	19.05%	30.19%	29.80%

4.3 O PSR B1133+16

Ο PSR 1133+16 όπως και οι δύο προηγούμενοι pulsars παρουσιάζει πολλαπλό προφίλ. Η Rankin πρότεινε ότι το προφίλ του είναι διπλό με και με τις δύο συνιστώσες να προέρχονται από τον εξωτερικό κώνο εκπομπής (conal component). Το 1994 ο Kramer πρότεινε την ύπαρξη μίας ακόμα συνιστώσας στην περιοχή ανάμεσα στις δύο προηγούμενες. Στο συγκεκριμένο pulsar έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα όπως mode changing, μετατόπιση των υποπαλμών (drifting) και σίγαση των παλμών.

Οι παρατηρήσεις για του PSR 1133+16 πραγματοποιήθη
καυ σε μήκη κύματος 21 cm και 6 cm.

• <u>21 cm (1.4 1.7 GHz)</u>

Στα 21 cm εξετάστηκαν 7526 μεμονωμένοι παλμοί. Οι συνιστώσες που μπορέσαμε να διακρίνουμε ήταν οι δύο εξωτερικές (conal componenets). Τα ιστογράμματα ενέργειας που προέκυψαν για ολόκληρο το προφίλ και για κάθε συνιστώσα παρουσιάζονται στο σχήμα 39.

Σύμφωνα με τους Hesse & Wielebinski (1974) τα ιστογράμματα ενέργειας του ολικού προφίλ είναι τύπου ΙΙ δηλαδή παρουσιάζουν μέγιστο στο μηδέν. Όλα τα ιστογράμματα είναι τύπου ΙΙ με ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους και η ένταση του θορύβου είναι καλά ορισμένη στο μηδέν.



<u>Σχήμα 38</u> : Το ολοκληρωμένο προφίλ του PSR B 1133+16 στα 21 cm.





<u>Σχήμα 39</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 1133+16 στο μήκος κύματος 21 cm.

Από τα ιστογράμματα προκύπτει ότι ίσος οι δύο συνιστώσες να προέρχονται από την ίδια περιοχή εκπομπής.

Ο Ritchings υπολόγισε ότι το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης είναι ίσο με 15±2.5%. Το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε σίγαση είναι για το συνολικό προφίλ από τις δικές μας παρατηρήσεις είναι 7.31% και για την πρώτη και δεύτερη συνιστώσα είναι 12.72% και 17.14%.

• <u>6 cm (4.75 GHz)</u>

Στα 6 cm οι μεμονωμένοι παλμοί οι οποίοι προστέθηκαν είναι 7799. Σε αυτό το μήκος κύματος παρουσιάζεται μία αλλαγή στο τύπο των ιστογραμμάτων. Μόνο το ιστόγραμμα της πρώτης συνιστώσας μοιάζει με τα προηγούμενα όλα τα υπόλοιπα δεν εμφανίζουν μέγιστο στο μηδέν είναι τύπου Ι (σχήμα 40).

Ο θόρυβος και σε αυτή την περίπτωση είναι καλά ορισμένος στο 0.



<u>Σχήμα 40</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 1133+16 στο μήκος κύματος 21 cm.

Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης είναι 11.58% για το συνολικό προφίλ (ο Ritchings υπολόγισε ποσοστό σίγασης ίσο με 15±2.5%). Για τις δύο συνιστώσες το ποσοστό είναι 20.07% για την πρώτη και 39.22% για τη δεύτερη συνιστώσα.

<u>Πίνακας 6</u> : Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης
για τον PSR B 1133+16.

	ολικό	1η συνιστώσα	2η συνιστώσα
21 cm	7.31%	12.72%	17.14%
6 cm	11.58%	20.07%	39.22%

Το μεγάλο ποσοστό εμφάνισης σίγασης στη δεύτερη συνιστώσα είναι ίσος και η αιτία που αυτή η συνιστώσα έχει μικρότερη ένταση.

Ο PSR B1237+25 είναι και αυτός ένας pulsars με πολλαπλό προφίλ. Το προφίλ του αποτελείται από πέντε συνιστώσες (σχήμα 41). Σύμφωνα με την Rankin η τρίτη συνιστώσα αντιπροσωπεύει τον κεντρικό κώνο εκπομπής (core component) ενώ οι υπόλοιπες συνιστώσες προέρχονται από δύο ξεχωριστούς δακτύλιους εκπομπής που περιβάλουν την κεντρική (conal component). Οι συνιστώσες Ι και V ανήκουν στον εξωτερικό δακτύλιο και οι ΙΙ και ΙV στον εσωτερικό. Ωστόσο το 2000 ο G.J. Qiao et al (2000) πρότειναν την ύπαρξη μίας ακόμα κεντρικής συνιστώσας. Στον PSR B1237+25 μπορούμε να παρατηρήσουμε και άλλα φαινόμενα όπως mode changing και μετατόπιση των υποπαλμών (drifting).





Οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στα 21 cm.

• <u>21 cm (1.4 1.7 GHz</u>)

Ο αριθμός των μεμονωμένων παλμών που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση είναι 8422. Μπορέσαμε να παρατηρήσουμε και τις πέντε συνιστώσες. Τα ιστογράμματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο σχήμα 42.

Σύμφωνα με τους Hesse & Wielebinski (1974) τα ιστογράμματα ενέργειας του ολικού προφίλ του PSR B1237+25 είναι τύπου ΙΙΙ δηλαδή παρουσιάζει δύο μέγιστα. Το ιστόγραμμα ενέργειας του ολικού προφίλ που σχεδιάσαμε εμείς είναι τύπου ΙΙΙ όπως και τα ιστογράμματα της πρώτης (Ι) της δεύτερης (ΙΙ), της τέταρτης (ΙV) και της πέμπτης (V) συνιστώσας η τρίτη συνιστώσα (ΙΙΙ) εμφανίζουν διαγράμματα τύπου Ι.



<u>Σχήμα 42</u> : Το ολοκληρωμένο προφίλ του PSR B1237+25 στα 21 cm.



<u>Σχήμα 43</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 1237+25 στο μήκος κύματος 21 cm.



Παρατηρούμε ότι τα ιστογράμματα της δεύτερης και τέταρτης συνιστώσας έχουν τον ίδιο τύπο και φαίνονται πανομοιότυπα μάλλον οι δύο αυτές συνιστώσες βρίσκονται στην ίδια κωνική περιοχή εκπομπής. Το ίδιο ισχύει και για την πέμπτη συνιστώσα.

Σύμφωνα με το Ritchings το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για τον PSR B1237+25 είναι 6±2.5%. Σύμφωνα με τις δικές μας παρατηρήσεις για το συνολικό προφίλ το ποσοστό είναι 3.89% ενώ για την κάθε συνιστώσα το ποσοστό εμφάνισης nulling είναι 18.17% (I), 15.89% (II), 38.45% (III), 14.84% (IV) και 11.24% (V) (Πίνακας 7).

<u>Πίνακας 7</u> : Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης						
για τον PSR B 1237+25.						

	ολικό	1η συνιστώσα	2η συνιστώσα	3η συνιστώσα	4η συνιστώσα	5η συνιστώσα
21 cm	3.89%	18.17%	15.89%	38.45%	14.84%	11.24%

4.5 O PSR B2020+28

Ο PSR B 2020+28 είναι και αυτός ένας pulsars με πολλαπλό προφίλ. Παρόλο που το προφίλ του φαίνεται ότι είναι διπλό η Rankin (1993) πρότεινε ότι υπάρχει και μία τρίτη συνιστώσα στην περιοχή ανάμεσα στις δύο συνιστώσες. Οι δύο πιο έντονες συνιστώσες αντιπροσωπεύουν την εξωτερική κωνική περιοχή εκπομπής (cone region) ενώ η συνιστώσα που βρίσκεται στην ενδιάμεση περιοχή αντιπροσωπεύει την κεντρική περιοχή εκπομπής (core region).

Οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα 21 cm και στα 6 cm.

• <u>21 cm (1.4 1.7 GHz)</u>

Ο αριθμός των μεμονωμένων παλμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση των ιστογραμμάτων στα 21 cm είναι 6889. Οι συνιστώσες τις οποίες μπορέσαμε να παρατηρήσουμε είναι οι δύο conal συνιστώσες. Και το ιστόγραμμα του ολικού προφίλ αλλά και τα ιστογράμματα των δύο συνιστωσών είναι τύπου Ι δηλαδή παρουσιάζουν μέγιστο κοντά στη μέση ενέργεια (σχήμα 45).



 $\underline{\Sigma} \chi \acute{\eta} \mu \alpha \ 44$: Το ολοκληρωμένο προφίλ του PSR B 2020+28 στα 21 cm.





<u>Σχήμα 45</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 2020+28 στο μήκος κύματος 21 cm.

Και οι δύο συνιστώσες του προφίλ που μπορέσαμε να παρατηρήσουμε παρουσιάζουν ιστογράμματα ιστογράμματα του ίδιου τύπου είναι πολύ πιθανό η ακτινοβολία από αυτές τις συνιστώσες να προέρχεται από την ίδια κωνική περιοχή.

