

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Φυσικής
Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής
Εργαστήριο Αστρονομίας

Μετατροπή Δεδομένων από pulsars σε γλώσσα XML (eXtensible Markup Language)

Διπλωματική εργασία
της
Ραδιώτη Αικατερίνης



Επιβλέπων Καθηγητής: Ι.Χ. Σειραδάκης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2002

ΜΕΡΟΣ 1 PART 1

Στους γονείς μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	4
Περίληψη.....	5
Εισαγωγή.....	6
Η ανακάλυψη των pulsars.....	6
Η φύση των pulsars.....	7
Το είδος της ακτινοβολίας των pulsars.....	8
Παλμοί των pulsars.....	9
Αλληλεπίδραση του μεσοαστρικού χώρου με την ακτινοβολία.....	16
1. EPN FORMAT.....	18
A flexible format for exchanging pulsar data.....	18
The EPN format.....	19
EPN header.....	21
EPN sub-header.....	22
EPN data.....	23
2. XML (eXtensible Markup Language).....	25
Current Approach: SGML, a Silent Revolution.....	26
Next Step: XML, the Web Revolution.....	28
Differences between SGML and XML.....	28
1. Introduction to XML.....	29
2. Documents.....	29
Well-Formed XML Documents.....	29
Characters.....	29
Common Syntactic Constructs.....	30
Character Data and Markup.....	32
Comments.....	32
Processing Instructions.....	33
CDATA Sections.....	33
Prolog and Document Type Declaration.....	33
Standalone Document Declaration.....	36
White Space Handling.....	37
End-of-Line Handling.....	38
Language Identification.....	38
3. Logical Structures.....	39
Start-Tags, End-Tags, and Empty-Element Tags.....	40
Element Type Declarations.....	41
1. Element Content.....	42
2. Mixed Content.....	43
Attribute-List Declarations.....	43
1. Attribute Types.....	44
2. Attribute Defaults.....	45
3. Attribute-Value Normalization.....	47

4. Conditional Sections.....	48
4.Physical Structures.....	49
Character and Entity References.....	49
Entity Declarations.....	51
1. Internal Entities.....	51
2. External Entities.....	52
Parsed Entities.....	53
1. The Text Declaration.....	53
2. Well-Formed Parsed Entities.....	53
3. Character Encoding in Entities.....	54
XML Processor Treatment of Entities and References.....	54
1. Not Recognized.....	55
2. Included.....	56
3. Included If Validating.....	56
4. Forbidden.....	56
5. Included in Literal.....	56
6. Notify.....	57
7. Bypassed.....	57
8. Included as PE.....	57
Construction of Internal Entity Replacement Text.....	57
Predefined Entities.....	58
Notation Declarations.....	58
Document Entity.....	59
5.Conformance.....	59
Validating and Non-Validating Processors.....	59
Using XML Processors.....	59
6.Comparing XML and HTML.....	60
7.XML in the ADS.....	61
8.Which language should be used for which purpose.....	61
9.Related Languages and Derivatives.....	62
XDF, the eXtensible Data Format for Scientific Data.....	62
AIML (Astronomical Instrument Markup Language).....	65
AML (Astronomical Markup Language).....	65
XSL (eXtensible Scientific Interchange Language).....	65
3.Conversion of EPN format to XML format.....	66
Pulsar.dtd.....	66
Pulsar.xml.....	68
Access to the program.....	73
4.XML applications.....	73
Conclusion.....	73
Acknowledgements.....	74
Bibliography.....	74

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων για Pulsars απαιτεί έναν κοινό κώδικα επικοινωνίας μεταξύ των ερευνητών. Το 1998 δημιουργήθηκε από το European Pulsar Network (EPN) το EPN data format, ένας κοινός κώδικας που περιέχει δεδομένα για Pulsar και χρησιμοποιείται ευρέως από τα περισσότερα αστεροσκοπεία διευκολυνώντας την ανταλλαγή δεδομένων για Pulsars μεταξύ ερευνητών. Με την παρούσα εργασία επεκτείνεται η προσβαση σε δεδομένα για Pulsars. Συγκεκριμένα γίνεται μετατροπή του EPN Format σε XML (eXtensible Markup Language) format. Το εργαλείο αυτό είναι γραμμένο σε γλώσσα Fortran και μετατρέπει αυτόματα τα EPN αρχεία σε αρχεία XML Physical Structure (xml) και XML Document Type Definition (dtd). Το XML είναι μια γλώσσα σε δένδροειδή μορφή και θεωρείται ότι θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανταλλαγή κάθε είδους δεδομένων στο διαδίκτυο στο κοντινό μέλλον. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή του EPN Format. Ακολουθεί εκτενέστερη ανάλυση του κώδικα XML, γίνεται σύγκριση με παρόμοιους κώδικες, τονίζεται η χρήση του σε αστρονομικά δεδομένα και τέλος παρουσιάζεται το XML format που έχει δημιουργηθεί.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Πριν τη δημιουργία του European Pulsar Network (EPN), η έλλειψη ενός κοινού κώδικα δεδομένων για Pulsars εμπόδιζε τις ερευνητικές διεργασίες των ερευνητών. Από το 1998 το EPN data format χρησιμοποιείται ευρέως από τα περισσότερα αστεροσκοπεία διευκολυνώντας την ανταλλαγή δεδομένων για Pulsars μεταξύ ερευνητών.

Με την παρούσα εργασία επεκτείνεται η προσπάθεια σε δεδομένα για Pulsars. Συγκεκριμένα γίνεται μετατροπή του EPN Format σε XML (eXtensible Markup Language) format. Το εργαλείο αυτό είναι γραμμένο σε γλώσσα Fortran και μετατρέπει αυτόματα τα EPN αρχεία σε αρχεία XML Physical Structure (xml) και XML Document Type Definition (dtd). Το XML Physical Structure (xml) είναι XML αρχείο με τη φυσική μορφή ενώ το XML Document Type Definition (dtd) είναι αρχείο που καθορίζει το είδος των στοιχείων του πρώτου.

