



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΕΥ-
ΡΕΣΗ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΜΗΝΟΥΣ ΤΩΝ
ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ ΝΕΤΡΟ-
ΝΙΩΝ**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΑΤΟΥΠΗΣ

επιβλέπων:

Κ. Ν. ΓΟΥΡΓΟΥΛΙΑΤΟΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Πάτρα 2023

Η παρούσα εργασία έχει πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο
των δραστηριοτήτων της ερευνητικής ομάδας
Θεωρητικής Αστροφυσικής (Theoretical Astrophysics)
στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών.

<http://www.astro.upatras.gr/el/astrotheory>

Περίληψη

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην εύρεση των αστρικών σμηνών από τα οποία ενδέχεται να προήλθαν τέσσερις απομονωμένοι αστέρες νετρονίων, την ηλικία τους υπολογισμένη από τον χρόνο ταξιδιού τους στο Γαλαξία και τα χαρακτηριστικά του αστέρα ή αστέρων από τους οποίους ο καθένας δημιουργήθηκε. Αναλυτικότερα, αξιοποιώντας απλές κινηματικές εξισώσεις, τις σημερινές συντεταγμένες και τις ταχύτητες τούς υπολογίζω σε μία πρώτη προσέγγιση την τροχιά που έχουν χαράξει και τους συσχετίζω με κοντινά σμήνη βάσει την εγγύτητα τους σε αυτά. Στη συνέχεια, αναλόγως το κάθε σμήνος που επιτυγχάνεται κάποια σύνδεση, ελέγχω την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, αλλά και αντλώ παραπάνω πληροφορίες για τον προγενήτορα αστέρα.

Abstract

The present thesis aims to find the star clusters that could have hosted the creation of four isolated neutron stars, their age calculated by their travel time in the Galaxy and their main characteristics depending on the cluster. In more detail, utilizing simple kinematic equations and the present coordinates and velocities of those stars, I calculate in a first approximation their orbit and based on the proximity I correlate them with nearby clusters. Then, depending on the cluster I succeeded to correlate with, I check the validity of the results and also try to extract more information about the progenitor star.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	12
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Θεωρητικοί Υπολογισμοί	14
1.	Αστέρες Μεγάλης Μάζας	14
2.	OB Σμήνη	15
3.	Δημιουργία και Εκτόπιση ενός αστέρα νετρονίων	16
4.	Spin Down και Χαρακτηριστική Ηλικία	17
5.	The Magnificent Seven	18
6.	Μετατροπή Μεταβλητών	19
6.1	Συντεταγμένες σμηνών	19
6.2	Συντεταγμένες Αστέρων	21
6.3	Απλοποίηση της κίνησης	23
7.	Οι υπό μελέτη αστέρες	24
3	Υπολογιστική Ανάλυση του Προβλήματος και Μαθηματικά Αποτελέσματα	25
1.	RX J1856.5-3754	26

2.	RX J0720.4-3125	28
2.1	Τιμές του SIMBAD	29
3.	RX J1605.3+3249	33
4.	RBS 1223/RX J1308.6+2127	36
4	Ποιοτικά Αποτελέσματα και Επικύρωση	39
1.	Χρόνος ταξιδιού και ηλικία των αστέρων Νετρονίων . . .	39
2.	RX J1856.5-3754	40
3.	RX J0720.4-3125	41
4.	RX J1605.3+3249	43
5.	RBS 1223/RX J1308.6+2127	43
6.	Μεταλλικότητα	44
5	Συμπεράσματα	45
1.	Σύνοψη Σμηνών και Πιθανότητας Δημιουργίας	45
2.	Η ηλικία άλλων αστέρων νετρονίων	46
3.	Η Εισαγωγή του Γαλαξιακού Δυναμικού στους υπολογισμούς	47
4.	Η περαιτέρω κατανόηση της μη συμμετρικής υπερκαινοφανής έκρηξης	47
5.	Εκτεταμένη χρήση της κινηματικής ηλικίας	48
Α΄ Το λογισμικό		54
1.	Βασικός Κορμός	54
1.1	Εισαγωγή Δεδομένων	54

1..2	Παραμετροποίηση	56
1..3	Εξαγωγή Αποτελεσμάτων και επεξήγηση	56
2.	Υπολογισμός	56
3.	Γραφήματα και εξήγηση	57
4.	Αποθήκευση, φόρτωση αρχείων και εξαγωγή αποτελεσμάτων	59
5.	Προαπαιτούμενα Πακέτα	59
Β' Πίνακας Σμηνών		60
Γ' Σύντομο βιογραφικό σημείωμα		63

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Τα διανύσματα των ταχυτήτων ενός σμήνους ως προς το κέντρο του Γαλαξία (μελανή κουκίδα)	20
3.1	Η τροχιά του RX J1856.5-3754 που για τιμές που προσεγγίζουν τις μέσες τιμές συγκλίνει στο US με απόσταση από το κέντρο του σμήνους στα 6.9 pc.	27
3.2	Για μία χαμηλή ακτινική ταχύτητα και τιμές κοντά στην τροχιά μέσω των τιμών ο RX J0720.4-3125 επιτυγχάνει σύγκλιση με το Tr10 με απόσταση από το κέντρο του σμήνους ίση με 19.8 pc	28
3.3	Στην πρώτη περίπτωση η τροχιά του RX J0720.4-3125 συγκλίνει προς το TWA με απόσταση από το κέντρο του ίση με 14.2 pc.	31
3.4	Στη δεύτερη περίπτωση η τροχιά του RX J0720.4-3125 συγκλίνει εσωτερικά αλλά προς τα άκρα του HD141569 με απόσταση ίση με 13.5 pc.	31
3.5	Στην τρίτη περίπτωση παρατηρούνται 3 πιθανά σμήνη για το RX J0720.4-3125: εσωτερικά του TWA με απόσταση από το κέντρο στα 26 pc, εξωτερικά του Tuc-Hor με απόσταση από το κέντρο ίση με 54.1 pc και εσωτερικά του β Pic-Cap με απόσταση από το κέντρο ίση με 45.9 pc.	32
3.6	Πρώτη προσπάθεια εύρεσης ενός σμήνους για το RX J1605.3+3249 όπου παρατηρείται σύγκλιση προς το US.	33

3.7	Τελική εικόνα της τροχιάς του RX J1605.3+3249 όπου παρατηρείται συσχέτιση με το US και πιο συγκεκριμένα στα άκρα του με απόσταση από το κέντρο του ίση με 14.0 pc.	35
3.8	Αρχική προσέγγισή για μία πιθανή τροχιά του RBS 1223 .	36
3.9	Πρώτη Περίπτωση του RBS 1223 όπου η δοκιμαστική τροχιά έχει μικρότερη αρχική παράλλαξη και παρατηρείται σύγκλιση στο HD141569 με απόσταση από το κέντρο ίση με 8.2 pc.	38
3.10	Δεύτερη Περίπτωση όπου η δοκιμαστική τροχιά έχει αρχικά μεγαλύτερη παράλλαξη και παρατηρείται σύγκλιση του RBS 1223 στα: Tuc-Hor με απόσταση από το κέντρο ίση με 46.0 pc, β Pic-Cap με απόσταση από το κέντρο ίση με 28.0 pc και AB Dor με απόσταση από το κέντρο ίση με 39.0 pc.	38
A'1	Το περιβάλλον στο οποίο καταχωρούνται τα δεδομένα και γίνεται η παραμετροποίηση	55
A'2	Εκτύπωση των αποτελεσμάτων για την δοκιμαστική τροχιά	57
A'3	Διάγραμμα και υπόμνημα.	58

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η δημιουργία ενός αστέρα νετρονίων αποτελεί μία ισχυρή φυσική διεργασία που σε κάποιες περιπτώσεις εκτοξεύει τον αστέρα στο διάστημα χωρίς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτά τα αστρικά πτώματα θα παρατηρηθούν απομονωμένα στον σημερινό ουρανό και αρχικά δε θα είναι δυνατόν πάντα να συσχετισθούν με κάποιο υπάρχον σμήνος.

Μεγάλο μέρος αυτής της πτυχιακής βασίζεται στο άρθρο Identifying birth places of young isolated neutron stars [29] στο οποίο παρουσιάζονται η σημερινή θέση και ταχύτητα των απομονωμένων πτωμάτων, αλλά και ένας εκτενής κατάλογος από κοντινά σμήνη, τον οποίο παραθέτω στον παράρτημα Β'. Ολόκληρος ο πίνακας υπάρχει στο άρθρο [29].

Σύμφωνα λοιπόν με το άρθρο [29], έχοντας ως αρχικές συνθήκες τα παρατηρησιακά δεδομένα για τον απομονωμένο αστέρα νετρονίων, δημιουργώ ένα πρόγραμμα που θα υπολογίζει και θα σχηματίζει την πορεία του, ενώ εισάγοντας τα σμήνη και τις συνδέσεις από τον κατάλογο του παραρτήματος Β' υπολογίζεται η αρχική του απόσταση από το κέντρο αυτών σε σχέση με την ακτίνα τους.

Το πρόγραμμα βασίζεται στην ανάπτυξη που γίνεται στην ενότητα 6., ενώ εκτενείς οδηγίες για τον τρόπο λειτουργίας και την ανάγνωση των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται στο Παράρτημα του λογισμικού Α'.

Αυτή η εργασία αποσκοπεί λοιπόν σε μία πρώτη προσέγγισή αυτών των τροχιών προκειμένου να είναι δυνατόν μία αρχική συσχέτισή με κά-

ποιο σμήνος. Στη συνέχεια για κάθε περίπτωση ελέγχω την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, τη δυνατότητα ένα σμήνους να φιλοξενούσε τον αστέρα στην περίοδο της εξέλιξης του, την ηλικία του αστέρα νετρονίων αλλά και περεταίρω πληροφορίες για τη φύση του βάσει του σμήνους που συσχετίθηκε.

Ακολουθεί μία σύντομη περίληψη των κεφαλαίων:

- Κεφάλαιο 2, όπου συγκεντρώνω πληροφορίες για τους αστέρες μεγάλης μάζας και την εξέλιξη τους, τις υπερκαινοφανείς εκρήξεις και τη φύση των αστέρων νετρονίων, ενημερώνω για την ύπαρξη και εισάγω τα δεδομένα των Magnificent Seven (XDINS), δηλαδή τους αστέρες που μελετά αυτή η εργασία και παραθέτω τον συλλογισμό που ακολουθώ για την εύρεση της τροχιάς του αστέρα νετρονίων και την κίνηση των σμηνών στον Γαλαξία.

- Κεφάλαιο 3, όπου θα παρουσιάσω για κάθε αστέρα που τα δεδομένα είναι αρκετά τη μεθοδολογία που ακολούθησα για την εύρεση πιθανών αρχικών σμηνών και θα βρω τα πρώτα αποτελέσματα για πιθανές συσχετίσεις με τα σμήνη και μία προσέγγιση της κινηματικής τους ηλικίας.

- Κεφάλαιο 4, όπου για τους τέσσερις τελικά αστέρες που ήταν δυνατή η ανάλυση θα ελέγξω αν το κάθε πιθανό σμήνος είναι δυνατόν να φιλοξενούσε τον προγεννήτορα (ή το διπλό σύστημα) βάσει της ηλικίας του σμήνους και των άλλων αστέρων που το αποτελούν. Επιπλέον, για τα πιο πιθανά σμήνη θα ελέγξω τη μέση μεταλλικότητα που έχει παρατηρηθεί και αν αυτή ανταποκρίνεται στους αρχικούς αστέρες. Έτσι θα έχω δημιουργήσει μία εικόνα για τα κύρια χαρακτηριστικά του κάθε αστέρα για κάθε δυνατή περίπτωση.

- Κεφάλαιο 5, όπου καταγράφω τα συμπεράσματα μου αναφορικά με την υπάρχουσα βιβλιογραφία/θεωρία και παραθέτω τους τρόπους με τους οποίους αυτή η εργασία δύναται να εξελιχθεί και να γίνει πιο ακριβής, αλλά και να χρησιμοποιηθεί για την εξέλιξη άλλων τεχνικών υπολογισμού ηλικίας.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Θεωρητικοί Υπολογισμοί

1. Αστέρες Μεγάλης Μάζας

Στην περίπτωση που ο αστέρας νετρονίων δημιουργηθεί από έναν αστέρα και όχι από κάποιο διπλό σύστημα, ο προγεννιότερος οφείλει να έχει μία ελάχιστη μάζα πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ο ήλιος. Αναλυτικότερα, θεωρώντας ότι ο αστέρας δε θα χάσει μάζα κατά τη διάρκεια της ζωής του στην κύρια ακολουθία, η αρχική του μάζα πρέπει να υπερβαίνει τις 8 Ηλιακές μάζες, ενώ αν χάσει μεγάλος μέρος της μάζας του την περίοδο της εξέλιξης του, οφείλει να έχει ακόμα μεγαλύτερη μάζα.[7]

Ο φασματικός τύπος B αντιστοιχεί σε αστέρες με μάζα από 2.1 έως 16 ηλιακές μάζες και αποτελεί τον δεύτερο σε ισχύ φασματικό τύπο, με τον πρώτο να είναι ο O που έχει κατώτατο όριο τις 16 ηλιακές μάζες. Ο προγεννιότερος ενός αστέρα νετρονίων υπολογίζεται να έχει μάζα από 10 έως περίπου 24 ηλιακές μάζες και να κυμαίνεται στους αστρικούς τύπους B1-06 [7].

Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του αστέρα στην αρχική του κατάσταση δηλαδή όταν θα ξεκινήσει η σύντηξη του υδρογόνου προς παραγωγή ηλίου στον πυρήνα, τόσο λιγότερος είναι ο χρόνος που θα παραμείνει στην κύρια ακολουθία. Αναλυτικότερα, η μεγαλύτερη μάζα δημιουργεί μέσω της βαρυτικής πίεσης ταχύ-

τερη σύντηξη του υδρογόνου σε ήλιο, με αποτέλεσμα το υδρογόνο να καταναλώνεται όλο και ταχύτερα. Η χρονική στιγμή που θα εκτοπιστεί από την Κύρια Ακολουθία, δηλαδή θα αρχίσει η σύντηξη ηλίου ορίζεται ως Turn-off Point. Έτσι, σύμφωνα με μοντέλα, οι χρόνοι που θα χρειάζονται οι αστέρες από $10 M_{\odot}$ έως $24 M_{\odot}$ (Ηλιακές μάζες) για να ολοκληρωθεί η εξέλιξή τους στην κύρια ακολουθία κυμαίνονται από 8 έως 25 Myr. Από εκεί και ύστερα ο χρόνος που θα χρειαστεί για να γίνει ερυθρός γίγαντας και ύστερα να επιτευχθεί η υπερκαινοφανής έκρηξη είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του χρόνου συγκρινόμενο με την περίοδο που βρισκόταν στην κύρια ακολουθία, ενώ καθ' όλη αυτήν την περίοδο θα εκτοξεύει ένα μεγάλο μέρος της μάζας του στο διάστημα. Συγκριτικά για ένα αστέρι μάζας μικρότερη από $10 M_{\odot}$ ο χρόνος που χρειάζεται για να καταλήξει σε λευκό νάνο έχει ελάχιστο τα 25 Myr, ενώ από τον παρακάτω πίνακα είναι εμφανές ότι αστέρες σαν τον Ήλιο χρειάζονται πάνω από 7 Byr για φτάσουν στο Turn-off point. [7]

Αρχική Μάζα (M_{\odot})	Φασματικός τύπος	(A)	(B)
25	O5-O6	6,3	7,06
15	O9-B0	11,49	12,76
12	B0	15,71	16,71
9	B0-B1	25,94	28,13
4	B5-B6	162,04	185,44
1	G2	7048,4	-
0.8	K1-K2	18829	-

Πίνακας 2.1: Από το κεφάλαιο 13 του βιβλίου Carroll & Ostlie [7] όπου έχει υπολογιστεί ο χρόνος (Myr) από τη δημιουργία του αστέρα, δηλαδή την είσοδο στην κύρια ακολουθία, ως το σημείο εξόδου turn-off point (A) και ως το σημείο που εισέρχεται στον κλάδο των γιγάντων (B) συναρτήσει την αρχική μάζα (σε ηλιακές μάζες) και τον φασματικό τύπο του αστέρα στην κύρια ακολουθία. [4].

2. OB Σμήνη

Η διαφοροποίηση μεταξύ σμηνών και συνδέσεων (Associations) γίνεται κατά κύριο λόγο σε 2 ιδιότητες. Τα κλασσικά σμήνη εμπεριέχουν έως και εκατομμύριους αστέρες που είναι ισχυρά συνδεδεμένοι μεταξύ του, ενώ οι συνδέσεις, μια υποκατηγορία των σμηνών, θα αποτελούνται από έως και 100 αστέρες με μία πιο ασθενή βαρυτική αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από σχεδόν σφαιρικό σχήμα, το οποίο

κάνει λιγότερο επισφαλής τη σφαιρική προσομοίωση των διαστάσεων τους, αλλά και η ταχύτητα που κινούνται όπως φαίνεται και στον πίνακα B' είναι λιγότερο της τάξης των $10^2 km/s$. Τα OB σμήνη είναι αυτά που για τα οποία έχουν παρατηρηθεί πληθυσμοί αστερών φασματικών τύπων O και B. Ο κατάλογος B' στον οποίο αναζητώ τα πιθανά σμήνη στα οποία ενδεχομένως να δημιουργήθηκε ο αστέρας νετρονίων αποτελείται από κοντινά σμήνη οπότε για κάθε πιθανή συσχέτιση χρειάζεται και επαλήθευση στα χαρακτηριστικά του και το τι είδους αστέρες το απαρτίζουν.

