

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



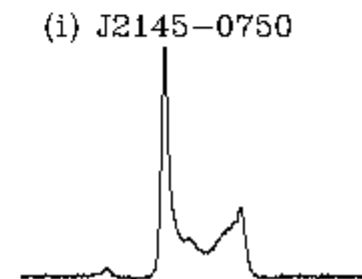
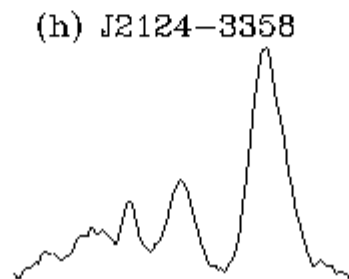
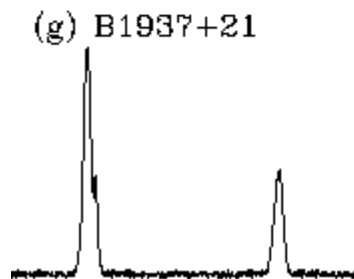
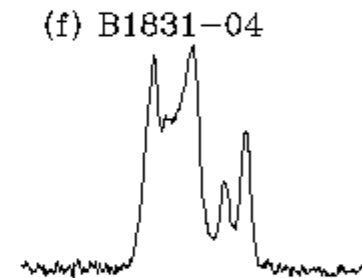
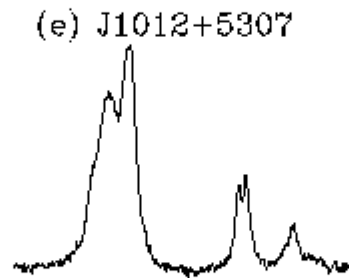
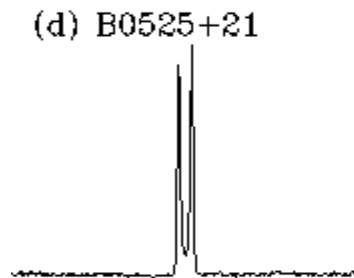
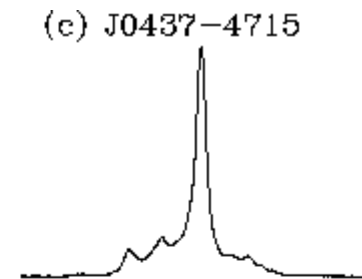
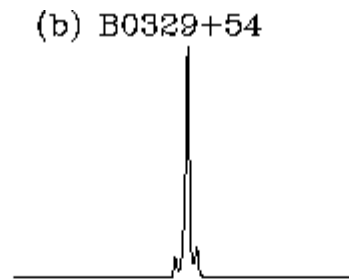
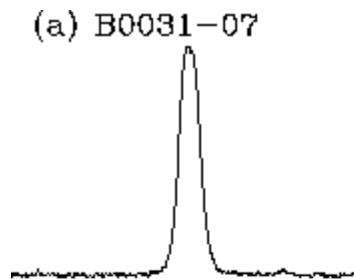
5/10/2011

ΠΑΛΣΑΡ

- Οι πάλσαρ είναι περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με περιοδικό τρόπο. Η περιοδική εκπομπή γίνεται κυρίως στα ραδιοφωνικά κύματα, αλλά και στο υπόλοιπο φάσμα (ορατό, ακτίνες-Χ, ακτίνες-γ).
- Ο κάθε παλμός είναι διαφορετικός και συνήθως υπάρχουν και υπο-παλμοί. Εάν ολοκληρώσουμε ένα μεγάλο αριθμό παλμών (>100) τότε το ολοκληρωμένο προφίλ είναι αναλλοίωτο στο χρόνο και χαρακτηρίζει με μοναδικό τρόπο έναν πάλσαρ.
- Η ονομασία ενός πάλσαρ βασίζεται στις ουρανογραφικές του συντεταγμένες.
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από πάλσαρ έχει έντονη πόλωση (μέχρι και 60% γραμμική) που υποδηλώνει την ύπαρξη έντονου μαγνητικού πεδίου. Πράγματι, εάν θεωρήσουμε διατήρηση της μαγνητικής ροής, $BR^2 = \text{σταθ.}$, κατά τη διάρκεια της κατάρρευσης ενός άστρου τότε προκύπτει ένα μαγνητικό πεδίο της τάξης 10^{12} G .