Το XML είναι μια γλώσσα σε δένδροειδή μορφή και θεωρείται ότι θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανταλλαγή κάθε είδους δεδομένων στο διαδίκτυο στο κοντινό μέλλον. Η πληροφορία περιέχεται σε ετικέτες (Tags), παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στο HTML, οι οποίες περιγράφουν το είδος της πληροφορίας.

Ο MS Explorer (V>=5.5) διαβάζει XML αρχεία. Το Cambridge University Press είναι έτοιμο να δεχτεί δημοσιεύσεις σε XML μορφή. Τέλος, πολλά άλλα εργαλεία για την επεξεργασία δεδομένων σε XML μορφή κατασκευάζονται αυτή τη στιγμή.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανακάλυψη των pulsars

Η θεωρητική πρόβλεψη των αστέρων νετρονίων ως το τελικό στάδιο ενός υπερκαινοφανούς έγινε από τους Laundau, Baade και Zwicky, το 1934, σύντομα μετά την ανακάλυψη του νετρονίου από τον Chadwick, το 1934.

Η ανακάλυψη των αστέρων νετρονίων έγινε τυχαία το 1967 με παρατηρήσεις σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Η Jocelyn Bell, μεταπτυχιακή φοιτήτρια τότε, στο πανεπιστήμιο του Cambridge της Αγγλίας, ανακάλυψε, αναλύοντας δεδομένα από ένα πείραμα που είχε σχεδιάσει ο A. Hewish, περιοδικά σήματα από μια άγνωστη μέχρι τότε ραδιοπηγή. Η μεγάλη ακρίβεια της περιόδου επανάληψης των σημάτων ξάφνιασε τους ερευνητές που στην αρχή δεν παρέλειψαν να εξετάσουν την περίπτωση αποστολής σημάτων από εξωγήινα λογικά όντα.

Η καταπληκτική ακρίβεια της περιόδου επανάληψης των σημάτων των pulsars δεν αφήνει πολλά περιθώρια επιλογής για την ενδεχόμενη φύση της πηγής. Η περίπτωση να συνδέεται η εκπομπή των ραδιοφωνικών κυμάτων με την περιφορά των μελών ενός **διπλού αστέρα** απορρίφθηκε αμέσως για δύο λόγους: (α) η περίοδος περιφοράς ενός διπλού συστήματος αποτελούμενου από δύο λευκούς νάνους δεν είναι δυνατόν να είναι μικρότερη από 1.7 sec. (β) η περίοδος περιφοράς ενός διπλού συστήματος αποτελούμενου από δύο αστέρες νετρονίων ελαττώνεται λόγω εκπομπής βαρυτικής ακτινοβολίας, η ενέργεια της οποίας αντλείται από την ελάττωση του μεγάλου ημιάξονα της σχετικής τροχιάς του συστήματος. Σύντομα αποκλείστηκε και η περίπτωση **αναπάλσεων λευκών νάνων** ή **αστέρων νετρονίων**. Για τον λόγο ότι η περίοδος αναπάλσεων ενός αστέρα είναι ανάλογη του $\langle \rho \rangle^{-1/2}$, όπου $\langle \rho \rangle$ είναι η μέση πυκνότητα του αστέρα, απορρίφθηκε κάθε πρότυπο αναπάλσεων, δεδομένου ότι οι περίοδοι των pulsars καλύπτουν πάνω από τρεις τάξεις μεγέθους και επομένως οι 'νέοι' αστέρες θα κάλυπταν πάνω από 6 τάξεις πυκνότητας. Τέλος αποκλείστηκε και η περίπτωση **περιστροφής λευκών νάνων**, λόγω των μικρών τιμών που έχει η περίοδος ορισμένων pulsars.

Έτσι απόμεινε η περίπτωση να οφείλονται τα περιοδικά σήματα σε **ταχύτατα περιστρεφόμενους αστέρες νετρονίων**. Για την ανακάλυψή του ο A. Hewish τιμήθηκε με το βραβείο Nobel Φυσικής, το 1974.

Η ανακάλυψη των pulsars μπορεί να συγκριθεί σε σπουδαιότητα με την ανακάλυψη των ημιαστέρων και της ακτινοβολίας μικροκυμάτων και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προόδους της σύγχρονης αστρονομίας. Την εποχή της ανακάλυψης των πρώτων pulsars (1967) οι τεχνικές των ραδιοαστρονομικών παρατηρήσεων ήταν αρκετά ανεπτυγμένες, με αποτέλεσμα την ταχύτατη ανακάλυψη πολλών pulsars. Σήμερα είναι γνωστοί τουλάχιστον 1400 pulsars, από τους $\sim 10^5$ που υπολογίζουμε ότι πρέπει να υπάρχουν στον Γαλαξία μας. Ανάλογα ταχύτατη υπήρξε και η θεωρητική αντιμετώπιση των παρατηρησιακών δεδομένων. Σήμερα οι pulsars αποτελούν πεδίο εντονότατης ερευνας σε μια πλειάδα θεμάτων, όπως είναι η ηλεκτροδυναμική των περιστρεφόμενων μαγνητισμένων αστέρων, η συνεκτική ακτινοβολία και η δομή και οι ιδιότητες των αστέρων νετρονίων, είτε απλών, είτε μελών αστρικών ζευγών.

Η φύση των pulsars

Η ιστορία ενός αστέρα νετρονίων σχετίζεται πολύ με τη μελέτη της αστρικής εξέλιξης. Από το 1931, ο Chandrasekhar υπολόγισε ότι τα αστρικά αντικείμενα μάζας μεγαλύτερης από 1.44 ηλιακές μάζες δεν μπορούν να σταθεροποιηθούν στη μορφή των λευκών νάνων και αυθόρμητα λαμβάνει χώρα περαιτέρω βαρυτική κατάρρευση.