3. Δημιουργία και Εκτόπιση ενός αστερά νετρονίων

Το πιο συχνό αποτέλεσμα των υπερκαινοφανών εκρήξεων είναι το αστρικό κατάλοιπο ενός αστερά νετρονίων. Εκείνες κατηγοριοποιούνται στις Type I και Type II.

Οι Type II επιτυγχάνονται από έναν αστέρα με ελάχιστη αρχική μάζα τις 8 - 10 M_{\odot} (Ηλιακές Μάζες). Σε αυτήν την περίπτωση, λόγω της βαρυτικής πίεσης ο αστέρας στο τέλος της εξέλιξης, όπου πλέον δεν μπορεί να πραγματοποιήσει κάποια άλλη σύντηξη, καταρρέει μέχρι το όριο όπου τα πρωτόνια συντίθενται με τα ηλεκτρόνια, παράγοντας νετρόνια, αυτά πάκτονται λόγω της συρρίκνωσης μέχρι που πλέον η αρχή του Pauli καταφέρει να αντισταθμίσει τη βαρυτική πίεση και να ισορροπήσει. Το σώμα που απομένει είναι ο αστέρας νετρονίων.

Οι Type I παράγονται από διπλά κλειστά συστήματα αστερών όπου το ένα είναι ο δέκτης της μάζας (πρωτεύων) και το δεύτερο είναι ένας γίγαντας/υπογίγαντας (δευτερεύων). Ο πρωτεύων είναι συνήθως ένας λευκός νάνος, ένας απογυμνωμένος πυρήνας, που αποτελεί ένα από τα πιο σταθερά και μακρόζωα αστρικά πτώματα καθώς η πίεση εκφυλισμένου αερίου αντισταθμίζει τη βαρυτική πίεση. Όμως λόγω της μεταφοράς μάζας προς αυτόν, επιτυγχάνει να φτάσει το όριο Chandrasekhar, δηλαδή τις 1.44 M_{\odot} , και πλέον η βαρυτική πίεση είναι δυνατή να συρρικνώσει τον αστέρα. Αρχίζει, λοιπόν, να καταρρέει όπως ένας αστέρας μεγαλύτερης μάζας και να καταλήγει μετά την υπερκαινοφανή έκρηξη σε αστέρα νετρονίων. Βέβαια, αν η μεταφορά μάζας ξεκινήσει όταν ο πρωτεύων αστέρας είναι ακόμα στην κύρια ακολουθία και καταφέρει να ξεπεράσει το όριο των 8 - 10 M_{\odot} είναι δυνατόν να καταρρεύσει ταχύτερα από

το αναμενόμενο χρόνο και να καταλήξει σε έναν αστέρα νετρονίων και όχι λευκό νάνο.

Η μάζα του αρχικού αστέρα (ή το άθροισμα μαζών σε διπλό σύστημα) όμως επηρεάζει και την τελική μορφή του αστέρα νετρονίων. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα πριν τη βαρυτική κατάρρευση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η συρρίκνωσή του αστέρα λόγω της υψηλότερης έλξης από τον πυρήνα. Οπότε οι αστέρες νετρονίων που θα παρατηρηθούν έχουν πάντα μικρότερη διάμετρο από έναν λευκό νάνο, και ακόμα μικρότερη αν προέρχονται από αστέρες με μάζες που προσεγγίζουν τα όρια για να επιτευχθεί μία μελανή οπή αλλά δεν τα ξεπέρασαν.

Σε περιπτώσεις όπου το τελικό αστέρι έχει υψηλή περιστροφική κινητική ενέργεια είναι δυνατή η δημιουργία του μηχανισμού pulsar, όπου θα εκπέμπεται με πολύ ακριβή συχνότητα η ακτινοβολία στο διάστημα. Αυτή η ακτινοβολία είναι και η κύρια μέθοδος εύρεσης αυτών των αστρικών πτωμάτων.

Η ακτινοβολία από την έκρηξη που εκλύεται στο διάστημα θα εκτοξεύσει κάθε κοντινό σώμα στο διάστημα, αλλά σε περιπτώσεις ασυμμετρίας είναι δυνατόν και ο ίδιος αστέρας που την προκάλεσε να εκτοξευθεί προς μία άλλη τυχαία κατεύθυνσή με ταχύτητα μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η αρχική ταχύτητα ονομάζεται pulsar kick velocity και ο ακριβής υπολογισμός, αλλά και οι μηχανισμοί που δημιουργούν την ασυμμετρία αποτελεί ένα ανοικτό ερώτημα. Σε κάθε περίπτωση όμως αυτή η διαδικασία είναι ικανή να διώξει το σώμα από το αρχικό σμήνος που προϋπήρχε και να βρεθεί στο σημερινό ουρανό, απομονωμένο.

4. Spin Down και Χαρακτηριστική Ηλικία

Ο μηχανισμός εκπομπής pulsars βασίζεται στην υψηλή περιστροφική κινητική ενέργεια των αστέρων. Με πολύ χαμηλό ρυθμό, καθώς δεν παράγεται ενέργεια στον πυρήνα για να τροφοδοτήσει την κίνηση, η περιστροφική ταχύτητα μειώνεται. Αντιστρόφως ανάλογα λοιπόν θα αυξάνεται το βασικό παρατηρησιακό φαινόμενο των pulsars, η περίοδος περιστροφής (P). Από παρατηρήσεις, λοιπόν, διατυπώθηκε ο εξής

τύπος [15] που εξάγει τη χαρακτηριστική ηλικία τ του σώματος:

$$\tau = \frac{P}{2\dot{P}} \quad (2.1)$$

Όπως διατυπώνεται και στο άρθρο [29], η εξίσωση μπορεί να είναι ενδεικτική για την ηλικία αλλά αποτελεί ένα άνω όριο για την πραγματική ηλικία. Η απόκλιση δεν είναι κάτι που θα έπρεπε να μας παραξενεύει καθώς δε γνωρίζουμε απόλυτα τους μηχανισμούς των αστέρων νετρονίων οι οποίοι είναι πολύ πιθανό να μεταβάλουν την υψηλή περιοδικότητα των παλμών ή τη σχετικά σταθερή και αργή αύξηση της περιόδου. Αντίθετα, αφού η ταχύτητα εκτόξευσης θα είναι και μία αρχική σχετικά σταθερή ταχύτητα με την οποία θα αρχίσει να αποκλίνει από ένα σμήνος, ο χρόνος ταξιδιού θα είναι μία πιο οριοθετημένη ένδειξη για την ηλικία του πτώματος ενώ θα αποτελεί και ένα κάτω όριο. Δηλαδή, αναζητώντας τον χρόνο που κινήθηκε από τη στιγμή της υπερκαινοφανής έκρηξης έως τη στιγμή που παρατηρήθηκε, θα βρεθεί και η πραγματική ηλικία του αστερά νετρονίων. Η ηλικία που θα υπολογιστεί από αυτήν τη μεθοδολογία ονομάζεται κινηματική ηλικία.

5. The Magnificent Seven

Στο διάστημα λοιπόν έχουν παρατηρηθεί τέτοιοι απομονωμένοι αστέρες και έχουν ομαδοποιηθεί στην ομάδα XDINS (X-ray Dim Isolated Neutron Stars) ενώ είναι γνωστοί και ως The Magnificent Seven [12]. Η δεύτερη σημαντική διαφοροποίησή από άλλους αστέρες νετρονίων είναι πως βρίσκονται αρκετά κοντά στο Ηλιακό σύστημα όποτε είναι δυνατόν να παρατηρηθούν με οπτικά μέσα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η εύρεση της αρχικής τους θέσης και το σμήνος από το οποίο κατάγονται είναι δυνατόν να μας δώσουν πληροφορίες για τον προγενήτορα αστέρα όπως τη θέση του στην κύρια ακολουθία, τη σύσταση του καθώς αυτή θα σχετίζεται με τη σύσταση του σμήνους αλλά και την ηλικία του πριν την έκρηξη. Επιπλέον, όπως προανέφερα ο χρόνος ταξιδιού θα είναι και μία ένδειξη για την ηλικία.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν την έρευνα [29] ως γνώμονα για τα δεδομένα και τις σημερινές συνθήκες των υπό εξέταση αστέρων και σμηνών ξεκινάω τον κώδικα μετατρέποντας τις σημερινές συντεταγμένες και ταχύτητες του αστερά και των σμηνών σε καρτεσιανές με κέντρο τον Ήλιο.

RX J1856.5-3754	RX J1308.6+2127 (RBS 1223)
RX J1605.3+3249	RX J2143.0+0654 (RBS 1774)
RX J0420.0-5022	RX J0720.4-3125
RX J0806.4-4123	

Πίνακας 2.2: Οι αστέρες XDINS

6. Μετατροπή Μεταβλητών

Από εδώ και ύστερα το t θα ορίζεται ως ένα ο χρόνος προς το παρελθόν που έχει κινηθεί ο αστέρας ή το κέντρο ενός σμήνους, οπότε για τον αστέρα νετρονίων θα είναι και η κινηματική ηλικία. Τα $i = x, y, z$ θα χρησιμοποιούνται για τις Καρτεσιανές των σμηνών στον αντίστοιχο άξονα και τα $i = X, Y, Z$ για τον αστέρα αντίστοιχα. Επιπλέον, τα i_0 ορίζονται ως οι σημερινές συντεταγμένες και τα $i(t)$ ως οι θέσεις ως προς τον χρόνο αντίστοιχα.

6.1 Συντεταγμένες σμηνών

Τα σμήνη βρίσκονται σε γαλαξιακές συντεταγμένες με κέντρο τον Ήλιο και συντεταγμένες:

$$r \text{ [pc]}, \quad l \text{ [}^\circ\text{]}, \quad b \text{ [}^\circ\text{]}$$

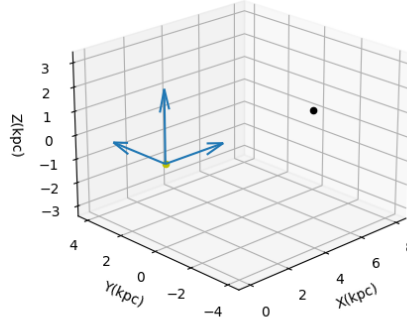
Το r είναι η απόσταση του αντικειμένου από τον Ήλιο και τεχνικά η απόσταση από τη Γη, καθώς οι τάξεις μέγεθος αποστάσεων είναι σε parsec. Το l είναι το Γαλαξιακό μήκος, δηλαδή η γωνιακή απόσταση ενός αντικειμένου προς τα ανατολικά κατά μήκος του γαλαξιακού ισημερινού από το Γαλαξιακό Κέντρο και μετρείται σε μοίρες ($^\circ$). Το b είναι το Γαλαξιακό πλάτος, δηλαδή τη γωνιακή απόσταση ενός αντικειμένου προς τα βόρεια από τον γαλαξιακό ισημερινό (ή του μέσου επιπέδου) όπως φαίνεται από τη Γη και επίσης μετρείται σε μοίρες ($^\circ$). Οι ταχύτητες των σμηνών βρίσκονται στη μορφή:

$$\vec{U} \text{ [km/s]}, \quad \vec{V} \text{ [km/s]}, \quad \vec{W} \text{ [km/s]}$$

Και βρίσκονται σε απόλυτη αντιστοιχία με τις καρτεσιανές ταχύτητες:

$$\vec{V}_x \text{ [km/s]}, \quad \vec{V}_y \text{ [km/s]}, \quad \vec{V}_z \text{ [km/s]}$$

Η \vec{U} προσανατολίζεται προς το κέντρο του Γαλαξία και με το ($l = 0^\circ$), ενώ οι \vec{V} και \vec{W} ορίζονται έτσι ώστε να δημιουργείται ένα δεξιόστροφο σύστημα.



Σχήμα 2.1: Τα διανύσματα των ταχυτήτων ενός σμήνους ως προς το κέντρο του Γαλαξία (μελανή κουκίδα)

Οι ταχύτητες βρίσκονται σε ένα ορθογώνιο σύστημα, αλλά πρέπει και οι συντεταγμένες να μετατραπούν σε καρτεσιανές. Θεωρώντας το l ως μία γωνία που σαρώνει το επίπεδο xy με πεδίο ορισμού $[0^\circ, 360^\circ]$ και την b ως την αζημούθια γωνία με πεδίο ορισμού $[-90^\circ, 90^\circ]$, η μετατροπή καταλήγει στις εξής εξισώσεις που αποτελούν τη σημερινή θέση του κέντρου του κάθε σμήνους:

$$\begin{aligned} x_0 &= r_0 \cos b_0 \cos l_0 \\ y_0 &= r_0 \cos b_0 \sin l_0 \\ z_0 &= r_0 \sin b_0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Οι εξισώσεις κίνησης λοιπόν καταλήγουν ως εξής:

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 - Ut \\ y(t) &= y_0 - Vt \\ z(t) &= z_0 - Wt \end{aligned} \tag{2.3}$$

6..2 Συντεταγμένες Αστέρων

Οι συντεταγμένες των αστέρων βρίσκονται σε ουράνιες συντεταγμένες που έχουν ως κέντρο τη Γη. Το σύστημα στην παγκόσμια βιβλιογραφία αναφέρεται και ως ICRS (International Celestial Reference System). Αποτελούνται από την απόσταση r , την ορθή αναφορά α που σαρώνει το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού από το εαρινό σημείο, στο οποίο τέμνεται ο ουράνιος ισημερινός με την η εκλειπτική και την απόκλιση δ που ορίζεται ως τη γωνιώδη απόσταση από το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού. Η ορθή αναφορά α μετρείται βάσεις της ωρικής γωνίας (HA) και έχει πεδίο ορισμού $[0^h, 24^h]$ που αντιστοιχούν σε πεδίο $[0^\circ, 360^\circ]$ και η απόκλιση δ έχει πεδίο ορισμού $[-90^\circ, 90^\circ]$

$$r [pc], \alpha [^\circ], \delta [^\circ]$$

Αντίστοιχα ορίζονται και οι ταχύτητες:

$$\vec{U}_r [km/s], \mu^*_\alpha [mas/yr], \vec{\mu}_\delta [mas/yr]$$

όπου μ^*_α είναι η μ_α διορθωμένη για την απόκλιση:

$$\mu^*_\alpha = \frac{\mu_\alpha}{\cos(\delta)}$$

Προκειμένου να γίνει μετατροπή σε ένα καρτεσιανό σύστημα με κέντρο τον Ήλιο ώστε να υπάρχει και ταύτιση με τα σμήνη, χρειάζεται να γίνει αρχικά μετατροπή σε Γαλαξιακές Συντεταγμένες.

Η απόσταση r παραμένει ως έχει καθώς οι αποστάσεις που θα ελεγχθούν είναι πολύς μεγαλύτερης τάξης μεγέθους από την απόσταση Γης-Ήλιου. Αντίστοιχα και η Vr δε θα μετατραπεί καθώς είναι ένα μέτρο το οποίο εξαρχής το ορίζουμε εμείς και εντάσσεται στους τελικούς υπολογισμούς.