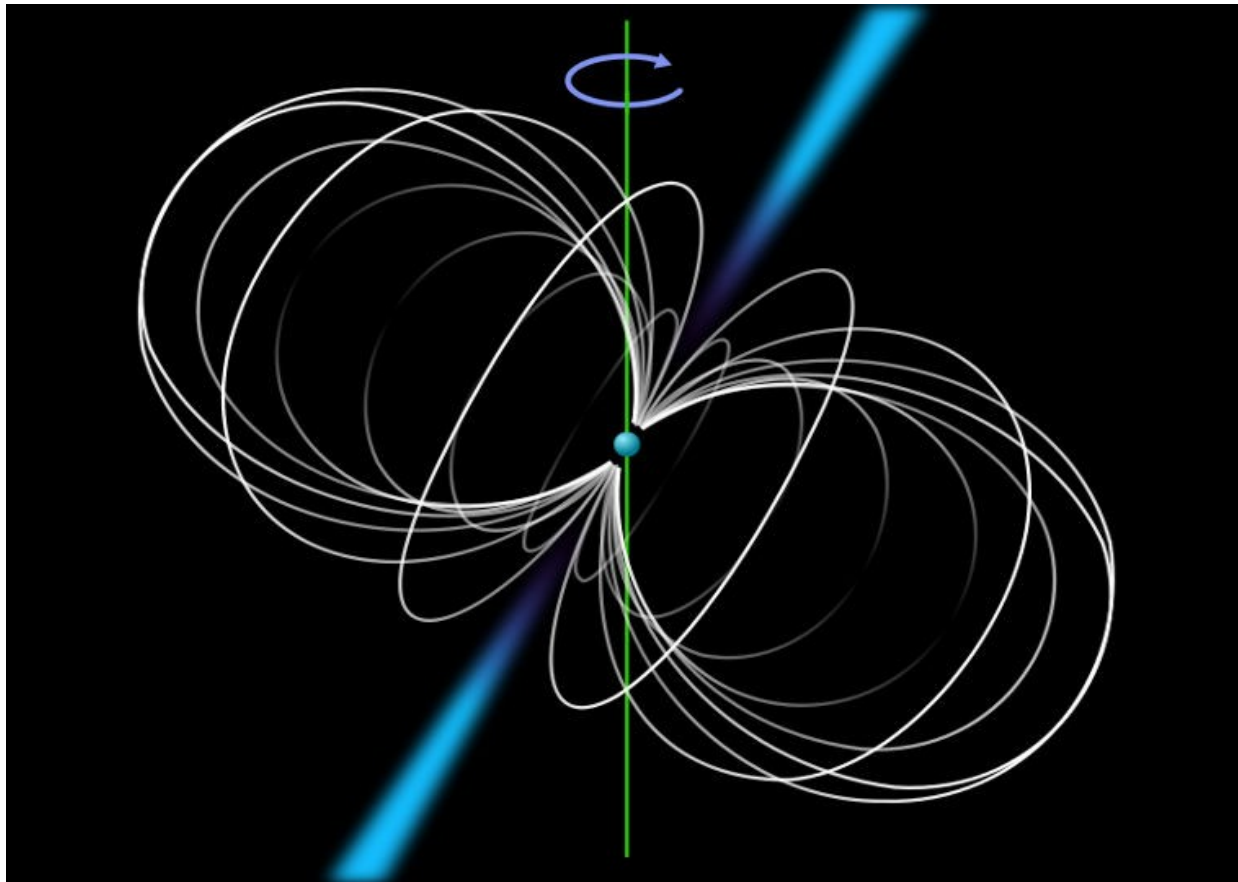
ΠΑΛΣΑΡ

- Ολοκληρωμένα προφίλ για διάφορους πάλσαρ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΕΝΟΥ

- Υποθέτουμε ότι ο πάλσαρ είναι ένα μαγνητικό δίπολο, με μαγνητική διπολική ροπή \vec{m} , το διάνυσμα της οποίας σχηματίζει μια γωνία θ με τον άξονα περιστροφής του αστερά, ο οποίος περιβάλλεται από κενό.



ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΕΝΟΥ

- Εάν B είναι η ένταση της μαγνητικής επαγωγής και R η ακτίνα του αστέρα, τότε το μέτρο της μαγνητικής διπολικής ροπής είναι