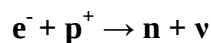
Το 1934, οι Baade και Zwicky πρότειναν την ύπαρξη των αστέρων νετρονίων. Τους συσχέτισαν απευθείας με εκρήξεις υπερκαινοφανών και πρόβλεψαν ότι η ακτίνα τους **δεν θα ήταν μεγαλύτερη από 10km**. Το 1939, οι Oppenheimer και Volkoff εκτίμησαν την πρώτη καταστατική εξίσωση των αστέρων νετρονίων. Ένα σταθερό μοντέλο μπορεί να παραχθεί από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Μάζα $\approx 1,4 M_{\odot}$
- Ακτίνα $\approx 10 \text{ km}$
- Πυκνότητα $\approx 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$

Οι αστέρες νετρονίων αποτελούνται από την πλέον συμπαγή μορφή ύλης η οποία είναι δυνατόν να περιγραφεί με γνωστούς νόμους Φυσικής. Οι αστέρες αυτοί, όπως και οι λευκοί νάνοι, δεν εξελίσσονται πλέον, δεδομένου ότι ούτε και σε αυτούς συμβαίνουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Στην τελική αυτή κατάσταση είναι δυνατόν να καταλήξουν αστέρες των οποίων η αρχική μάζα υπερβαίνει τις $5M_{\odot}$ αλλά όχι τις $20M_{\odot}$.

Στους αστέρες νετρονίων η βαρυτική πίεση εξισορροπείται από την πίεση των εκφυλισμένων νετρονίων. Τα νετρόνια όπως και τα ηλεκτρόνια, ανήκουν στην οικογένεια των φερμιονίων, και οι φυσικές τους ιδιότητες, όπως και αυτές των ηλεκτρονίων, διέπονται τόσο από την αρχή του Pauli όσο και από την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.

Όπως φαίνεται από το όνομά του, ένας αστέρας νετρονίων είναι ένας αστέρας που αποτελείται κυρίως από νετρόνια. Η αντίδραση παραγωγής νετρονίων είναι η ακόλουθη:



Ένας αστέρας νετρονίων μπορεί να θεωρηθεί σαν μια εκδήλωση κβαντικού μηχανισμού. Υπό την επικείμενη βαρυτική πίεση, τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια συγκρούονται και παράγουν τα νετρόνια.

Ένας τυπικός αστέρας νετρονίων έχει περίπου ακτίνα 10km. Πιστεύεται να έχει έναν εσωτερικό στερεό πυρήνα, πυκνότητας της τάξεως των $\rho = 10^{15} \text{ g cm}^{-3}$. Αυτός ο στερεός πυρήνας καταλαμβάνει περίπου το 1/5 της ακτίνας του αστέρα. Μετά από αυτό υπάρχει ένας μεγάλος όγκος νετρονίων σε υγρή μορφή με πυκνότητα της τάξεως των $\rho = 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$. Αυτή η κατάσταση της ύλης συνεχίζεται καταλαμβάνοντας τα 4/5 της ακτίνας του αστέρα. Πέρα από αυτήν την ακτίνα εκτείνεται ένας στερεός όγκος με ελεύθερα νετρόνια με πυκνότητα της τάξεως των $\rho = 10^{11} \text{ g cm}^{-3}$. Τέλος την περιχή αυτή περιβάλλει μια κρούστα από κρυστάλλινο στερεό, πυκνότητας περίπου $\rho = 10^6 \text{ g cm}^{-3}$.

Ο κεντρικός πυρήνας του αστέρα νετρονίων είναι τόσο πυκνός, ώστε η ύλη που αποτελείται προϋποθέτει εξωτικά στάδια. Τα νετρόνια συγχωνεύονται για την παραγωγή μεσονίων και καονίων. Όλα αυτά συνθέτουν τον στερεό πυρήνα, κάτι πολύ σημαντικό για την ερμηνεία των ιδιοτήτων των pulsars. Επίσης, λόγω των ισχυρών συνθηκών, τα

νετρόνια μπορεί να αποσυντεθούν σε quarks και γκλουόνια. Η κατάσταση της ύλης στην καρδιά ενός αστέρα νετρονίων έχει κάποια επιρροή στον τρόπο που ο αστέρας ψύχεται, από τη στιγμή που οι παραπάνω διαδικασίες φαίνονται να εκπέμπουν ενέργεια με την μορφή νετρίνων.