Το Γαλαξιακό πλάτος b υπολογίζεται ως:

$$\begin{aligned} b &= \arcsin(B), \text{ όπου:} \\ B &= \sin\delta_{NGP} * \sin\delta + \cos\delta_{NGP} * \cos\delta * \cos(\alpha - \alpha_{NGP}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Το Γαλαξιακό μήκος l υπολογίζεται ως:

$$\begin{aligned} l &= l_{NCP} - \arcsin(L), \text{ όπου:} \\ L &= \frac{\cos\delta \sin(\alpha - \alpha_{NGP})}{\cos b} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Με τις σταθερές να είναι ίσες με:

$$\alpha_{NGP} = 192.85^\circ, \delta_{NGP} = 27.13^\circ, l_{NCP} = 122.93314^\circ$$

Η μετατροπή των r , b και l σε καρτεσιανές έχουν οριστεί από την εξίσωση (2.2), οπότε αντίστοιχα οι σημερινές συντεταγμένες στη σημερινή θέση στον Γαλαξία ως προς τον Ήλιο είναι:

$$\begin{aligned} X_0 &= r_0 \cos b_0 \cos l_0 \\ Y_0 &= r_0 \cos b_0 \sin l_0 \\ Z_0 &= r_0 \sin b_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Αντίστοιχα οι γωνιακές ταχύτητες θα υπολογιστούν ως χρονικές παραγώγοι των b και l :

$$\begin{aligned} \mu_b &= \frac{d(b)}{dt}, \mu_l = \frac{d(l)}{dt} \text{ και αναλυτικότερα:} \\ \mu_b &= \frac{1}{\sqrt{1-B^2}} \cos \delta \{ \mu_\delta \sin \delta_{NGP} \cos \delta - \cos \delta_{NGP} [\mu_\delta \sin \delta \cos (\alpha - \alpha_{NGP}) \\ &\quad + \mu_\alpha \cos (\alpha - \alpha_{NGP}) \cos \delta] \} \\ \mu_l &= -\frac{1}{\cos^2 b \sqrt{1-L^2}} \{ [-\mu_\delta \sin \delta \sin (\alpha - \alpha_{NGP} + \mu_\alpha \cos \delta \cos \alpha - \alpha_{NGP}) \\ &\quad + \mu_b \sin b \cos \delta \sin \alpha - \alpha_{NGP}] \} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Αντίστοιχα τα V_x , V_y και V_z θα οριστούν από τις χρονικές παραγώγους των αρχικών εξισώσεων κίνησης (2.6) δηλαδή $V_i = \frac{\partial i}{\partial t}$ για $i = x, y, z$.

$$\begin{aligned} V_x &= V_r \cos b \cos l - \mu_b r \sin b \cos l - \mu_l r \cos b \sin l \\ V_y &= V_r \cos b \sin l + \mu_b r \sin b \sin l + \mu_l r \cos b \cos l \\ V_z &= V_r \sin b + \mu_b r \cos b \end{aligned} \quad (2.8)$$

Οι εξισώσεις κίνησης του πάλσαρ στο ορθογώνιο σύστημα ορίζονται πλέον σε πλήρη αντιστοιχία με τις εξισώσεις κίνησης των σμηνών και σύμφωνα με τις εξισώσεις (2.6) και (2.8):

$$\begin{aligned} X(t) &= X_0 - V_x t \\ Y(t) &= Y_0 - V_y t \\ Z(t) &= Z_0 - V_z t \end{aligned} \quad (2.9)$$

6..3 Απλοποίηση της κίνησης

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή η κίνηση των σμηνών και του εκάστοτε αστέρα υπολογίζεται με αρκετά απλουστευτικό τρόπο. Αναλυτικότερα, στην κίνηση των αστέρων θα έπρεπε να υπάρξει και το Βαρυτικό Δυναμικό του Γαλαξία. Όμως καθώς η αναζήτηση των αστέρων νετρονίων είναι δυνατή να γίνει μόνο από νέους αστέρες σε ηλικία καθώς αυτοί εκπέμπουν αρκετή ακτινοβολία προκειμένου να φανούν στον ουρανό, ο χρόνος της κίνησης που θα θεωρήσω ότι κάνουν, σε κάθε περίπτωση αποτελεί ένα κλάσμα του χρόνου που θα έκανε για να κάνει μία πλήρη περιφορά του Γαλαξία. Έτσι και το δυναμικό δε θα προλάβει να επηρεάσει αρκετά την τροχιά του αστέρα ή την κατά εκτίμηση κίνηση των σμηνών. Αντίστοιχα και για τα σμήνη, όπου στον αρχικό κατάλογο υπάρχουν και τα σφάλματα των ταχυτήτων δεν τα λαμβάνω υπόψιν για την ευκολία των πράξεων και για την ύπαρξη μίας πιο καθαρής εικόνας στα γραφήματα.

7. Οι υπό μελέτη αστέρες

Οι XDINS αστέρες όπως ανέφερα είναι 7 όμως μόνο για 4 από αυτούς υπάρχουν οι ταχύτητες τους σε μία ανοικτή βάση δεδομένων όπως η ATNF Pulsar Catalogue [22]. Αναλυτικότερα το άρθρο [29] περιέχει τις παρακάτω σημερινές συνθήκες, ενώ για τον αστέρα RX J0720.4-3125 υπάρχουν και διαφορετικές τιμές και στο SIMBAD [2] που όμως δε διαφέρουν πολύ. Στη στήλη της ακτινικής ταχύτητας u_r οι τιμές εντός παρενθέσεων εισάγονται από το [29] βάσει των υπολογισμών και υποθέσεων που έχουν γίνει στο άρθρο ενώ η τιμή χωρίς παρενθέσεις έχει εισαχθεί από το SIMBAD. Ο χρόνος ταξιδιού δεν εμπεριέχεται στον πίνακα καθώς εκτιμάται στο επόμενο κεφάλαιο, ενώ η χαρακτηριστική ηλικία τ που υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης (2.1) έχει εξαχθεί από τον προαναφερόμενο κατάλογο [22].

Neutron star	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[mas]$	$\mu_{\alpha}[mas/yr]$	$\mu_{\delta}[mas/yr]$	$u_r[km/s]$	$\tau[Myr]$
RX J1856.5-3754	284.15	-37.91	5.6±0.6	326.7±0.8	-59.1±0.7	(190)	3.76
RX J0720.4-3125	110.10	-31.43	2.77±1.29	-93.9±2.2	52.8±2.3	(100)	1.9
(SIMBAD)	110.10	-31.43	3.6±1.6	-92.8±1.4	55.3±1.7	432±187	1.9
RX J1605.3+3249	231.33	32.82	>2.4	-43.7±1.7	148.7±2.6	(300)	-
RBS 1223	197.20	21.45	1.4 . . . 13	-207±20	84±20	(200)	1.46

Πίνακας 2.3: Οι συνταγμένες, η παράλλαξη, οι ταχύτητες και η χαρακτηριστική ηλικία των αστέρων

Κεφάλαιο 3

Υπολογιστική Ανάλυση του Προβλήματος και Μαθηματικά Αποτελέσματα

Σύμφωνα με το πρόγραμμα που δημιούργησα και εξηγώ αναλυτικά στο Παράρτημα [Α'](#), εισάγω τα δεδομένα από τον πίνακα [2.3](#) για τις σημερινές συνθήκες των αστερών νετρονίων και εισάγω τον κατάλογο με τα σμήνη από το παράρτημα [Β'](#). Στη συνέχεια και για κάθε περίπτωση ξεκινάω να δοκιμάζω συνδυασμούς που μπορούν να μου δώσουν κάποια συσχέτιση. Σε αυτό το σημείο προτείνεται στον αναγνώστη να διαβάσει το παράρτημα [Α'](#) ώστε να γίνουν άμεσα κατανοητά η μεθοδολογία, τα διαγράμματα και οι πίνακες. Για κάθε περίπτωση θα παρουσιάζω την τελική εγγύτητα μέσω σχεδιαγράμματος και πίνακα που παρουσιάζει την ακτίνα των κοντινών σμηνών και την απόσταση του κέντρου τους από το αρχικό σημείο της δοκιμαστικής τροχιάς. Οι σημερινές συνθήκες για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στον τίτλο του κάθε διαγράμματος

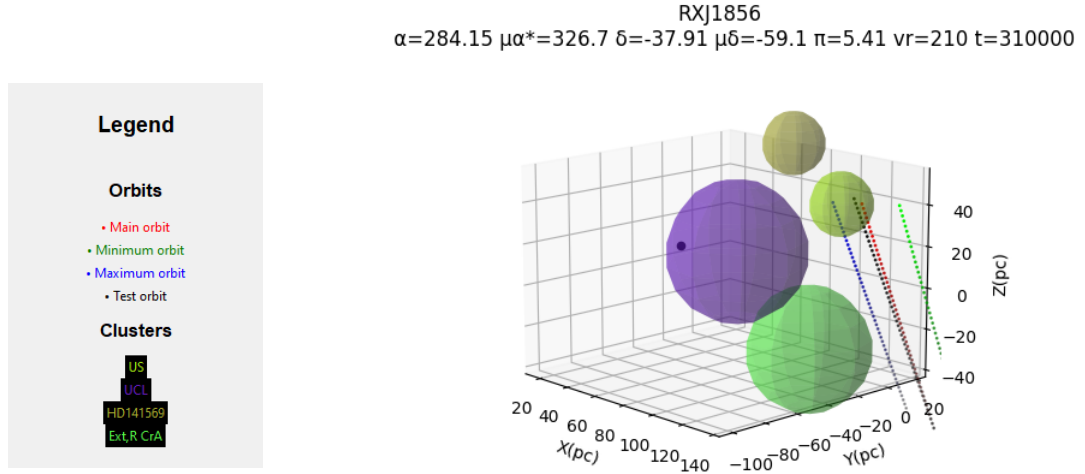
1. RX J1856.5-3754

Ο αστέρας νετρονίων RX J1856.5-3754 και σε συντομία J1856 βρίσκεται στον αστερισμό του Νότιου Στέφανου (Corona Australis), σε απόσταση περίπου στα 178.6 pc ή 582.5 έτη φωτός και θεωρείται πως δημιουργήθηκε από ένα διπλό σύστημα αστερών [29]. Αποτελεί τον πρώτο απομονωμένο αστέρα της ομάδας των XDINS καθώς είναι και ο φωτεινότερος. Παρατηρήθηκε από τα Chandra X-Ray Observatory και Hubble Space Telescope, έχει θερμοκρασία επιφανείας στους 700,000°C και μία πολύ μικρή διάμετρο περίπου 11.2 km. Καθώς η μέση διάμετρος των αστερών νετρονίων είναι αρκετά μεγαλύτερη, ο J1856 αποτελεί πεδίο ανοικτής μελέτης λόγω υψηλών πιέσεων στον πυρήνα του αστέρα που ενδεχομένως να δημιουργούν εξωτικές καταστάσεις κατά τις οποίες υπάρχουν ελεύθερα quark ή και κρυσταλλικές δομές από υποατομικά σωματίδια. Αυτά τα αστέρια στη βιβλιογραφία ονομάζονται ως Strange Stars καθώς ενδεχομένως στον πυρήνα τους να βρίσκονται ελεύθερα Up, Down και Strange Quarks (U, D, S quarks). [9] [1]

Από τον πίνακα 2.3 εισάγω στο πρόγραμμα τις τιμές, μία μέγιστη απόσταση 100 parsec και εισαγωγή όλων των πιθανών σημνών από τον κατάλογο. Η ακτινική ταχύτητα που θα εισάγω είναι στα 193 km/s καθώς προτείνεται από το άρθρο [29]. Αφού εμφανιστούν οι 3 τροχιές, αρχίζω να ελέγχω με διάφορους συνδυασμούς μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών χαράζοντας δοκιμαστικές τροχιές. Από τις συνθήκες της βιβλιογραφίας, στη θέση που έγινε η υπερκαινοφανής έκρηξη δε συμπίπτει με κάποιο σμήνος. Αναμένοντας να συναντήσω κάποιο σμήνος ξεκινώ να μεταβάλλω εντός ορίων τις γωνιακές ταχύτητες και την παράλλαξη, σε μικρότερο βαθμό την ακτινική ταχύτητα αλλά κυρίως, γιατί δεν υπάρχει κάποια οριοθέτηση, τον χρόνο ταξιδιού. Μετά από πολλές δοκιμές επιλέγοντας το χρόνο που κινήθηκε στα 0.31 Myr και ρυθμίζοντας τη δοκιμαστική τροχιά στις παρακάτω τιμές, παρατηρείται πως ο αστέρας ήταν μέρος του σμήνους US (Upper Scorpio) και ενδέχεται να ήταν ακόμα και πολύ κοντά στο κέντρο του.

$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[m\text{as}]$	$\mu * _a[m\text{as}/s]$	$\mu_\delta[m\text{as}/s]$	$U_r[km/s]$	Age [Myr]
284.15	-37.91	5.41	326.7	-59.1	210	0.31

Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Distance from Test Values (pc)
US	15.0	6.871318
UCL	32.5	61.021289
HD141569	15.5	70.917089
Ext,R CrA	31.0	94.317995



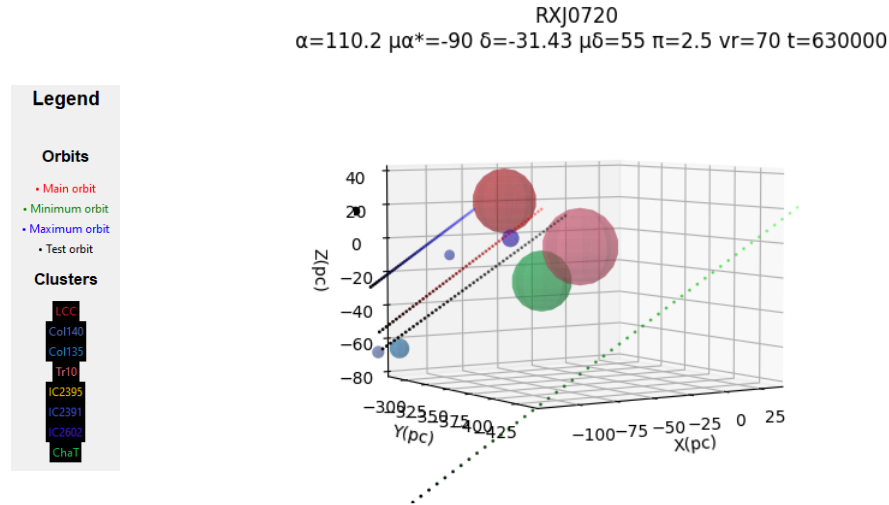
Σχήμα 3.1: Η τροχιά του RX J1856.5-3754 που για τιμές που προσεγγίζουν τις μέσες τιμές συγκλίνει στο US με απόσταση από το κέντρο του σμήνους στα 6.9 pc.

2. RX J0720.4-3125

Ο αστέρας RX J0720.4-3125 και σε συντομία J0720 βρίσκεται στον αστερισμό του Μεγάλου Κυνός (Canis Major) και σε απόσταση περίπου στα 361 pc (1177 έτη φωτός) ή σύμφωνα με το SIMBAD στα 277 pc (1903 έτη φωτός). Παρατηρήθηκε το 1997 από το ROSAT All-sky survey [18] η ακτίνα του κυμαίνεται από 11 έως 13 χιλιόμετρα και η ηλικία του στα 0.5-1 Myr [17]. Η ηλικία αυτή διαφέρει μία τάξη μεγέθους από τη θεωρητική spin-down ηλικία του αστέρα που αναγράφεται στον πίνακα 2.3 και είναι μία καλή ένδειξη ότι όπως και στον J1856 ενδέχεται οι χρόνοι κίνησης να αποκλίνουν από τις θεωρητικές τιμές της ηλικίας. Αντίστοιχα λοιπόν για τις παρακάτω τιμές παρατηρείται σύγκλιση με το Tr10:

$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[mas]$	$\mu_{*a}[mas/s]$	$\mu_\delta[mas/s]$	$U_r[km/s]$	Age [Myr]
110.20	-31.43	2.5	-90	55	70	0.63

Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Distance from Test Values (pc)
Tr10	22.5	19.846424
IC2391	3.5	221.674670



Σχήμα 3.2: Για μία χαμηλή ακτινική ταχύτητα και τιμές κοντά στην τροχιά μέσων τιμών ο RX J0720.4-3125 επιτυγχάνει σύγκλιση με το Tr10 με απόσταση από το κέντρο του σμήνους ίση με 19.8 pc

2..1 Τιμές του SIMBAD

Καθώς αλλάζουν οι παρατηρησιακές τιμές οφείλω να δω εκ νέου για ποιες τιμές είναι δυνατόν να συσχετιστεί με κάποιο σμήνος ο αστέρας. Αναλυτικότερα για 3 συνδυασμούς κατά του οποίους σε όλους κράτησα σταθερά την ακτινική ταχύτητα στα 432 km/s, δηλαδή τη μέση τιμή, ενώ μετέβαλα εντός των ορίων την παράλλαξη και τις γωνιακές ταχύτητες. Πάλι και εδώ τον χρόνο τον αλλάζω αυθαίρετα έχοντας μόνο άνω όριο τα 1.9 Myr 2.6, καθώς για τη θεωρητική ηλικία δεν εμφανίζεται κάποιος συσχετισμός.

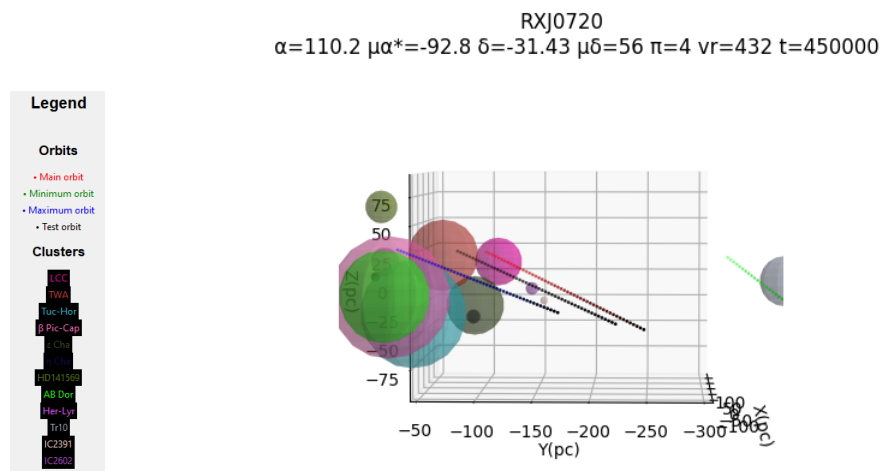
Η πρώτη προσέγγιση γίνεται με γνώμονα τις ενδιάμεσες μεταξύ των μέσων παρατηρησιακών και των μεγίστων. Έτσι για μία μέγιστη απόσταση από κάθε αρχικό σημείο στα 100 pc ένα πιθανό σμήνος που θα μπορούσε να φιλοξενεί τον προγεννήτορα είναι το TWA.

