



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Δαουκλιώτης Κωνσταντίνος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Επιβλέπων
Βαβουγιός Διονύσιος

Λαμία, 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE

REVIEW OF COMPUTER APPLICATION IN RADIOASTRONOMY

Daoukliotiskonstantinos

Master thesis

VavougiotisDionisios

Lamia

2019



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

Επισκόπηση Εφαρμογών πληροφορικής στη Ραδιοαστρονομία

Δαουκλιώτης Κωνσταντίνος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιβλέπων/σα
Βαβουγιός Διονύσιος**

Λαμία, 2019

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η ΔΗΛΩΝ/-ΟΥΣΑ

Ημερομηνία

Υπογραφή

Επισκόπηση Εφαρμογών Πληροφορικής στη Ραδιοαστρονομία

Δαουκλιώτης Κωνσταντίνος

Τριμελής Επιτροπή:

Βαβουγιός Διονύσιος

Κοζύρη Μάρια

Δημητρίου Γεώργιος

Επιστημονικός Σύμβουλος:

Αγγέλης Δωρόθεος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
III. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	11
1. ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ	12
1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ¹²	
1.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	15
1.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ	17
1.3.1. ΤΥΠΟΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΙΑΣ	19
1.3.2. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ	20
1.4. ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ	23
1.4.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟΥ	23
1.4.2. ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ	26
1.4.3. ΡΑΔΙΟ-ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΑ	28
1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΩΝ	31
1.5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	34
1.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΥΠΕΡΚΑΙΝΟΦΑΝΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ	38
1.5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΠΑΛΣΑΡ	41
2. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	43
2.1. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ	44
2.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	47
2.2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	49
2.2.2. ΠΡΟΗΓΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ	51
2.3. ΕΞΟΥΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	53
2.4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ	56
2.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	59
3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ	62
3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΣΤΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ	63
3.1.1. ΑΣΤΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ CCD	63
3.1.2. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ CCD	66
3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ	69
3.2.1. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ	70

3.2.2.	ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	71
3.2.3.	ΜΑΖΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	72
3.2.4.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ	72
3.3.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΥΠΟΥ SMA	74
3.3.1.	ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥΝ ΤΥΠΟΥ SMA	74
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
IV.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ REFERENCES	80

I. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι περισσότεροι κλάδοι της επιστήμης είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την ιστορία της ανθρωπότητας, καθώς μόνο οι επιστήμες προσέφεραν πάντα τεκμηριωμένες απαντήσεις στα ερωτήματα που δημιουργούνταν στον άνθρωπο. Από τις απαρχές λοιπόν της ιστορίας, ο άνθρωπος ξεχώρισε από την πανίδα ακριβώς επειδή εκτιθέμενος στο φυσικό περιβάλλον, έθετε ερωτήματα, προσπαθούσε να τα απαντήσει, να εφεύρει λύσεις ώστε να επιβιώσει δίχως να στηρίζει το μέλλον του κατά κόρον στο ένστικτο.

Μια από της επικρατέστερες ετοιμολογίες της λέξης άνθρωπος, αυτός που κοιτάζει ψηλά, από το άνω + θρώσκω. Είτε σωστή είτε όχι ο άνθρωπος κοίταξε ψηλά για να μπορεί να παρατηρεί καλύτερα ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του. Η επιλογή του γονιδίου προς αυτήν την εξέλιξη είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάγκη του να παρατηρεί ώστε να είναι πιο λειτουργικός. Οι νέες ευμενέστερες συνθήκες για παρατήρηση βοήθησαν στην εξέλιξη του ανθρώπου ή η εξέλιξη του ανθρώπου οδήγησε σε αυτήν την εξέλιξη; Το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο, ο άνθρωπος άρχισε να ξεχωρίζει σημαντικά.

Οι πρώτες σκέψεις στηρίχθηκαν σε δυνάμεις κατ' ανάγκην δυνατότερες από εκείνον, σε θεότητες που τον πρόσεχαν, τον παρακολουθούσαν ή ήταν έτοιμες να τον τιμωρήσουν. Για αρκετούς αιώνες οι άνθρωποι έβλεπαν αρκούδες, λιοντάρια, κύκνους, τον μυθικό κυνηγό Ωρίωνα να συντροφεύει ή να καταδιώκει τις Πλειάδες και άλλα πολλά να κατακλύζουν τον ουρανό όταν ο θεός Ήλιος έκανε το διάλειμμά του. Ο άνθρωπος όμως ως ων εξελισσόταν, οι ερωτήσεις γίνονταν περισσότερες, οι απαντήσεις συγκρίνονταν και συζητούνταν με αποτέλεσμα να τεκμηριώνονται ή ακόμα και να αποδεικνύονται. Έτσι δημιουργήθηκε μια αλυσίδα διαδικασιών αντιμετώπισης των φυσικών φαινομένων που αποτελούνταν από την παρατήρηση, τον πειραματισμό και την τεκμηρίωση – απόδειξη, έτσι 'γεννήθηκε' η επιστήμη. Σε αυτή λοιπόν την διατριβή, με κύριο αντικείμενο την ραδιοαστρονομία και την διαχείριση σχετικών δεδομένων κρίνεται απαραίτητη μια σύντομη ιστορική αναδρομή σχετική με την επιστήμη της ραδιοαστρονομίας με σκοπό την κατανόηση των αίτιων και των σταδίων της εξέλιξης της καθώς επίσης και η τεκμηρίωση κάθε επισήμανσης που γίνεται κατά την συγγραφή του κειμένου.

II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έπειτα από μια ιστορική αναδρομή με στόχο την γνωστοποίηση της εξέλιξης της ραδιοαστρονομίας εξηγούνται οι σημαντικότερες έννοιες και φυσικοί νόμοι που διέπουν το πεδίο της ραδιοαστρονομίας. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στα είδη ραδιοτηλεσκοπίων, τους τύπους κεραιών και ραδιοσυμβολόμετρων, κάνοντας αναφορά στα σημαντικότερα και πιο σύγχρονα ενώ αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας τους. Μεταβαίνοντας, θεματικά, από την τεχνολογία στην επιστήμη, αναλύονται και περιγράφονται οι εφαρμογές της ραδιοαστρονομίας, με αναφορές στην προσφορά της στην μελέτη ουράνιων σωμάτων όπως ο ήλιος, τα pulsars, τα υπολείμματα υπερκαινοφανών και άλλα.

Στην συνέχεια της μελέτης γίνεται εισαγωγή στον χώρο των δεδομένων, ξεκινώντας με την αναφορά στην επιστήμη των δεδομένων και την περιγραφή- αποσαφήνιση των κλάδων που την αποτελούν. Επίσης γίνεται καταγραφή των συνηθέστερων και γνωστότερων λογισμικών και προγραμματιστικών περιβαλλόντων που εμπλέκονται στην διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων αστρονομίας. Τονίζεται η σημασία και συνεισφορά της επιστήμης των δεδομένων στον κλάδο της αστρονομίας μέσα από παραδείγματα. Η εισαγωγή αυτή στα δεδομένα επιτρέπει την ομαλή μετάβαση στο τελευταίο κεφάλαιο το οποίο πραγματεύεται την περιγραφή των τύπων δεδομένων την διαχείρισης και επεξεργασίας τους. Μέσα από δύο παραδείγματα δίνεται μία γεύση από εντολές και αλγόριθμους που σχετίζονται με συγκεκριμένες διαδικασίες απαλοιφής θορύβων, μείωσης δεδομένων και γενικώς επεξεργασίας δεδομένων σε δεδομένα ραδιοαστρονομίας.

III. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δόξα εν υψίστης Θεό,

Ας είναι αυτές οι λίγες λέξεις μια δοξολογία στον Ύψιστο για τα δημιουργήματα Του. Το σύμπαν όλο και ότι εμπεριέχεται σε αυτό. Προεξέχοντα όλων και το τελειότερο όλων τον άνθρωπο τον οποίο εν Σοφία εποίησε. Ο οποίος άνθρωπος μέσα τη Χάρη του Θεού και τη Σοφία του ανέπτυξε μεθόδους μελέτης καταγραφής και επεξεργασίας των παρατηρήσεων του. Παρατηρήσεις ειδικότερα στο κλάδο της Ραδιοαστρονομίας τον οποίο εμπνεύστηκα το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να αφιερώσω την εργασία μου αυτή στους λατρευτούς μου γονείς οι οποίοι εκτέλεσαν το καθήκον τους εις το έπακρον. Θέλω να τιμήσω τη μνήμη τους και ιδιαιτέρως της Μητέρας μου της οποίας οφείλω την ύπαρξη μου και όχι μόνο. Μητέρα και αγαπητέ Πατέρα σας ευχαριστώ για ότι κάνατε για μένα.

Τις θερμές μου ευχαριστίες στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας που μου έδωσε τη δυνατότητα της εξειδίκευσης αυτής καθώς και τους καθηγητές μου για τις γνώσεις τις οποίες μου μεταλαμπάδευσαν. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εξάρω την ποιότητα αυτών καθώς και τον συγχρόνων μεθόδων και μέσων τον οποίον διαχειρίστηκαν ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον πατήρ Δωρόθεο Αγγελή τον καθηγητή μου - ειδικό επιστημονικό συνεργάτη και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, υπό την διαρκή επιτήρηση του και της στοχευμένες κατευθύνσεις του και παρατηρήσεις με βοήθησε στην ολοκλήρωση της εργασίας και την αποκόμιση σημαντικών γνώσεων.

Επίσης να ευχαριστήσω θερμά για την αμέριστη και άμεση πολύτιμη βοήθεια τον εξάδελφο μου Αλεξανδρίδη Πέτρο, γεωφυσικό και γνώστη της αστρονομίας και κοσμολογίας.

Τελειώνοντας να ευχαριστήσω την οικογένεια μου τη γυναίκα μου και τα δύο μου παιδιά για την υπομονή τους και τη συμπαράσταση τους στην ολοκλήρωση του στόχου μου.

1. ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ

Ο σκοπός του πρώτου κεφαλαίου είναι πέραν από μια ιστορική αναδρομή με στόχο την γνωστοποίηση της εξέλιξης της ραδιοαστρονομίας να εξηγηθούν οι σημαντικότερες έννοιες που διέπουν το πεδίο αυτής της επιστήμης. Για να γίνουν κατανοητές οι έννοιες αυτές κρίνεται απαραίτητο να περιγραφούν, έστω σύντομα, κάποιες βασικές φυσικές έννοιες και φυσικοί νόμοι καθώς και να δοθούν ορισμοί που θα ενισχύσουν το υπόβαθρο του αναγνώστη κάνοντας την διατριβή αυτή πιο κατανοητή. Ομοίως, τμηματικά θα εξηγηθούν και τα τηλεσκόπια και οι τρόποι λειτουργίας τους ώστε στην συνέχεια γίνουν εύκολα κατανοητές οι χρήσεις τους καθώς και η λήψη των δεδομένων κατά αυτές.

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Όπως προαναφέρθηκε οι επιστήμες ξεκινούν με παρατήρηση και πειράματα. Αν και η αστρονομία σαν κλάδος έχει τις ρίζες του στην αρχαία Αίγυπτο και αρχαία Ελλάδα θα γίνει μόνο μια πολύ σύντομη αναφορά σε αυτές της εποχές όπως και στην σύγχρονη αστρονομία καθώς μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την συγκεκριμένη εργασία αποτελεί η εξέλιξη του κλάδου της Ραδιοαστρονομίας.

Οι περισσότερες καταγραφές αφορούν την αρχαία Ελλάδα και τους φιλοσόφους της εποχής. Πρώτοι ο Πυθαγόρας και ο Ερατοσθένης που ασχολήθηκαν με την σφαιρικότητα και την περίμετρο της γης αντίστοιχα έδωσαν τις βάσεις. Ο Αρίσταρχος από την Σάμο ήταν ο πρώτος που τον 3ο αι. π.Χ. αναφέρθηκε σε ηλιοκεντρικό σύστημα, μία θεωρία που πολεμήθηκε για παραπάνω από μια χιλιετία. Στον Ίππαρχο τον Ρόδιο (2ος αι. π.Χ.) που παρατηρούσε τον ουρανό από το ανατολικό Αιγαίο οφείλεται μία ασχολία των αστρονόμων που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, η καταγραφή ουράνιων σωμάτων σε καταλόγους. Σε παρόμοιες διαδικασίες οι Αιγύπτιοι και οι Βαβυλώνιοι μελετούσαν και κατέγραφαν τον ουρανό με απώτερο σκοπό την συστηματοποίηση των σοδιών τους.

Τον σκοταδισμό του Μεσαίωνα, κατά τον οποίο πρόοδος επιτρεπόταν μόνο στους Αραβικούς και Ασιατικούς πολιτισμούς για γνωστούς ιστορικούς λόγους, ακολούθησε η Αναγέννηση. Το ηλιοκεντρικό σύστημα του Κοπέρνικου επικράτησε, οι νόμοι του Κέπλερ εξήγησαν την κίνηση των πλανητών και οι νόμοι του Νεύτωνα εξήγησαν μεταξύ άλλων τις δυνάμεις στις οποίες οφείλονται οι κινήσεις αυτές. Ο Δανός αστρονόμος ΤύχοΜπράχε (TychoBrahe) έκανε πολύ σημαντικές παρατηρήσεις και ο Γαλιλαίος λέγεται ότι εισήγαγε το τηλεσκόπιο στον κόσμο της αστρονομίας. Έπειτα κατά τον 18ο αι. ο Σαρλ Μεσιέ, σε συνέχεια των καταλόγων του Ιππάρχου, συνέλλεξε και κατέγραψε στοιχεία νεφελωμάτων και γαλαξιών. Η εξέλιξη των τηλεσκοπίων όχι μόνο βοήθησαν στην ανακάλυψη και παρατήρηση παράξενων μέχρι τότε

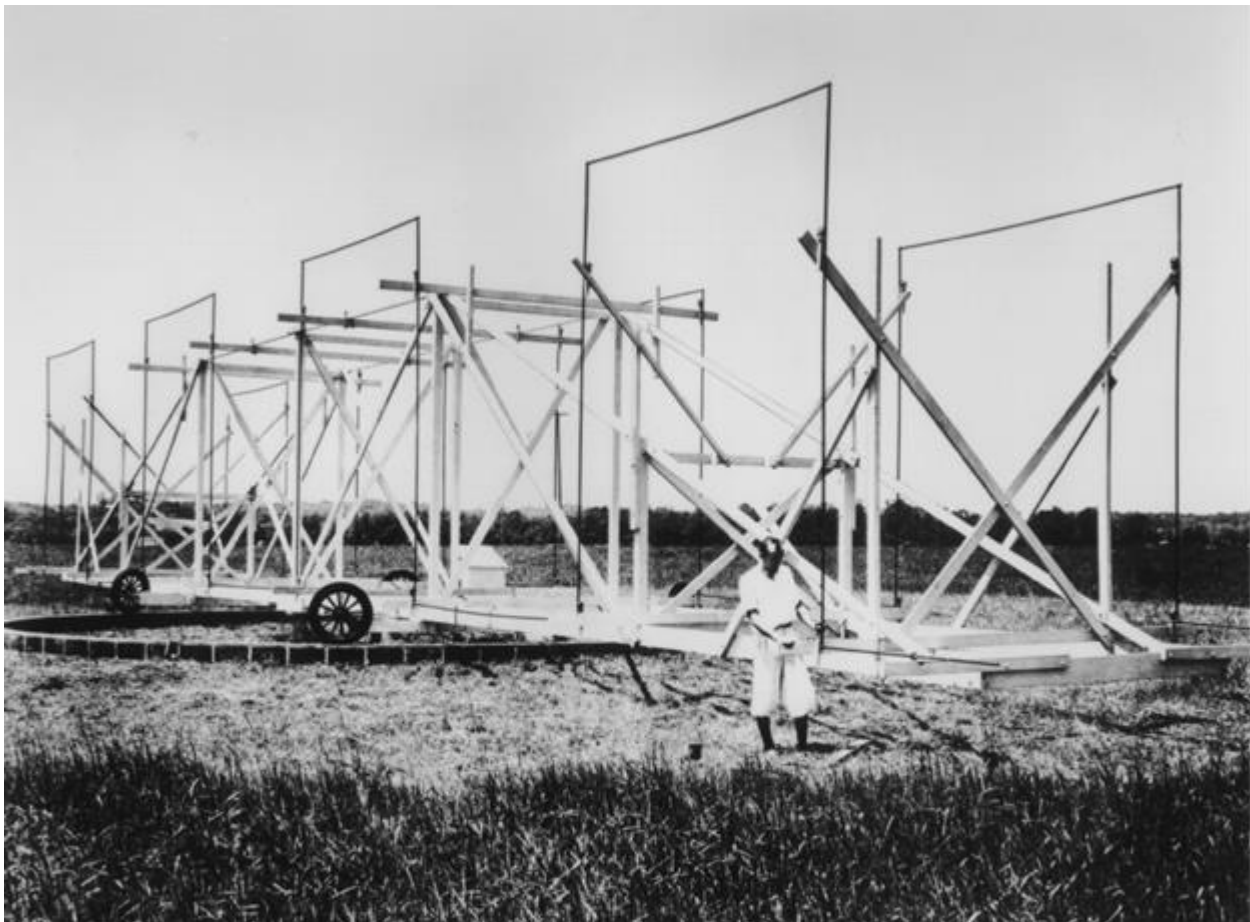
ουράνιων σωμάτων αλλά και στην εξαγωγή πολύ σημαντικών συμπερασμάτων όπως την διαστολή του σύμπαντος από τον Humble με τον περίφημο νόμο του. Καθώς τα τηλεσκόπια συνεχώς εξελίσσονταν το ίδιο γινόταν με την Γεωλογία που έδωσε αρκετές απαντήσεις σχετικά με την προέλευση του δικού μας αλλά και των υπόλοιπων πλανητών. Ιδιαίτερη όπως και ανατρεπτική αποδείχθηκε η πρόοδος στην φυσική και τα μαθηματικά. Ο Albert Einstein με τις ασύλληπτες ιδέες του και την δημοσίευση της ειδικής και γενικής θεωρίας της σχετικότητας εξήγησε και απέδειξε πολλά ανεξήγητα έως τότε φαινόμενα και γέννησε άλλα τόσα ερωτήματα προς απάντηση για τις επόμενες γενεές. Τον τελευταίο αιώνα οι παρατηρήσεις και οι καταγραφές συνεχίζονται τα τηλεσκόπια γίνονται όλο και πιο σύγχρονα ώστε να συμβάλει η αστρονομία στις θεωρίες που πλέον έχουν κοσμολογικό χαρακτήρα με την επιστήμη της αστροφυσικής να είναι στο προσκήνιο.