Το είδος της ακτινοβολίας των Pulsars

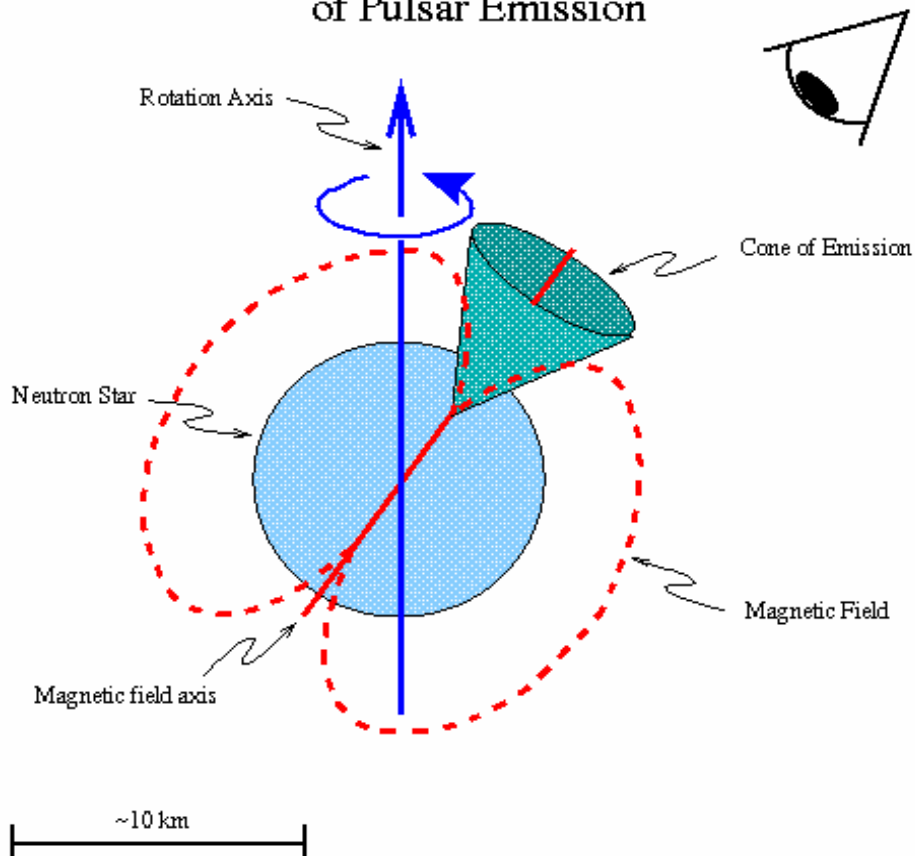
Το εύρος του φάσματος συχνοτήτων μέσα στο οποίο εκπέμπουν οι pulsars είναι αρκετά μεγάλο, εκτεινόμενο από τις χαμηλές ραδιοφωνικές συχνότητες ($\sim 10^7$ Hz) έως και τις σκληρές ακτίνες γάμμα ($\sim 10^{24}$ Hz). Η μετάβαση από τη ραδιοφωνική περιοχή προς τις υψηλές συχνότητες είναι ασυνεχής, πράγμα που μας υπαγορεύει ότι ο μηχανισμός εκπομπής της ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι διάφορος σε αυτές τις δύο περιοχές. Απ' την άλλη, η περιοχή στην οποία λαμβάνουμε ραδιοκύματα είναι πολύ πιο στενή από την αντίστοιχη στο οπτικό και στις ακτίνες Χ, είναι όμως πλουσιότερη σε φωτόνια, εφόσον η ροή της ακτινοβολίας σε αυτή την περιοχή είναι μεγαλύτερη. Λόγω του ότι για επίγειες παρατηρήσεις μας ενδιαφέρουν οι ραδιοφωνικές συχνότητες, θα αναφερθούμε μόνο στο αντίστοιχο μοντέλο εκπομπής.

Σύμφωνα με τις τρέχουσες θεωρίες, η εκπομπή της ραδιοφωνικής ακτινοβολίας ενός pulsar οφείλεται στη σπειροειδή κίνηση των φορτίων, που αποσπά το μαγνητικό πεδίο του αστέρα νετρονίων από την επιφάνειά του, κατά μήκος των δυναμικών γραμμών (ακτινοβολία σύγχροτρον). Με αυτόν τον τρόπο η ακτινοβολία παράγεται στους μαγνητικούς πόλους και εκπέμπεται κατά τη διεύθυνση του μαγνητικού άξονα. Η δέσμη της ακτινοβολίας έχει τη μορφή ενός κωνικού φλοιού του οποίου η κορυφή καταλήγει στο μαγνητικό πόλο. Λόγω του γεωμετρικού τόπου μέσα στον οποίο περιορίζονται αυτές οι δέσμες, τους δόθηκε η ονομασία κωνικές δέσμες (conal beams). Εκτός όμως από την κωνική δέσμη ακτινοβολίας, ένας pulsar μπορεί να εκπέμπει και στις ενδιάμεσες περιοχές του κώνου. Οι δέσμες που προέρχονται από αυτές τις περιοχές καλούνται κεντρικές δέσμες (core beams).

Επειδή ο άξονας περιστροφής του pulsar δε συμπίπτει με τον μαγνητικό άξονα, η δέσμη της ραδιοακτινοβολίας από τον αστέρα σαρώνει την ουράνια σφαίρα καθώς ο πρώτος περιστρέφεται. Έτσι λοιπόν, αν τύχει να βρεθεί η Γη στο δρόμο αυτής της δέσμης, θα παρατηρήσουμε με τα ραδιοτηλεσκόπια σύντομους περιοδικούς παλμούς η διάρκεια των οποίων εξαρτάται από το άνοιγμα του κώνου εκπομπής του pulsar και η περίοδος από την περίοδο περιστροφής του pulsar. Λόγω του γεγονότος ότι ο γεωμετρικός τόπος από τον οποίο εκπέμπεται η ακτινοβολία ενός pulsar δεν είναι απλός και ομαλός αλλά σύνθετος, αυτό που θα παρατηρήσουμε δε θα είναι ένας απλός (γκαουσιανός) παλμός αλλά ένα σύνολο από υποπαλμούς (subpulses), οι οποίοι συνθέτουν τον ολοκληρωμένο παλμό (integrated profile).

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται παραστατικά το παραπάνω μοντέλο.

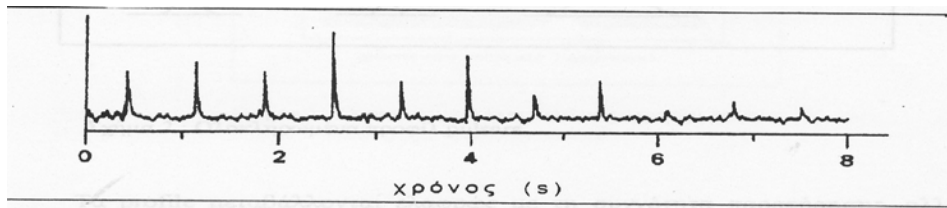
Rotating Neutron Star Model of Pulsar Emission