Στη δεύτερη κινούμε προς τις ελάχιστες παρατηρησιακές τιμές και για έναν μεγαλύτερο χρόνο πετυχαίνω μία συσχέτιση με το σμήνος HD141569 με μέγιστη απόσταση εμφάνισης των σμηνών στα 80 pc.

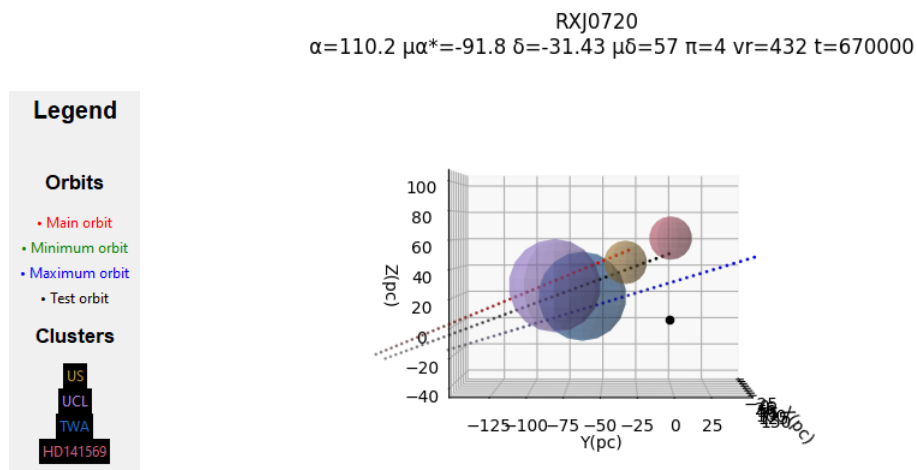
Τέλος, στην τρίτη παρατήρησα πως για πιο ακραίες τιμές που προσεγγίζουν τις μέγιστες αλλά και έναν χρόνο κοντινό στην πρώτη περίπτωση, μπορεί να γίνει συσχετισμός με το β Pic-Cap, το TWA, ενώ βρίσκεται πολύ κοντά στα όρια του Tuc-Hor.

No.	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[mas]$	$\mu * _a [mas/s]$	$\mu _\delta [mas/s]$	$U_r[km/s]$	Age [Myr]
1	110.20	-31.43	4	-92.8	56	432	0.45
2	110.20	-31.43	4	-91.8	57	432	0.67
3	110.20	-31.43	5.2	-91.4	57	432	0.4

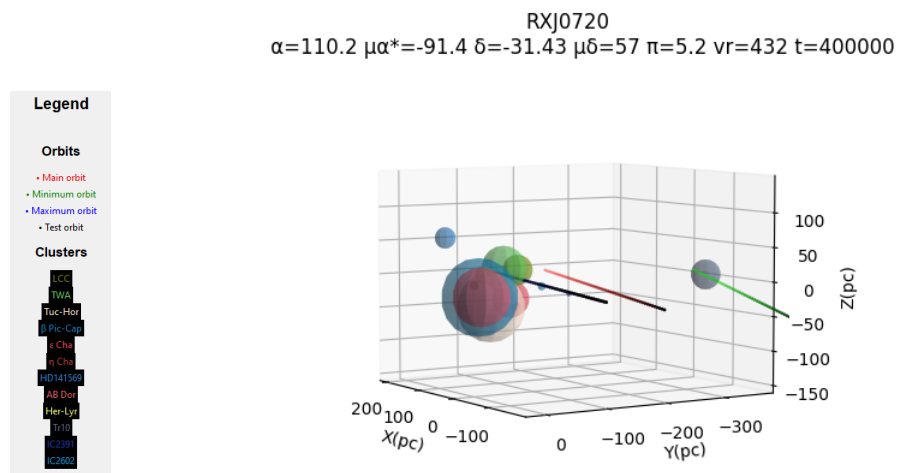
No.	Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Distance from Test Values (pc)
1	LCC	22.5	54.182268
	TWA	33.0	14.251023
	Tuc-Hor	50.0	71.665532
	β Pic-Cap	56.5	76.457862
	ϵ Cha	27.5	59.038633
	n Cha	6.5	63.389095
	HD141569	15.5	103.173145
	Ext,R CrA	31.0	117.708808
	AB Dor	42.5	82.230575
	Her-Lyr	13.0	72.041056
	Tr10	22.5	306.872828
	IC2391	3.5	96.737142
	IC2602	6.0	80.302648
	ChaT	21.0	107.947196
2	HD141569	15.5	13.503477
	UCL	32.5	90.811619
	TWA	33.0	96.855681
3	LCC	22.5	83.592974
	TWA	33.0	26.040058
	Tuc-Hor	50.0	54.088006
	β Pic-Cap	56.5	45.974124
	ϵ Cha	27.5	74.099231
	n Cha	6.5	77.178354
	HD141569	15.5	79.657703
	AB Dor	42.5	53.221271
	Her-Lyr	13.0	41.936892
	Tr10	22.5	344.985616
	IC2391	3.5	130.162592
	IC2602	6.0	113.174738



Σχήμα 3.3: Στην πρώτη περίπτωση η τροχιά του RX J0720.4-3125 συγκλίνει προς το TWA με απόσταση από το κέντρο του ίση με 14.2 pc.



Σχήμα 3.4: Στη δεύτερη περίπτωση η τροχιά του RX J0720.4-3125 συγκλίνει εσωτερικά αλλά προς τα άκρα του HD141569 με απόσταση ίση με 13.5 pc.

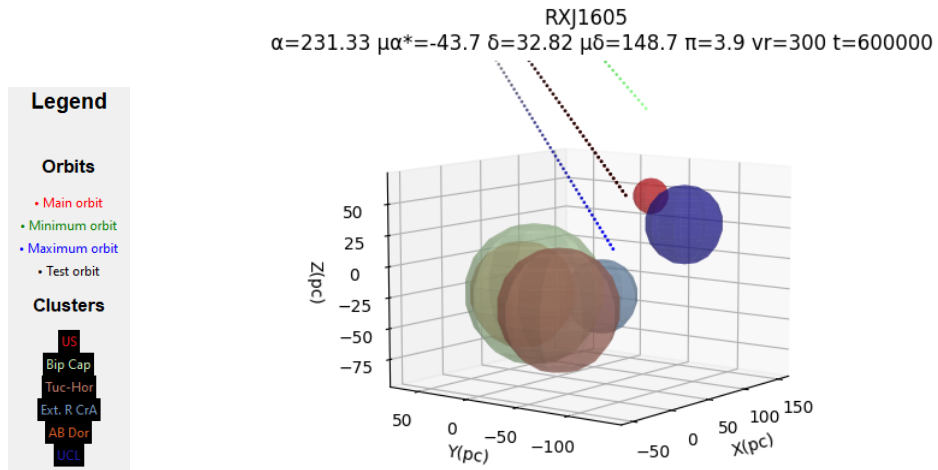


Σχήμα 3.5: Στην τρίτη περίπτωση παρατηρούνται 3 πιθανά σμήνη για το RX J0720.4-3125: εσωτερικά του TWA με απόσταση από το κέντρο στα 26 pc, εξωτερικά του Tuc-Hor με απόσταση από το κέντρο ίση με 54.1 pc και εσωτερικά του β Pic-Car με απόσταση από το κέντρο ίση με 45.9 pc.

3. RX J1605.3+3249

Ο αστέρας εν συντομία J1605 επίσης παρατηρήθηκε από το ROSAT μέσω των θερμικών του εκπομπών και βρίσκεται κοντά στον αστερισμό του Όφεως (Serpens). Η μακροχρόνια σταθερότητα στην εκπομπή των ακτίνων X υποστηρίζει την υποθήση πως αυτός ο αστέρας είναι αρκετά νέος [23] και χρονολογείται σε μία ηλικία τάξης των $10^5 - 10^6$ ετών [24]. Αυτή η ηλικία δεν υπολογίστηκε βάσει του ορισμού της χαρακτηριστική ηλικίας 2.1, αλλά αποτελεί μία υπόθεση του παραπάνω άρθρου και ένα όριο για τον χρόνο κίνησης του αστέρα.

Αρχικά για χρόνο ίσο με 0.6 Myr δοκιμάζω συνδυασμούς των σημειωμένων συνθηκών ακριβώς όπως στον πίνακα με διάφορες αυξανόμενες ακτινικές ταχύτητες και κρατάω σταθερά τη μέγιστη απόσταση εμφάνισης στα 300pc. Τελικά, για μια ακτινική ταχύτητα γύρω στα 300 km/s, η τροχιά των μέσων τιμών προσεγγίζει το σμήνος US, ενώ παρατηρώ από τις άλλες 2 τροχιές πως δεν προσεγγίζεται αρκετά κοντά κάποιο άλλο σμήνος.



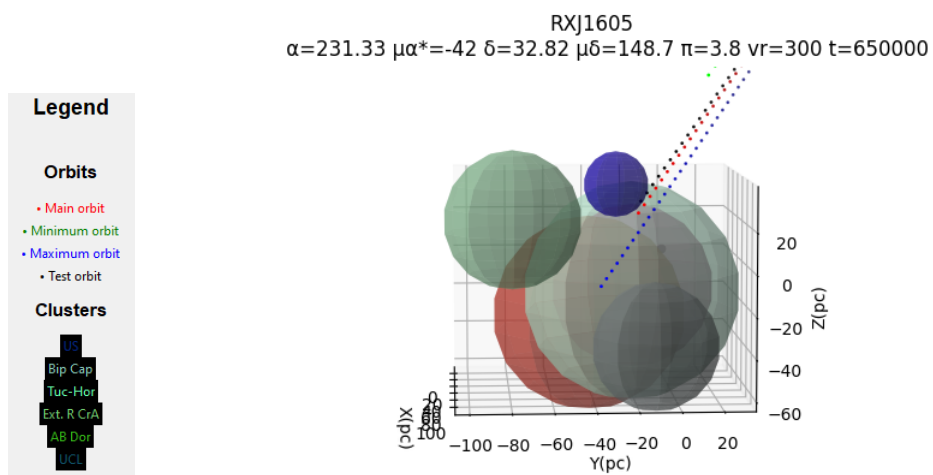
Σχήμα 3.6: Πρώτη προσπάθεια εύρεσης ενός σμήνους για το RX J1605.3+3249 όπου παρατηρείται σύγκλιση προς το US.

Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Distance from Test Values (pc)
US	15.0	21.723358
Bip Cap	56.5	142.192405
Tuc-Hor	50.0	147.080022
Ext. R CrA	31.0	87.056844
AB Dor	42.5	153.190452
UCL	32.5	70.379946

Μετά από αρκετές παραμετροποιήσεις και δοκιμές, για τις παρακάτω τιμές που είναι εντός ορίων και παραπλήσιες της αρχικής μέσης τροχιάς κατάφερα να βρω μία τροχιά που να μας δείχνει ότι ο J1605 ενδέχεται να προέρχεται από το σμήνος US. Είναι εμφανές πως εντοπίζεται στα άκρα του σμήνους, όμως δεν κατάφερα να εντοπίσω ένα συνδυασμό τιμών εντός των ορίων του πίνακα 2.3 για να επιτύχω μία τροχιά που θα καταλήγει πιο κοντά στο θεωρητικό κέντρο του σμήνους.

$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[mas]$	$\mu * _a[mas/s]$	$\mu _\delta[mas/s]$	$U_r[km/s]$	Age [Myr]
231.33	32.82	3.8	-42	148,7	300	0.65

Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Distance from Test Values (pc)
US	15.0	14.020289
Bip Cap	56.5	146.616770
Tuc-Hor	50.0	149.010786
Ext. R CrA	31.0	84.009098
AB Dor	42.5	158.033796
UCL	32.5	62.284717



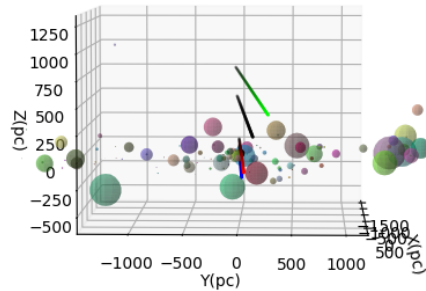
Σχήμα 3.7: Τελική εικόνα της τροχιάς του RX J1605.3+3249 όπου παρατηρείται συσχέτιση με το US και πιο συγκεκριμένα στα άκρα του με απόσταση από το κέντρο του ίση με 14.0 pc.

4. RBS 1223/RX J1308.6+2127

Ο 1223 παρατηρήθηκε από το ROSAT Bright Survey (RBS) στον αστερισμό της Παρθένου (Virgo) και βάσει της εκπομπής ακτίνων Χ αλλά και του οπτικού φάσματος κατηγοριοποιήθηκε και αυτός ως ένας απομονωμένος αστέρας νετρονίων [16].

Τα δεδομένα που εισάγω έχουν ένα μεγάλο σφάλμα στην παράλλαξη, για αυτό το θεωρώ αναγκαίο να παρατηρήσω αν υπάρχει κάποιο σμήνος κοντά στην τροχιά που το αρχικό σημείο θα έχει παράλλαξη 1.4 mas. Έτσι για ένα χρόνο κινήσεως στα 1 Myr είναι εμφανές πως η πράσινη τροχιά (το αρχικό της σημείο έχει παράλλαξη 1.4 mas δηλαδή για την ελάχιστη παράλλαξη) και η μαύρη τροχιά (δοκιμαστική) με αντίστοιχα αρχικό σημείο στα 1.8 mas δεν βρίσκονται κοντά σε κάποιο σμήνος. Αντιθέτως, είναι εμφανές πως για μικρότερες αποστάσεις υπάρχουν σμήνη που είναι πιο κοντά στην μπλε και κόκκινη τροχιά (μέγιστη και μέση παράλλαξη). Επιπλέον, αφού αλλάζοντας τον χρόνο θα αλλάξει κυρίως το μήκος της τροχιάς και όχι τόσο η κλίση, θεωρώ άσκοπο να συνεχίσω την αναζήτηση σε μεγάλες αποστάσεις για διαφορετικό χρόνο.

RBS1223
 $\alpha=197.2$ $\mu\alpha^*=-190$ $\delta=21.45$ $\mu\delta=65$ $\pi=1.8$ $vr=300$ $t=1000000$



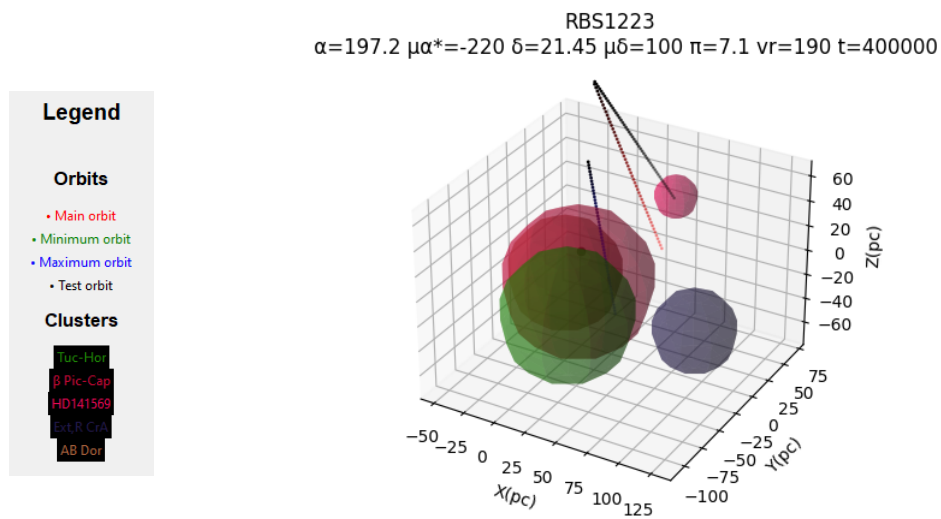
Σχήμα 3.8: Αρχική προσέγγισή για μία πιθανή τροχιά του RBS 1223

Με μία παράλλαξη στα 7.1 mas και χρόνο στα 0,4 Myr καταφέρνω να ταυτίσω τον αστέρα με το σμήνος HD141569. Επιπλέον, με μία ακόμα μεγαλύτερη παράλλαξη και συγκεκριμένα στα 13 mas και χρόνο κοντά

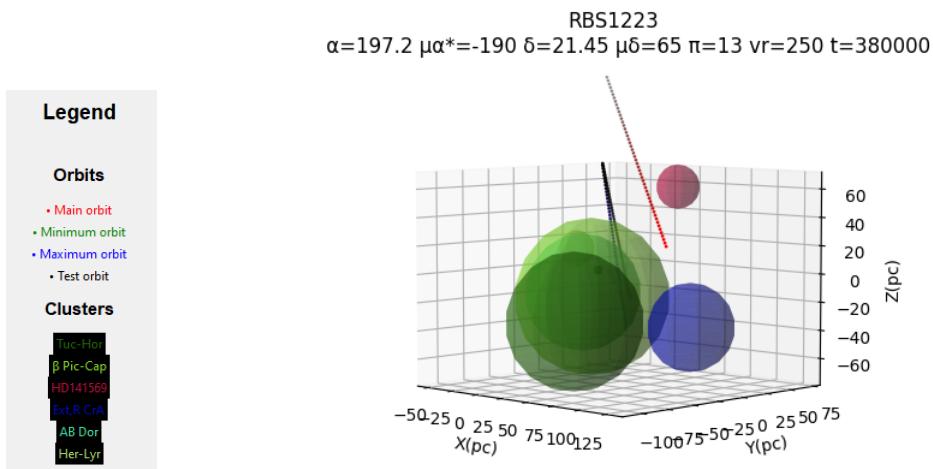
στον ανώτερο παρατηρώ πως ο αστέρας έχει αρκετά πιθανά σμήνη από τα οποία ενδέχεται να προέρχεται. Αναλυτικότερα πιθανοί υποψήφιοι είναι τα Tuc-Hor, β Pic-Cap και AB Dor, 3 σμήνη δηλαδή με διάμετρο περίπου στα 100 pc. Για μέγιστη απόστασή εμφάνισης στα 70 pc λοιπόν, έχουμε:

No.	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$	$\pi[mas]$	$\mu *_{\alpha} [mas/s]$	$\mu_{\delta} [mas/s]$	$U_r[km/s]$	Age [Myr]
1	197.2	21.45	7.1	-220	100	190	0.40
2	197.2	21.45	13	-190	65	250	0.38

No.	Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Test Values Distance (pc)
1	Tuc-Hor	50.0	119.188308
	β Pic-Cap	56.5	103.089800
	HD141569	15.5	8.177119
	Ext,R CrA	31.0	96.742651
	AB Dor	42.5	110.403796
2	Tuc-Hor	50.0	45.985055
	β Pic-Cap	56.5	27.983938
	HD141569	15.5	97.237087
	Ext,R CrA	31.0	75.052148
	AB Dor	42.5	36.952747
	Her-Lyr	13.0	54.197883



Σχήμα 3.9: Πρώτη Περίπτωση του RBS 1223 όπου η δοκιμαστική τροχιά έχει μικρότερη αρχική παράλλαξη και παρατηρείται σύγκλιση στο HD141569 με απόσταση από το κέντρο ίση με 8.2 pc.