Τα πρώτα επιστημονικά πειράματα που αφορούν τον κλάδο της Ραδιοαστρονομίας έγιναν στο New Jersey των Ηνωμένων Πολιτειών από τον Carl Guthe Jansky το 1931. Ο Καρλ Γιάνσκι εργαζόταν στα εργαστήρια της εταιρίας τηλεπικοινωνιών Bell. Προσπαθώντας να λύσει κάποια προβλήματα που προξενούσαν παρεμβολές σε ραδιοφωνικές επικοινωνίες χρησιμοποιώντας μια κεραία που λειτουργούσε στα 20,5 MHz. Κατηγοριοποιώντας τις παρεμβολές κατέγραψε ανάμεσα σε αυτές ένα ασθενές σήμα άγνωστης προέλευσης. Τα ραδιοκύματα αυτά είχαν μια περιοδικότητα περίπου εικοσιτετράωρη με το σήμα όμως να μην προέρχεται σταθερά από την θέση του ηλίου με αποτέλεσμα να αντιληφθεί ότι η περιοδικότητα των 23 λεπτών και 56 δευτερολέπτων δεν οφειλόταν στον ήλιο αλλά στην περιστροφή της γης σε σχέση με τα αστέρια. Το σήμα εκπέμποταν σταθερά από το σημείο όπου βρίσκεται ο αστερισμός του τοξότη, το κέντρο του γαλαξία μας.

Το έργο του Γιάνσκι και η καταγραφή ραδιοκυμάτων από τον γαλαξία μας σαφώς συνεχίστηκε. Νέα ανακάλυψη έγινε κατά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όταν ο J.S. Hey που βελτιώνει τα ραντάρ του βρετανικού σταθμού ανακάλυψε έναν στατικό θόρυβο ο οποίος με την ομάδα του κατέληξαν ότι επρόκειτο για σήμα από τον ήλιο. Την δεκαετία του 1950 ανακαλύψεις όπως η ραδιοφωνική εκπομπή από το υδρογόνο του μεσοαστρικού χώρου η ανακάλυψη ραδιοπηγών όπως η Cygnus A στον αστερισμό του κύκνου από τον F. G. Smith έθεσαν βάσεις για να κατανοήσει ο επιστημονικός χώρος την σημασία της ραδιοαστρονομίας για την κατανόηση του σύμπαντος. Έτσι οι χρηματοδοτήσεις στον χώρο αυξήθηκαν σημαντικά. Το 1963 ανακαλύφθηκαν τα κβάζαρ και τα πάλσαρ που θα εξηγηθούν στην συνέχεια αυτής της διατριβής.

Η συνέχεια της ιστορίας της ραδιοαστρονομίας είναι λαμπρή. Νέα ραδιοτηλεσκόπια υψηλής διακριτικής ικανότητας βοήσαν και συνεχίζουν να συνεισφέρουν στις λεπτομερείς μελέτες των γαλαξιών και γενικότερα του σύμπαντος, έδωσαν πληροφορίες που αφορούν τις συνθήκες που επικρατούσαν στο σύμπαν κατά την δημιουργία του σε κυματοσωματιδιακό αλλά συμπληρωματικά και σε θερμοδυναμικό επίπεδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι απονομές βραβείων Νόμπελ σε επιστήμονες για εργασίες με αντικείμενο σχετικό με την ραδιοαστρονομία.

Οι Martin Ryle και Antony Hewish μοιράστηκαν το Νόμπελ φυσικής για την συνεισφορά τους στην Ραδιοαστρονομία ενώ οι Penzias και Wilson το Νόμπελ φυσικής το 1978 για την ανακάλυψη της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (Cosmic Microwave Background Radiation, CMB). Το 1998 οι Russell Alan Hulse and Joseph Hooton Taylor, ανακάλυψαν ένα διπλό σύστημα πάλσαρ (Binary pulsar system) και η μελέτη τους για το κοινό κέντρο βάρους τους και την μελέτη των βαρυτικών κυμάτων, ένα από τα πλέον φλέγοντα ζητήματα της σύγχρονης κοσμολογίας. Τέλος το 2006 οι John C. Mather και George F. Smoot μοιράστηκαν το Νόμπελ για την ανακάλυψη μίας μορφής μελανού σώματος και την ανισοτροπία της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (COBE – CMB).



Εικόνα 1: Ο Καρλ Γιανσκι, πατέρας της Ραδιοαστρονομίας και η ραδιοφωνική κεραία που κατασκευάστηκε, έπειτα από την μεγάλη ανακάλυψη, για την μελέτη ραδιοκυμάτων από το διάστημα (NRAO).

1.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

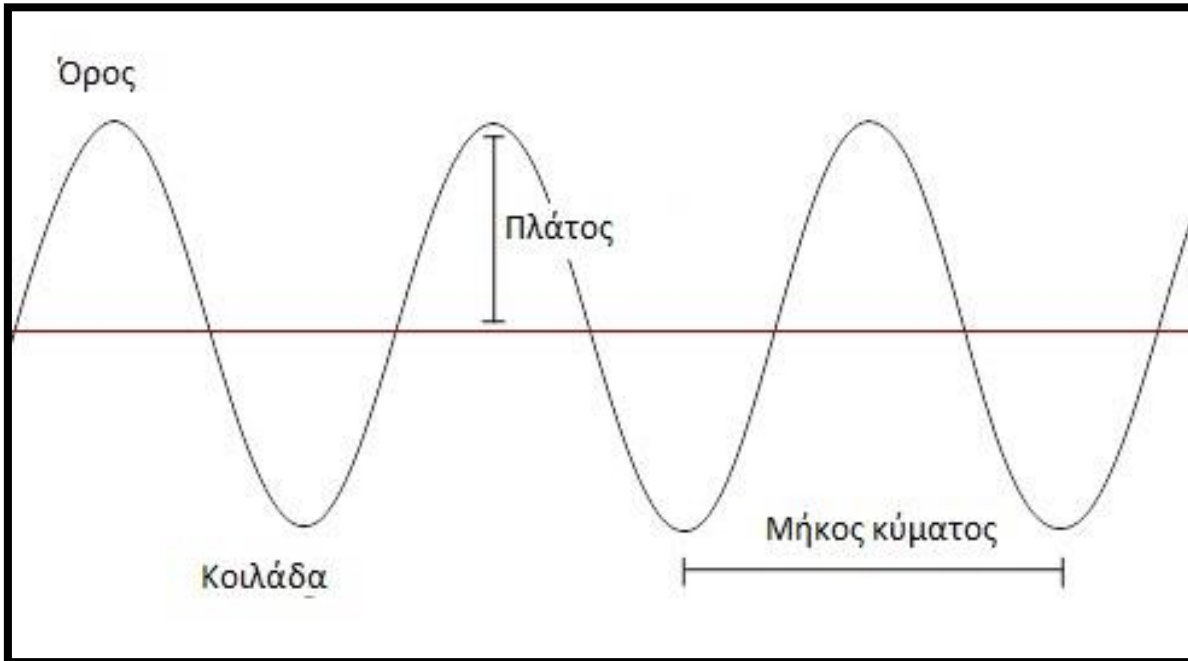
Πρώτη φορά τα ραδιοκύματα μελετήθηκαν από τον βρετανό φυσικομαθηματικό J.C. Maxwell στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ενώ προς το τέλος του αιώνα ο Γερμανός φυσικός H.R. Hertz κατάφερε την εκπομπή και την λήψη τους αποδεικνύοντας πειραματικά τις εξισώσεις του Maxwell. Είναι πολύ γνωστό από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση ότι οι εξισώσεις αυτές διέπονται από περίπλοκες έννοιες ενώ όσοι έχουν την τύχη να ασχοληθούν και στις ανώτατες σπουδές τους με την μελέτη τους βρίσκονται αντιμέτωποι με μαθηματική ανάλυση και διαφορικές και ολοκληρωτικές διατυπώσεις με αποτέλεσμα να αντιλαμβάνονται την πραγματική περιπλοκότητα αυτών των νόμων. Προς αποφυγήν, λοιπόν, πολυπλοκοποίησης αυτής της διατριβής θα γίνει αναφορά σε βασικές μόνο φυσικές έννοιες που θα χρειαστούν για την κατανόηση των εφαρμογών της ραδιοαστρονομίας και θα γίνει προσπάθεια για την παρουσίαση, όσο είναι δυνατόν, λιγότερων μαθηματικών σχέσεων. Φυσικά παράλληλα είναι ανάγκη κάποιες πολύ βασικές έννοιες να θεωρηθούν γνωστές.

Βασικότερη έννοια φυσικά και αντικείμενο μελέτης αποτελούν τα ραδιοκύματα. Στην φυσική, τα ραδιοκύματα είναι το εύρος της περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με συχνότητες που κυμαίνονται από 1 έως 300GHz. Στην ραδιοαστρονομία στο αντικείμενο μελέτης εκτός από ραδιοκύματα συμπεριλαμβάνονται και τα μικροκύματα εκτείνοντας το όριο μελετώμενων κυμάτων έως μερικές εκατοντάδες GHz. Όσον αφορά την μετατροπή σε μήκη κύματος Πολλές βιβλιογραφίες θέτουν το ραδιοφωνικό παράθυρο από 0,5mm έως 100m ενώ σε πολλές περιπτώσεις στη ραδιοαστρονομία αντικείμενο μελέτης αποτελούν και σήματα με μήκος κύματος $\lambda \sim 1\text{km}$.

Προς αποφυγήν συγχύσεων πρέπει να γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι η ανίχνευση Ραδιοκυμάτων είναι θεμελιωδώς διαφορετική από την ανίχνευση οπτικών φωτονίων. Εν τάχει, τα ραδιοκύματα προκαλούν ένα εναλλασσόμενο πεδίο στον ανιχνευτή που καταγράφεται σαν δυναμικό AC. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ανίχνευση των ραδιοκυμάτων να βασίζεται στις κυματικές ιδιότητες του φωτός. Η μέτρηση της ισχύος του σήματος με το φυσικό μέγεθος που ονομάζεται πλάτος το οποίο, όπως εξηγεί ο παρακάτω μαθηματικός τύπος, δίνεται από το αρχικό πλάτος του κύματος κατά την εκπομπή και την φάση του κύματος η οποία παίζει σημαντικότερο ρόλο στην συμβολομετρία που θα εξηγηθεί στην συνέχεια.

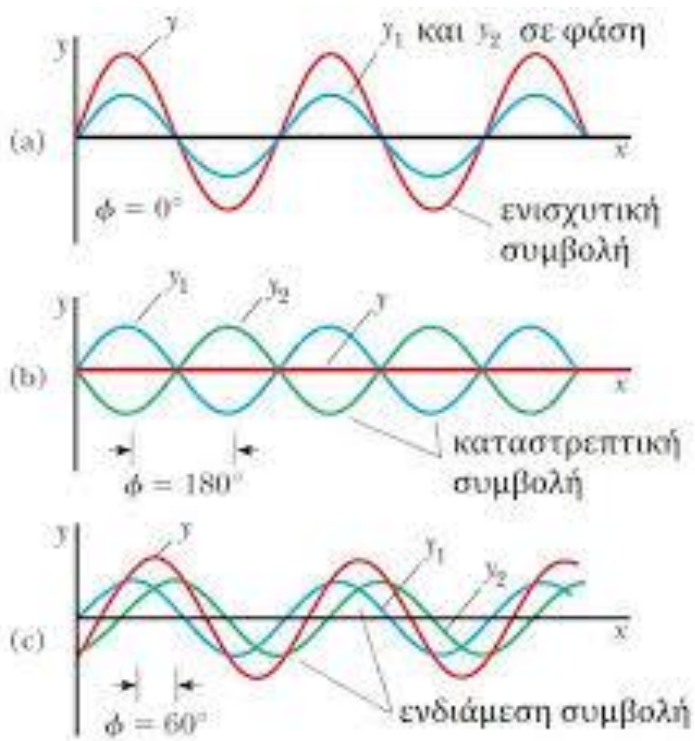
$$V = V_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

Όπου V_0 το πλάτος του κύματος, ω η γωνιακή συχνότητα της ταλάντωσης, t χρόνος και φ η φάση του κύματος. Ως γνωστόν ο ημιτονοειδής χαρακτήρας της εξίσωσης που περιγράφει το κύμα περιγράφει την γνωστή κυματοειδή μορφή του.



Εικόνα 2: Βασική μορφή κύματος. Φαίνεται το μήκος κύματος και το πλάτος κύματος.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην ραδιοαστρονομία διαδραματίζει η συμβολή κυμάτων. Πρόκειται για την διάδοση δύο κυμάτων ίδιου μήκους κύματος στην ίδια περιοχή. Η συμβολή χρησιμοποιείται όπως θα περιγράψει στο κεφάλαιο της ραδιοσυμβολομετρίας με στόχο την ενίσχυση του σήματος. Σε μία απλή μορφή κύματος, βλέπουμε στην εικόνα 3 ότι κατά την ενισχυτική συμβολή το πλάτος του κύματος (σήματος) μεγαλώνει.



Εικόνα 3: Απεικόνιση ενισχυτικής, καταστρεπτικής και ενδιάμεσης συμβολής κυμάτων.

1.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΑΙΔΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

Μία βασική έννοια για την κατανόηση της λειτουργείας των ραδιοτηλεσκοπίων είναι η διακριτική ικανότητα της κεραίας. Αυτή δίνεται από την γενίκευση του κριτηρίου Rayleighπου σύμφωνα με τον οποίο εξαρτάται από το μήκος κύματος παρατήρησης προς την διάμετρο του τηλεσκοπίου.

$$\theta_{min} = 1.22 \lambda / D \quad \text{ή} \quad \theta^2 = \lambda^2 / D^2 \quad (1)$$

Όπου θ η διακριτική ικανότητα (σε rad), λ το μήκος κύματος παρατήρησης (σε mm), D η διάμετρος του τηλεσκοπίου (σε mm).

Μία ακόμη βασική έννοια είναι η απόκριση της κεραίας, δηλαδή η ικανότητά της να επιτυγχάνει πλήρως ή μερικώς τη μετατροπή ελεύθερων Η/Μ κυμάτων που περιορίζονται και μετατρέπονται σε κατευθυνόμενα κύματα (κεραία λήψης) ή και το αντίστροφο (κεραία εκπομπής). Η απόκριση μιας κεραίας ως προς τις διάφορες διευθύνσεις του χώρου δίνεται από το διάγραμμα ακτινοβολίας (εικόνα 4) είναι η συνάρτηση $P_n(\theta, \phi)$. Λόγω της αρχής της αμοιβαιότητας το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ίδιο και για εκπομπή και για λήψη.

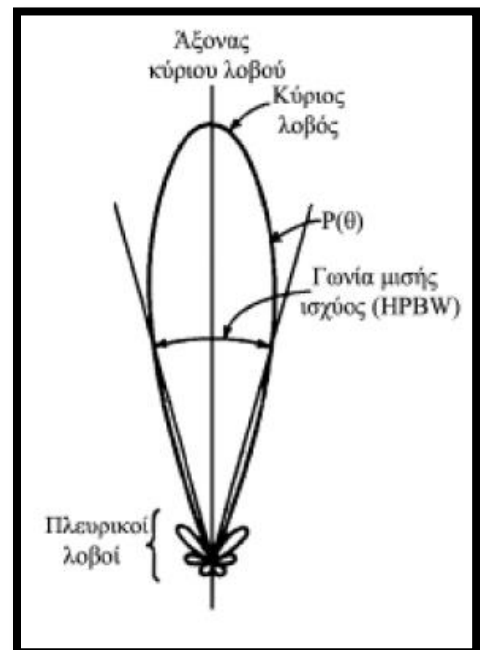
Γενικά, αν $P_n(\theta, \phi)$ είναι το διάγραμμα της κεραίας και A_e η ενεργός επιφάνεια της κεραίας, η ενέργεια dE_e , που θα παίρνει από μία πηγή με λαμπρότητα $B_n(\theta, \phi)$ η κεραία σε χρόνο dt για συχνότητες ν θα είναι:

$$dE_e / dt dx dv = \frac{1}{2} A_e dv \int B_n(\theta, \phi) P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (2)$$

Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας σε τομή από το μέγιστο του κύριου λοβού.

Συνοπτικά, σε ένα διάγραμμα ακτινοβολίας παρατηρούνται ένα κύριος λοβός (πάντα ο μεγαλύτερος) και δευτερεύοντες λοβοί. Το άνοιγμα του κύριου λοβού ή εύρος δέσμης ρυθμίζει ανάλογα με την στενότητα του την διακριτική ικανότητα της κεραίας.

Η γωνία μισής ισχύος χρησιμοποιείται για την σύγκριση του εύρους δέσμης διαφόρων τηλεσκοπίων.



Εικόνα 4: Τρισδιάστατη τομή από το μέγιστο κύριου λοβού διαγράμματος ακτινοβολίας.