Σύμφωνα με τον Ritchings το για τον PSR 2020+28 το ποσοστό εμφάνισης nulling είναι μικρότερο από 3%. Από τις δικές μας μετρήσεις στο ολικό προφίλ το ποσοστό είναι ίσο με 0.21% ενώ για τις συνιστώσες είναι 0.96% και 7.07% για την πρώτη και δεύτερη συνιστώσα.

• <u>6 cm (4.75 GHz)</u>

Οι παλμοί που προστέθηκαν σε αυτό το μήκος κύματος είναι 2984 και οι συνιστώσες που παρατηρήσαμε ήταν όπως και στα 21 cm οι δύο conal.

Σε αυτό το μήκος κύματος ο θόρυβος είναι εντονότερος αυτό φαίνεται και στα ιστογράμματα του OFF window.

Και σε αυτό το μήκος κύματος όλα τα ιστογράμματα είναι τύπου Ι (σχήμα 46).



<u>Σχήμα 46</u> : Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλα τα ιστογράμματα ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στον PSR B 2020+28 στο μήκος κύματος 6 cm.

Όπως και στα 21 cm οι δύο συνιστώσες είναι πολύ πιθανό να προέρχονται από την ίδια περιοχή εκπομπής.

Το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε σίγαση είναι 1.44% για το ολικό προφίλ και 10.62% και 17.16% για την πρώτη και δεύτερη συνιστώσα αντίστοιχα.

	ολικό	1η συνιστώσα	2η συνιστώσα	
21 cm	0.21%	0.96%	7.07%	
6 cm	1.44%	10.62%	17.16%	

<u>Πίνακας 7</u>: Το ποσοστό των παλμών που βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης για τον PSR B 1133+16.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στόχος αυτής της εργασίας ήταν να σχεδιάσουμε τα ιστογράμματα ενέργειας μεμονωμένων παλμών του ολικού αλλά και των συνιστωσών πέντε pulsars,, των PSR B 0329+54, PSR B 0525+21, PSR B 1133+16, PSR B 1237+25 και PSR B 2020+28, σε τρία διαφορετικά μήκη κύματος παρατήρησης. Τα ιστογράμματα ενέργειας των μεμονωμένων παλμών και οι διαφορές που παρουσιάζουν μεταξύ τους έχουν τη δυνατότητα να μας δώσουν πληροφορίες για την κατανομή της ακτινοβολίας μέσα στον κώνο ακτινοβολίας. Εκτός από τα ιστογράμματα υπολογίσαμε και το ποσοστό των παλμών οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση σίγασης τόσο για το ολικό όσο και για τους μεμονωμένους παλμούς.

Για την πραγματοποίηση αυτών των παραπάνω χρειάστηκε να προετοιμάσουμε κατάλληλα προσθέτοντας τις υπορουτίνες που κρίναμε απαραίτητες.

Τα ιστογράμματα των ολικών προφίλ υπάρχουν είδη στην βιβλιογραφία. Από την δική μας ανάλυση προέκυψε δυο αποκλίσεις στον τύπο του προφίλ από τη βιβλιογραφία. Η πρώτη στον PSR B 0525+21. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το ολικό ιστόγραμμα του είναι τύπου ΙΙΙ ενώ από τις δικές μας παρατηρήσεις στα 21 cm διαπιστώσαμε ότι είναι τύπου ΙΙ. Η διαφορά αυτή ίσος οφείλεται στο μικρό δείγμα των μεμονωμένων παλμών που χρησιμοποιήσαμε. Η δεύτερη διαφορά στον PSR B 1133+16. Ενω στα 21 cm το προφίλ του είναι τύπου ΙΙ (σύμφωνο με τη βιβλιογραφία) στα 6 cm είναι τύπου Ι.