Σχήμα 3.10: Δεύτερη Περίπτωση όπου η δοκιμαστική τροχιά έχει αρχικά μεγαλύτερη παράλλαξη και παρατηρείται σύγκλιση του RBS 1223 στα: Tuc-Hor με απόσταση από το κέντρο ίση με 46.0 pc, β Pic-Cap με απόσταση από το κέντρο ίση με 28.0 pc και AB Dor με απόσταση από το κέντρο ίση με 39.0 pc.

Κεφάλαιο 4

Ποιοτικά Αποτελέσματα και Επικύρωση

1. Χρόνος ταξιδιού και ηλικία των αστερών Νε- τρωνίων

Οι τελικοί χρόνοι ταξιδιού διαφέρουν πολύ από τη spin-down ηλικία του κάθε αστερά.

AN	Spin-Down Age (Myr)	Χρόνος ταξιδιού (Myr)	Πιθανό Σμήνος
J1856	3.76	0.31	US
J0720	1.9	0.63	Tr10
		0.45	TWA
		0.67	HD141569
		0.40	TWA, Tuc-Hor, β Pip-Cap
J1605	-	0.65	US
1223	1.46	0.4	HD141569
		0.38	Tuc-Hor, β Pip-Cap, AB Dor

Πίνακας 4.1: Σύνοψη των αποτελεσμάτων από την ανάλυση στο Κεφάλαιο 3.

Είναι εμφανές πως σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση τον 1223 που δε γνωρίζουμε, πως ο χρόνος ταξιδιού διαφέρει κατά μία τάξης μεγέθους. Η αρχική υπόθεση ότι η spin-down ηλικία είναι ένα άνω όριο την ηλικίας του αστερά νετρονίων επαληθεύεται. Αντίθετα, ένα εύρος γύρω από την τιμή του χρόνου ταξιδιού είναι μία πιο ασφαλής εκτίμηση της ηλικίας του αστερά νετρονίων.

Παρακάτω, θα εξετάσω την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων ως προς το αν είναι αρκετός ο χρόνος για να εξελιχθεί ένας αστέρας συγκριτικά με την ηλικία του σμήνους, αλλά και αν τα σμήνη έχουν παρατηρηθεί να φιλοξενούν παρόμοιους αστέρες. Τέλος, θα ελέγξω και τη μέση μεταλλικότητα των πιο πιθανών σμηνών και αν αυτή ανταποκρίνεται στους αστέρες που μελετώ.

2. RX J1856.5-3754

Ο J1856 συνδέθηκε με το Upper Scorpius (US). Η ηλικία της σύνδεσης US υπολογίζεται να έχει κατώτατο όριο τα 10.5 Myr ενώ κυμαίνεται στα 11 ± 2 Myr [26], ενώ και σύμφωνα με τον κατάλογο B' η ηλικία του οριοθετείται στα 5-10 Myr. Γενικά, αποτελεί ανοιχτό ερώτημα η ηλικία του αλλά και μία ακόμα πιο σύγχρονη έρευνα [28] καταλήγει σε μέσο όρο ηλικίας τα 10 Myr. Βρίσκεται 470 έτη φωτός μακριά από το Ηλιακό σύστημα και είναι το πιο κοντινό σμήνος με πλήθος OB αστέρων [27].

Αν υποθέσουμε πως ο J1856 προέρχεται από αυτό το νεαρό σμήνος, οφείλουμε να οριοθετήσουμε την ηλικία, αλλά και τη μάζα του σε ένα πολύ μικρό όριο τιμών. Αναλυτικότερα, ο ελάχιστος χρόνος εξέλιξης στην Κύρια Ακολουθία για έναν αστέρα μεγάλης μάζας (10 - 24 ηλιακές μάζες) είναι τα 10 Myr. Επιπλέον, ο χρόνος που υπολογίστηκε να έχει διανύσει στο διάστημα είναι τα 0.31 Myr. Ο ελάχιστος χρόνος των 10.3 Myr αποτελεί μία οριακή τιμή συγκριτικά με την ηλικία του US υποδεικνύοντας πως ο προγεννίτρας μπορεί να αποτελεί μέλος μόνο αν ήταν από τους πρώτους αστέρες που δημιουργήθηκαν σε αυτό. Επιπλέον, η αστρική εξέλιξη των 10 Myr υποδεικνύει ότι ο προγεννίτρας είχε πολύ μεγάλη μάζα κάτι που ήταν και αναμενόμενο διότι οι αστέρες νετρονίων με πολύ μικρή ακτίνα προέρχονται από αστέρες που οι μάζες τους προσεγγίζουν όλο και πιο πολύ τα όρια για να επιτευχθεί μία μελανή οπή.

Στην περίπτωση που ο αστέρας νετρονίων προέρχεται από ένα διπλό σύστημα, αν και δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τα αστέρια που τον δημιούργησαν, είναι σίγουρο πως εξελίχθηκε από ένα κλειστό σύστημα όπου ο πρωτεύων ήταν στην κύρια ακολουθία και ο δευτερεύων θα έχει φτάσει στο σημείο του ερυθρού γίγαντα. Γνωρίζουμε πως στα κλειστά συστήματα καθώς μεταφέρεται η μάζα από τον έναν στον άλλον, αυξάνεται η μάζα του πρωτεύων και επιταχύνεται η εξέλιξη [7]. Όμως,

είναι αδύνατον το σύστημα να αποτελούταν από ένα λευκό νάνο, διότι οι αστέρες μάζας μικρότερης των $10 M_{\odot}$, που θα εξελιχθούν σε έναν λευκό νάνο, χρειάζονται παραπάνω χρόνο για να εξελιχθούν.

3. RX J0720.4-3125

Οι τιμές που εισάγω από το άρθρο [29] για την ηλικία των 0.63 Myr ο αστέρας προσεγγίζει το Trumpler 10 (Tr10). Το Trumpler 10 είναι ένα ανοιχτό σμήνος με ηλικία στο εύρος των 10-35 Myr και βρίσκεται σε απόσταση ίση με 441 parsecs [3], [19].

Η αρκετά μεγαλύτερη ηλικία του Tr10 μας δίνει μία μεγαλύτερη ασφάλεια στην υπόθεση ότι ο J0720 ενδέχεται να προέρχεται από αυτό το σμήνος. Όλος ο χρόνος ζωής του στην Κύρια Ακολουθία, η ύστερη εξέλιξη και ο χρόνος που έχει ταξιδέψει στο διάστημα απομονωμένος, άνετα μπορούν να οριοθετηθούν μέσα σε ανώτατο όριο των 35 Myr. Πέρα από αυτό αφού ο χρόνος ζωής οριοθετείται σε ένα ευρύ φάσμα ακόμα και η μάζα του αρχικού αστέρα ο (που είναι αντίστροφα) μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα ευρύ φάσμα. Άρα, όπως καταλήγει και το άρθρο [17] είναι αρκετά πιθανό να προέρχεται από το Tr10, αλλά δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε πιο συγκεκριμένες πληροφορίες για αυτόν. Επιπρόσθετα σύμφωνα με το άρθρο [19] από το 1974 το σμήνος φιλοξενεί αστέρια με μέγιστο φασματικό τύπο B4, αλλά και από το HR διάγραμμα είναι εμφανές πως υπάρχουν αστέρες μικρότερης μάζας που έχουν φτάσει στο στάδιο του ερυθρού γίγαντα. Οπότε αφού οι κατώτεροι φασματικοί τύποι παρατηρούνται να έχουν εξελιχθεί είναι δυνατόν ο J0720 να έχει ήδη εξελιχθεί.

Αφού είναι χρονικά πιθανή η δημιουργία του αστέρα νετρονίων από ένα αστέρα, η περίπτωση ενός διπλού συστήματος θα μπορούσε να είναι επίσης δεκτή. Συγκεκριμένα είναι πιθανό και ο δέκτης να ήταν ένας λευκός νάνος στα όρια του όριο Chandrasekhar όπου η ύπαρξη υλικού από έναν ερυθρό γίγαντα να του αύξησε τη μάζα, να διέσχιζε το όριο και να έγινε η περαιτέρω συμπίεση του πυρήνα οδηγώντας σε υπερκαινοφανή έκρηξη [7]. Το HR διάγραμμα στο άρθρο [19] δεν παρουσιάζει κάποιον λευκό νάνο, οπότε ενδεχομένως να μην έχει ακόμα δημιουργηθεί κάποιος. Βέβαια, όντας αμυδρά σώματα είναι δυνατόν να μην είχε παρατηρηθεί όταν δημοσιεύτηκε το άρθρο. Δυστυχώς, δε βρήκα κάποιο νεότερο διάγραμμα.

Εν συνεχεία θα μελετήσω τα αποτελέσματά από τις περιπτώσεις των τιμών που εισήγαγα από το SIMBAD.

Αρχικά παρατηρείται σύγκλιση με το σμήνος TWA για 2 περιπτώσεις: Η πρώτη επιτυγχάνεται για χρόνο ίσο 0.45 Myr και η δεύτερη για χρόνο ίσο με 0.4 Myr. Φαίνεται και από τον πίνακα 2.1 πως η διαφοροποίηση των περιπτώσεων 1 και 3 γίνεται έμπρακτα στη σημερινή παράλλαξη. Αυτή η διαφορά στην παράλλαξη είναι ίση περίπου με 58 pc και δείχνει ότι το εύρος των σφαλμάτων των παρατηρήσεων οδηγούν σε πολλαπλές πιθανότητες για τη θέση του αστέρα στο γαλαξία σήμερα αλλά και την περίοδο που έγινε η υπερκαινοφανής έκρηξη.

Το TW Hydrae Association (TWA) είναι μία νεαρή σύνδεση με ηλικία που κυμαίνεται στο εύρος 8-20 Myr. Αφού χρονολογείται να είναι πάνω από 10 Myr είναι ικανό να φιλοξενεί αστρικά πτώματα από αστέρες μεγάλης μάζας, αλλά και καθώς δεν ξεπερνά τα 20 Myr, οι αστέρες που έχουν ολοκληρώσει την εξέλιξη τους θα έχουν περίπου μία ελάχιστη μάζα $10M_{\odot}$ - $11M_{\odot}$. Προφανώς, είναι πάλι δυνατόν η εξέλιξη να επιταχυνθεί από ένα κλειστό σύστημα 2 αστέρων που ενδεχομένως το ένα να βρισκόταν στην Κύρια Ακολουθία και το άλλο στο στάδιο των γιγάντων διότι οι $10M_{\odot}$ είναι μία οριακή τιμή για τη δημιουργία ενός λευκού νάνου. Δυστυχώς, αναζητώντας τη βιβλιογραφία δεν κατάφερα να εντοπίσω άρθρα που να αποδεικνύουν πως η TWA είναι μία OB σύνδεση. Αντιθέτως, εμπεριέχει κυρίως αστέρες μικρής μάζας που βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της δημιουργίας. Εκτιμάται πως η δημιουργία πυροδοτήθηκε από μία υπερκαινοφανή έκρηξη πριν από 10 Myr που δεν ταυτίζεται με την υπολογισμένη ηλικία του αστέρα νετρονίων J0720 [30, 8]. Οφείλω λοιπόν να το απορρίψω από την έρευνα.

Εν συνεχεία για χρόνο ταξιδιού ίσο με 0.67 Myr, τον μεγαλύτερο που υπολόγισα στην εργασία, προσεγγίζεται το HD141569. Σύμφωνα με τον πίνακα B' η ηλικία του εκτιμάται να είναι 5 Myr. [5]. Κανένα αστέρι μέσα σε 5 Myr δεν είναι ικανό να εξελιχθεί στο σημείο του αστρικού πτώματος αλλά θα βρίσκεται ακόμα στην Κύρια Ακολουθία. Οπότε, είναι απίθανο να δημιουργήθηκε σε εκείνο το σμήνος.

Τέλος, για την τρίτη περίπτωση, παρατηρείται σύγκλιση με το Tucana-Horologium association (Tuc-Hor) και το β Pictoris (β Pic-Cap). Το πρώτο έχει εκτιμώμενη ηλικία 10-40 Myr και το δεύτερο 8-35 Myr, βρίσκονται και τα δύο πολύ κοντά στο Ηλιακό σύστημα και οι διαστάσεις τους, όπως και οι ηλικίες του είναι παραπλήσιες. Η εγγύτητα βόηθησε στο να τα παρατηρήσουμε εκτενώς και να ανακαλύψουμε πως το Tuc-Hor

διαθέτει αστέρες φασματικού τύπου B-M ενώ το β Pic-Cap διαθέτει αστέρες φασματικού τύπου A-M [31]. Ταυτόχρονα, έχει παρατηρηθεί πως και στα δύο, τα περισσότερα αστέρια (ειδικά μικρής μάζας) είναι ακόμα στο στάδιο σχηματισμού και δεν έχουν εισαχθεί ακόμα στην κύρια ακολουθία. Όμως, το γεγονός ότι μόνο στο Tuc-Hor παρατηρήθηκαν αστέρες προγενέστερου φασματικού τύπου και μάλιστα κοντά στο εύρος για προγενήτορα ενός αστέρα νετρονίων το κάνει ένα πιθανό υποψήφιο. Αντίθετα, το β Pic-Cap λιγότερο πιθανό. Οι ηλικίες επιτρέπουν την ύπαρξη λευκού νάνου που προέρχονται από αστέρες με αρχικές μάζες κοντά στις $8-10 M_{\odot}$. Όμως, το πρώιμο στάδιο που βρίσκονται ακόμα οι αστέρες μικρής μάζας σε αυτό το σημείο μειώνει τις πιθανότητες να υπήρξε ένας λευκός νάνος στο παρελθόν. Επιπλέον, και στη βιβλιογραφία που αναζήτησα δε βρήκα κάποια έρευνα να αναφέρει την ύπαρξη ενός λευκού νάνου για κανένα από τα 2 σμήνη. Συμπερασματικά, είναι δυνατόν να υπήρξε ένας αστέρας μεγάλης μάζας στο Tuc-Hor, λιγότερο πιθανό να υπήρξε στο β Pic-Cap και αδύνατο ο αστέρας νετρονίων να δημιουργήθηκε από διπλό σύστημα λευκού νάνου - ερυθρού γίγαντα.

4. RX J1605.3+3249

Από τους υπολογισμούς ο J1605 ενδέχεται να προέρχεται, όπως και ο J1856, από το Upper Scorpius. Ο χρόνος κίνησης, άρα και η ηλικία του J1605, για αυτήν την περίπτωση εκτιμήθηκε να είναι διπλάσιος από την ηλικία του J1856. Αντίστοιχα με την περίπτωση του J1856, ο ελάχιστος χρόνος των 10.6 Myr αποτελεί μία ακόμα πιο οριακή τιμή για την πιθανότητα το Upper Scorpius να φιλοξενούσε τον προγεννήτορα αστέρα. Αν οριοθετηθεί η εξέλιξη στα 10 Myr ο αστέρας νετρονίων ενδεχομένως να προέρχεται από έναν κυανό υπεργίγαντα ή και ενδεχομένως από ένα κλειστό διπλό σύστημα 2 αστέρων που αναγκαστικά ο πρωτεύων θα είναι στην κύρια ακολουθία και ο δευτερεύων να βρίσκεται στο στάδιο του ερυθρού γίγαντα.