Παλμοί των Pulsars

Ολοκληρωμένοι παλμοί

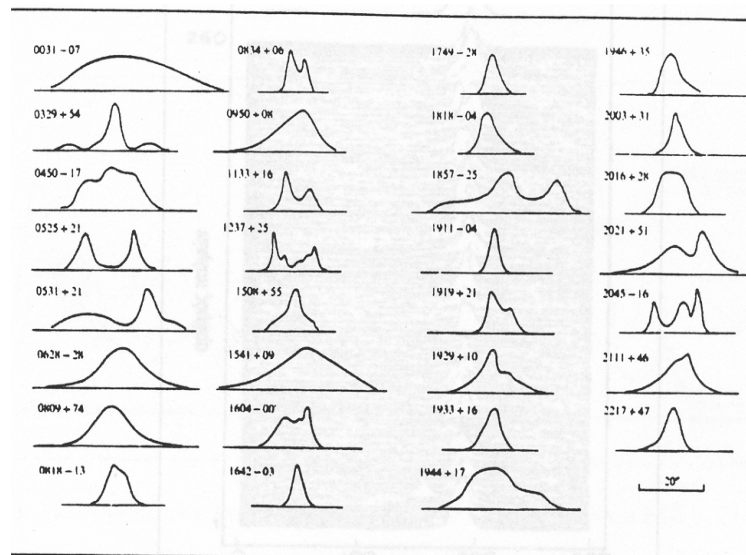
Η ακτινοβολία των pulsars που λαμβάνουμε στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος, είναι περιοδική. Η ένταση των παλμών ποικίλει ώστε πολλές φορές παρατηρούμε ακόμα να λείπουν παλμοί. Παρά το γεγονός αυτό η άφιξή τους είναι περιοδική (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 : Αφίξη των παλμών ενός pulsar.

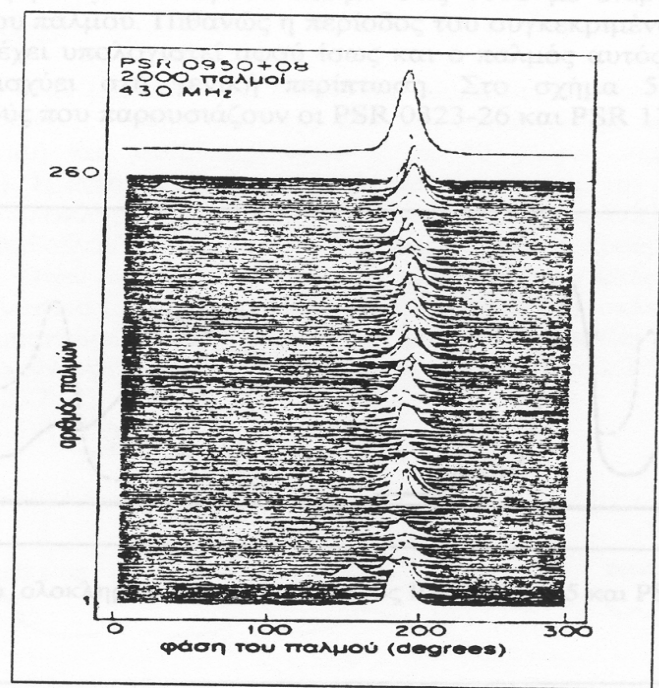
Παρά το γεγονός ότι κάθε μεμονωμένος παλμός είναι διαφορετικός από όλους τους υπόλοιπους, το άθροισμα από μερικές εκατοντάδες παλμούς δίνει ένα σχήμα, χαρακτηριστικό του κάθε pulsar. Το σχήμα αυτό, το λεγόμενο **προφίλ** (profile), αποτελείται από έναν ή περισσότερους υποπαλμούς. Η κατανομή και το σχήμα των υποπαλμών σχετίζεται με την γωνία υπό την οποία παρατηρούμε το αντικείμενο, και φυσικά με τις περιοχές εκπομπής πάνω στον ίδιο τον pulsar.

Έτσι λοιπόν, **αν υπερθέσουμε μια σειρά μερικών εκατοντάδων παλμών θα πάρουμε το ολοκληρωμένο προφίλ του pulsar**. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 τα ολοκληρωμένα προφίλ παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στη μορφή τους. Τα περισσότερα αποτελούνται από μια απλή συνιστώσα. Συνηθισμένα όμως είναι και τα προφίλ με πολλαπλές συνιστώσες, και κυρίως αυτά με δύο κύριες κορυφές.



Σχήμα 2: Ολοκληρωμένα προφίλ pulsars.

Τα προφίλ μεταβάλλονται ελαφρώς με τη συχνότητα παρατήρησης, αλλά ο βασικός χαρακτήρας τους παραμένει ο ίδιος σε κάθε συχνότητα. Ορισμένες φορές σε πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές συχνότητες κάποια συνιστώσα μπορεί να χαθεί ή να εμφανιστεί κάποια άλλη που πριν δεν ήταν ανιχνεύσιμη. Πολλά από τα παρατηρούμε προφίλ εμφανίζονται ισχυρά πολωμένα. Οι δε ενέργειες τους ποικίλουν, με τους ισχυρότερους pulsars να παρουσιάζουν μέση πυκνότητα ενέργειας περίπου 0.1Jy σε συχνότητες γύρω στα 400MHz. Επειδή τα **ολοκληρωμένα προφίλ** παραμένουν γενικά σταθερά όσον αφορά το σχήμα και την πόλωση τους, αποτελούν βασικό στοιχείο για την κατανόηση της εκπομπής των pulsars. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με τους **μεμονωμένους παλμούς** οι οποίοι διαφέρουν στο σχήμα, την ένταση και την πόλωση από τη μία περίοδο στην επόμενη (Σχήμα 3). **Για τον λόγο αυτό η σταθερότητα ενός ολοκληρωμένου παλμού εξαρτάται από τον αριθμό των μεμονωμένων παλμών που έχουμε αθροίσει.**



Σχήμα 3 : Ο ολοκληρωμένος παλμός ως επαλληλία των μεμονωμένων παλμών.