Τα ραδιοτηλεσκόπια, ανεξαρτήτου των κατηγοριών που θα παρουσιαστούν παρακάτω, έχουν μία ορισμένη ευαισθησία. Αυτή ορίζεται ως η μικρότερη θερμοκρασία κύματος που μπορεί να ανιχνευθεί και εξαρτάται από παράγοντες που σχετίζονται με την ενέργεια στον παραπάνω τύπο 2 και δίνεται από τον τύπο 3:

$$\text{Ευαισθησία: } \Delta T_{\min} = k_s T_{\text{sys}} / \sqrt{\Delta \nu t n} \quad (3)$$

Όπου k_s συντελεστής ευαισθησίας, T_{sys} θερμοκρασία θορύβου σήματος, $\Delta \nu$ παράθυρο συχνοτήτων παρατήρησης, t ο χρόνος και n ο αριθμός των παλμών.

Όμοια από τον τύπο τρία προκύπτουν τύποι με τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί η ελάχιστη λαμπρότητα και η ελάχιστη πυκνότητα ροής.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να εξηγηθεί η έννοια της πόλωσης κυρίως για να διαλευκανθούν οι συνέπειες τις. Η αντένα ενός ραδιοτηλεσκοπίου διαφέρει σημαντικά από ένα οπτικό τηλεσκόπιο και στο ότι είναι πολύ πιο ευαίσθητη στην πόλωση του προσπίπτοντος κύματος. Μια απλή αντένα (δίπολο) είναι ευαίσθητη μόνο σε ΗΜ ακτινοβολία πολωμένη παράλληλα προς το δίπολο. Άρα μία αντένα είναι γενικά ευαίσθητη στην κατάσταση πόλωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και καταγράφει μόνο μέρος της ακτινοβολίας. Πολλές ραδιοπηγές έχουν ισχυρά μαγνητικά πεδία με αποτέλεσμα η εκπεμπόμενη ακτινοβολία να είναι έντονα πολωμένη.

Όπως προαναφέρθηκε με τα ραδιοτηλεσκόπια ανιχνεύονται ακτινοβολίες με συχνότητες μικρότερες των 10^{-21} Hz που αντιστοιχούν σε ενέργειες μικρότερων των 10^{-2} eV. Η ακτινοβολία των κοινών ραδιοπηγών ακολουθεί τον νόμο Rayleigh-Jeans:

$$F_\nu = (2\pi k/c^2) T \nu^2$$

Επίσης, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ισχύος των αστρονομικών ραδιοπηγών σε μια ορισμένη f είναι η πυκνότητα ροής (flux density), S_ν , η οποία μετρείται σε $\text{Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$. Η ισχύς των ραδιοκυμάτων είναι τόσο μικρή, ώστε αυτή η μονάδα δεν είναι πρακτική όπως στις τηλεπικοινωνίες. Έτσι χρησιμοποιούμε το Jansky που ισούται με $10^{-26} \text{Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$.

1.3.1. ΤΥΠΟΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΙΑΣ

Η εκπομπή ραδιοκυμάτων μπορεί να είναι θερμική ή μη θερμική. Στις θερμικές ακτινοβολίες συγκαταλέγονται η ακτινοβολία από μέλαν σώμα, εκπομπή *freefree* και η εκπομπή υπέρλεπτης υφής. Ενώ στις μη θερμικές η ακτινοβολία συγχρότου, η εκπομπή από *masers* και από τα *pulsars*.

Ακτινοβολία freefree:

Ηλεκτρόνια μέσα στο πλάσμα επιταχύνονται από φορτισμένα σωματίδια και εκπέμπουν συνεχή ακτινοβολία συνεχώς. Τέτοιες ραδιοπηγές βρίσκονται σε νέφη ιονισμένου αερίου σε περιοχές Αστρικής Δημιουργίας και σε Ενεργούς Γαλαξιακούς πυρήνες.

Εκπομπή υπέρλεπτης υφής:

Όταν τα σπιν του e^- και του p^+ είναι παράλληλα, το άτομο είναι σε κατάσταση διέγερσης, και αποδιεγείρομενο εκπέμπει φωτόνια, δηλαδή ραδιοκύματα, μήκους κύματος 21 cm (εικόνα 14). Το στοιχείο του υδρογόνου είναι αυτό με την μεγαλύτερη αφθονία στο Σύμπαν με αποτέλεσμα κατανομή του υδρογόνου που περιέχεται στο Σύμπαν, να είναι πολύ χρήσιμη αφού η ακτινοβολία αυτού του τύπου είναι ανιχνεύσιμη με ραδιοτηλεσκόπια.

Ακτινοβολία συγχρότου:

Στην περίπτωση αυτής της μη θερμικής ακτινοβολίας, ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας επιταχύνονται από την επίδραση μαγνητικών πεδίων εκπέμποντας ακτινοβολία (εικόνα 25). Η χρησιμότητα αυτού του είδους ακτινοβολίας είναι χρήσιμη στην μελέτη κατάλοιπων σουπερνόβα, των quasars και άλλων μορφών Ενεργών Γαλαξιακών Πυρήνων.

Tamasers:

Τα Masers (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), απαιτούν μια εξωτερική πηγή ενέργειας που θα ανεβάσει τα μόρια στην διεγερμένη κατάσταση, γι' αυτό απαντώνται σε μοριακά νέφη και γύρω από θερμά γηραιά άστρα. Έχουν βρεθεί masers OH, SiO, H₂O, CH₃OH, NH₃, H₂CO.

Τα Pulsars:

Πρόκειται για παλμική ακτινοβολία από ασύλληπτα γρήγορα περιστρεφόμενα άστρα νετρονίων με ισχυρά μαγνητικά πεδία. Το καταπληκτικό αυτό φαινόμενο θα εξηγηθεί λεπτομερώς στην συνέχεια.

1.3.2. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Η ραδιοαστρονομία σήμερα παίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην έρευνα των αστροφυσικών φαινομένων. Υπάρχουν μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια και δίκτυα ραδιοτηλεσκοπίων σε όλο τον κόσμο VLBI, VLBA, VLA, NewMexico, FAST, Arecibo, PuertoRico, GBT, Green Bank, WestVirginia, Westerbork, Jodrell Bank, ALMA, HatCreek, SKA, ATCA, Lofar, κ.α. Στον πίνακα 1 είναι καταγεγραμμένα τα μήκη κύματος και οι αντίστοιχες συχνότητες λειτουργίας ανά εύρος ζώνης των ραδιοτηλεσκοπίων. Επίσης τα μεγαλύτερα ραδιοτηλεσκόπια στον κόσμο και οι διάμετρος τους φαίνονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 1: Μήκη κύματος και οι αντίστοιχες συχνότητες λειτουργίας ανά εύρος ζώνης των.

Band	Wavelength	Frequency
P-band	90 cm	327 MHz
L-band	20 cm	1.4 GHz
C-band	6.0 cm	5.0 GHz
X-band	3.6 cm	8.5 GHz
U-band	2.0 cm	15 GHz
K-band	1.3 cm	23 GHz
Q-band	7 mm	45 GHz

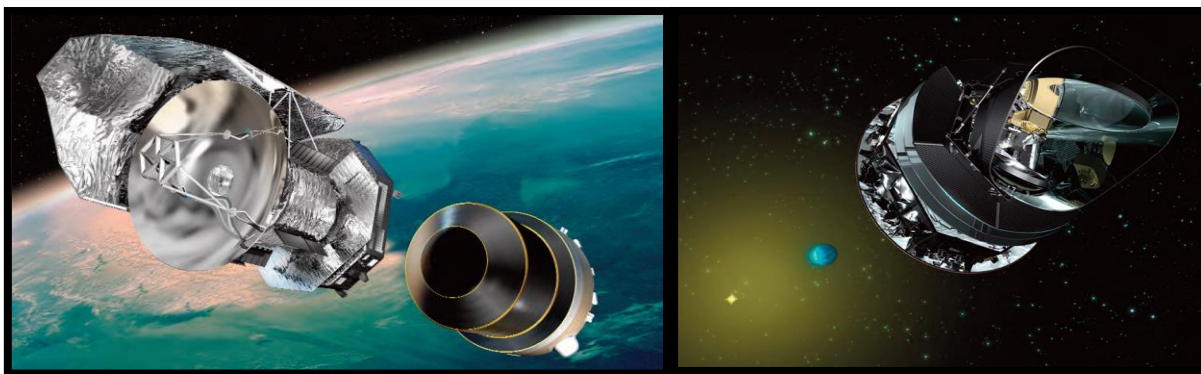
Πίνακας 2: Μερικά από τα μεγαλύτερα ραδιοτηλεσκόπια του κόσμου, δίνεται η χώρα εγκατάστασης και η διάμετρος τους (Σιμόπουλος 2011).

Όνομα	Διάμ. m.	Εγκαταστ.
Arecibo Observatory (NSF-Cornell)	305	Πόρτο Ρίκο
ATCA	6 X 22 m.	Αυστραλία
Effelsberg Radio Observatory (Max Planck Institute)	100	Γερμανία
Green Bank Telescope (1999)	100	Δ. Βιργίνια
LMT	50	Μεξικό
Millimeter Array	36 X 6 m	Χιλή
NRAO Very Large Array	27 X 25 m.	Νέο Μεξικό
Jodrell Bank (Nuffield Radio Astronomy Laboratory)	76	Αγγλία
Parkes Radio Telescope	64	Αυστραλία
Very Long Baseline Array	10 X 25 m.	ΗΠΑ

Η σύγχρονη αστρονομία γενικά στρέφεται προς την εγκατάσταση σταθμών εκτός του πλανήτη με στόχο την μελέτη με όσο το δυνατόν λιγότερη παρεμπόδιση από τον ατμοσφαιρικό αλλά και τον τεχνητό επίγειο θόρυβο. Πολλές από αυτές τις εξελίξεις αφορούν την ραδιοαστρονομία.

Συνοπτικά, τέτοιες προσπάθειες γίνονται:

- με τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό ISS,
- το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Φέρμι που είναι τηλεσκόπιο ακτινών γ με σκοπό κυρίως την μελέτη Ενεργών Γαλαξιακών Πυρήνων,
- την Αποστολή του WMAP, η οποία μετά την αποστολή COBE το 2003, μας αποκάλυψε ένα λεπτομερέστερο πορτρέτο του Σύμπαντος, όπως ήταν 380.000 χρόνια μετά την μεγάλη έκρηξη, επιβεβαίωσε την ομοιομορφία του σύμπαντος και έδωσε επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την ακτινοβολία υποβάθρου.
- Η Αποστολή των Χέρσελ και Πλανκ (εικόνα 5). Πρόκειται για μία αποστολή δύο τηλεσκοπίων που εκτοξευθήκαν το 2009 και μελετούν στο υπέρυθρο παράθυρο του ΗΜ φάσματος και τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις την ακτινοβολίας υποβάθρου αντίστοιχα. Στο πρόσφατο σχετικά παρελθόν είχαν υπάρξει και άλλες ανάλογες προσπάθειες.



Εικόνα 5: Τα διαστημικά τηλεσκόπια Χέρσελ (αριστερά) και Πλάνκ (δεξιά), (ESA, 2018).

Η σύγχρονη ραδιοαστρονομία επίσης στοχεύει στην βελτίωση και στην εξέλιξη των δικτύων ραδιοτηλεσκοπίων καθώς και στην δημιουργία γιγάντιων τηλεσκοπίων στο άμεσο μέλλον.

Ένα τέτοιο είναι το *Ευρωπαϊκό Εξαιρετικά Μεγάλο Τηλεσκόπιο E-ELT* το οποίο θα έχει διάμετρο περί τα 42 μέτρα και την ικανότητα να διακρίνει μεμονωμένα άστρα ακόμη και σε γαλαξίες εκτός της Τοπικής μας Ομάδας γαλαξιών, γεγονός που θα επιτρέψει στους αστρονόμους να υπολογίσουν την χημική σύσταση, την μάζα και την ηλικία τους. Επίσης θα συνεισφέρει στην προσπάθεια, που ποτέ δεν εγκαταλείφθηκε, για αναζήτηση εξωγήινης ζωής καθώς και η ανακάλυψη πλανητών παρόμοιων με την Γη όπως η γνωστή αποστολή με σκοπό την αναζήτηση εξωπλανητών Αναζήτηση Νέας Γης με τη διαστημοσυσκευή Κέπλερ.

Η σύγχρονη ραδιοαστρονομία όσον αφορά τον πλανήτη Γη έχει να επιδείξει τα πολύ μεγάλα τηλεσκόπια του πίνακα 2 αλλά και τα διεθνή δίκτυα όπως το παγκόσμιο VLBA και το ευρωπαϊκό EVN. Ενδεικτικά, το VLBA είναι ένα σύστημα από 10 ραδιοτηλεσκόπια διαμέτρου 25 μέτρων και βάρος 240 τόνων. Η έκταση του υπερβαίνει τα 5000 μίλια. Προς κατανόησης της έκτασης των δικτύων προστίθεται παγκόσμιος χάρτης της εικόνας 6.



Εικόνα 6: Τα συστήματα ραδιοτηλεσκοπίων VLBA και EVN.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι γενικά για την σύγχρονη αστρονομία απαντήσεις θα έρθουν και μέσα από το έδαφος της γης όπου τα πειράματα στο CERN, στο Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής, βοηθούν ιδιαίτερα στην μελέτη θεμάτων που αφορούν την κατανόηση του σύμπαντος.

Τέλος, σε αυτό το σημείο είναι άξιο αναφοράς ότι πρόκειται στην περιοχή Σκάρφεια Φθιώτιδας να εγκατασταθεί το πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο ευρωπαϊκών προδιαγραφών, επαγγελματικής χρήσης στη χώρα μας. Θα έχει διάμετρο 30 μέτρων και σκοπός του θα είναι η ανάπτυξη της έρευνας στη ραδιοαστρονομία στην Ελλάδα, παρέχοντας την ερευνητική

υποδομή στην ελληνική αστρονομική κοινότητα καθώς και η σύνδεση της υποδομής του Ραδιοτηλεσκοπίου με το Ευρωπαϊκό αλλά και το Παγκόσμιο δίκτυο.

1.4. ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ

Το ραδιοτηλεσκόπιο είναι ουσιαστικά ένας δέκτης ραδιοκυμάτων, σε μορφή κατευθυντικής ραδιοφωνικής κεραίας ή αντένες. Όπως ένα οπτικό τηλεσκόπιο εστιάζοντας σε ένα αστέρι λαμβάνει ως σήμα τα φωτόνια ανιχνεύοντας έτσι μια πηγή φωτός, όμοια τα ραδιοτηλεσκόπια χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν και να παρατηρήσουν ραδιοπηγές. Επειδή τα ραδιοφωνικά μήκη κύματος είναι πολύ μεγαλύτερα εκείνων του φωτός κατά συνέπεια τα ραδιοτηλεσκόπια είναι συνήθως μεγάλες παραβολοειδείς κεραίες που μοιάζουν με δίσκους, προκειμένου να έχουν μεγάλη διακριτική ικανότητα. Τα ραδιοτηλεσκόπια χρησιμοποιούνται είτε αυτόνομα, είτε και ως μέλη διατάξεων τέτοιων κεραιών που λειτουργούν συμβολομετρικά, τα λεγόμενα *ραδιοσυμβολόμετρα*.

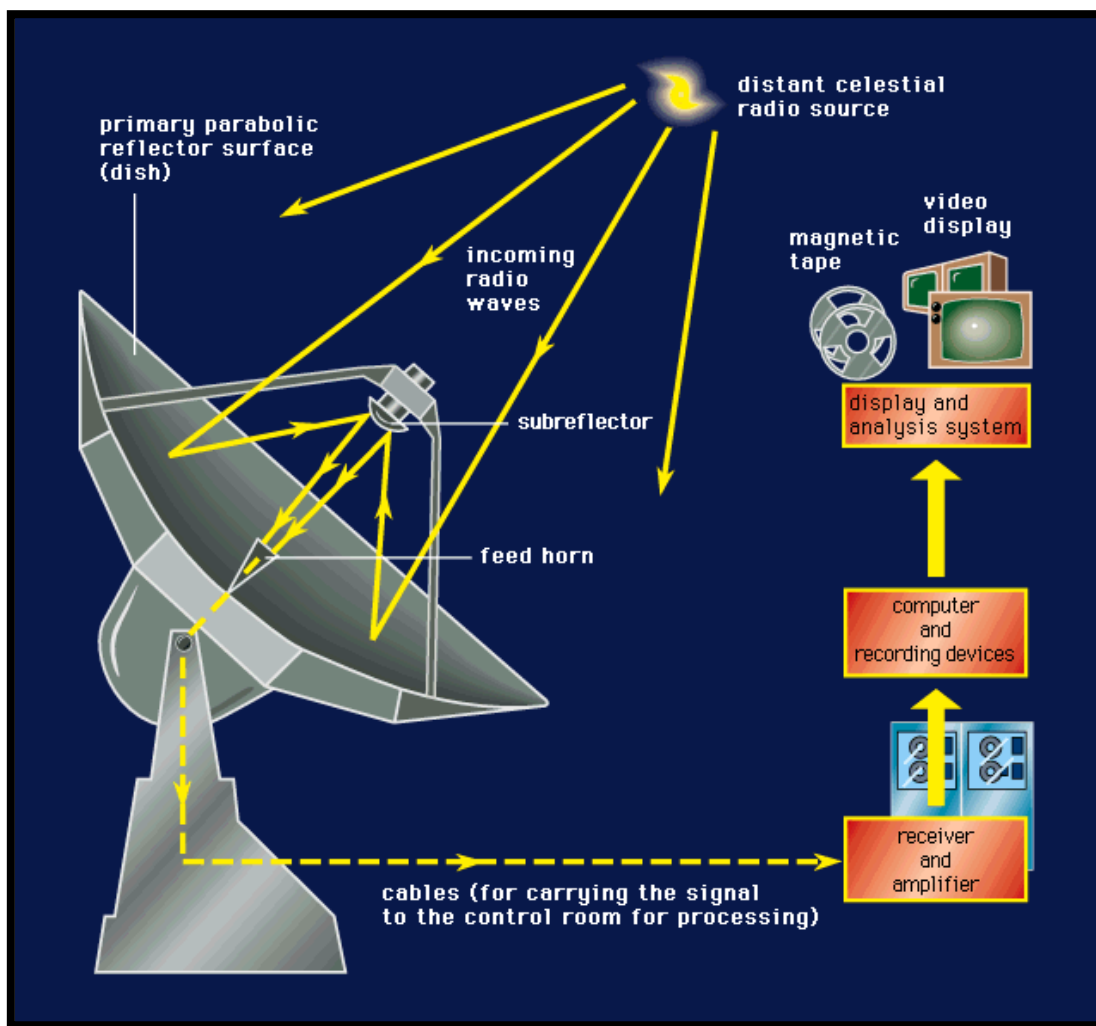
Τα αντίστοιχα ενεργειακά επίπεδα του Η/Μ διαφέρουν κατά τάξεις μεγέθους που ξεπερνούν τις 15 με αποτέλεσμα οι δέκτες για την καταγραφή δεδομένων να διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Όμως μεγάλες διαφορές παρουσιάζουν και τα ραδιοτηλεσκόπια μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στο εύρος του μήκους κύματος παρατηρήσεων του ραδιοφωνικού παραθύρου. Ο λόγος μεταξύ της μεγαλύτερης προς μικρότερης τιμής λ για τα ραδιοκύματα είναι 5 με 6 τάξεις με αποτέλεσμα τα ραδιοτηλεσκόπια που λαμβάνουν τα ραδιοκύματα διαφορετικών τάξεων να διαφέρουν μεταξύ τους.