5. RBS 1223/RX J1308.6+2127

Στην πρώτη περίπτωση ο 1223 συγκλίνει στο HD141569. Όμως, καθώς η ηλικία του σμήνους εκτιμάται στα 5 Myr δεν είναι δυνατόν ένας αστέρας με αρχική μάζα μικρότερη των $25 M_{\odot}$ να έχει εξελιχθεί

(>6,3 Myr) και να ταξιδεύει (0.4 Myr) στη σημερινή του θέση από το HD141569.

Στη δεύτερη περίπτωση ο 1223 βρίσκεται στις παρυφές των Tuc-Hor και του AB Doradus (AB Dor), αλλά πιο κοντά στο κέντρο του β Pic-Cap. Αρχικά, όπως φάνηκε και με τον J0720 το Tuc-Hor είναι πιθανό να φιλοξενούσε τον προγενήτορα, ενώ το β Pic-Cap όχι τόσο. Αναφορικά με το AB Doradus είναι το πιο κοντινό σύστημα αστερών στον Ήλιο και σύμφωνα με τον πίνακα B' εκτιμάται να έχει ηλικία 30-120 Myr οπότε αποτελεί το πιο γηραιό σμήνος στην έρευνα. Προφανώς, η ηλικία του δίνει τη δυνατότητα το αστéρι να εξελίχθηκε μόνο του σε αστέρα νετρονίων. Παρατηρείται να περιέχει αστέρια φασματικού τύπου F-M [31] οπότε είναι απίθανο να φιλοξενούσε έναν αστέρα μεγάλης μάζας. Ταυτόχρονα είναι πιθανό ένα διπλό σύστημα λευκού νάνου - ερυθρού γίγαντα να δημιουργήσει τον αστέρα νετρονίων καθώς σύμφωνα με το άρθρο [10] το σμήνος εκτιμάται πως φιλοξενεί έναν λευκό νάνο μεγάλης μάζας οπότε είναι δυνατόν και ο 1223 να ήταν ένας παρόμοιος λευκός νάνος πριν την υπερκαινοφανή έκρηξη.

6. Μεταλλικότητα

Σύμφωνα με το άρθρο [20] τα εν τέλει πιθανά σμήνη, με εξαίρεση το Tr10 που δεν κατάφερα να βρω κάποια πληροφορία, έχουν παραπλήσια μεταλλικότητα με του Ήλιου. Πράγματι, στη συγκεκριμένη έρευνα όπου οριοθετείται ένας μέσος όρος για τη μεταλλικότητα σε κάθε σύνδεση παρατηρείται πως το AB Dor συγκριτικά με τον ήλιο έχει μεταλλικότητα $Fe/H = +0.04$, ενώ τα β Pic, US και Tuc-Hor και $Fe/H = -0.01, -0.02, -0.03$ αντίστοιχα. Αυτό το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό για τους προγεννήτορες αστέρες διότι όντας νέοι (μικρότερη σε ηλικία από τον Ήλιο) είναι λογικό τα σμήνη τους να έχουν μέσο όρο Fe/H παραπλήσιου ενός αστέρα που ανήκει στον Αστρικό Πληθυσμό I.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

1. Σύνοψη Συμνηών και Πιθανότητας Δημιουργίας

Συνοψίζοντας καταλήγω πως στα εξής συμπεράσματα: Το HD141569 είναι αδύνατον να φιλοξένησε κάποιον αστέρα λόγω της μικρής του ηλικίας. Το TWA είναι αδύνατο διότι παρατηρούνται αστέρια που τώρα δημιουργούνται. Εν συνεχεία τα υπόλοιπα σμήνη (με εξαίρεση το Tr10 που δε γνωρίζω) έχουν ικανοποιητική μεταλλικότητα, αλλά και πιο αναλυτικά: Το Tuc-Hor ενδέχεται να φιλοξενούσε στο παρελθόν μεγαλύτερους αστέρες, ενώ για το β Pip-Cap δεν υπάρχει κάποια ένδειξη αλλά ούτε και κάτι που να αποκλείει πλήρως την πιθανότητα. Το US και το Tr10 είναι ιδανικοί υποψήφιοι καθώς παρατηρούνται να έχουν πληθώρα αντίστοιχων αστέρων. Τέλος, στο AB Dor, και μόνο για αυτόν, είναι πολύ πιθανό ο AN να δημιουργήθηκε από ένα διπλό σύστημα αστέρων με πρωτεύων έναν λευκό νάνο, αλλά αδύνατο να φιλοξενούσε ποτέ κάποιον αστέρα μεγάλης μάζας.

		Πιθανότητα Δημιουργίας		
ΑΝ	Σμήνος	Από έναν Αστέρρα	ΚΑ-ΕΓ	ΛΝ-ΕΓ
J1856	US	Πιθανό	Πιθανό	Απίθανο
J0720	Tr10	Πιθανό	Πιθανό	Λιγότερο Πιθανό
	TWA	Απίθανο	Απίθανο	Απίθανο
	HD141569	Απίθανο	Απίθανο	Απίθανο
	Tuc-Hor	Πιθανό	Λιγότερο Πιθανό	Απίθανο
	β Pip-Cap	Λιγότερο Πιθανό	Λιγότερο Πιθανό	Απίθανο
J1605	US	Πιθανό	Πιθανό	Απίθανο
1223	HD141569	Απίθανο	Απίθανο	Απίθανο
	Tuc-Hor	Πιθανό	Λιγότερο Πιθανό	Απίθανο
	β Pip-Cap	Λιγότερο Πιθανό	Λιγότερο Πιθανό	Απίθανο
	AB Dor	Απίθανο	Πιθανό	Πιθανό

Πίνακας 5.1: Σύνοψη των αστερών και την πιθανότητα να παράχθηκαν από έναν μοναδικό αστέρα, διπλό κλειστό σύστημα κύριας ακολουθίας - ερυθρού γίγαντα και διπλό σύστημα λευκού νάνου - ερυθρού γίγαντα για κάθε συσχετισμένο σμήνος.

2. Η ηλικία άλλων αστερών νετρονίων

Παρατηρώντας την απόκλιση από τη θεωρητική ηλικία τ , γεννιέται το ερώτημα, τι ισχύει τελικά για άλλους αστέρες νετρονίων. Πράγματι, οι αστέρες νετρονίων καθώς ως επί των πλείστον παρατηρούνται κοντά σε άλλους αστέρες και όχι απομονωμένοι, άρα και μέσα σε ένα σμήνος, δεν απομακρύνονται από αυτό ώστε να βρούμε τον χρόνο που έχουν ταξιδέψει μέχρι το σημερινό σημείο παρατήρησης. Άρα αν και η εργασία εμφανίζει ένα εναλλακτικό τρόπο εύρεσης για την ηλικία, αυτός δε δύναται να εφαρμόζεται για κάθε αστέρα. Όμως, αποτελεί μία ένδειξη ότι η απλοϊκή εξίσωση (2.1) αν και προσεγγίζει τον χρόνο ταξιδιού με σφάλμα μίας τάξης μεγέθους δεν είναι αρκετή για να οριστεί με μεγάλη ακρίβεια η ηλικία. Είναι ανάγκη λοιπόν να χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνικές για να υπολογιστεί η ηλικία, ώστε ο συνδυασμός τους να φέρει πιο έγκυρα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, το άρθρο [11] εξετάζει τη στατιστική ηλικία βάσει τον ρυθμό ψύξης των XDINS. Οπότε ο συνδυασμός δύο ή και παραπάνω τεχνικών σε ένα στόχο όπως οι XDINS είναι ικανός να κανονικοποιήσει και τελειοποιήσει τα μοντέλα ώστε σε πιο απλές περιπτώσεις όπου ο αστέρας νετρονίων δε θα είναι απομονωμένος να είναι δυνατή να υπολογιστεί με ακρίβεια η ηλικία.

3. Η Εισαγωγή του Γαλαξιακού Δυναμικού στους υπολογισμούς

Όπως ανέφερα στο Κεφάλαιο 2 στους υπολογισμούς μου αγνόησα το δυναμικό του Γαλαξία. Μετά τους υπολογισμούς ήταν και εμφανές πως η κίνηση των αστέρων δε διήρκησε σε καμία περίπτωση πάνω 1 Myr, αλλά ακόμα και η θεωρητική ηλικία δεν ξεπερνά τα 4 Myr. Αυτή η διάρκεια είναι κλάσμα στο χρόνο που χρειάζεται ο Ήλιος (ένα κοντινό αστέρι για κάθε ένα από τη στην ομάδα των XDINS) για να ολοκληρώσει ένα κοσμικό έτος (≈ 225 εκατομμύρια έτη). Επομένως, αν και η απόκλιση στη συγκεκριμένη εργασία ενδέχεται να είναι μικρή, η εισαγωγή και του δυναμικού στις εξισώσεις κίνησης σίγουρα θα οδηγήσει σε πιο έγκυρα αποτελέσματα. Προφανώς, αν εξετάζονταν αστέρες νετρονίων μεγαλύτερης ηλικίας ή και αστέρες που βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τους παραπάνω η εισαγωγή του δυναμικού ή και άλλων παραμετροποιήσεων θα ήταν αναγκαία. Επιπλέον, καθώς τα τηλεσκοπία γίνονται ισχυρότερα και παρατηρούν όλο και πιο αμυδρά και απόμακρα σώματα η ανάγκη για την παραμετροποίηση θα είναι αναγκαία ώστε να είναι δυνατή και σε αυτά ένας αντίστοιχος υπολογισμός.

4. Η περαιτέρω κατανόηση της μη συμμετρικής υπερκαινοφανής έκρηξης

Ο αρχικός λόγος που οι αστέρες βρίσκονται απομονωμένοι είναι διότι η υπερκαινοφανής έκρηξη που προκαλείται είναι ασύμμετρη εκτινάσσοντας τους με την αρχική ταχύτητα που έχει οριστεί, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, ως Pulsar-kick velocity. Στην παρούσα εργασία, αγνοώντας το Γαλαξιακό δυναμικό θεωρώ πως η ταχύτητα παραμένει σταθερή, άρα και οι σημερινές συνιστώσες είναι ικανές να μας υποδείξουν την αρχική τιμή της από τη στιγμή που εκτοξεύθηκε. Είναι λοιπόν εμφανές πως η εισαγωγή απαραίτητων δυναμικών και μεταβλητών θα συμβάλει στην εύρεση της πραγματικής (ή μίας καλύτερης προσέγγισής) της Pulsar-kick velocity για κάθε αστέρα νετρονίου, οπότε και μία εκτενέστερη κατανόηση του φαινομένου.

5. Εκτεταμένη χρήση της κινηματικής ηλικίας

Η μεθοδολογία της κινηματικής ηλικίας δεν είναι αναγκαίο να περιοριστεί μόνο στην έρευνα των αστέρων νετρονίων. Πράγματι, αφού σε κανένα σημείο οι υπολογισμοί δεν επηρεάζονται από τη φύση του αστερά νετρονίων, αλλά μόνο από τα κινηματικά του δεδομένα, είναι εμφανές πως για κάθε ουράνιο σώμα αν γνωρίζουμε τα σημερινά του δεδομένα (θέση και κίνηση) και εκτιμηθεί το σημείο που προήλθε, είναι δυνατόν να υπολογιστεί και μία προσέγγιση του χρόνου ταξιδιού και της ηλικίας του. Βέβαια, σε κάθε περίπτωση ενδέχεται να χρειάζεται παραπάνω εμπλοήπιση στους υπολογισμούς αναφορικά με το περιβάλλον που κινήθηκε το σώμα.

Βιβλιογραφία

- [1] Chandra :: Photo Album :: RX J1856.5-3754 and 3C58 :: 10 Apr 02 — chandra.harvard.edu. <https://chandra.harvard.edu/photo/2002/0211/>. [Accessed 01-Jun-2023].
- [2] RX J0720.4-3125 — simbad.u-strasbg.fr. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=RX+J0720.4-3125>. [Accessed 01-Jun-2023].
- [3] Simbad Database: Trumpler 10. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=Trumpler+10>. [Accessed 10-Aug-2023].
- [4] University of Iowa - Spectra types. <https://sites.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/spectralmasses.html>.
- [5] Alicia N. Aarnio, Alycia J. Weinberger, Keivan G. Stassun, Eric E. Mamajek, and David J. James. A Survey for A Coeval, Comoving Group Associated with HD 141569. , 136(6):2483–2492, December 2008.
- [6] Astropy Collaboration, Adrian M. Price-Whelan, Pey Lian Lim, Nicholas Earl, Nathaniel Starkman, Larry Bradley, David L. Shupe, Aarya A. Patil, Lia Corrales, C. E. Brasseur, Maximilian N"othe, Axel Donath, Erik Tollerud, Brett M. Morris, Adam Ginsburg, Eero Vaher, Benjamin A. Weaver, James Tocknell, William Jamieson, Marten H. van Kerkwijk, Thomas P. Robitaille, Bruce Merry, Matteo Bachetti, H. Moritz G"unther, Thomas L. Aldcroft, Jaime A. Alvarado-Montes, Anne M. Archibald, Attila B"odi, Shreyas Bapat, Geert Barentsen, Juanjo Baz'an, Manish Biswas, M'ed'eric Boquien, D. J. Burke, Daria Cara, Mihai Cara, Kyle E. Conroy, Simon Conseil, Matthew W. Craig, Robert M. Cross, Kelle L. Cruz, Francesco D'Eugenio, Nadia Dencheva, Hadrien A. R. Devillepoix, J"org P. Dietrich, Arthur Davis Eigenbrot, Thomas Erben, Leonardo Ferreira, Daniel Foreman-Mackey, Ryan Fox, Nabil Freij, Suyog Garg, Robel Geda, Lauren Glattly, Yash Gondhalekar, Karl D. Gordon, David Grant, Perry

Greenfield, Austen M. Groener, Steve Guest, Sebastian Gurovich, Rasmus Handberg, Akeem Hart, Zac Hatfield-Dodds, Derek Homeier, Griffin Hosseinzadeh, Tim Jenness, Craig K. Jones, Prajwel Joseph, J. Bryce Kalmbach, Emir Karamahmetoglu, Mikolaj Kaluszyński, Michael S. P. Kelley, Nicholas Kern, Wolfgang E. Kerzendorf, Eric W. Koch, Shankar Kulumani, Antony Lee, Chun Ly, Zhiyuan Ma, Conor MacBride, Jakob M. Maljaars, Demitri Muna, N. A. Murphy, Henrik Norman, Richard O'Steen, Kyle A. Oman, Camilla Pacifici, Sergio Pascual, J. Pascual-Granado, Rohit R. Patil, Gabriel I. Perren, Timothy E. Pickering, Tanuj Rastogi, Benjamin R. Roulston, Daniel F. Ryan, Eli S. Rykoff, Jose Sabater, Parikshit Sakurikar, Jesús Salgado, Aniket Sanghi, Nicholas Saunders, Volodymyr Savchenko, Ludwig Schwardt, Michael Seifert-Eckert, Albert Y. Shih, Anany Shrey Jain, Gyanendra Shukla, Jonathan Sick, Chris Simpson, Sudheesh Singanamalla, Leo P. Singer, Jaladh Singhal, Manodeep Sinha, Brigitta M. SipHocz, Lee R. Spitler, David Stansby, Ole Streicher, Jani Sumak, John D. Swinbank, Dan S. Taranu, Nikita Tewary, Grant R. Tremblay, Miguel de Val-Borro, Samuel J. Van Kooten, Zlatan Vasović, Shresth Verma, Jos'e Vin'icius de Miranda Cardoso, Peter K. G. Williams, Tom J. Wilson, Benjamin Winkel, W. M. Wood-Vasey, Rui Xue, Peter Yoachim, Chen Zhang, Andrea Zonca, and Astropy Project Contributors. The Astropy Project: Sustaining and Growing a Community-oriented Open-source Project and the Latest Major Release (v5.0) of the Core Package. *apj*, 935(2):167, August 2022.

- [7] Bradley W. Carroll and Dale A. Ostlie. *An Introduction to Modern Astrophysics*. 1996.
- [8] R. de la Reza, E. Jilinski, and V. G. Ortega. Dynamical evolution of the τ hydrae association. *The Astronomical Journal*, 131(5):2609, may 2006.
- [9] Ian N. Evans, Francis A. Primini, Kenny J. Glotfelty, Craig S. Anderson, Nina R. Bonaventura, Judy C. Chen, John E. Davis, Stephen M. Doe, Janet D. Evans, Giuseppina Fabbiano, Elizabeth C. Galle, II Gibbs, Danny G., John D. Grier, Roger M. Hain, Diane M. Hall, Peter N. Harbo, Xiangqun Helen He, John C. Houck, Margarita Karovska, Vinay L. Kashyap, Jennifer Lauer, Michael L. McCollough, Jonathan C. McDowell, Joseph B. Miller, Arik W. Mitschang, Douglas L. Morgan, Amy E. Mossman, Joy S. Nichols, Michael A. Nowak, David A. Plummer, Brian L. Refsdal, Arnold H. Rots, Aneta Siemiginowska, Beth A. Sundheim, Michael S.