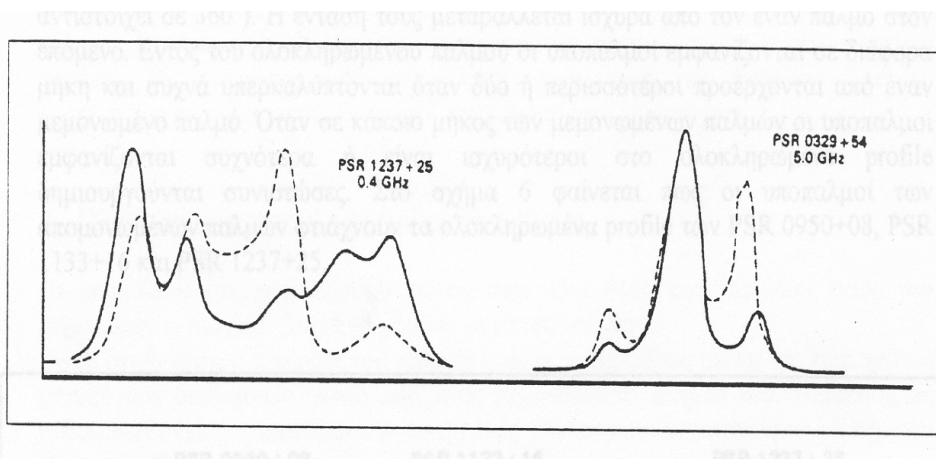
Αλλαγή της μορφής του ολοκληρωμένου παλμού. (mode change)

Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούμε το ολοκληρωμένο προφίλ να αλλάζει σε μια άλλη σταθερή μορφή. Παραμένει έτσι για μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες περιόδων ώσπου επανέρχεται πάλι στο αρχικό του σχήμα. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως mode changing και παρατηρήθηκε πρώτη φορά στον PSR 1237+25. Το ίδιο συμβαίνει και στον PSR 0329+54 (Σχήμα 4).

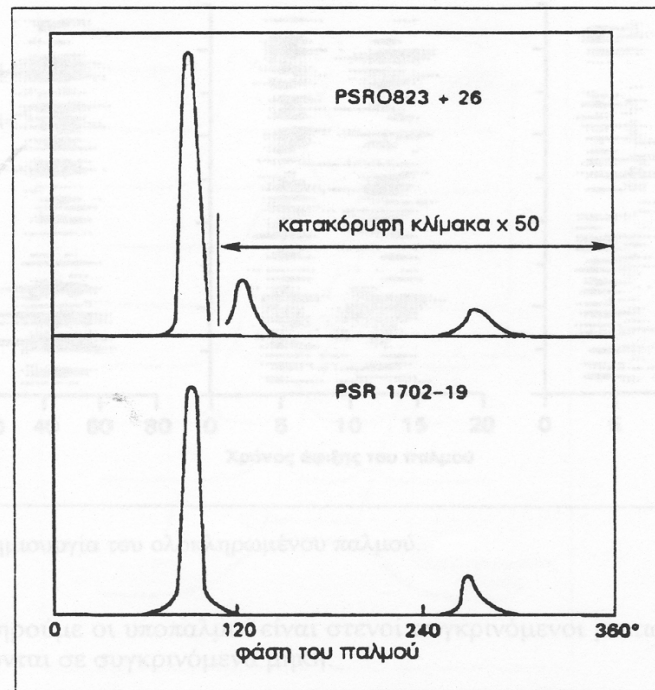
Ενδιάμεσοι υποπαλμοί (interpulses).

Η λαμβανόμενη ενέργεια στους περισσότερους pulsars περιορίζεται σε ένα μικρό κλάσμα της περιόδου τους. Παρόλα αυτά μερικοί εμφανίζουν επιπρόσθετες συνιστώσες περίπου στο μέσο της απόστασης μεταξύ των κύριων παλμών. Για παράδειγμα ο Crab pulsar (PSR 0531+21) σε χαμηλές συχνότητες παρουσιάζει έναν επιπρόσθετο παλμό στις 145° μετά τον κύριο παλμό με ενέργεια συγκρίσιμη αυτού.

Ο PSR 0904+77 εμφανίζει ενδιάμεσο παλμό στις 180° με ενέργεια το 20% της ενέργειας του κύριου παλμού. Πιθανώς η περίοδος του συγκεκριμένου pulsar να είναι η μισή αυτής που έχει υπολογιστεί αφού ίσως και ο παλμός αυτός να είναι κύριος. Αυτό όμως δεν ισχύει στη γενική περίπτωση. Στο Σχήμα 5 βλέπουμε τους ενδιάμεσους παλμούς που παρουσιάζουν οι PSR 0823-26 και PSR 1702-19.



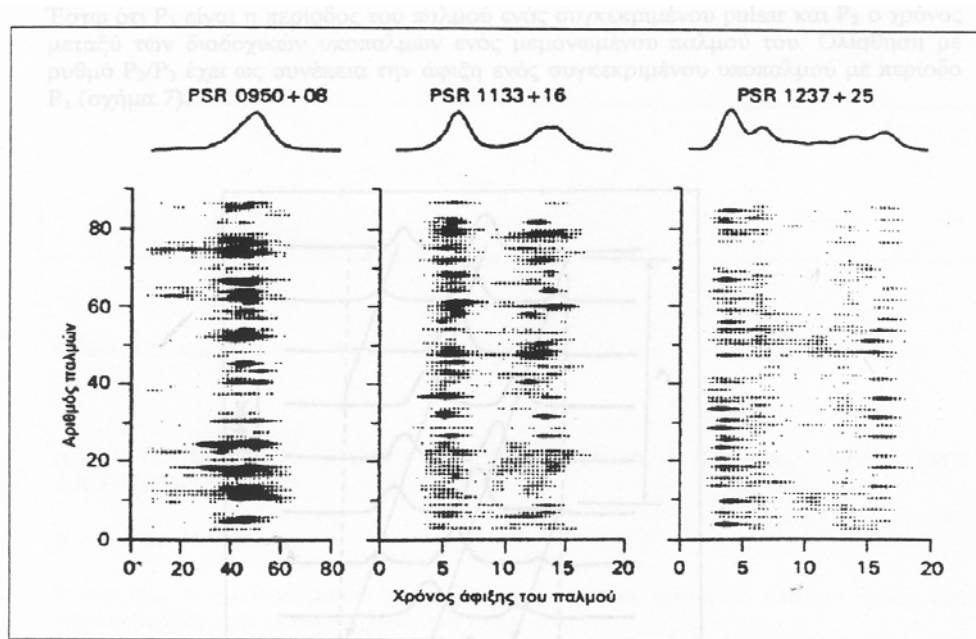
Σχήμα 4: Αλλαγή του ολοκληρωμένου παλμού στους PSR 1237+25 και PSR 0329+54