Οι εγκαταστάσεις των ραδιοτηλεσκοπίων συνήθως βρίσκονται σε ερημικές τοποθεσίες, για την αποφυγή των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, γνωστές ως θόρυβος, από τεχνητά προερχόμενα από αστικές περιοχές. Δηλαδή ότι ισχύει και με τα οπτικά αστεροσκοπεία για την αποφυγή της φωτορύπανσης. Αντίθετα όμως με αυτά τα ραδιοτηλεσκόπια εγκαθίστανται σε μέρη μικρού υψομέτρου και ιδιαίτερα σε μέρη που η τοπογραφία βοηθά στην ελαχιστοποίηση του θορύβου.

1.4.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟΥ

Ένα τυπικό ραδιοτηλεσκόπιο αποτελείται από ένα παραβολικό «πιάτο» που ανακλά την ακτινοβολία που δέχεται από ένα ουράνιο αντικείμενο σε μια αντένα. Η συλλογή των κυμάτων γίνεται με την χρήση κοίλων παραβολοειδούς σχήματος ανακλαστήρων. Το σήμα ενισχύεται από ανακλάσεις που συγκεντρώνονται σε ένα σημείο, κύρια εστία ή εστία Cassegrainian, και αναλύεται με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με μεθόδους που θα εξηγηθούν στον επόμενο κεφάλαιο, για να δώσει ένα ραδιοχάρτη ή ραδιοεικόνα σε συγκεκριμένο μήκος κύματος (εικόνα 7).

Το ραδιοτηλεσκόπιο μπορεί να συντονιστεί ώστε να δέχεται ραδιοκύματα συγκεκριμένου λ, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της αστρονομικής έρευνας, ενώ οι δυνατότητες συντονισμού σχετίζονται με το όργανο. Όταν η αντικείμενο λήψης είναι ραδιοκύματα μήκους κύματος της τάξεως λίγων ως παραπάνω μέτρων, αντί για κάτοπτρα με πλήρη επιφάνεια χρησιμοποιούνται μεταλλικά πλέγματα επιτρέποντας την μείωση του βάρους κατασκευής, κάτι που έχει τεράστια εφαρμογή σε μεγάλες κατασκευές. Η κυριότερη μελέτη κατά την κατασκευή γίνεται ώστε η στήριξη και τοποθέτηση του κάτοπτρου να ευνοεί την κίνηση του ώστε να στοχεύει σε όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου.



Εικόνα 7: Σκίτσο εξήγησης λειτουργίας βασικού ραδιοτηλεσκοπίου. Απεικονίζεται η λήψη και η μεταφορά του σήματος έως την ψηφιοποίηση του (ΕΑΔ).

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν οι ραδιοαστρονόμοι ποικίλουν ανάλογα την φύση και το αντικείμενο μελέτης τους. Μεγάλη σημασία για την επιλογή τεχνικών ή των παραλλαγών τους

σχετίζεται ή και πολλές φορές εξαρτάται από τον τύπο δεδομένων που θα ψηφιοποιηθούν, από την ίδια την ψηφιοποίηση τους και την διαδικασία επεξεργασίας τους που θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Η πηγή του σήματος παίζει μικρότερο ρόλο όμως για να απεικονισθεί σωστά μια περιοχή του ουρανού πραγματοποιούμε πολλαπλές επικαλυπτόμενες σαρώσεις συλλέγοντας πολλαπλά σήματα που μπορούν να καταγραφούν και να μας δώσουν ένα ενισχυμένο σήμα καθώς και βοήθεια για την απαλοιφή θορύβου. Αυτές είναι διαδικασίες που γίνονται κατά την επεξεργασία δεδομένων γνωστό ως *dataprocessing*. Όλοι αυτοί οι παράμετροι που επηρεάζουν την δειγματοληψία, ουσιαστικά υποδηλώνουν την ισχύ του σήματος και το βαθμό λεπτομέρειας που απαιτείται για την περάτωση της μελέτης, που με τη σειρά τους ορίζουν το είδος των μέσων που θα χρησιμοποιηθεί.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να τονισθεί ότι το σήμα που θα ληφθεί από τον δέκτη δεν θα έχει σχεδόν καμία σχέση με αυτό κατά την εκπομπή από την πηγή και αυτό γιατί οι παρατηρήσεις από την επιφάνεια της Γης περιορίζονται σε μήκη κύματος που μπορούν να περάσουν μέσα από την ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα σε χαμηλές συχνότητες, η μετάδοση εμποδίζεται από την ιονόσφαιρα, πρόκειται για κύματα με συχνότητες κάτω από τη χαρακτηριστική συχνότητα του πλάσματος. Με την σειρά τους και οι υδρατμοί παρεμβαίνουν στη πορεία του σήματος σε υψηλές συχνότητες. Για αυτό κάποιες εγκαταστάσεις βρίσκονται σε ξηρούς τόπους ή σε μεγάλο υψόμετρο αποφεύγοντας τα υψηλά ποσοστά υγρασίας.

1.4.2. ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ

Κεραία ή αντένα ονομάζεται το όργανο στο οποίο ελεύθερα κύματα χώρου συλλέγονται και τους δίνεται κατεύθυνση (κεραία λήψης). Οι βασικές φυσικές παράμετροι που αφορούν τις κεραίες και οι νόμοι που τις διέπουν περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 1.3 ενώ σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουν οι τύποι κεραιών και τα μεγέθη που σχετίζονται με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά τα οποία βασίζονται στα προαναφερθέντα.

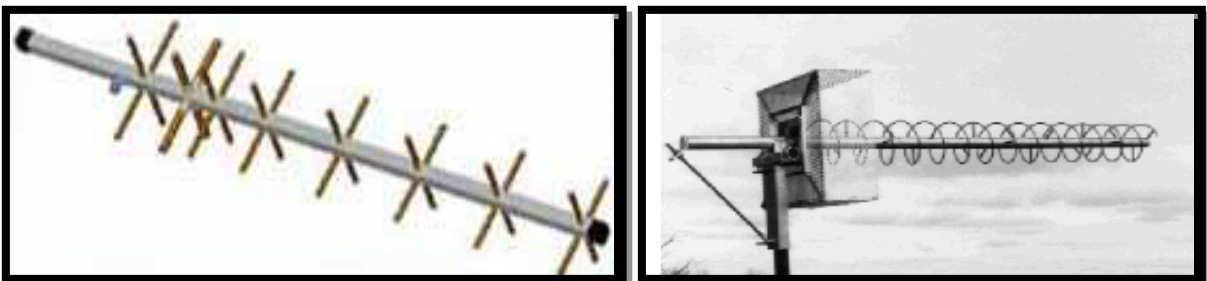
Οι κεραίες ραδιοηλεκτρονικών μπορεί να είναι *κατευθυνόμενες* και να κινούνται σε δύο διευθύνσεις, *ημικατευθυνόμενες* κινούμενες κατά μία διεύθυνση ή *σταθερές*. Οι διευθύνσεις καθορίζονται από δύο γωνίες ϕ και θ σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας ο οποίος αν συμπίπτει με τον κύριο άξονα όπου λαμβάνουμε την μεγαλύτερη ισχύ και όπως προαναφέρθηκε στις βασικές έννοιες, δίνουν την συνάρτηση απόδοσης της κεραίας. Η *κατευθυντικότητα* της κεραίας είναι ο λόγος της μέγιστης προς την μέση ένταση ακτινοβολίας και εύκολα αποδεικνύεται ότι δίνεται από τον τύπο:

Κατευθυντικότητα κεραίας: $D = 4\pi/\Omega_A$, όπου Ω_A είναι η συνολική απόκριση της κεραίας που είναι συνάρτηση του $P_n(\theta, \phi)$.

Σύμφωνα με τα μήκη κύματος παρατήρησης οι κεραίες διαφέρουν ως εξής:

Για λήψη (ή και εκπομπή) σε μήκη κύματος μεγαλύτερα του 1m:

- Κεραίες σύρματος (διπολικές): : Μετατρέπει σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που οδεύει στον κυματοδηγό σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο χώρο και αντίστροφα ανάλογα με την λήψη η εκπομπή.
- Κατακόρυφες και
- Απεριοδικές κεραίες όπως ρομβικές και ελικοειδείς.

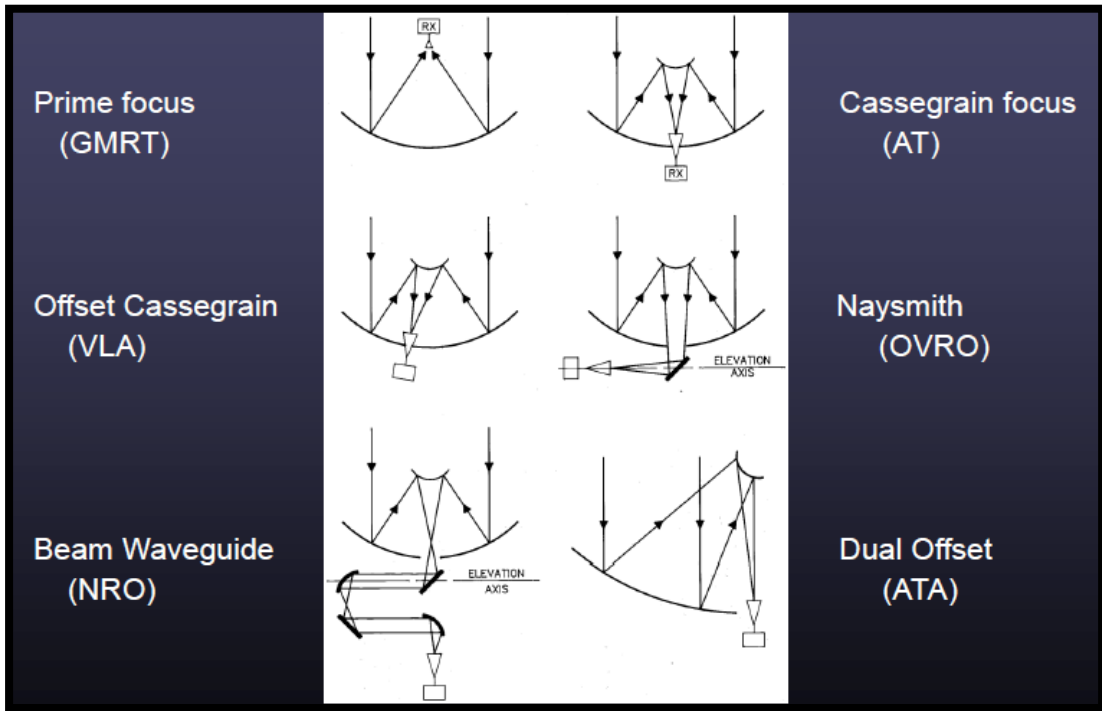


Εικόνα 8: Αριστερά μια διπολική κεραία και δεξιά μια ελικοειδής κεραία (Napier, 2004).

Για την λήψη σε μήκη κύματος μικρότερων του 1 μέτρου χρησιμοποιούνται:

- κατοπτρικές κεραιές
- κεραιές ανάκλασης και
- υβριδικές κεραιές.

Τα είδη κατοπτρικών κεραιών συνοψίζονται με σχήματα στην παρακάτω εικόνα 9 ενώ στην εικόνα 10 παρατίθενται διάφορες κατοπτρικές κεραιές.



Εικόνα 9: Είδη κατοπτρικών κεραιών και οι τρόποι λήψης σήματος (Napier, 2004).

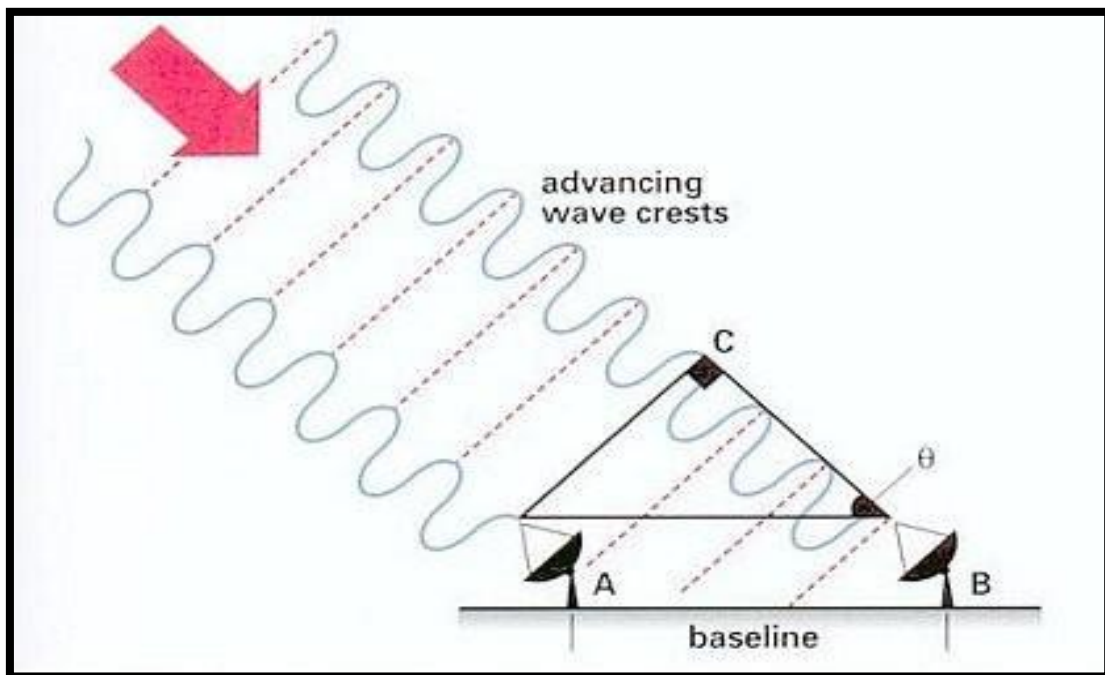


Εικόνα 10: Είδη κεραιών ανάκλασης (Napier, 2004).

1.4.3. ΡΑΔΙΟ-ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΑ

Η τεχνολογική ανάπτυξη έχει επιτρέψει την βελτίωση των ραδιοτηλεσκοπίων σε πολύ μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά η ακρίβεια τους σε σχέση με τα οπτικά τηλεσκόπια είναι ασθενέστερη κατά εκατό και πλέον φορές. Αυτό αποτελεί ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα τους δυσκολεύοντας την αντιστοίχιση της ραδιοπηγής με το αντικείμενο που εκπέμπει το σήμα.

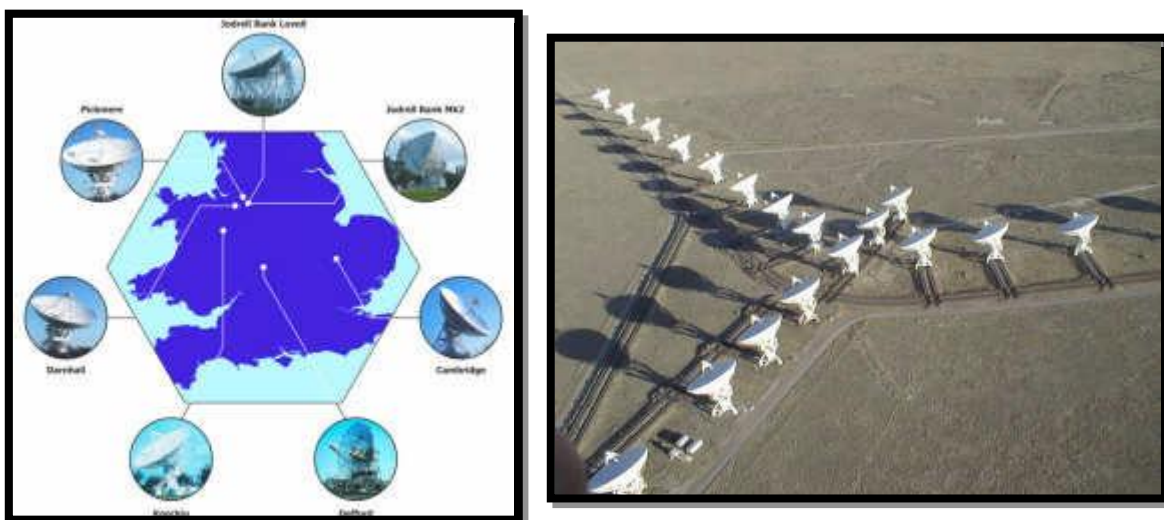
Για να βελτιωθεί ή ακρίβεια καθορισμού θέσεως των ραδιοπηγών με τα ραδιοτηλεσκόπια επινοήθηκαν τα ραδιοτηλεσκόπια - συμβολόμετρα. Πρόκειται για συστήματα από δύο ή περισσότερα άπλα ραδιοτηλεσκόπια, πού είναι εγκατεστημένα σε διατάξεις. Οι αποστάσεις μεταξύ καθορίζονται έτσι ώστε να πετυχαίνουν τη συμβολή των ραδιοκυμάτων ορισμένου μήκους κύματος πού προέρχονται από μια συγκεκριμένη πηγή. Οι θέσεις τους είναι τέτοιες ώστε ή απόσταση τους να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο τού μήκους κύματος παρατήρησης. Έτσι κατά την λήψη των κυμάτων είναι δυνατή η 'αυτόματη' συμβολή τους που είναι κάτι σαν πρόσθεση κόνοντας έτσι το σήμα ισχυρότερο. Όσο μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους βρίσκονται οι δέκτες της συμβολομετρικής διάταξης, τόσο καλύτερη η απόδοση του. Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι η 'πάλη' μετατίθεται στην επιλογή μεγάλης διάταξης με μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των κεραιών έναντι δυσκολίας και προβλημάτων συνδεσμολογίας.