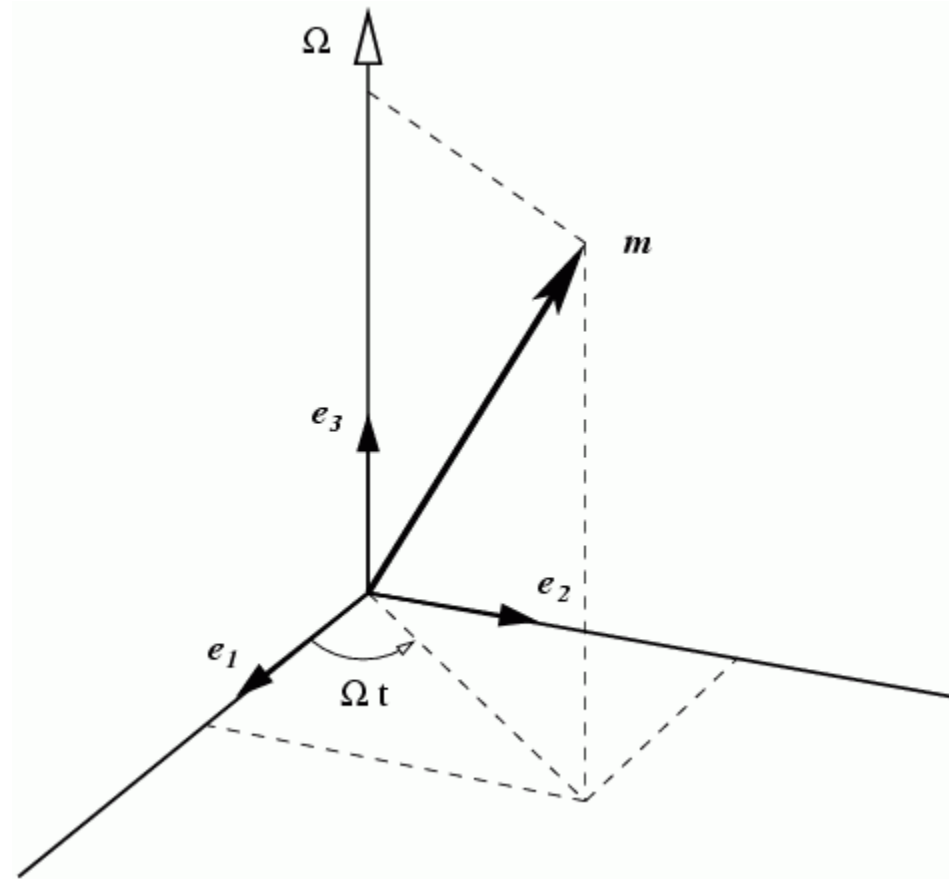
$$|\vec{m}| = \frac{1}{2} B R^3$$

- Ο ρυθμός με τον οποίο το μαγνητικό δίπολο ακτινοβολεί ενέργεια είναι

$$\dot{E} = -\frac{2|\ddot{\vec{m}}|^2}{3c^3}$$

(όπου κάθε τελεία είναι και μια χρονική παράγωγος). Με βάση τη γεωμετρία του διπλανού σχήματος βρίσκουμε ότι

$$\dot{E} = -\frac{1}{6c^3} B^2 R^6 \Omega^4 \sin^2 \theta$$



ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΕΝΟΥ

- Εάν υποθέσουμε πως η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας προέρχεται εξ' ολοκλήρου από την απώλεια κινητικής ενέργειας περιστροφής, τότε οι δυο ρυθμοί ταυτίζονται:

$$\dot{E} = \dot{E}_{\text{κιν}}$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{6c^3} B^2 R^6 \Omega^4 \sin^2 \theta = I \Omega \dot{\Omega}$$

όπου I είναι η ροπή αδράνειας του αστέρα. Με $\Omega = 2\pi/P$ (όπου πλέον εδώ P είναι η περίοδος του αστέρα), βρίσκουμε

$$B = \frac{\sqrt{6c^3 I}}{2\pi R^3 \sin \theta} \sqrt{P \dot{P}}$$

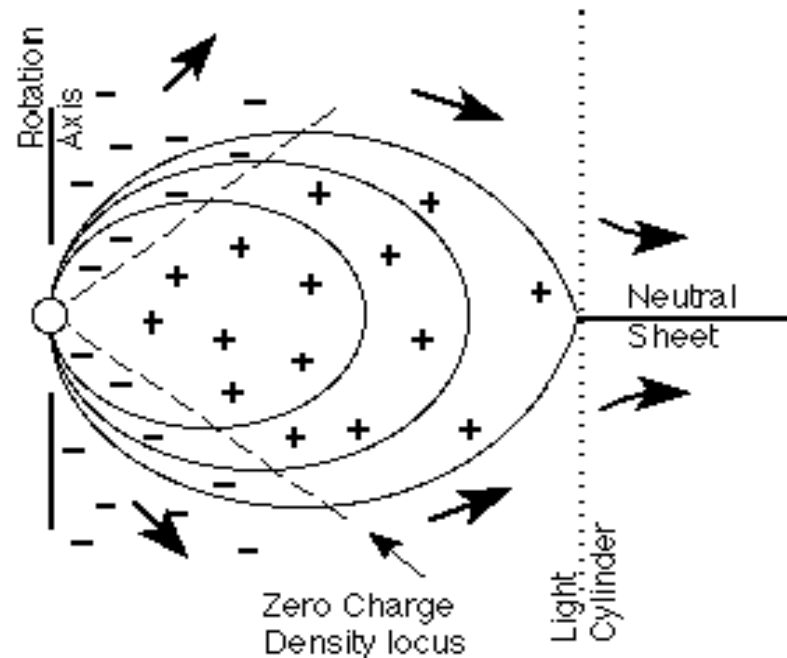
Για έναν τυπικό αστέρα νετρονίων, με $R \sim 10 \text{ km}$ και $I \sim 10^{45} \text{ gcm}^2$