Σχήμα 5: Ενδιάμεσοι παλμοί στους PSR 0823+26 και 1702-29

Υποπαλμοί (subpulses)

Αν παρατηρήσουμε έναν μεμονωμένο παλμό θα δούμε ότι αποτελείται από βασικές μονάδες που συνεισφέρουν στην ενέργειά του και ονομάζονται υποπαλμοί. Έχουν γκαουσιανή κατανομή και καταλαμβάνουν 3 με 10 μοίρες της περιόδου περιστροφής του pulsar (η οποία αντιστοιχεί σε 360°). Η έντασή τους μεταβάλλεται ισχυρά από τον έναν παλμό στον επόμενο. Εντός του ολοκληρωμένου παλμού οι υποπαλμοί εμφανίζονται σε διάφορες θέσεις και συχνά υπερκαλύπτονται όταν δύο ή περισσότεροι προέρχονται από έναν μεμονωμένο παλμό. Όταν σε κάποια θέση των μεμονωμένων παλμών οι υποπαλμοί εμφανίζονται συχνότερα ή είναι ισχυρότεροι στο ολοκληρωμένο προφίλ δημιουργούνται συνιστώσες. Στο Σχήμα 6 φαίνεται πως οι υποπαλμοί των μεμονωμένων παλμών φτιάχνουν τα ολοκληρωμένα προφίλ των PSR 0950+08, PSR 1133+16 και PSR 1237+25.



Σχήμα 6: Η δημιουργία του ολοκληρωμένου παλμού.

Όπως παρατηρούμε οι υποπαλμοί είναι στενοί συγκρινόμενοι με τον ολοκληρωμένο παλμό και εμφανίζονται σε συγκριμένες θέσεις.

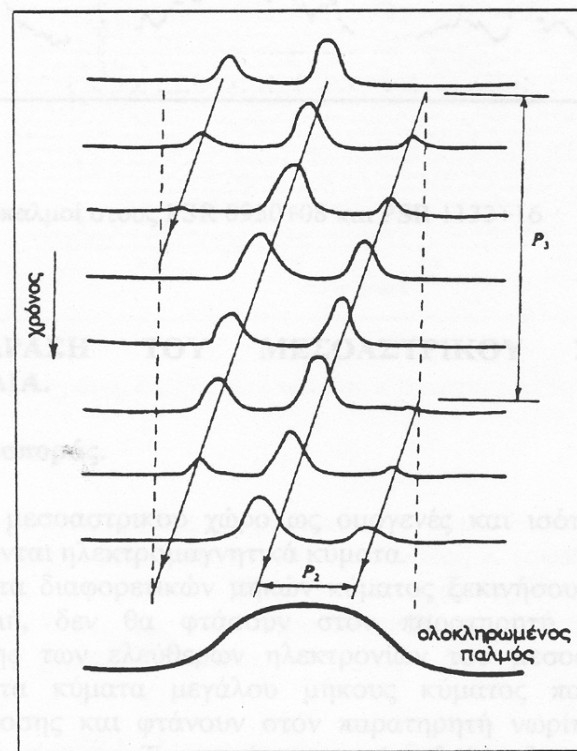
Μηδενισμός των παλμών (nulling)

Όπως είδαμε και προηγουμένως οι μεμονωμένοι παλμοί διαφέρουν ισχυρά ο ένας από τον άλλο. Σχετικά συχνά συμβαίνει να πέφτει η ένταση μας σειράς παλμών σε πολύ χαμηλές τιμές και απότομα να επανέρχεται στη φυσιολογική της τιμή. Η ένταση των μειωμένων αυτών παλμών είναι λιγότερη από 1% της έντασης των κανονικών παλμών. Κάποιοι παλμοί, εξαιτίας του φαινομένου αυτού, μπορεί να εξαφανιστούν εντελώς. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «**μηδενισμός των παλμών**» και δεν παρουσιάζει περιοδικότητα. Η ύπαρξη τέτοιων παλμών είναι τυχαία.

Ολίσθηση των υποπαλμών (subpulse drifting).

Οι υποπαλμοί δεν εμφανίζονται πάντα στην ίδια θέση της περιόδου εντός του μεμονωμένου παλμού. Συχνά συμβαίνει να μετακινούνται.

Έστω ότι P_1 είναι η περίοδος των παλμων ενός συγκεκριμένου pulsar (περίοδος περιστροφής) και P_2 ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών υποπαλμών ενός μεμονωμένου παλμού του. Ολίσθηση με ρυθμό P_2/P_3 έχει ως συνέπεια την άφιξη ενός συγκεκριμένου υποπαλμού με περίοδο P_3 (Σχήμα 7).

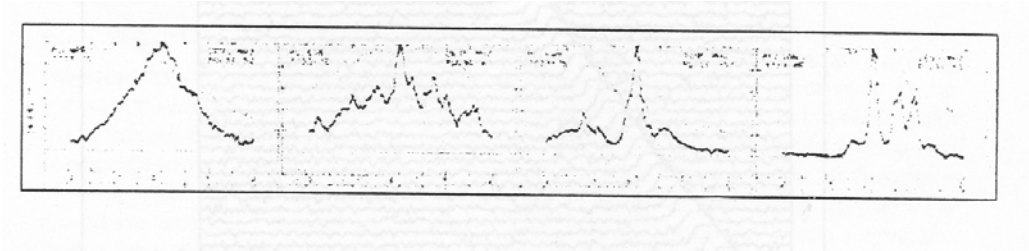


Σχήμα 7: Μετακίνηση των υποπαλμών κατά το χρόνο άφιξης τους.