Εικόνα 11 : Ένα συμβολόμετρο με μεγάλη επιμήκη βάση (baseline). Η διακριτική του ικανότητα αντιστοιχεί προς εκείνη που θα είχαμε από ένα παραβολικό κάτοπτρο με διάμετρο ίση προς την απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών (ΕΑΔ).

Στην παρακάτω εικόνα 12 γίνεται αντιληπτή η διαφορά των ραδιοσυμβολόμετρων όσον αφορά την απόσταση μεταξύ των ραδιοτηλεσκοπίων που τα αποτελούν. Το ραδιοτηλεσκόπιο Merlin με έναν κεντρικό σταθμό στο JodrellBankobservatoryαποτελείται από έξι ραδιοτηλεσκόπια που εκτείνονται σε 4 διαφορετικές περιφέρειες της χώρας. Η Εγκατάσταση του κεντρικού ραδιοτηλεσκοπίου έγινε από τον BernardLovellτο 1945 και ανήκει στο πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ. Έχει διαδραματίσει μεγάλο ρόλο στην έρευνα μετεωριτών, quasar, pulsarκαι maser.

Στο NewMexicoτων Η.Π.Α. συναντάται το ραδιοσυμβολόμετροVLA και αποτελείται από 28 δέκτες- κεραίεςδιαμέτρου 25 μέτρωνσε σχήμα έλικα με τρεις βραχίονες μήκους 20km σε γωνία 120°. Οι δέκτες είναι τροχήλατοι και το VLAέχει την καταπληκτική δυνατότητα να λειτουργεί σε διαφορετικές διατάξεις με διαφορετικές διαχωριστικές ικανότητες στοχεύοντας σε διαφορετικές πηγές.



Εικόνα 12: Αριστερά: Οι έξι θέσεις ισάριθμων ραδιοτηλεσκοπίων του ραδιοσυμβολόμετρου Merlin στην Αγγλία. Δεξιά: Το VLA στο NewMexico των Η.Π.Α.

Αφού εξηγήθηκε η συμβολή κυμάτων σε απλή μορφή στο κεφάλαιο 1.2, ακολουθεί η εξήγηση της συμβολής στην ραδιοσυμβολομετρία. Ένα ραδιοσυμβολόμετρο μετράει την συμφωνία του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο στοιχείων λήψης και αν θεωρηθεί ένα στάσιμο ζεύγος τηλεσκοπίων που παρατηρούν μία πηγή στο άπειρο όπως αυτά της εικόνας 13, με βάση το πείραμα Youngοι τύποι που ισχύουν για την συμβολομετρία είναι αυτοί που ακολουθούν.

Οι παρακάτω τύποι είναι πολύ σημαντικοί καθώς τα φυσικά μεγέθη που περιγράφουν είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ανάλυση (processing) των δεδομένων - σημάτων, η εξήγηση των οποίων είναι αντικείμενο αυτής της εργασίας. Καθώς ο αριθμός τηλεσκοπίων μεγαλώνει οι μαθηματικές πράξεις γίνονται πολυπλοκότερες και γίνεται χρήση "γκαουσιανής λογικής".

Έστω στάσιμο ζεύγος 2 τηλεσκοπίων

Όπου:

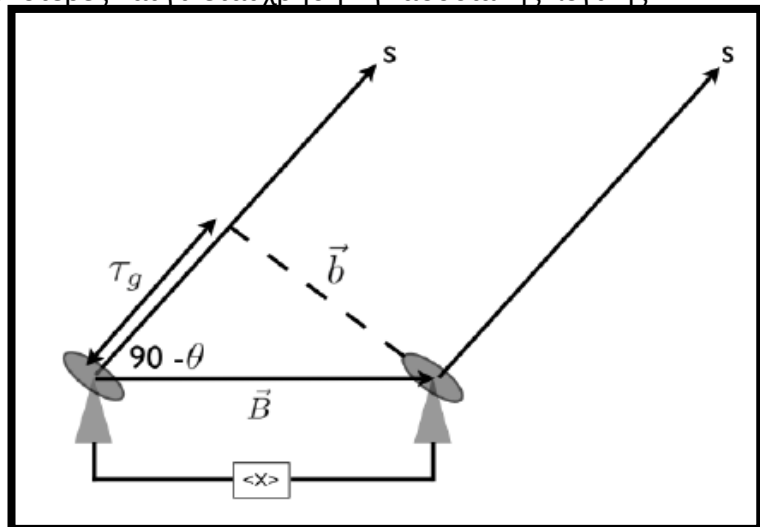
T_g : Γεωμετρική Καθυστέρηση (sec),

S : το μοναδιαίο διάνυσμα στη κατεύθυνση της πηγής και

B : το διάνυσμα βάσης (baseline) ενώ

b : η προβολή του B από τη πηγή,

$\langle x \rangle$: θέση συσχετιστή (correlator).



Εικόνα 13: Στάσιμο ζεύγος ραδιοτηλεσκοπίων.

Ο τύπος της Γεωμετρικής καθυστέρησης T_g :

$$T_g = B \sin(\theta) / c$$

Όπου από το πείραμα Young γνωρίζουμε ότι για την ενισχυτική συμβολή $B \sin(\theta) = m \lambda$, και για καταστρεπτική $B \sin(\theta) = (m + 1/2) \lambda$, όπου μακέραιος.

Η διαφορά φάσης φ δυο τηλεσκοπίων, δίνεται από τους παρακάτω τύπους και αν ληφθεί υπ' όψη ότι $\varphi = 2\pi$ στο σχήμα της εικόνας 11:

$$\varphi = 2\pi T_g c / \lambda$$

Έστω, λοιπόν, ότι τα ραδιοτηλεσκόπια του παραπάνω σχήματος δέχονται δύο σήματα που εκφράζονται σε τάσεις V_1 και V_2 , συνενώνονται μεταξύ τους και προκύπτει ο χρονικός μέσος όρος τους στον συσχετιστή. Οι τάσεις V_1 και V_2 αποτελούνται από το σήμα της πηγής (V_S) και τον θόρυβο της κεραίας λήψης (V_R). Δηλαδή: $V_1 = V_S + V_{R1}$ & $V_2 = V_S + V_{R2}$.

Υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί σημάτων, όπως το ραδιοσυμβολόμετρο πολλαπλασιασμού που προτιμάται από το ραδιοσυμβολόμετρο πρόσθεσης καθώς έχει το πλεονέκτημα να μην επηρεάζεται από τον θόρυβο. Οι συνδυασμοί αυτοί δίνουν τύπους που είναι απόρροια διανυσματικής πρόσθεσης και πολλαπλασιασμού των σημάτων αντίστοιχα. Καθώς οι τύποι περιέχουν σχετικές ταυτότητες και η απόδοση του συσχετιστή μεταβάλλεται ημιτονοειδώς καθώς η πηγή μετατοπίζεται στον ουρανό, με σκοπό να μην αναλωθούμε στην περιγραφή των

μαθηματικών πράξεων θα σημειωθεί μόνο το τελικό προϊόν που μας αφορά και είναι φυσικά το σήμα εξόδου από τον συσχετιστή.

$$r(T_g) = \frac{1}{2} V_1 V_2 \cos(2\pi\nu T_g)$$

1.5.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣΡΑΔΙΟΤΗΛΕΣΚΟΠΙΩΝ

Σε κάθε βιβλίο αστρονομίας την προσοχή του αναγνώστη τραβούν στατιστικά και αριθμητικά στοιχεία. Τέτοια στοιχεία προξενούν θαυμασμό έως και δέος και σε κάθε ευκαιρία ο συγγραφέας παραθέτει κάποια από αυτά. Οι εφαρμογές της αστρονομίας δίνουν ή βοηθούν στην εξακρίβωση κάποιων από αυτά τα στοιχεία. Έτσι η ραδιοαστρονομία μας εξηγεί πως σε ένα έτος, δηλαδή από την περασμένη πρωτοχρονιά έως την 31^η Δεκέμβρη αυτού του έτους ο ήλιος μας έχασε περίπου 174×10^{12} τόνους από την μάζα του με αποτέλεσμα η ακτίνα περιστροφής της γης αυξήθηκε κατά 1,5 εκατοστό. 150 δισεκατομμύρια αστέρια σχηματίστηκαν στο σύμπαν καθώς ο γειτονικός γαλαξίας της Ανδρομέδας μας πλησίασε κατά τρεισήμισιδισεκατομμύρια χιλιόμετρα ενώ το σύμπαν επεκτάθηκε κατά 60 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα. Πώς όμως μας προσφέρει όλα αυτά τα στοιχεία η ραδιοαστρονομία;

Οι τεχνολογικά πρακτικότερες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται η Ραδιοαστρονομία, είναι η παρακολούθηση τεχνητών δορυφόρων ή διαστημικών σκαφών και στη συλλογή των δεδομένων που μεταδίδουν στη Γη. Όμως η συγκεκριμένη διατριβή θα επικεντρωθεί στην συλλογή δεδομένων κυρίως από φυσικές πηγές. Τέτοιες εφαρμογές μας δίνουν πληροφορίες για:

- Το ηλιακό σύστημα και βασικά το αστέρι του, τον ήλιο,
- την δημιουργία νέων αστέρων και τον σχηματισμό πλανητών,
- τον σχηματισμό πλανητών,
- τις εκρήξεις υπερκαινοφανών αστέρων γνωστές διεθνώς ως *supernovae*,
- τα *pulsars*,
- τον μηχανισμό ενεργοποίησης των Ενεργών Γαλαξιακών Πυρήνων (AGN),
- και την κινηματική των γαλαξιών.

Όσον αφορά το *ηλιακό σύστημα* για το οποίο θα ακολουθήσει εκτενέστερη ανάλυση, μελετώνται οι ηλιακές κηλίδες, εκρήξεις και γενικά φαινόμενα έντονης δραστηριότητας καθώς και οι εκπομπές των ετερόφωτων πλανητών.

Κατά την *δημιουργία αστέρων* στα νεφελώματα διακριτή μπορεί να γίνει η εκπομπή μεμονωμένα από τους αστέρες της περιοχής αλλά και από ολόκληρη την περιοχή ενώ οι πληροφορίες μπορούν να συνεισφέρουν στην κατανόηση της δομής και της σύστασης των νεφελωμάτων. Όμοια οι πληροφορίες αυτές μπορούν να δώσουν απαντήσεις και για την δομή και την φυσική κατάσταση πλανητών.

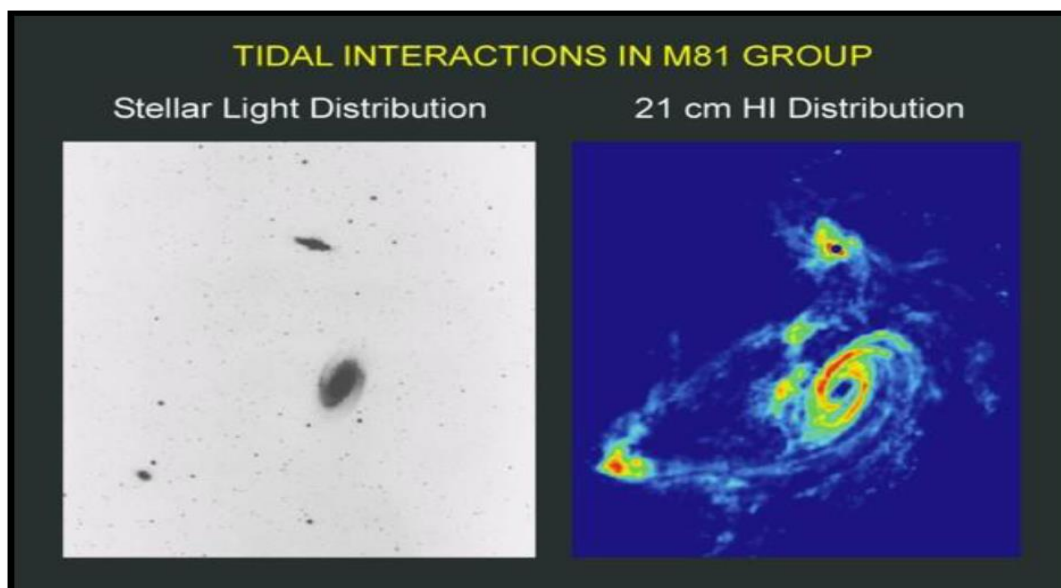
Η σημασία της έκρηξης *supernovae* είναι εξαιρετικής σημασίας για την δομή και την εξέλιξη του σύμπαντος όπως περιγράφεται στην συνέχεια. Αυτόματα το γεγονός ότι η ραδιοαστρονομία συνεισφέρει σημαντικά στην μελέτη τους, καθιστά τον κλάδο ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία που διαθέτει η ανθρωπότητα για την κατανόηση της εξέλιξης του σύμπαντος. Συγκεκριμένα η ραδιοαστρονομία συμβάλλει στην μελέτη εξέλιξης των υπολειμμάτων *supernovae* καθώς και στις φάσεις στις οποίες υπόκειται και την ακτινοβολία που εκπέμπει καθ' αυτές.

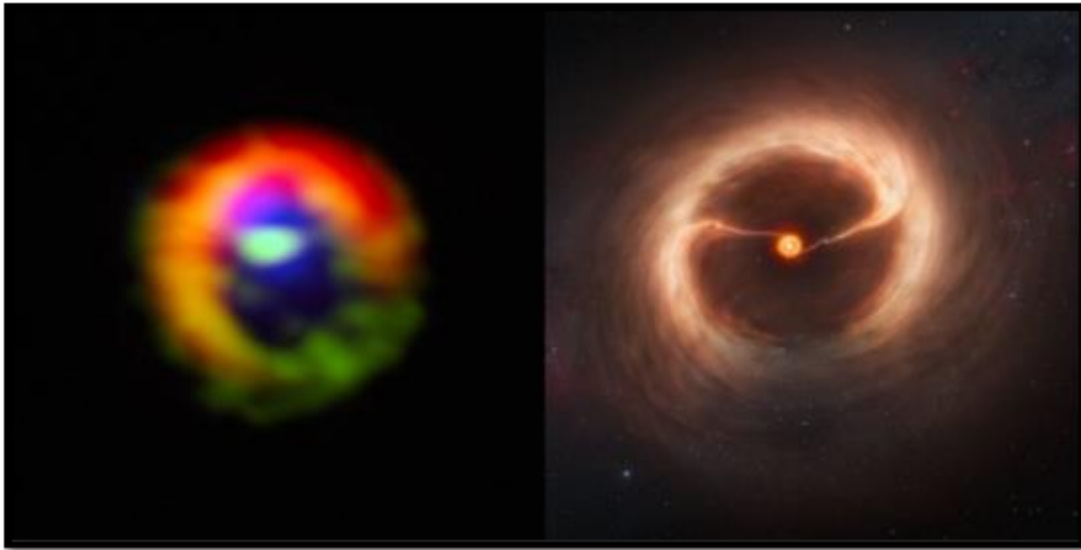
Τα *pulsars*, που επίσης περιγράφονται στην συνέχεια, ως μία κατηγορία παλλόμενων ραδιοπηγών, ουράνια δηλαδή σώματα που εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία σε μήκη κύματος ραδιοφωνικών κυμάτων είναι εξορισμού αντικείμενα μελέτης της ραδιοαστρονομίας. *Pulsars* έχουν εντοπισθεί στα κέντρα υπολειμμάτων *supernovae* συμπλέκοντας έτσι την μελέτη των δύο ουράνιων φαινομένων.

Η μελέτη *ενεργών γαλαξιακών πυρήνων (AGN)* και η σχέση τους με την δημιουργία αστέρων στην περιοχή πλησίον του πυρήνα καθώς και με την εξέλιξη του γαλαξία είναι επίσης κομμάτι της μελέτης της ραδιοαστρονομίας. Πρόκειται για το σήμα που ανακάλυψε τυχαία ο Jansky. Τέτοιες μελέτες δίνουν δεδομένα που συνεισφέρουν στην δημιουργία μοντέλων δημιουργίας και εξέλιξης γαλαξιών και κατά συνέπεια ολόκληρου του σύμπαντος. Παρόμοια συμβολή έχει η μελέτη *κινηματικής των γαλαξιών*.

Τέλος, εκτός της μελέτης διακριτών οριοθετημένων ουράνιων σωμάτων που λειτουργούν και ως πηγές ραδιοκυμάτων η ραδιοαστρονομία συμβάλλει και στην μελέτη αόριστων περιοχών του σύμπαντος όπου παρατηρείται εκπομπή ακτινοβολίας όπως *περιοχές ιονισμένου και ουδέτερου υδρογόνου*, και *νέφη άλλων μοριακών ενώσεων*. Η ανάλυση τους γίνεται με την βοήθεια μεθόδων φασματοσκοπίας.