Από τα ιστογράμματα των μεμονωμένων παλμών διαπιστώσαμε ότι (α) για τον PSR B 0329+54 είναι πολύ πιθανών η ακτινοβολία από τις τέσσερις εξωτερικές συνιστώσες να προέρχονται από δύο ξεχωριστούς κώνους εκπομπής (conal components), (β) για τον PSR B 0525+21 τα δύο ιστογράμματα των μεμονωμένων συνίστωσών του έχουν την ίδια μορφή πράγμα που σημαίνει ότι είναι πολύ πιθανών η ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε αυτές τις συνιστώσες να προέρχεται από την ίδια κωνική περιοχή εκπομπής, (γ) για τον PSR B 1133+16 στα 21 cm τα ιστογράμματα και των δύο συνιστωσών είναι ίδιου τύπου ενώ στα 6 cm παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους. Μεγάλες διαφορές παρουσιάζει και το ποσοστό εμφάνισης σίγασης μεταξύ αυτών των συνιστωσών, (δ) για τον PSR B 1237+25 είναι πολύ πιθανών οι τέσσερις εξωτερικές συνιστώσες που παρατηρήσαμε να προέρχονται από δύο διαφορετικούς κώνους εκπομπής, (ε) για τον PSR B 2020+28 και στις δύο συχνότητες που έγινε η παρατήρηση τα ιστογράμματα των συνιστωσών ανήκουν στον ίδιο τύπο. Ωστόσο το ποσοστό εμφάνισης σίγασης μεταξό τους διαφορες που έγινε η παρατήρηση τα ιστογράμματα των συνιστωσών ανήκουν στον ίδιο τύπο. Ωστόσο το ποσοστό εμφάνισης σίγασης μεταξο διαφορες που έγινε η παρατήρηση τα ιστογράμματα των συνιστωσών ανήκουν στον ίδιο τύπο.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα προέκυψαν από ένα μικρό αριθμό παρατηρήσεων με την προσθήκη περισσότερων δεδομένων θα μπορέσουμε να βγάλουμε περισσότερα συμπεράσματα για τις περιοχές εκπομπής της ακτινοβολίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Backer D.C., 1970, Nature, 228, 42
- [2] Backer D.C., 1976, Ap.J., 209, 895

[3] Βάρβογλης Χ., Σειραδάκης Γ.Χ., 1994, Εισαγωγή στη σύγχρονη αστρονομία, Θεσσαλονίκη

- [4] Biggs J.D., 1992, Ap.J., 394, 574
- [5] Hesse K.H. & Wielebinski R., 1974, A&A, 31, 409
- [6] Karastergiou, A., and Johnston, S., 2007 Mon. Not. R. Astron. Soc., 380, 1678 1684
- [7] Kramer M., 1994, A&A, 107, 527

[8] Lorimer D.R., 2005, Living Rev. Relativity, 8,7, (http://www.livingrevies.org/Irr-2005-7)

[9] Lorimer, D.R., and Kramer, M.,2005,"Handbook of Pulsar Astronomy", Cambridge Observing Hand- books for Research Astronomers, vol. 4, (Cambridge University Press, Cambridge) (http://www.jb.man.ac.uk/pulsarhandbook)

[10] Lyne A.G., Graham-Smith F., 2005, "Pulsar Astronomy", Cambridge University Press

[11] Lyne A.G. & Manchester R.N., 1988, MNRAS, 234, 477

[12] Manchester R.N. & Taylor J.H., 1997, "Pulsars", W.H. Freeman and Company

[13] Qiao G.J., Liu J.F., Wang Y., et al., 2000, in Pulsar Astronomy - 2000 and Beyond, ASP Conference Series, Vol. 202; IAU Colloquium 177th in Bonn, Germany.(San Francisco: ASP). Edited by M. Kramer, N. Wex, and N. Wielebinski, p.197

[14] Rankin J.M., 1983, Ap.J., 274, 333 (Paper I)

- [15] Rankin J.M., 1986, Ap.J., 301, 901 (Paper III)
- [16] Rankin J.M., 1993a, Ap.J., 405, 285 (Paper VI)

[17] Rankin J.M., 1993b, Ap.J., S85, 145

[18] Ritchings R.T., 1976, MNRAS, 176, 249

[19] Seiradakis J.H., Gil J.A., Graham D.A., Jessner A., Kramer M., Malofeev V.M., Sieber W., Wielebinski R., 1995, Astron.Astrophys.Suppl.Ser. 111, 205

[20] Σειραδάκης Γ.Χ., 2004, "Σημειώσεις ραδιοαστρονομίας", Θεσσαλονίκη

[21] Smith F.G., 1973, MNRAS, 161, 9P

[22] Taylor J.H., Manchester R.N., Lyme A.G., 1993, Ap.J., S88, 529

[23] University of Manchester, The European Pulsar Network Data Archive , web interface to database. URL (cited on 17 January 2005): (<u>http://www.jb.man.ac.uk/</u>~pulsar/Resources/epn)

[24] Vivekanand M., 1995, MNRAS, 274, 785

[25] Wang N., Manchester R.N., Johnston S., 2007, MNRAS

[26] Weltevrede P. & Johnston S., 2008, MNRAS, 000, 1 7