- Tibbetts, David W. Van Stone, Sherry L. Winkelman, and Panagoula Zografou. The Chandra Source Catalog. , 189(1):37–82, July 2010.
- [10] Jonathan Gagné, Gilles Fontaine, Amélie Simon, and Jacqueline K. Faherty. A Young Ultramassive White Dwarf in the AB Doradus Moving Group. , 861(2):L13, July 2018.
- [11] Ramandeep Gill and Jeremy S. Heyl. Statistical ages and the cooling rate of X-ray dim isolated neutron stars. , 435(4):3243–3250, November 2013.
- [12] Frank Haberl. The magnificent seven: magnetic fields and surface temperature distributions. *Astrophysics and Space Science*, 308(1-4):181–190, mar 2007.
- [13] Charles R. Harris, K. Jarrod Millman, Stéfan J. van der Walt, Ralf Gommers, Pauli Virtanen, David Cournapeau, Eric Wieser, Julian Taylor, Sebastian Berg, Nathaniel J. Smith, Robert Kern, Matti Picus, Stephan Hoyer, Marten H. van Kerkwijk, Matthew Brett, Allan Haldane, Jaime Fernández del Río, Mark Wiebe, Pearu Peterson, Pierre Gérard-Marchant, Kevin Sheppard, Tyler Reddy, Warren Weckesser, Hameer Abbasi, Christoph Gohlke, and Travis E. Oliphant. Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825):357–362, September 2020.
- [14] J. D. Hunter. Matplotlib: A 2d graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3):90–95, 2007.
- [15] Long Jiang, Cheng-Min Zhang, Ali Tanni, and Hai-Hui Zhao. Characteristic Age and True Age of Pulsars. In *International Journal of Modern Physics Conference Series*, volume 23 of *International Journal of Modern Physics Conference Series*, pages 95–98, January 2013.
- [16] D. L. Kaplan, S. R. Kulkarni, and M. H. van Kerkwijk. A Probable Optical Counterpart to the Isolated Neutron Star RX J1308.6+2127. , 579(1):L29–L32, November 2002.
- [17] D. L. Kaplan, M. H. van Kerkwijk, and J. Anderson. The Distance to the Isolated Neutron Star RX J0720.4-3125. , 660(2):1428–1443, May 2007.
- [18] D. L. Kaplan, M. H. van Kerkwijk, H. L. Marshall, B. A. Jacoby, S. R. Kulkarni, and D. A. Frail. The Nearby Neutron Star RX J0720.4-3125 from Radio to X-Rays. , 590(2):1008–1019, June 2003.

- [19] H. Levato and S. Malaroda. Spectral types in Trumpler 10. , 87:173–175, February 1975.
- [20] N. Lodieu, M. R. Zapatero Osorio, V. J. S. Béjar, and K. Peña Ramírez. The optical + infrared L dwarf spectral sequence of young planetary-mass objects in the Upper Scorpius association. , 473(2):2020–2059, January 2018.
- [21] Fredrik Lundh. An introduction to tkinter. *URL: www.pythonware.com/library/tkinter/introduction/index.htm*, 1999.
- [22] R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh, and M. Hobbs. The Australia Telescope National Facility Pulsar Catalogue. , 129(4):1993–2006, April 2005.
- [23] C. Motch, F. Haberl, F. J. Zickgraf, G. Hasinger, and A. D. Schwope. The isolated neutron star candidate RX J1605.3+3249. , 351:177–184, November 1999.
- [24] C. Motch, K. Sekiguchi, F. Haberl, V. E. Zavlin, A. Schwope, and M. W. Pakull. The proper motion of the isolated neutron star <ASTROBJ>RX J1605.3+3249</ASTROBJ>. , 429:257–265, January 2005.
- [25] The pandas development team. pandas-dev/pandas: Pandas, February 2020.
- [26] Mark J. Pecaut, Eric E. Mamajek, and Eric J. Bubar. A Revised Age for Upper Scorpius and the Star Formation History among the F-type Members of the Scorpius-Centaurus OB Association. , 746(2):154, February 2012.
- [27] Thomas Preibisch, Anthony G. A. Brown, Terry Bridges, Eike Guenther, and Hans Zinnecker. Exploring the Full Stellar Population of the Upper Scorpius OB Association. , 124(1):404–416, July 2002.
- [28] Kendall Sullivan and Adam L. Kraus. Undetected Binary Stars Cause an Observed Mass-dependent Age Gradient in Upper Scorpius. , 912(2):137, May 2021.
- [29] N. Tetzlaff, R. Neuhäuser, M. M. Hohle, and G. Maciejewski. Identifying birth places of young isolated neutron stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 402(4):2369–2387, mar 2010.

- [30] R. A. Webb, B. Zuckerman, I. Platais, J. Patience, R. J. White, M. J. Schwartz, and C. McCarthy. Discovery of seven τ tauri stars and a brown dwarf candidate in the nearby τ hydrae association. *The Astrophysical Journal*, 512(1):L63, feb 1999.
- [31] B. Zuckerman, Inseok Song, and M. S. Bessell. The AB Doradus Moving Group. , 613(1):L65–L68, September 2004.

Παράρτημα Α΄

Το λογισμικό

Δημιούργησα ένα κώδικα στη Python που χωρίζεται σε 4 αρχεία:

- ▶ Βασικός Κορμός
 - Εισαγωγή Δεδομένων
 - Παραμετροποίηση
 - Εξαγωγή Αποτελεσμάτων
- ▶ Υπολογισμός
- ▶ Γραφήματα
- ▶ Αποθήκευση και φόρτωση αρχείων

1. Βασικός Κορμός

Η Καταχώρηση δεδομένων και η παραμετροποίηση γίνεται εντός των διπλών γραμμών των διέσεων.

1..1 Εισαγωγή Δεδομένων

Εδώ εισάγονται τα εξής δεδομένα:

```

star=['RXJ1856',284.15,326.7,0.8,-37.91,-59.1,0.7,5.41,0.6,193,3.1e5]
#name,ra,μra*[mas/yr],μra* error,dec,μdec[mas/yr],μdec error,parallax,parallax error,Vr,t
test=[284.15,326.7,-37.91,-40,5.41,210]
#ra,μra*[mas/yr],dec,μdec[mas/yr],parallax,Vr

save_results=False

step=50
#associated clusters
threshold=100 #THRESHOLD None to show all
catalogue=True #If True Use catalogue and bypasses the table
clusters=[['US',351.07,19.43,6.65,30,-6.7,-16.0,-8.0], #[name,l,b,par,diameter,U,V,W in km/s],[...]
          ['B Bip Cap',330.95,-55.54,54.97,113,-10.8,-15.9,-9.8],
          ['Ext. R CrA',359.41,-17.19,9.85,62,-0.1,-14.8,-10.1],
          ['AB Dor',146.31,-59.00,71.43,85,-7.4,-27.4,-12.69],
          ['Sco OB4',352.40,3.44,0.91,65,3.9,-8.5,-8.5]]

```

Σχήμα Α.1: Το περιβάλλον στο οποίο καταχωρούνται τα δεδομένα και γίνεται η παραμετροποίηση

Για τον αστέρα:

Όνομα

Ορθή Αναφορά α [°]

Ταχύτητα Ορθής Αναφοράς μ_{ra*} [mas/yr] διορθωμένη από την απόκλιση

Σφάλμα Ταχύτητας Ορθής Αναφοράς [mas/yr] $\mu_{\alpha*error}$

Απόκλιση δ [°]

Ταχύτητα Απόκλισης μ_{δ} [mas/yr]

Σφάλμα Ταχύτητας Απόκλισης $\mu_{\delta error}$ [mas/yr]

Παράλλαξη π [parsec]

Σφάλμα Παράλλαξης π_{error} [parsec]

Ακτινική Ταχύτητα v_r

Χρόνος Ταξιδιού (εν δυνάμει Ηλικία) τ [kyr]

Αυτά εισάγονται σε ένα tuple με τη σειρά:

star=[Όνομα', α , μ_{ra*} , $\mu_{\alpha*error}$, δ , μ_{δ} , $\mu_{\delta error}$, π , π_{error} , v_r , τ]

Σε αντίστοιχο tuple που ονόμαζεται test εισάγονται οι τιμές για τη δοκιμαστική τροχιά. Η αλλαγή του χρόνου κίνησης πραγματοποιείται μόνο στο star tuple διότι διαφορετικά δημιουργείται πρόβλημα στους τελικούς πίνακες. test=[α , μ_{ra*} , δ , μ_{δ} , π , v_r].

Επιπλέον ορίζεται μέσω ενός πίνακα tuple τα καθορισμένα σμήνη που επιθυμώ να συσχετίσω:

Και εισάγονται ως εξής: clusters=[['Όνομα1', l , b , π , r , U , V , W],...]

Όνομα Σμήνους
 Γαλαξιακό Μήκος l [°]
 Γαλαξιακό Πλάτος b [°]
 Παράλλαξη Σμήνους π [parsec]
 Ταχύτητα στον Γαλαξιακό Άξονα X U [km/sec]
 Ταχύτητα στον Γαλαξιακό Άξονα Y V [km/sec]
 Ταχύτητα στον Γαλαξιακό Άξονα Z W [km/sec]

1..2 Παραμετροποίηση

- `save_file = True/False` : Αποθήκευση ή όχι των τελικών αποτελεσμάτων
- `step = Ακέραιος αριθμός` : Αριθμός των βημάτων στην επανάληψη υπολογισμού ως προς τον χρόνο. Δηλαδή ο αριθμός των σημείων που θα υπολογιστούν στην τροχιά.
- `catalogue = True/False` : Χρήση ή όχι ολόκληρου του καταλόγου
- `threshold = Αριθμος/None` : Σε περίπτωση `None` δεν υπάρχει όριο στα πόσα σμήνη θα εμφανιστούν στο γράφημα και στα αποτελέσματα. Για συγκεκριμένο αριθμό που θα είναι ίσο με parsec θα μας δείξει την μέγιστη απόσταση από κάθε κέντρο. Συνιστάται πάντα να αποφεύγεται η επιλογή `None` αν χρησιμοποιηθεί ο κατάλογος.

1..3 Εξαγωγή Αποτελεσμάτων και επεξήγηση

Τρέχοντας το πρόγραμμα θα εξαχθεί μία οθόνη που θα αναγράφει:

Initial Distance from Test Orbit	Εξήγηση
Associated Cluster	Όνομα Σμήνους
Radius (pc)	Θεωρητική Ακτίνα
Initial Distance from Test Values (pc)	Απόσταση θέσης δημιουργίας με το κέντρο του σμήνους

2. Υπολογισμός

Στο αρχείο `calculations.py` υπάρχουν 2 συναρτήσεις την `kinematics` και `cartesian_cluster`. Για την γρήγορη υπολογιστική και πιο ακριβή μετατροπή των συντεταγμένων και μονάδων μέτρησης χρησιμοποιώ τα πακέτα NumPy και astropy:

Initial Distance from Test Orbit:			
	Associated Cluster	Radius (pc)	Initial Test Values Distance (pc)
0	US	15.0	1.845746
1	UCL	32.5	55.727274
2	HD141569	15.5	72.651083
3	Ext,R CrA	31.0	93.281440

Σχήμα Α.2: Εκτύπωση των αποτελεσμάτων για την δοκιμαστική τροχιά

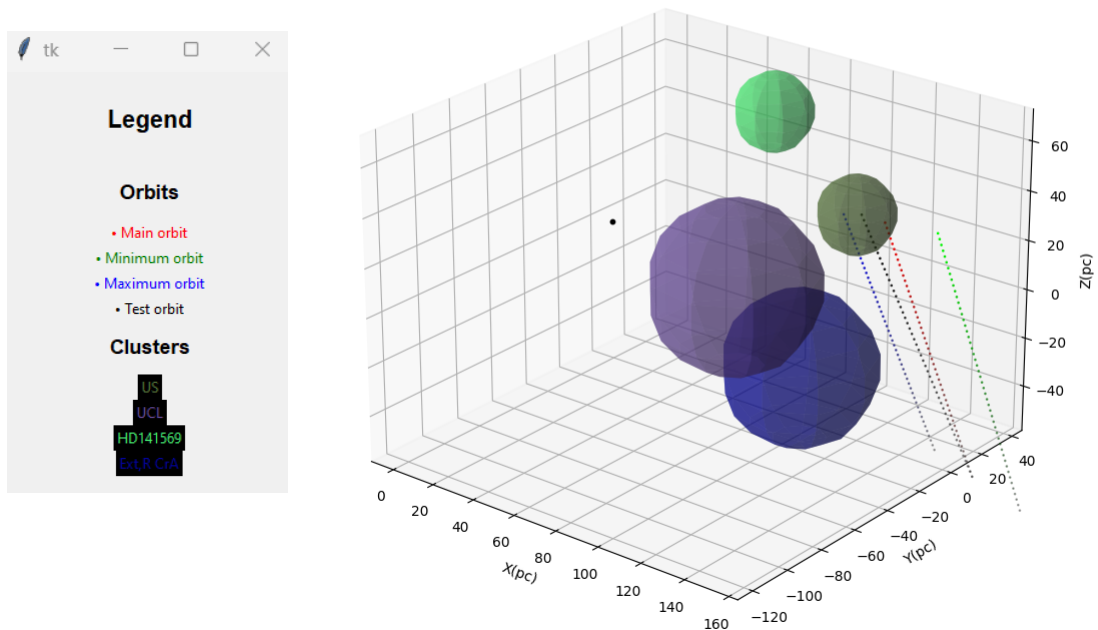
- Η `kinematics` θα εισάγει τις συνθήκες για τις 4 τροχιές όπως αναφέρονται παρακάτω 3., αρχικά θα μετατρέψει τις Ουράνιες συντεταγμένες (ICRS) σε Καρτεσιανές και μετά μέσω συνάρτησης βήματος θα παράξει τον αριθμό των σημείων της τροχιάς. Εδώ είναι που θα χρησιμοποιηθεί ο ακέραιος αριθμός `step`.
- Η `cartesian_cluster` θα μετατρέψει τα δεδομένα για κάθε σμήνος σε Καρτεσιανές από Γαλαξιακές. Αν το `catalogue` είναι `True` θα εισαχθεί όλος ο κατάλογος, αλλιώς μόνο ο πίνακας `clusters`. Αν `threshold` διάφορο του `None` θα εμφανιστούν και θα αποθηκευτούν μόνο τα σμήνη που τα κέντρα τους θα απέχουν απόσταση μικρότερη του `threshold` από την τελική της κάθε μίας από τις τέσσερις τροχιές.

3. Γραφήματα και εξήγηση

Το αρχείο `graph.py` υπάρχουν 2 συναρτήσεις την `graph_from_clusters` και `orbits`. Εδώ είναι αναγκαία τα `matplotlib` και `Tkinter`. Αναλυτικότερα:

- Η `graph_from_clusters` εξάγει το γράφημα των σμηνών στον χρόνο που έχει εισαχθεί από το βασικό πρόγραμμα. Επιπλέον, θα παραχθεί ένα παράθυρο με υπόμνημα όπου το όνομα κάθε σμήνους θα ταυτίζεται με το χρώμα του σμήνους στο διάγραμμα. Κάθε νέα εκτέλεση θα παράγει τυχαία άλλα χρώματα προκειμένου να είναι δυνατόν η εισαγωγή και η διαφοροποίηση ενός μεγάλου αριθμού σμηνών. Τα σμήνη που θα εμφανιστούν είναι το αποτέλεσμα από τη συνάρτηση `clusters` για δεδομένο `threshold`. Τέλος, ο Ήλιος ανα-

RXJ1856
 $\alpha=284.15 \mu\alpha^* = 326.7$ $\delta=-37.91 \mu\delta=-40$ $\pi=5.41$ $vr=210$ $t=310000.0$



Σχήμα Α'3: Διάγραμμα και υπόμνημα.

παριστάται Με μία η μαύρη κουκκίδα στο κέντρο των καρτεσιανών συντεταγμένων. 3.

- Η orbits θα εμφανίσει 4 τροχιές όπου το πρώτο χρονικά σημείο θα είναι το εμφανέστερο. Οι τροχιές που θα εμφανιστούν είναι το αποτέλεσμα από τις 4 συναρτήσεις kinematics, μία για κάθε τροχιά:
 - Main Orbit: Η Κόκκινη τροχιά θα υπολογιστεί από τις μέσες τιμές που καταχωρήθηκαν στην αρχή του προγράμματος.
 - Minimum Orbit: Η πράσινη τροχιά θα υπολογιστεί από τις ελάχιστες τιμές που καταχωρήθηκαν στην αρχή του προγράμματος (Main - Errors).
 - Maximum Orbit: Η μπλε τροχιά θα υπολογιστεί από τις μέγιστες τιμές που καταχωρήθηκαν στην αρχή του προγράμματος (Main + Errors).
 - Test Orbit: Η μαύρη τροχιά θα υπολογιστεί από τις δοκιμαστικές τιμές απο το tuple test values.