Καθώς στην συγκεκριμένη εργασία θα γίνει εστίαση στις εφαρμογές της ραδιοαστρονομίας στα *pulsars*, της *εκρήξεις υπερκαινοφανούς* και στο ηλιακό σύστημα, οι παρακάτω εικόνες επιλέχθηκαν για να δώσουν πολύ σύντομα μια εικόνα σχετική με κάποιες από τις υπόλοιπες εφαρμογές της.





Εικόνα 15: Σχηματισμός γιγάντιου πλανήτη. Εικόνα από το ραδιοτηλεσκόπιο ALMA.

Visual + radio image of 3C31

Visual (blue) + Radio (red)

Radio galaxy 3C31 NGC363

Radio image of NGC 1265

Direction of motion

Radio image

Radio Galaxies (II)

Radio image of 3C75

3C 75

3C75: Evidence for two nuclei → recent galaxy merger

Evidence for the galaxy moving through intergalactic material

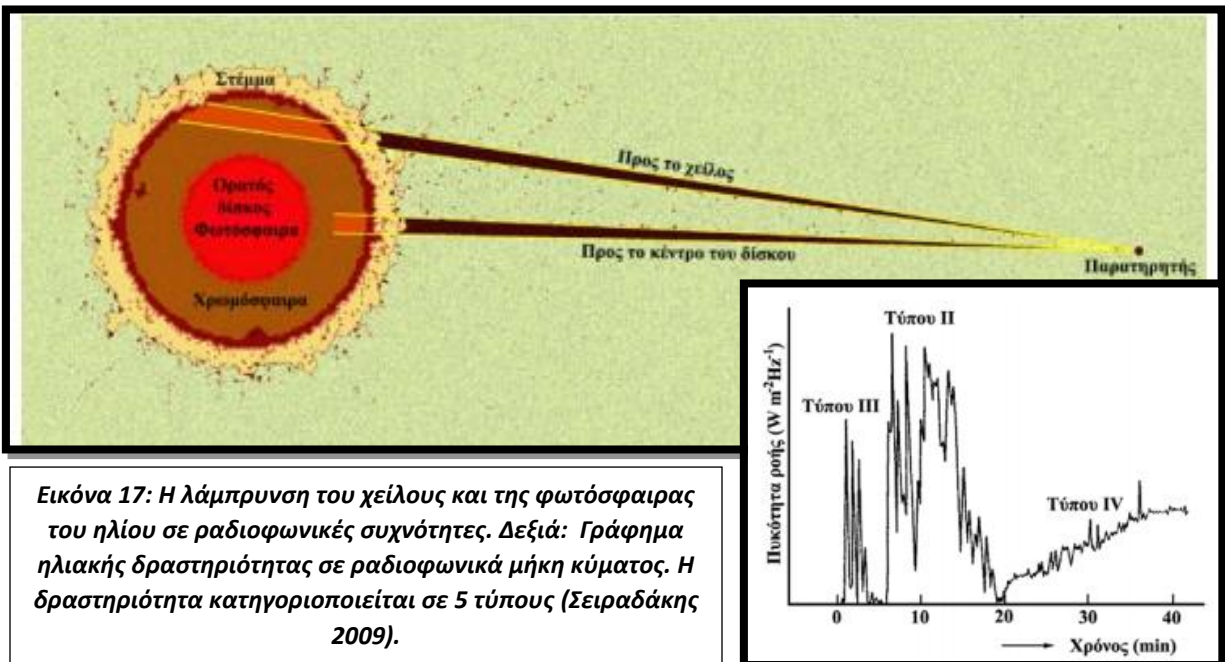
Εικόνα 16: Αριστερά: Ραδιοεικόνες κινηματικής του ραδιογαλαξία 3C31 και του γαλαξιακού νέφους NGC1265. Δεξιά: Ραδιοεικόνες δύο κοντινών γαλαξιακών πυρήνων, ένδειξη συγχώνευσης γαλαξιών.

1.5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όταν το 1942 ο Heyna ανακάλυψε ραδιοκύματα εκπεμπόμενα από τον ήλιο ακολούθησαν μελέτες στα υπόλοιπα σώματα που απαρτίζουν ή βρίσκονται στο ηλιακό σύστημα. Όπως έχουν αναφέρει η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα ουράνια σώματα ως επί τω πλείστον είναι θερμική δηλαδή εξαρτάται από την θερμοκρασία στην επιφάνεια τους. Είναι ευνόητο λοιπόν πως οι πλανήτες ως ετερόφωτα σώματα θα εκπέμπουν αρκετά ασθενέστερα στα ραδιοκύματα από ότι τα αυτόφωτα άστρα όπως ο ήλιος.

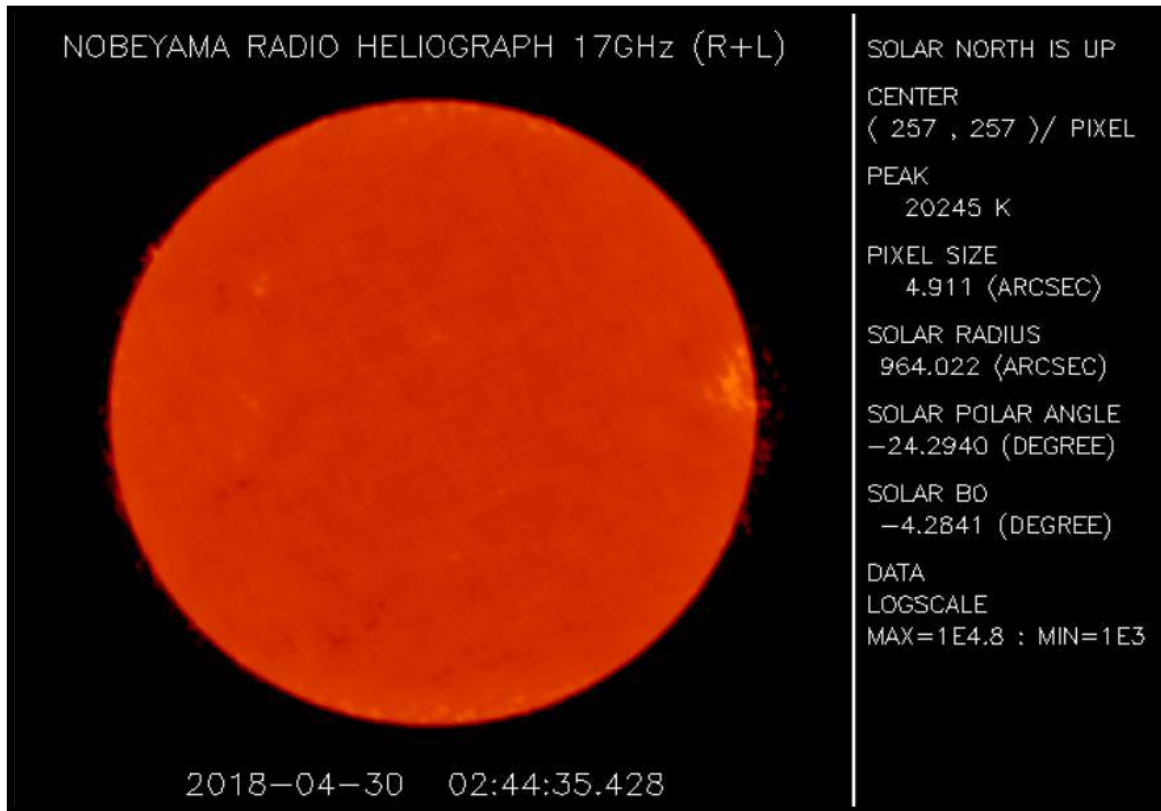
Ο ήλιος:

Θεωρώντας κάποια βασικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του ήλιου θα περιγραφούν οι ιδιότητες που σχετίζονται με την ράδιο-εκπομπή του ηλίου. Η εκπομπή του ηλίου διαφέρει ανάλογα με το αν ο ήλιος βρίσκεται σε ήρεμη ή διαταραγμένη κατάσταση (εικόνες 18, 19). Σε διαταραγμένη κατάσταση ο ήλιος οπτικά εμφανίζει τις λεγόμενες κηλίδες. Πρόκειται για περιοχές έκλαμψης και αυξημένης θερμικής δραστηριότητας ως αποτέλεσμα ισχυρών εκλύσεων ενέργειας. Ανεξάρτητα από το αν θα υπάρξει έκλαμψη σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος σε αυτά τα σημεία παρατηρείται ισχυρότερη της κανονικής ακτινοβολία που μπορεί να διαρκέσει από λίγα δευτερόλεπτα ως και λίγες ώρες. Στην ήρεμη κατάσταση ο ήλιος εκπέμπει σχετικά σταθερά σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος οπότε ανάλογα με την συχνότητα παρατήρησης οι αστρονόμοι μπορούν να βγάλουν συγκεκριμένα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα σε υψηλές ραδιοφωνικές συχνότητες οι αστρονόμοι βλέπουν τα στρώματα της κατώτερης χρωμόσφαιρας του Ήλιου όπου η θερμοκρασίες είναι της τάξεως λίγων δεκάδων χιλιάδων βαθμών (Σειραδάκης 2009). Σε χαμηλότερες συχνότητες γίνεται ορατή η ανώτερη

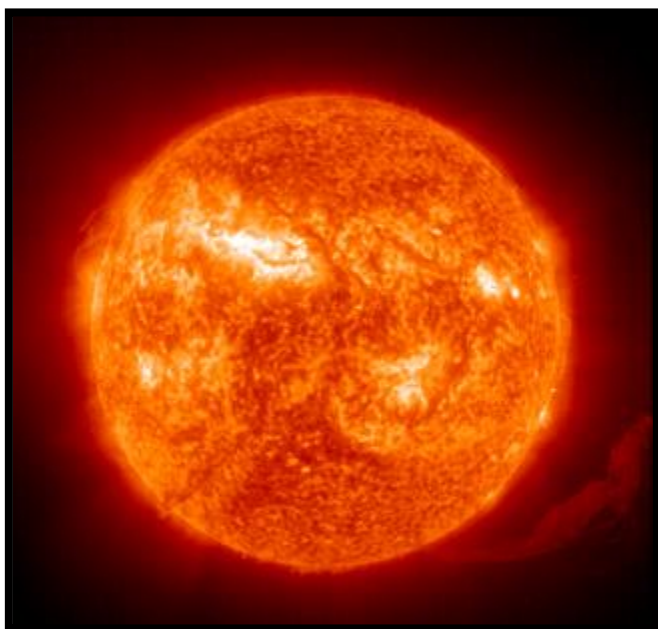


χρωμόσφαιρα και το στέμμα με θερμοκρασίες που αντιστοιχούν έως και λίγα εκατομμύρια βαθμοί (εικόνα 17).

Πρέπει να τονιστεί ότι σε ραδιοφωνικά κύματα ο ήλιος εμφανίζεται πολύ σπάνια εντελώς ήρεμος. Μια αρκετά ήρεμη κατάσταση είναι αυτή στο ραδιο-ηλιογράφημα της παρακάτω εικόνας 18.



Εικόνα 18: Πρόσφατο ραδιο-ηλιογράφημα στα 17GHz με το ήλιο σε ήρεμη κατάσταση. Δεξιά φαίνονται οι προδιαγραφές – στοιχεία λήψης και κάτω η ημερομηνία.



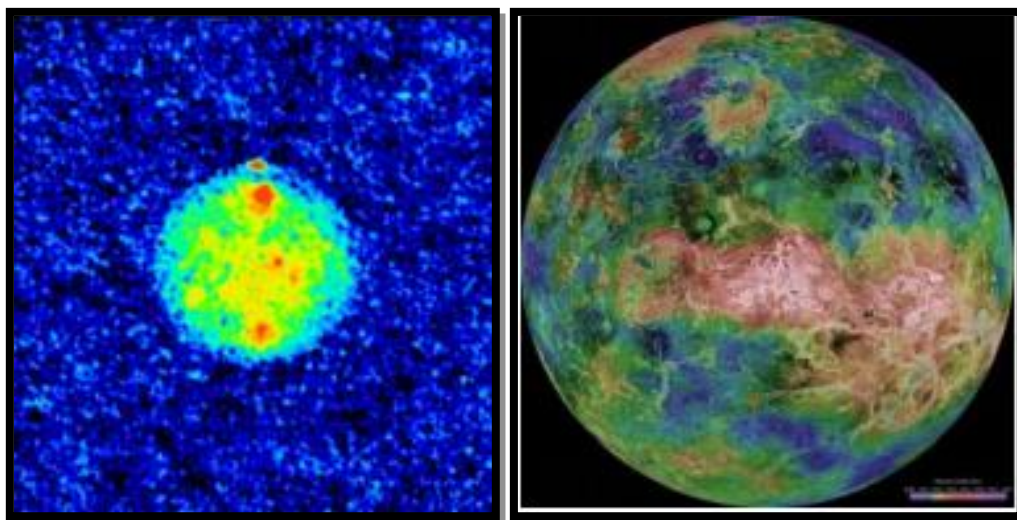
Εικόνα 19: Ο Ήλιος στη γραμμή του υδρογόνου (H_α) από το διαστημικό τηλεσκόπιο SOHO. Διακρίνονται πολλές περιοχές έντονης δραστηριότητας.

Η Σελήνη:

Ο δορυφόρος της Γης, με επιφανειακή θερμοκρασία να κυμαίνεται από 100K όταν είναι νέα σελήνη έως περίπου 380K όταν είναι πανσέληνος, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία της να παρουσιάζει διακυμάνσεις με μέγιστο που εμφανίζεται 84 ώρες μετά την πανσέληνο. ,

Οι πλανήτες:

Οι τρεις γειτονικοί στη Γη πλανήτες παρουσιάζουν δυσκολίες στην παρατήρησή τους, οπτική και ραδιοφωνική, λόγω της σχετικής θέσης, κλίσης και κίνησης τους σε σχέση με τον ήλιο αλλά και με την απόσταση και την σχετική τους θέση με την Γη. Ραδιοαστρονομικές μελέτες έδειξαν ότι η περίοδος περιστροφής του *Ερμή* δεν συμπίπτει με αυτή της περιφοράς με αποτέλεσμα η επιφάνεια του να θερμαίνεται περιοδικά από τον Ήλιο. Η κατάλληλη μέθοδος παρατήρησης της *Αφροδίτης* είναι στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος καθώς η πυκνή της ατμόσφαιρα δεν επιτρέπει την μετάδοση οπτικών και υπέρυθρων κυμάτων. Έτσι έχει χαρτογραφηθεί η επιφάνεια της με το ραδιοτηλεσκόπιο Arecibo. Ο Άρης δέχεται μικρότερη ηλιακή θερμότητα και έχει μικρή θερμοκρασία σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος.



Εικόνα 20: Αριστερά ο πλανήτης Ερμής και δεξιά η Αφροδίτη σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος (Σειραδάκης 2009).

Οι τέσσερις αέριοι γίγαντες είναι αρκετά θεαματικότεροι και παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον και μυστήριο παρόλο που βρίσκονται μακρύτερα από ότι οι εσώτεροι, λεγόμενοι και γήινοι πλανήτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Δίας και ο Κρόνος αποτελούνται από ήλιο και υδρογόνο, ενώ ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας αποτελούνται κυρίως από νερό, αμμωνία και μεθάνιο.

Στον *Κρόνο* έχει καταγραφεί θερμική ακτινοβολία της τάξης των 200K ενώ οι διαστημικές αποστολές *Voyager1&2* και *Πανίχνευσαν* και περιοδικές μη θερμικές ακτινοβολίες 50 έως

500kHz.Στον *Ουρανό και τον Ποσειδώνα* έχουν παρατηρηθεί θερμοκρασίες σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος με μέσες τιμές περί τους 250K και 225K αντίστοιχα. Ενώ παρά τις δυσκολίες παρατήρησης ο εξώτερος πλανήτης *Πλούτωνας* βρέθηκε με θερμοκρασία 40K σε μήκος κύματος 1,2 χιλιοστά του μέτρου.

Ο γίγαντας *Δίας*, με μάζα 300 φορές μεγαλύτερη από την γη, είναι ο μεγαλύτερος πλανήτης στο ηλιακό σύστημα, και παρότι ετερόφωτος ένα από τα λαμπρότερα σώματα στον νυχτερινό ουρανό. Η ταχύτητα περιστροφής είναι του είναι μεγάλη ενώ παρουσιάζει δύο διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιράς του με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τρία συστήματα περιστροφής που αντιστοιχούν σε διαφορετικές ακτινοβολίες άλλες θερμικές άλλες μη θερμικές. Η μηθερμικήδεκαμετρική ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεγαλύτερη των 7 cm, η οποία είναι σποραδική, κυκλικά πολωμένη, περιοδική και προέρχεται από μιαπεριορισμένη περιοχή με πλάσμα και ιονισμένα σωματίδια καιοφείλεται στην παραγωγή ραδιοφωνικών κυμάτων στη μαγνητόσφαιρα του Δία υπό τη επίδραση του εσωτερικού φυσικού του δόρυ-φόρου Ιώ. Η μη θερμική ακτινοβολία ($7 < \lambda < 150$, λ σε cm) η ένταση της οποίας είναι περίπου σταθερή, προέρχεται από μιαεκτεταμένηπεριοχή γύρω από τον Δία και είναι ελλειπτικά πολωμένη. Τέλος, η θερμικήακτινοβολία σε μήκη κύματος μικρότερα των 7cm οφείλεται στην ακτινοβολία που εκπέμπει ο πλανήτης ως μέλαν σώμα και υπολογίστηκε περί τους 140K (Σειραδάκης 2009).