$$B = 6.4 \times 10^{19} \sqrt{P \dot{P}} \text{ G}$$

όπου θέσαμε ενδεικτικά $\theta = 90^\circ$ και η περίοδος είναι σε δευτερόλεπτα.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ GOLDREICH-JULIAN

- Οι Goldreich και Julian έδειξαν ότι το προηγούμενο μοντέλο εκπομπής κενού δεν ευσταθεί, διότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο “ξεριζώνει” ηλεκτρικά φορτία από την επιφάνεια του αστέρα και δημιουργεί μια μαγνητόσφαιρα, η οποία περιστρέφεται (μέχρι μια απόσταση) ως στερεό σώμα μαζί με τον αστέρα.



ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ GOLDREICH-JULIAN

- Στη μαγνητόσφαιρα η αγωγιμότητα είναι τόσο μεγάλη που μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς άπειρη, $\sigma \rightarrow \infty$. Ο νόμος του Ohm είναι

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}'$$

όπου \vec{J} είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και $\vec{E}' = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}$ είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Για ομογενή περιστροφή, η ταχύτητα της μαγνητόσφαιρας είναι

$$\vec{v} = \vec{\Omega} \times \vec{r}$$

Για να είναι το ηλεκτρικό ρεύμα πεπερασμένο καθώς $\sigma \rightarrow \infty$, θα πρέπει $\vec{E}' \rightarrow 0$, δηλ.

$$\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$$

Το στάσιμο ηλεκτρικό πεδίο στο περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς δίνεται από ένα ηλεκτρικό δυναμικό

$$\vec{E} = \nabla \Phi_e$$

ενώ σχετίζεται με την πυκνότητα φορτίων ρ_e μέσω της

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi \rho_e$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ GOLDREICH-JULIAN

- Στη μαγνητόσφαιρα τελικά αναπτύσσεται μια πυκνότητα ηλεκτρικών φορτίων

$$\rho_e = -\frac{\vec{\Omega} \cdot \vec{B}}{2\pi c}$$

το πρόσημο της οποίας αλλάζει όπου μηδενίζεται το δυναμικό Φ_e . Στην πράξη, το δυναμικό έχει τετραπολική δομή κι έτσι εάν υπάρχουν αρνητικά ηλεκτρικά φορτία στους πόλους, τότε έχουμε θετικά φορτία στον ισημερινό (βλ. προηγούμενο σχήμα).

Η αντίστοιχη αριθμητική πυκνότητα φορτίων στην επιφάνεια είναι

$$n_e \simeq 7 \times 10^{10} \frac{B_{12}}{P} \text{ cm}^{-3}$$

όπου $B_{12} = B/(10^{12} \text{ G})$. Το ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται στην επιφάνεια (παράλληλα προς τις μαγνητικές γραμμές) είναι

$$E \sim \frac{\Omega R B}{c} \sim 2 \times 10^8 \frac{B_{12}}{P} \text{ V/m}$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ GOLDREICH-JULIAN

- Έτσι, π.χ. για πρωτόνια:

$$\frac{\text{ηλεκτρική δύναμη}}{\text{βαρυτική δύναμη}} \sim \frac{e E}{GMm_p / R^2} \sim 10^9$$

και η τεράστια αυτή δύναμη γεμίζει τον περιβάλλοντα χώρο με ηλεκτρικά φορτία, δημιουργώντας τη μαγνητόσφαιρα. Η μαγνητόσφαιρα μπορεί και περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα όπως ο αστέρας μέχρι την απόσταση