4. Αποθήκευση, φόρτωση αρχείων και εξαγωγή αποτελεσμάτων

Στο `save_prints.py` χρησιμοποιείται το `pandas` για την οργάνωση των πινάκων και περιέχονται οι εξής συναρτήσεις:

- ▶ Η `xl_save` που αποθηκεύει σε αρχείο `xlsx` στον υποφάκελο `results` τα σημεία των `Main`, `Minimum`, `Maximum` τροχιών και τις αποστάσεις των σημνών από το τελικό σημείο της τροχιάς (προγενέστερο).
- ▶ Η `from_catalogue` που εισάγει τον κατάλογο `clusters catalogue.xlsx` με τα σμήνη αν το `catalogue` είναι `True`.
- ▶ `results_print` εκτυπώνει τα αποτελέσματα για την `test` τροχιά όπως αναφέρονται στον Βασικό Κορμό [1.3](#)

5. Προαπαιτούμενα Πακέτα

- ▶ `NumPy` (Απλός υπολογισμός) [\[13\]](#)
- ▶ `matplotlib` (Δημιουργία Γραφημάτων) [\[14\]](#)
- ▶ `Tkinter` (Υποτυπώδες Υπόμνημα) [\[21\]](#)
- ▶ `Astropy` (Μετατροπή συντεταγμένων) [\[6\]](#)
- ▶ `Pandas` (Αποθήκευση/εξαγωγή αποτελεσμάτων και εισαγωγή δεδομένων) [\[25\]](#)

Παράρτημα Β΄

Πίνακας Σμηνών

Πίνακας Β΄.1 Ακολουθεί ο πίνακας κοντινών σμηνών και συνδέσεων. Ο πίνακας περιέχει τις Γαλαξιακές Συνταγμένες τις ταχύτητες που ταυτίζονται με τις μεταβλητές του κεφαλαίου 6.1, τη διάμετρο και την κατά εκτίμηση Ηλικία του κάθε σμήνους. Δεν περιλαμβάνει τα σφάλματα των ταχυτήτων καθώς δεν τα χρησιμοποιώ στους υπολογισμούς ούτε στο πρόγραμμα. Ο αρχικός πίνακας στο παράρτημα του άρθρου [29] περιέχει τα σφάλματα και επιπλέον και τις αναφορές για το κάθε στοιχείο. Αναφέρεται πως είναι ένας πίνακας OB σμηνών και συνδέσεων, όμως, όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο 5 πολλά από αυτά που αναζητήσα αποδείχτηκαν πως δεν περιέχουν αστέρες φασματικού τύπου O ή B.

Nr	Name	Age [Myr]	l[.]	b[.]	π [mas]	Diameter[pc]	U[km/s]	V[km/s]	W[km/s]
1	US	5-10	351.07	19.43	6.65	30	-6.7	-16.0	-8.0
2	UCL	10-20	330.51	12.86	6.96	65	-6.8	-19.3	-5.7
3	LCC	13-20	301.54	6.74	8.38	45	-8.2	-18.6	-6.4
4	TWA	8-20	291.61	20.22	16.46	66	-9.7	-17.1	-4.8
5	Tuc-Hor	10-40	296.57	-51.72	23.09	100	-10.1	-20.7	-2.5
6	β Pic-Cap	8-34	330.95	-55.54	54.97	113	-10.8	-15.9	-9.8
7	ϵ Cha	5-15	300.43	-15.08	10.41	55	-8.6	-18.6	-9.3
8	n Cha	5-8	292.42	-21.45	10.76	13	-12.2	-18.1	-10.1
9	HD141569	5	7.40	39.50	9.94	31	-5.4	-15.6	-4.4
10	Ext.R CrA	10-15	359.41	-17.19	9.85	62	-0.1	-14.8	-10.1
11	AB Dor	30-120	146.31	-59.00	71.43	85	-7.4	-27.4	-12.9
12	Her-Lyr	40-200	180.00	68.20	52.10	26	-13.6	-22.7	-7.9
13	SgrOB5	6-12	0.00	-1.19	0.41	221	-6.5	1.2	1.3
14	NGC6530	4-5	6.07	-1.33	0.76	11	-12.1	-16.2	-14.3
15	SgrOB1	5-8	7.58	-0.78	0.65	207	-8.0	-12.8	-9.5
16	SgrOB7	4-5	10.71	-1.52	0.54	58	-7.4	-3.2	-18.6
17	SgrOB4	$<10^j$	12.10	-0.99	0.52	54	1.7	-6.2	-7.3
18	SgrOB6a	$<10^j$	14.18	1.28	0.62	34	-10.8	-2.8	-16.0
19	M17	6	15.04	-0.68	0.55	19	-20.5	9.9	-21.6
20	SerOB1	8 - 13^j	16.73	0.00	1.88	71	-4.3	-3.1	-2.1
21	NGC6611	1-5	16.95	0.79	0.58	13	17.2	5.5	-5.6
22	SctOB3	4.5^j	17.32	-0.84	0.74	33	7.4	-3.7	-3.9
23	SerOB2	4.5^j	18.23	1.66	0.63	61	-1.6	-6.9	-10.7
24	NGC6604	4-5	18.25	1.71	0.59	15	11.9	-5.2	1.5
25	SctOB2	<6	23.21	-0.53	0.63	61	-8.7	-7.8	-4.4
26	Tr35	73	28.28	0.01	0.83	2	4.1	-17.6	-1.0
27	Col359	28-80	29.66	12.72	2.22	17	6.5	-15.8	-10.8
28	IC4665	13	30.62	17.11	2.60	13	2.0	-18.7	-9.7
29	VulOB1	10-16 j	59.41	-0.12	0.63	230	34.4	-11.3	-0.8

Nr	Name	Age [Myr]	l[-]	b[-]	π [mas]	Diameter[pc]	U[km/s]	V[km/s]	W[km/s]
30	NGC6823	2-7	59.40	-0.15	0.43	68	63.9	-18.0	-0.8
31	VulOB4	10	60.66	-0.17	1.25	35	12.1	-10.2	-7.2
32	CygOB3	8-12	72.81	2.00	0.43	106	77.6	-32.9	-13.6
33	NGC6871	2-10	72.65	2.05	0.64	13	49.5	-25.8	-10.4
34	Byurakan1	18	72.75	1.75	0.63	12	48.9	-24.0	-3.4
35	Byurakan2	5	72.75	1.34	0.58	11	49.8	-38.4	-3.3
36	NGC6883	34	73.28	1.18	0.48	8	68.8	-31.3	-4.6
37	CygOB1	7.5	75.9	1.12	0.59	142	45.4	-27.0	-6.8
38	CygOB8	3	78.02	3.3	0.81	78	30.1	-32.4	3.2
39	CygOB9	8	78.19	1.47	1.04	79	26.5	-22.7	-6.8
40	CygOB2	1-5	80.22	0.8	0.67	31	28.5	-33.0	-11.4
41	CygOB4	7 ^j	82.8	-7.5	1.25	43	1.9	-6.0	-4.2
42	CygOB7	13	89.12	0	1.39	163	10.8	-7.3	-3.8
43	Tr37	3-5	99.18	3.78	1.2	19	19.0	-12.0	-6.4
44	LacOB1	16	100.63	-13.22	2.72	65	6.6	-13.3	-2.7
45	CepOB2	5	102.09	4.42	1.63	105	16.1	-18.2	-3.1
46	CepOB1	6	104.19	-1.01	0.65	322	41.7	-47.2	-1.9
47	CepOB6	50	105.77	0.21	3.7	40	-14.2	-24.8	-5.7
48	NGC7380	2-5	107.1	-0.88	0.45	19	51.3	-19.9	-19.8
49	CepOB3	4 ^j	110.51	2.59	1.19	29	15.6	-17.1	-7.7
50	CasOB2	10	112.13	0.02	0.48	167	58.2	-24.9	-1.0
51	CasOB5	8	116.18	-0.33	0.5	206	49.6	-24.1	-18.6
52	CepOB4b	2	117.9	5.32	1.51	9	9.8	-5.7	-3.3
53	CasOB4	8	119.84	0.14	0.36	226	47.8	-28.3	-17.0
54	CasOB14	<10 ^j	120.4	0.8	1.1	60	1.6	-16.5	5.0
55	CasOB7	8	122.79	1.38	0.55	102	34.3	-21.8	-8.8
56	IC1590	7	123.12	-6.24	0.42	9	34.1	-24.1	-11.4
57	CasOB1	10	124.8	-1.7	0.5	122	39.7	-24.3	-13.7
58	NGC457	24	126.65	-4.38	0.41	22	42.7	-9.6	-23.1
59	CasOB8	20 ^j	129.19	-1.2	0.52	43	30.5	-17.5	-8.3
60	PerOB1	8-11	134.7	-3.1	0.43	307	29.2	-31.1	-16.0
61	hPer	11	134.64	-3.72	0.48	29	28.8	-28.3	-8.6
62	χ Per	11	135.01	-3.6	0.43	26	30.5	-24.3	-9.8
63	CasB6	4 ^j	135.12	0.76	0.42	234	33.8	-24.1	-14.1
64	IC1805	1-7	134.73	0.92	0.42	17	40.9	-25.5	-30.3
65	CamOB1	7-14	141.24	0.91	1.13	253	6.7	-8.7	-7.2
66	NGC1502	6	143.67	7.66	1.22	6	15.3	-14.4	-1.3
67	CamOB3	11 ^j	146.95	2.88	0.29	122	9.1	-37.4	13.5
68	α Per	50-71	149.15	-6.36	5.65	15	-12.8	-25.1	-7.1
69	PerOB2	4-8	159.62	-16.77	3.14	41	-21.5	-5.5	-9.1
70	Cas-Tauc	50	159.95	-12.51	5.68	215	-14.1	-19.7	-6.8
71	Pleiades	120	166.63	-23.47	7.69	15	-6.4	-26.8	-13.6
72	AurOB2	5.5 ^j	173.25	-0.18	0.37	206	1.6	-0.2	-11.5
73	NGC1893	2-3	173.58	-1.68	0.3	23	-1.5	-41.0	-28.9
74	AurOB1	11-22 ^j	173.88	0.19	1.69	120	-1.0	-8.4	-5.6
75	NGC2129	10	186.6	0.14	0.45	3	-8.4	-37.0	-7.9
76	GemOB1	9 ^j	189	2.3	0.49	196	-14.5	-16.9	-10.2
77	MonOB1	<25	202.07	1.07	1.74	125	-19.7	-13.6	-5.3
78	NGC2264	6.5	202.95	2.2	1.52	17	-12.6	-16.2	-6.4
79	MonOB2	<25	206.23	-1.02	0.83	179	-22.1	-4.5	-7.2
80	NGC2244	1-5	206.31	-2.08	0.69	16	-26.8	-4.6	-7.8
81	OriOB1	1-11 ^k	206.96	-17.53	2.43	165	-20.9	-12.1	-6.7
82	λ Ori	6	195.27	-12.1	2.28	8	-27.5	-14.4	-8.1
83	NGC1976	51	209.01	-19.38	2.42	6	-23.2	-16.4	-7.0
84	MonR2d	6-10	213.91	-11.9	1.2	7	-11.3	2.2	-11.1
85	NGC2232	53	214.6	-7.41	2.74	8	-11.5	-10.7	-9.9
86	MonOB3e	7 ^j	217.65	-0.43	0.41	47	-31.6	-24.4	-0.3
87	CMaOB1	3	224.6	-1.5	0.61	102	-40.3	-4.6	-21.3
88	IC1848	4.5	229.07	30.4	0.5	24	3.6	14.3	-35.3
89	NGC2287	100-280	231.02	-10.45	1.44	12	-16.2	-13.0	-18.5
90	NGC2414	9	231.41	1.95	0.35	12	-58.9	-39.4	-41.8
91	NGC2367	10	235.6	-3.84	0.5	12	-73.2	-1.7	-49.7
92	Col121	5-11	237.4	-7.74	1.29	115	-37.4	-14.9	-13.9
93	NGC2362	4	238.2	-5.58	0.72	12	-39.9	-16.2	-5.3
94	PupOB1f	4	243.5	0.13	0.5	129	-48.4	-24.1	5.0
95	NGC2467	112	243.16	0.35	0.74	9	-44.9	-40.1	-15.3
96	Col140	35	245.18	-7.91	2.67	7	-21.2	-13.8	-12.1
97	NGC2439	6.5	245.31	-4.11	0.77	8	-21.6	-55.7	-18.8
98	Col135	26	248.7	-11.22	3.33	12	-18.3	-7.0	-12.7
99	PupOB3b	4	253.9	-0.23	0.69	29	-53.5	-21.5	-6.6
100	NGC2546	83	254.84	-2.06	1.09	20	-35.4	-27.5	-11.0
101	VelOB2	10	262.41	-7.52	1.97	70	-26.3	-19.8	-6.9
102	Tr10	15-35	264.38	0.47	2.73	45	-26.8	-18.5	-8.4
103	VelOB1	20	264.88	-1.42	1.13	120	-30.2	-20.1	-6.1
104	IC2395	12	266.65	-3.58	1.41	9	-20.6	-23.6	-7.0
105	IC2391	46-76	270.39	-6.93	6.67	7	-23.5	-15.6	-6.3
106	vdB-Hagen99	72	286.62	-0.57	2	6	-27.0	-14.2	-15.1
107	CarOB1	8-12.5 ^j	286.5	-1.49	0.53	165	-66.5	-15.0	-8.9
108	IC2581	16.5	284.59	0.02	0.41	15	-87.5	-18.0	-4.5
109	NGC3293	5*9	285.85	0.07	0.43	6	-90.2	-12.9	-12.5
110	NGC3324	5	286.22	-0.18	0.43	13	-94.9	-19.3	-8.5
111	Tr14	0-5	287.4	-0.58	0.36	10	-57.4	-2.9	20.0
112	Tr15	12	287.41	-0.37	0.47	6	-57.6	3.4	11.5
113	Tr16	0-8	287.63	-0.65	0.35	12	-84.9	-29.1	15.2

Nr	Name	Age [Myr]	l[°]	b[°]	π [mas]	Diameter[pc]	U[km/s]	V[km/s]	W[km/s]
114	Col228	5	287.64	-1.06	0.52	23	-65.3	-6.9	-7.9
115	IC2602	32-67	289.6	-4.9	7.14	12	-8.9	-23.2	-2.8
116	CarOB2	4	290.41	0.09	0.39	152	-78.9	-25.1	-9.7
117	Tr18	59	290.99	-0.13	0.74	4	-53.2	0.8	-11.9
118	NGC3766	33	294.12	-0.04	0.57	14	-59.8	-10.9	-8.3
119	CruOB1	5-7	294.89	-1.08	0.61	117	-43.7	-16.6	-6.2
120	IC2944h	8	294.85	-1.65	0.56	15	-46.5	-14.0	-24.0
121	ChaT	2-6	297.37	-14.25	6.15	42	-9.9	-10.3	-6.2
122	CenOB1	6-12	304.18	1.41	0.56	175	-45.5	-6.7	-8.2
123	Stock16	6	306.08	0.19	0.61	13	-44.5	19.1	-2.6
124	Hogg16	18	307.48	1.34	0.63	5	-52.2	5.1	-12.6
125	NGC5606	7	314.84	0.99	0.55	13	-51.2	2.6	-15.3
126	NGC6067	102	329.75	-2.21	0.71	12	-45.7	-5.1	-17.2
127	R105f	$<10^j$	333.1	1.9	0.62	8	-32.4	17.0	-44.5
128	AraOB1A	50	337.71	-0.92	0.89	106	-16.0	-7.8	-11.6
129	NGC6193	8	336.71	-1.57	0.87	10	-38.4	-7.6	-13.4
130	NGC6204	36	338.56	-1.03	0.92	3	-7.4	-19.2	1.3
131	AraOB1B	50	337.92	-0.84	0.36	276	-50.0	-30.7	-28.8
132	ScoOB1	8	343.74	1.36	0.65	62	-29.4	-2.8	-5.8
133	NGC6231	4-7	343.46	1.19	0.8	10	-28.8	-1.4	-0.8
134	NGC6322	14.5	345.28	-3.05	1	22	-57.7	5.5	-2.7
135	Bochum13	12	351.2	1.36	0.93	4	-5.2	-17.7	0.7
136	ScoOB4	7	352.4	3.44	0.91	65	3.9	-8.5	-8.5
137	Pismis24i	10	353.05	0.65	0.4	4	-3.9	-13.0	28.2
138	Tr27	30	355.07	-0.74	0.83	11	-17.0	-12.0	-7.2
139	NGC6383	5	355.69	0.04	1.02	9	3.5	-2.2	-10.5
140	M6	81	356.62	-0.74	2.05	7	-12.5	-16.4	-3.9

Παράρτημα Γ΄

Σύντομο βιογραφικό σημείωμα

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΑΤΟΥΠΗΣ

► **Προσωπικά Στοιχεία**

Έτος γέννησης: 2000 | Τόπος γέννησης: Πάτρα

► **Σπουδές**

2018: Λύκειο Ρίου

2018–ΣΗΜΕΡΑ: Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών

► **Προσόντα**

- Γλώσσες: ΕΛΛΗΝΙΚΑ - ΑΓΓΛΙΚΑ
- Γλώσσες Προγραμματισμού: Python, SQL, Fortran
-