Τέλος και η Γη είναι ανιχνεύσιμη από εξωγήινους ραδιοαστρονόμους. Αν κάποιος στο απέραντο Σύμπαν έχει στρέψει τον ραδιοτηλεσκόπιο του προς το σημείο όπου βρίσκεται η μικρή μας Γη θα ανιχνεύει ένα ευρύ φάσμα ακτινοβολίας σε ραδιοφωνικές συχνότητες κυρίως λόγω της - ίσως και όχι τόσο αναπτυγμένης τεχνολογίας - που διαθέτουν οι άγνωστοι σε αυτούς άνθρωποι. Με την κατάλληλη επιστημονική ερμηνεία ίσως κάποιοι εξωγήινοι κοσμολόγοι να αποδίδουν αυτά τα σήματα σε κάποιο νοήμων ων έχοντας πιο τεκμηριωμένα επιχειρήματα από ότι έχουμε εμείς, όταν παρερμηνεύοντας ή διαστρεβλώνοντας δεδομένα καταφεύγουμε σε όμοια συμπεράσματα.

1.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΥΠΕΡΚΑΙΝΟΦΑΝΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Στην αστρονομία ο όρος υπερκαινοφανείς αστέρας ή SuperNova αναφέρεται σε διάφορους τύπους εκρήξεων που συμβαίνουν στο τέλος της ζωής των αστέρων κατά τις οποίες αφήνουν ως απομεινάρια εξαιρετικά φωτεινά αντικείμενα με μορφή νεφελώματος, αποτελούμενα από ιονισμένη ύλη, τα γνωστά ως υπολείμματα υπερκαινοφανών (SNR)

Κάθε υπόλειμμα υπερκαινοφανούς περνάει από πέντε φάσεις ή στάδια. Κατ' αυτά αρχικά υπόκειται σε ελεύθερη διαστολή, στην συνέχεια για λίγες δεκάδες χιλιάδες χρόνια ψύχεται αδιαβατικά και επιβραδύνεται, ενώ τελικά αφού συνεχίζει να ψύχεται αρχίζει να ακτινοβολεί έντονα έως να γίνει ένα με το διαστρικό μέσο στο οποίο βρίσκεται (Reynolds, 1988). Κατά το στάδιο της ψύξης το κέλυφος διογκώνεται και ακτινοβολεί με αποτέλεσμα να παρατηρείται καλύτερα στα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από τα ουδέτερα άτομα υδρογόνου.

Η σημασία τέτοιων εκρήξεων είναι πολύ μεγάλη καθώς προσφέρουν υλικό από βαρεία στοιχεία στον μεσοαστρικό χώρο, τεράστια ποσά ενέργειας υπό μορφή ακτινοβολίας αλλά και επηρεάζοντας κινητικά το περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει καθώς αποτελούν ένα από τα πιο βίαια φαινόμενα κατά τα οποία ο αστέρας που εκρήγνυται μπορεί να γίνει έως και 10^{10} φορές λαμπρότερος από τον ήλιο εξαπολύοντας την μισή του μάζα με ταχύτητες που αγγίζουν τα 3.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο.

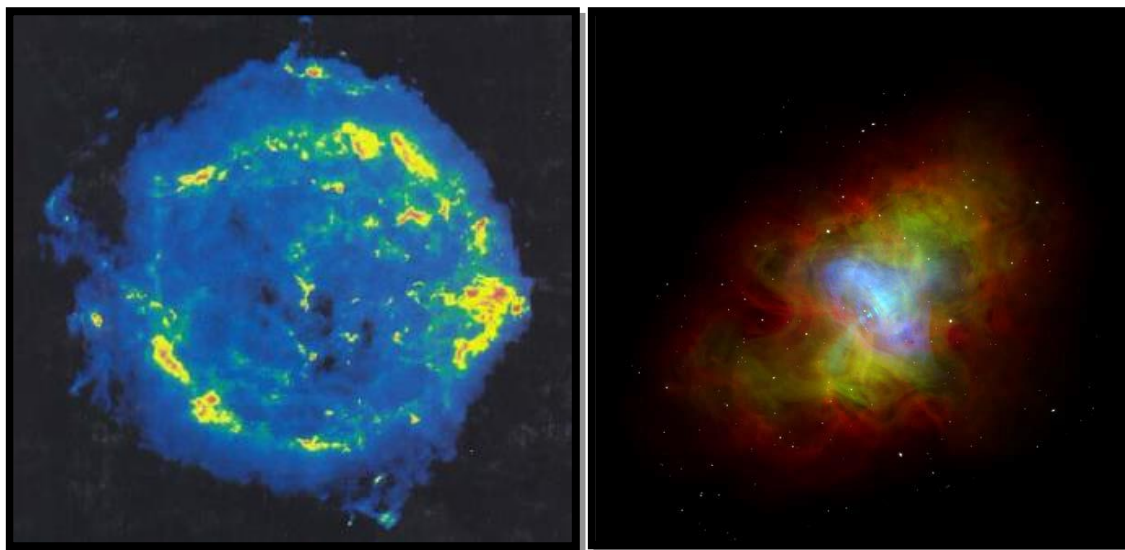
Εκρήξεις υπερκαινοφανών γίνονται πολύ σπάνια. Κατά τα τελευταία 2000 χρόνια έχουν παρατηρηθεί οπτικά επτά μόνο τέτοιες εκρήξεις στο Γαλαξία και συγκεκριμένα κατά τα έτη 185, 393, 1006, 1054, 1181, 1572 και 1604 μ.Χ.



Εικόνα 21: Αριστερά το νεφέλωμα Κασσιόπη Α (CasA) με τη χαρακτηριστική δακτυλιοειδές σχήμα (κελυφοειδούς τύπου) και δεξιά το νεφέλωμα του Κάβουρα. Οπτικά μήκη κύματος. (Κουρουμπαντζάκης 2011).

Τα υπολείμματα υπερκαινοφανών μπορούν να διακριθούν σε τρεις τύπους: Τα *κελυφοειδή* τα τύπου *Pulsar* και τα *μεικτά*. Το SNR Κασσιόπη Α ή CASA, βρίσκεται στην φάση της ελεύθερης εκτόνωσης, είναι κελυφοειδούς τύπου και φαίνεται στην εικόνα 21 αλλά και στην εικόνα 22 σε ραδιοφωνικά κύματα στα 5GHz, παρατηρήσεις που έγιναν με την χρήση του ραδιοσυμβολόμετρου VLA που φαίνεται στην εικόνα 12 και περιεγράφηκε στο κεφάλαιο της συμβολομετρίας. Το CasA είναι εξαιρετης σημασίας καθώς σε συχνότητα 1GHz είναι η ισχυρότερη ραδιοπηγή στον ουρανό μετά το ήλιο.

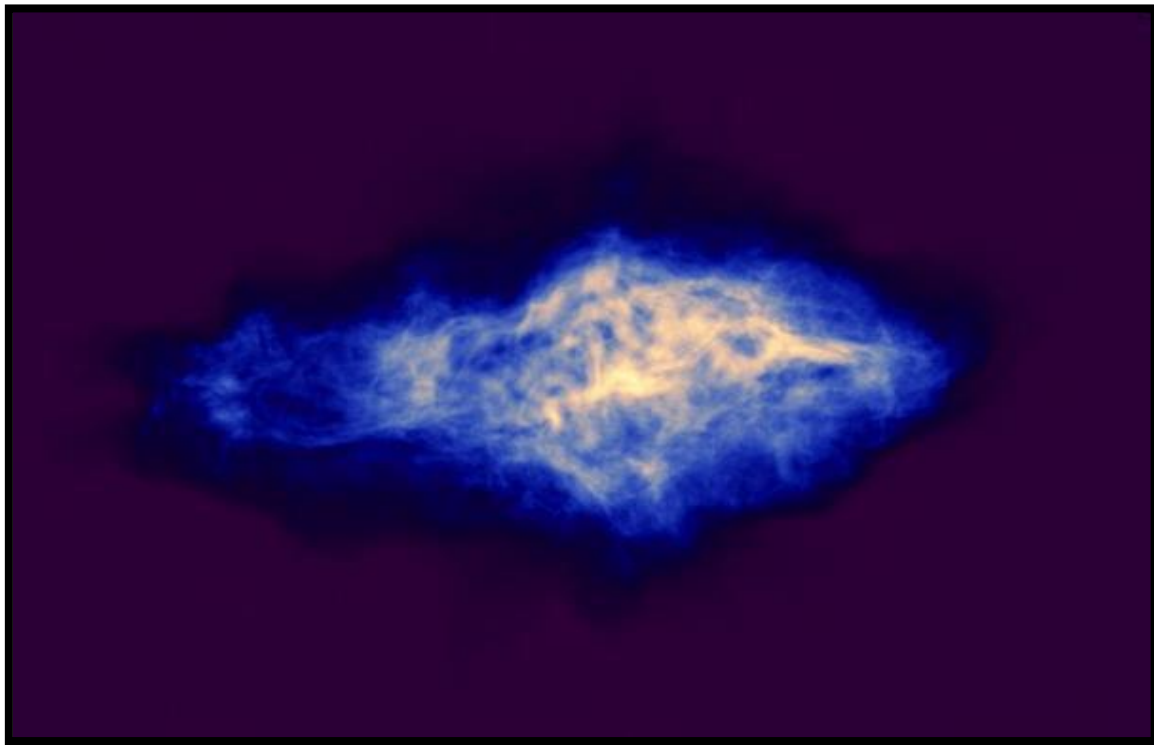
Είναι κατανοητό ότι εικόνα 21 έρχεται παράλληλα με την 22. Στην πρώτη φαίνονται τα CasA και Crab Nebula σε οπτικά μήκη κύματος και στην δεύτερη η ραδιοεικόνα τους. Η εικόνα 22 έχει χρησιμοποιηθεί για έναν ακόμη σκοπό. Στα δεξιά όπου φαίνεται το νεφέλωμα του κάβουρα, ουσιαστικά πρόκειται για σύνθετη φωτογραφία. Το ερυθρό μέρος είναι σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος συχνότητας 1,4GHz, το πράσινο μέρος είναι οπτική πληροφορία που έχει ληφθεί από το Hubble και το κυανό έχει ληφθεί σε ακτίνες X από την διαστημική συσκευή Chandra. Οι περισσότερες από τις εντυπωσιακές εικόνες είναι σύνθετες. Αυτό συμβαίνει καθώς διάφορα σημεία ενός νεφελώματος εκπέμπουν περισσότερο σε διαφορετικά φάσματα, όπως εξηγήσαμε και με την ποικιλία ραδιοσυχνοτήτων στις οποίες ακτινοβολεί ο ήλιος. Έτσι το αποτέλεσμα είναι καλύτερο καθώς όπως βλέπουμε και στην συγκεκριμένη περίπτωση διακρίνονται όλα τα σημεία του νεφελώματος ακόμη και ο αστέρας νετρονίου στο κέντρο του (PSR0531+21) κάτι που βοηθά τους επιστήμονες να βγάλουν ακριβέστερα συμπεράσματα για τον τύπο του νεφελώματος αλλά και πληροφορίες για τις φάσεις εξέλιξης του (Weiler, 1983).



Εικόνα 22: Η Κασσιόπη Α και το νεφέλωμα του κάβουρα σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος όπως αποτυπώθηκαν με την βοήθεια του VLA. Αριστερά το υπόλειμμα υπερκαινοφανούς Cas A στα 5 GHz. Δεξιά το νεφέλωμα του Κάβουρα στα 1.4GHz (Σειραδάκης 2009).

Στην παρακάτω εικόνα, 23, παρατηρείται το υπόλειμμα υπερκαινοφανούς 3C58, λήψη που έγινε πάλι με την βοήθεια VLA. Είναι σημαντικό που η φωτογραφία αυτή είναι από πληροφορίες από το ίδιο τηλεσκόπιο με αυτή της 22 καθώς και ότι και τα δύο SNR είναι ίδιου τύπου, δηλαδή τύπου πάλσαρ, καθώς η εικόνα αυτή ξεκαθαρίζει το πόσο σημαντική είναι η σύνθεση εικόνων και πόσο σημαντική η συνεισφορά της ραδιοεικόνας σε αυτή. Είναι φανερό ότι στην σύνθετη εικόνα είναι εμφανέστατη η διάκριση των σημείων του SNR όμως και μόνη της η ραδιοεικόνα μπορεί να είναι εξαιρετικά καθαρή και χρήσιμη. Για το 3C58 η ραδιοαστρονομία αποκάλυψε ότι βρίσκεται σε στάδιο ταχείας ψύξεως με ένα από τα νεότερα πάλσαρ στο κέντρο του που περιστρέφεται 15 φορές το δευτερόλεπτο (!).

Εκτενέστερη αναφορά στα πάλσαρ γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο. Για την ιστορία το 3C58 λέγεται πως σχετίζεται με την έκρηξη SuperNova και είναι αυτή που παρατηρήθηκε από Κινέζους και Ιάπωνες αστρονόμους τον Αύγουστο του 1181. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 10,000 έτη φωτός από την γη προς τον αστερισμό της Κασσιόπης (ChandraObservatory).

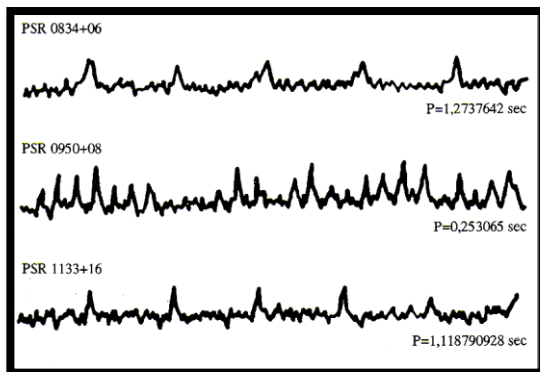


Εικόνα 23: Supernova remnant 3C58, ραδιοτηλεσκόπιο VLA (chandra.harvard.edu).

1.5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΠΑΛΣΑΡ

Όπως φάνηκε από το προηγούμενο υποκεφάλαιο τα πάλσαρ είναι συνδεδεμένα με τα υπολείμματα υπερκαινοφανών και όπως προαναφέρθηκε στο κέντρο του νεφελώματος M1 βρίσκεται ο πάλσαρ του Καρκίνου (γνωστός και ως PSR B0531+21), ένας αστέρας νετρονίων ο οποίος απέμεινε μετά την έκρηξη του αστέρα αφού πρώτα ακολούθησε βαρυτική κατάρρευση λόγω απουσίας πυρηνικών καυσίμων. Έχει διάμετρο 20 περίπου χιλιομέτρων, περιστρέφεται 30 φορές το δευτερόλεπτο. Εκπέμπει σε συχνότητες ορατού φάσματος, καθώς και στις συχνότητες των ακτινών X και γ. Ανακαλύφθηκε το 1968 και ήταν η πρώτη παρατήρηση πάλσαρ σε υπόλειμμα υπερκαινοφανούς, μια θεμελιώδης ανακάλυψη για την εξήγηση του φαινομένου των πάλσαρ ως αστέρων νετρονίων. Η περιγραφή αυτή του πάλσαρ του Καρκίνου μας δίνει και τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ξέρουμε για την δημιουργία και το μέγεθος ενός τυπικού πάλσαρ.

Οι αστέρες νετρονίων δημιουργούνται όταν άστρα με μάζα, μεγαλύτερη από το όριο Chandrasekhar (1,44 ηλιακές μάζες) καταρρεύσουν βαρυτικά αφού έχουν εξαντλήσει τα πυρηνικά καύσιμά τους. Η συρρίκνωση λόγω βαρύτητας συνεχίζεται σε τέτοιες μεγάλες πυκνότητες μέχρι οι πυρήνες των ατόμων σχεδόν να συνενώνονται. Σε αυτή την κατάσταση της ύλης δεν υπάρχει χώρος για τροχιακά ηλεκτρόνια τα οποία διεισδύουν στους πυρήνες, αντιδρούν με τα πρωτόνια και σχηματίζουν νετρόνια και νετρίνα σύμφωνα με την αντίδραση $p^+ + e^- \rightarrow n^0 + \nu$, που περιγράφει την ΑΔΕ την πυρηνική σύντηξη. Τα νετρίνα διαφεύγουν από τον αστέρα και μένουν κυρίως τα νετρόνια από όπου και η ονομασία αυτών των αστρικών πτωμάτων. Η πίεση των νετρονίων συγκρατεί τον αστέρα από περαιτέρω βαρυτική κατάρρευση αποτρέποντας την δημιουργία μαύρης τρύπας που είναι εφικτή όταν το αρχικό άστρο είναι μάζας μεγαλύτερης των 2,5 ηλιακών μαζών(Lyneet. al, 1998).

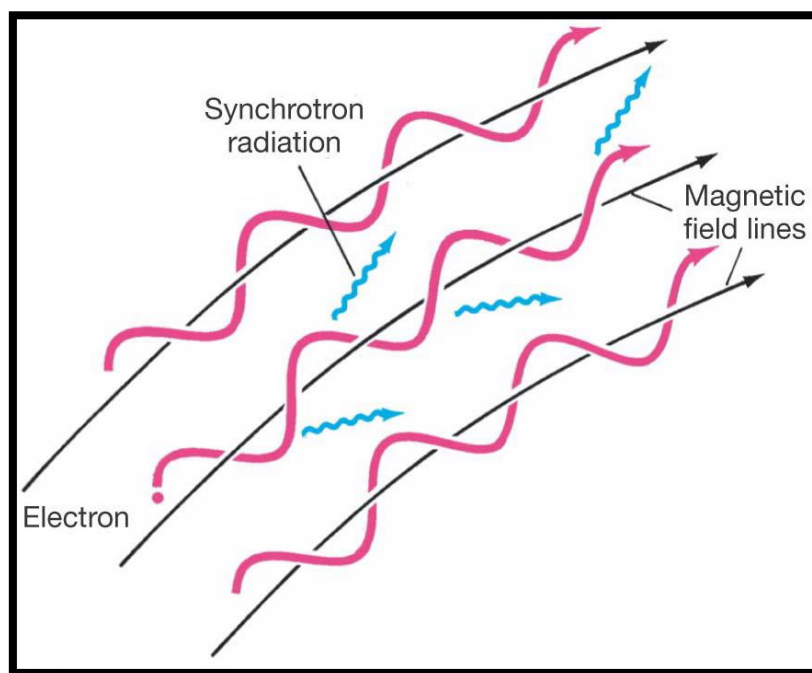


Εικόνα 24: Γενικευμένο σχήμα πάλσαρ. Φαίνεται η δέσμη παλμικής ακτινοβολίας και οι δυναμικές γραμμές του ισχυρού μαγνητικού πεδίου υπό γωνία στον άξονα περιστροφής του. Αριστερά, παλμογράφος τριών διαφορετικών πάλσαρ όπου φαίνεται η περιοδικότητα των παλμών.