Μικροπαλμοί (micropulses).

Σε πολλούς pulsars, ανάλυση μεγάλης διακριτικής ικανότητας έδειξε την ύπαρξη διαταραχών στην ένταση των παλμών της τάξης των μερικών εκατοντάδων microseconds. Οι διαταραχές αυτές ονομάζονται μικροπαλμοί και το πλάτος του είναι

πολύ μικρότερο αυτού των υποπαλμών. Η σχέση μεταξύ μικροπαλμών και υποπαλμών φαίνεται ανάλογη της σχέσης μεταξύ των υποπαλμών και του ολοκληρωμένου παλμού. Οι μικροπαλμοί φαίνεται να μας δείχνουν πως οι υποπαλμοί παρουσιάζουν λεπτή δομή. Υποπαλμούς παρουσιάζουν τα προφίλ των PSR 0950+08 και PSR 1133+16 (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Μικροπαλμοί στους PSR 0950+08 και PSR 1133+16

Αλληλεπίδραση του μεσοαστρικού χώρου με την ακτινοβολία

Η ακτινοβολία των pulsars διανύει μεγάλη απόσταση μέχρι να φτάσει σε εμάς. Ο μεσοαστρικός χώρος, όμως, περιέχει διάφορες μορφές ύλης όπως : μεσοαστρική σκόνη, νέφη υδρογόνου και ωέφη οργανικών μακρομορίων. Η ακτινοβολία των pulsars αλληλεπιδρά με τον μεσοαστρικό χώρο με αποτέλεσμα να έχουμε εξασθένιση του παλμού. Παρακάτω αναπτύσσονται συνοπτικά τα κυριότερα φαινόμενα αυτής της αλληλεπίδρασης.

□ Μέτρο διασποράς. (Dispersion Measure)

Θεωρούμε το μεσοαστρικό χώρο ως ομογενές και ισότροπο πλάσμα εντός του οποίου διαδίδονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Αν κύματα διαφορετικών μηκών κύματος ξεκινήσουν από μια πηγή την ίδια χρονική στιγμή, δεν θα φτάσουν στον παρατηρητή ταυτόχρονα. Λόγω της αλληλεπίδρασης των ελεύθερων ηλεκτρονίων του μεσοαστρικού χώρου με την ακτινοβολία, τα κύματα μικρού μήκους κύματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης και φτάνουν στον παρατηρητή νωρίτερα από ότι τα κύματα μεγάλου μήκους κύματος. Το φαινόμενο αυτό καλείται **διασπορά της ακτινοβολίας** και μέτρο της είναι το **μέτρο διασποράς, DM**. Συνεπώς, αν ένας παλμός ενός pulsars αποτελείται από ακτινοβολίες διαφόρων συχνοτήτων εξαιτίας της διασποράς που θα υφίσταται η ακτινοβολία του θα γίνεται αντιληπτός πρώτα στις υψηλές συχνότητες και κατόπιν στις χαμηλές.

□ Στροφή Faraday. (Faraday Rotation)

Εντός του μεσοαστρικού χώρου υπάρχουν μη σφαιρικοί κόκκοι σκόνης παραμαγνητικού υλικού που περιστρέφονται τυχαία εξαιτίας των κρούσεων με τα άτομα του υπάρχοντος αερίου στο χώρο. Υπολογίστηκε από του Davis και Greenstain ότι οι κόκκοι τείνουν να προσανατολίσουν τους μεγάλους τους ημιάξονες κάθετα στο μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο. Ως αποτέλεσμα, η αστρική ακτινοβολία με διάνυσμα πόλωσης κάθετο στο μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο B υφίσταται μεγαλύτερη απόσβεση από ότι η ακτινοβολία με διάνυσμα πόλωσης παράλληλο στο μαγνητικό πεδίο. Έτσι ένας παρατηρητής της ακτινοβολίας θα βλέπει περισσότερο φως με πόλωση παράλληλα στο μαγνητικό πεδίο παρά με κάθετη σε αυτό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **πόλωση της αστρικής ακτινοβολίας**. Το μέτρο της επίδρασης του φαινομένου αυτού στην αρχικώς εκπεμπόμενη ακτινοβολία, καθορίζεται από το **μέτρο στροφής RM** . Λόγω του ότι το μέτρο στροφής και ότι το μέτρο διασποράς οφείλονται σε έναν κοινό παράγοντα που είναι η πυκνότητα των φορτίων του μέσου διάδοσης, αυτά συσχετίζονται με την αναλογία $(RM)/(DM) \sim |B|$, όπου B είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο χώρο του μέσου.

□ Μεσοαστρικός σπινθηρισμός

Το μεσοαστρικό πλάσμα δεν είναι τελείως ομογενές, αλλά παρουσιάζει ορισμένες ανομοιογένειες. Οι ανομοιογένειες αυτές προκαλούν σκέδαση της ακτινοβολίας ενός pulsar, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής να συλλαμβάνει ταυτόχρονα μια δέσμη ακτίνων, οι οποίες λόγω σκέδασης ακολουθούν διάφορες οπτικές διαδρομές. Αυτό είναι το φαινόμενο του **μεσοαστρικού σπινθηρισμού**.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι μπορεί τα φαινόμενα αυτά να αλλοιώνουν την εικόνα του παλμού, αλλά η μελέτη τους οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα για τη απόσταση του αστέρα (μέτρο διασποράς) και για τη μελέτη του μεσοαστρικού μαγνητικού πεδίου (μέτρο στροφής).