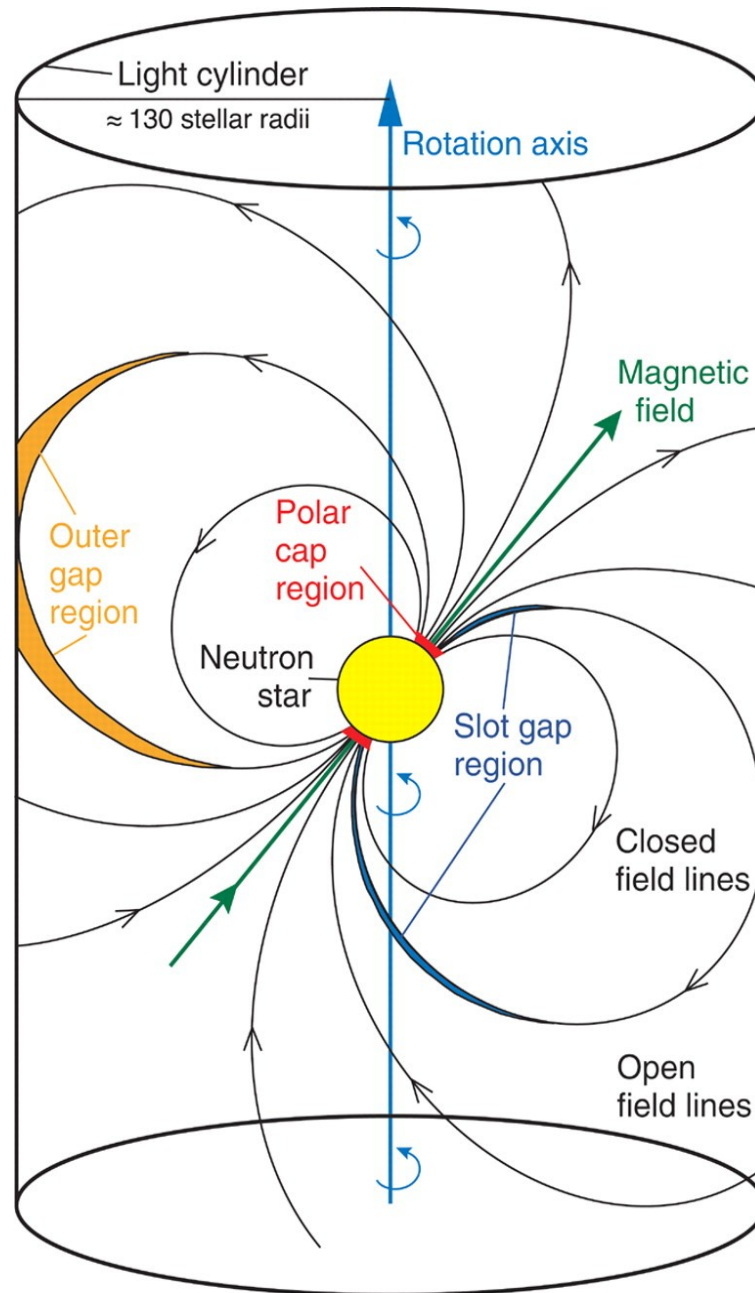
$$R_L = \frac{c}{\Omega} = 5 \times 10^9 P \text{ cm}$$

η οποία ορίζει τον κύλινδρο φωτός, πέρα από τον οποίο η γραμμική ταχύτητα περιστροφής θα ξεπερνούσε την ταχύτητα του φωτός. Μαγνητικές γραμμές που εξέρχονται με γωνία μικρότερη από

$$\theta_p \sim \sqrt{\frac{R}{R_L}}$$

κοντά στους μαγνητικούς πόλους, δε μπορούν να κλείσουν εντός της μαγνητόσφαιρας, αλλά είναι ανοικτές μαγνητικές γραμμές.

ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΦΩΤΟΣ



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

- Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί παραγωγής ακτινοβολίας σε διάφορα μήκη κύματος, οι οποίοι εντοπίζονται σε διαφορετικές περιοχές της μαγνητόσφαιρας. Ο κύριος τρόπος παραγωγής ακτινοβολίας-γ είναι μέσω αρχικά της επιτάχυνσης σωματιδίων κατά μήκος των μαγνητικών γραμμών και στη συνέχεια μέσω διάσπασης των παραγόμενων φωτονίων γ σε ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων, τα οποία με τη σειρά τους επιταχύνονται κ.ο.κ. Εξετάζονται κυρίως δύο περιοχές όπου θα μπορούσε να συμβεί αυτό α) η περιοχή ακριβώς πάνω από τους μαγνητικούς πόλους (polar cap model), και β) η περιοχή όπου οι τελευταίες κλειστές μαγνητικές γραμμές “ακουμπούν” στον κύλινδρο φωτός (outer gap model).