Παρότι είναι δύσκολη η παρατήρηση τους, καθώς ευνοείται μόνο όταν η εκπομπή ακτινοβολίας γίνεται σε διεύθυνση που να γίνεται ανιχνεύσιμη, έχουν καταγραφεί περισσότεροι από 400 παλμικοί αστέρες, πάσσαρ μόνο στο δικό μας γαλαξία. Οι περίοδοι εκπομπών τους κυμαίνονται από 1,5 msec μέχρι και 3 sec ενώ Οι παλμοί εκπομπής τους φθάνει από το ένα εκατοστό μέχρι το ένα δέκατο της περιόδου τους. Η συχνότητα εκπομπής τους καλύπτει όλο το φάσμα των μηκών κύματος της ραδιοαστρονομίας και οι μορφές τους ποικίλουν από απλές μέχρι σύνθετες. Η έντονη λαμπρότητα της εκπομπής τους, που τους έχει δώσει το εκλαϊκευμένο προσωνύμιο φάροι του οφείλεται σε ισχυρά μαγνητικά πεδία της τάξεως των εκατοντάδων χιλιάδων έως εκατοντάδων εκατομμυρίων Τσέλα (Lorimer, 2004).

Μία από της ακτινοβολίες που σχετίζεται με τα Pulsar είναι η μη θερμική ακτινοβολία σύγχροτον που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.3.1. Ο μηχανισμός παραγωγής της έχει ως εξής: Ηλεκτρόνια εκτελούν σπειροειδείς κινήσεις γύρω από τις δυναμικές γραμμές του ισχυρού μαγνητικού πεδίου του με αποτέλεσμα την εκπομπή ΗΜ ακτινοβολίας λόγω συνεχόμενης αλλαγής της ταχύτητας τους. Στους μαγνητικούς πόλους τα ηλεκτρόνια έχουν την μέγιστη απώλεια ενέργειας λόγω επιβράδυνσης λόγω της μέγιστης έντασης μαγνητικών γραμμών με αποτέλεσμα η δέσμη ακτινοβολίας να εκπέμπεται από εκεί.



Εικόνα 25: Ο μηχανισμός παραγωγής ακτινοβολίας σύγχροτον. Φαίνεται πως επιταχύνεται συσχετισμένο ηλεκτρόνιο κατά την διεύθυνση μαγνητικών γραμμών του πάσσαρ εκπέμποντας την εν λόγω ακτινοβολία.

2. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η διαχείριση δεδομένων στην ραδιοαστρονομία. Δηλαδή θα περιγραφούν οι διαδικασίες και τα μέσα συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων. Περιγράφοντας την ύλη που καλύπτει το τρέχων κεφάλαιο, δίνεται παράλληλα μια σύνοψη των προ-ηγούμενων εισαγωγικών κεφαλαίων με σκοπό την συσχέτιση τους.

Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν καλύφθηκαν οι βασικές απαραίτητες γνώσεις που αφορούν τον σκοπό της εργασίας. Αναλυτικότερα:

- Δόθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο για της κεραίες και περιεγράφηκαν οι βασικές λειτουργίες και τύποι των ραδιοτηλεσκοπίων και συμβολόμετρων. Είναι πολύ σημαντικά για την συνέχεια καθώς από τα παραπάνω εξαρτάται ο τύπος των δεδομένων που θα εξαχθούν και στην συνέχεια θα υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό να έρθουν στην μορφή που επιθυμεί ο επιστήμονας που θα τα αναλύσει.
- Αναλύθηκε το φυσικομαθηματικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο ώστε να κατανοηθούν οι νόμοι και οι έννοιες που διέπουν τα παραπάνω συστήματα παρατήρησης και την ραδιοαστρονομία γενικότερα. Η ανάλυση τους κρίνεται σημαντική καθώς ουσιαστικά αποτελούν τις παραμέτρους που αποτελούν τα δεδομένα.
- Τέλος, επιγραμματικά συζητήθηκαν οι εφαρμογές της αστρονομίας και επαγωγικά έφτασε η αναλυτικότερη περιγραφή των εφαρμογών που αφορούν την διατριβή, δηλαδή ουσιαστικά η περιγραφή των ραδιοπηγών που δίνουν τα δεδομένα προς συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση.

Επιπλέον και αναλυτικότερα, σε αυτό το κεφάλαιο:

- Αρχικά γίνεται αναφορά στην εξέλιξη της διαχείρισης δεδομένων από τον αστρονόμο, με σκοπό να γίνει κατανοητό, πως η αδιάρρηκτη σχέση της επιστήμης των δεδομένων (DataScience) με την αστρονομία έγινε πραγματικότητα τις τελευταίες δεκαετίες και πως άλλαξε- διευκόλυνε την δουλειά του αστρονόμου.
- Εξηγούνται βασικές έννοιες δεδομένων προετοιμάζοντας τον αναγνώστη για την κατανόηση της διαχείρισης δεδομένων.
- Ακολουθεί περιγραφή των διάφορων μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία δεδομένων ραδιοσυχνοτήτων μαζί με τεχνικές βαθμονόμησης.
- Γίνεται αναφορά στις επιδράσεις του μέσου διάδοσης σε ραδιοσήματα και στην συνέχεια στα δεδομένα καθώς και
- αναφορά στην παρουσία και απαλοιφή του θορύβου.

- Γίνεται αναφορά στα υπολογιστικά συστήματα και λογισμικά πακέτα και τις χρήσεις τους με σκοπούς βαθμονόμησης και απεικόνισης.

2.1. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Σκεφτείτε όλα τα δεδομένα που έχουν συλλέξει οι άνθρωποι κατά τη διάρκεια της μακράς ιστορίας της αστρονομίας, από τις σφηνοειδείς ταμπλέτες της αρχαίας Βαβυλώνας ως τις εικόνες - όπως αυτές του προηγούμενου κεφαλαίου- που τραβήχτηκαν από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Εάν μπορούσαμε να εκφράσουμε όλα αυτά τα δεδομένα ως ένα αριθμό bits, τη θεμελιώδη μας μονάδα πληροφοριών, αυτός ο αριθμός θα ήταν, ασφαλώς, αστρονομικός. Αλλά αυτό δεν είναι όλο: τον επόμενο χρόνο ο αριθμός αυτός θα διπλασιαστεί και το επόμενο έτος θα πολλαπλασιαστεί και ούτω καθεξής.

Υπάρχουν δύο λόγοι που η αστρονομία αντιμετωπίζει αυτή την επιταχυνόμενη έκρηξη δεδομένων. Αρχικά, οφείλεται στην κατασκευή των τηλεσκοπίων που μπορούν να απεικονίσουν τεράστιες μερίδες του ουρανού. Δεύτερον, η ευαισθησία των ανιχνευτών μας υπόκειται στην εκθετική δύναμη του Νόμου του Moore. Αυτό σημαίνει ότι αυτές οι τεράστιες εικόνες είναι όλο και πιο πυκνές με εικονοστοιχεία και μεγαλώνουν και πληθαίνουν ραγδαία. Πολλά Τηλεσκόπια Έρευνας, διαθέτουν ψηφιακή φωτογραφική μηχανή τριών δισεκατομμυρίων pixels. Μέχρι πρότινος, οι δυνατότητές μας για αποθήκευση δεδομένων συνέχισαν να συμβαδίζουν με τη μαζική παραγωγή αυτών των ηλεκτρονικών stargazers.

Οι υπολογιστές έχουν αλλάξει ριζικά τη φύση της αστρονομίας τα τελευταία χρόνια. Κάποια στιγμή οι οπτικοί αστρονόμοι έπρεπε να ταξιδέψουν στην περιοχή ενός παρατηρητηρίου για να προβούν σε παρατηρήσεις. Ο αστρονόμος έπρεπε να προετοιμάσει τις φωτογραφικές του πλάκες κατά τη διάρκεια του απογεύματος, και όταν σκοτεινιάσει θα τοποθετήσει τις πλάκες στο τηλεσκόπιο και να κάθεται για ώρες, καθοδηγώντας προσεκτικά το τηλεσκόπιο, έτσι ώστε το αντικείμενο ενδιαφέροντος να μένει ακριβώς στο κέντρο της πλάκας του. (Η ατμοσφαιρική διάθλαση θα μπορούσε να διαστρεβλώσει τη διαδρομή του φωτός και να μετακινήσει την εικόνα ανάλογα με το μέγεθος που θα είχε το τηλεσκόπιο). Στο τέλος της νύχτας θα έπρεπε να αναπτύξει τις εικόνες σε χημικά λουτρά ελπίζοντας σε αποδεκτό αποτέλεσμα. Μερικές φορές στα μισά του ταξιδιού προς το παρατηρητήριο ήταν πιθανό να έβρισκε στον ουρανό συννεφιά, ή να έχει κακή εικόνα λόγω αναταραχής στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας καταστρέφοντας κάθε ελπίδα για καλές εικόνες. Υπάρχει πάντα ένα ενδεχόμενο ατυχήματος, ένα χτύπημα και θα έχανε το έργο του ή θα το καθυστερούσε υπερβολικά.

Σήμερα είναι πολύ πιο πιθανό να καθίσει στο σπίτι του και να λειτουργήσει το τηλεσκόπιο από απόσταση. Αυτό είναι πολύ βολικό όταν τρέχει παρατηρήσεις σε κάποια μήκη και πλάτη της γης όπως η Χαβάη ή η Αυστραλία, επειδή εργάζεται κατά τη διάρκεια κατά τη διάρκεια της

ημέρας, ενώ το τηλεσκόπιο είναι σε λειτουργία το βράδυ. Στην πραγματικότητα, είναι σαν να μην λειτουργεί καθόλου, καθώς έχει προγραμματιστεί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας του τηλεσκοπίου, κατά το οποίο περιγράφονται οι παρατηρήσεις (οδηγίες τοποθέτησης, χρόνοι έκθεσης, φίλτρα κ.λπ.). Το τηλεσκόπιο είναι προγραμματισμένο από τον υπολογιστή ελέγχου ώστε να πραγματοποιήσει τις εντολές στον απαραίτητο χρόνο. Ο αστρονόμος δεν χρειάζεται να ανησυχεί για τις τεχνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Όλοι οι αισθητήρες σε σχεδόν όλα τα σύγχρονα τηλεσκόπια είναι τώρα ηλεκτρονικοί. Οι φωτογραφικές πλάκες δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν καθόλου (αν και υπάρχουν μερικές περιπτώσεις στις οποίες εξακολουθούν να είναι χρήσιμες). Οι σύγχρονες συσκευές σύνδεσης (CCD) είναι πολύ πιο ευαίσθητες και έχουν το πλεονέκτημα ότι οι εικόνες μεταφέρονται άμεσα σε έναν υπολογιστή και μπορούν να φορτωθούν αμέσως από τον υπολογιστή του παρατηρητή λίγο μετά την ολοκλήρωση της έκθεσης. Έχουν επίσης σχεδιαστεί για να παραμένουν μόνιμα στερεωμένοι στο τηλεσκόπιο και να χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο από κάθε παρατηρητή.

Είναι λοιπόν οι συνθήκες πολύ πιο βολικές και αποτελεσματικές – αλλά ίσως να μην προσφέρουν εκείνη τη ρομαντική εικόνα του αστρονόμου που κάθεται κάτω από τον έναστρο ουρανό μόνος του με συντροφιά μόνο το τηλεσκόπιο. Αυτές τις μέρες μόνο το εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό που σχετίζεται με τα παρατηρητήρια στο θόλο των τηλεσκοπίων μπορούν να έχουν μία γεύση από αυτήν την μαγική εμπειρία.

Στην πραγματικότητα, η διαδικασία έχει προχωρήσει πολύ περισσότερο και τώρα υπάρχουν εντελώς ρομποτικά τηλεσκόπια που σαρώνουν τον ουρανό εκτελώντας αυτόματα μεγάλα προγράμματα παρατήρησης, τα οποία μπορεί, για παράδειγμα, να έχουν ως σκοπό την ανακάλυψη των νέων συμβάντων υπερκαινοφανών ή την παρακολούθηση των προηγούμενων άγνωστων αστεροειδών. Καταγράφουν χιλιάδες εικόνες κάθε βράδυ και κάθε μία συγκρίνεται αυτόματα με τις προηγούμενες αποθηκευμένες εικόνες, προκειμένου να αναζητήσουν τυχόν αλλαγές. Οι αστρονόμοι συμμετέχουν άμεσα μόνο όταν ειδοποιούνται για ένα ασυνήθιστο γεγονός. Πολλά από τα δεδομένα που καταγράφονται καθίστανται διαθέσιμα γρήγορα σε βάσεις δεδομένων όπως αυτές για τις οποίες θα μιλήσουμε σε αυτό το κεφάλαιο. Για την αναζήτηση τεράστιων ποσοτήτων τέτοιων on-line δεδομένων: η αστρονομία ήταν μία από τις πρώτες επιστήμες για να εκμεταλλευτούν πραγματικά την εποχή των «μεγάλων δεδομένων». Στα παρακάτω κεφάλαια θα απαριθμηθούν ερευνητικοί πόροι που είναι διαθέσιμοι στο κοινό.

Τα αστρονομικά δεδομένα είναι και ήταν πάντα "μεγάλα δεδομένα", τα συλλέγουμε κατά συρροή με μεγαλύτερο ρυθμό από το ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να τα επεξεργαστούμε, να τα αναλύσουμε και να το εκμεταλλευόμαστε. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούμε ένα τεράστιο παγκόσμιο απόθεμα που μπορεί να περιέχει ήδη απαντήσεις σε μερικά από τα βασικά ερωτήματα του Σύμπαντος που αναζητούμε.

Μήπως αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να ακυρώσουμε τις επερχόμενες αποστολές και τις κατασκευές των νέων τηλεσκοπίων; Φυσικά και όχι. Αυτό που σημαίνει είναι ότι, ενώ θα

συνεχίσουμε την αναπόφευκτη αλλά και περιορισμένη πρόβλεψη του προϋπολογισμού μας στο μέλλον, πρέπει να μελετάμε ταυτόχρονα και τα δεδομένα που έχουμε ήδη αποκτήσει. Ας λάβουμε υπόψη τις ανθρωπιστικές επιστήμες, όπου η συμμετοχή του κοινού στην ανάλυση των αρχειοθετημένων δεδομένων αυξάνει τη δυνατότητα πραγματικής επιστημονικής ανακάλυψης. Είναι μια φυσική εξέλιξη, δίνοντας στους ανθρώπους με ελεύθερο χρόνο και τους κατάλληλους πόρους την ευκαιρία να προωθήσουν την επιστημονική γνώση.

Ωστόσο, σύντομα αυτό δεν θα είναι αρκετό. Αυτό που χρειαζόμαστε είναι μια νέα φυλή επαγγελματιών, ερευνητών-ανθρακωρύχων που θέλουν να βγάλουν τα χέρια τους σε "παλιά" δεδομένα, με την ικανότητα να εκμεταλλεύονται πιο εύκολα τα αποτελέσματα και τα ευρήματα. Μέχρι στιγμής, η ανθρώπινη επινοητικότητα και η τρέχουσα τεχνολογία έχουν εξασφαλίσει ότι οι δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων έχουν συμβαδίσει με τη μαζική παραγωγή των ηλεκτρονικών stargazers.

Οι μεγαλύτερες προκλήσεις για την αντιμετώπιση μεγάλων σειρών δεδομένων αστρονομικών δεδομένων είναι:

1. Η οπτικοποίηση αστρονομικών συνόλων δεδομένων
2. Η δημιουργία και χρήση αποτελεσματικών αλγορίθμων για την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων.
3. Η αποτελεσματική ανάπτυξη και αλληλεπίδραση με μεγάλες βάσεις δεδομένων.
4. Η χρήση μεθοδολογιών "μηχανικής μάθησης" (machinelearning).

Οι προκλήσεις είναι μοναδικές για τα αστρονομικά δεδομένα και απορρέουν από τα χαρακτηριστικά των μεγάλων δεδομένων. Ο όγκος δεδομένων, η ποικιλία και πολυπλοκότητα δεδομένων και οι πηγές από τις οποίες συλλέγονται σε συνάρτηση με τον ρυθμό ροής δεδομένων και πληροφοριών προσφέρουν μία σειρά από προκλήσεις.

Για να σημειωθεί πρόοδος στο τεράστιο σύνολο δεδομένων, η αστρονομία πρέπει να ενσωματώσει μια νέα εποχή τεχνικών και τεχνολογιών 'εξόρυξης' και ανάλυσης δεδομένων. Αυτά περιλαμβάνουν την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης (artificial Intelligence), της μηχανικής μάθησης (machinelearning), των στατιστικών και των συστημάτων βάσεων δεδομένων (databases), για την εξαγωγή πληροφοριών από ένα σύνολο δεδομένων και τη μετατροπή τους σε κατανοητή δομή για περαιτέρω χρήση.

Τώρα, ενώ πολλοί επιστήμονες βρίσκονται επικεντρωμένοι στην επίλυση αυτών των ζητημάτων, ας αφιερώσουμε μια στιγμή για να αναζητήσουμε τις δύσκολες ερωτήσεις. Για ποιο σκοπό συγκεντρώνουμε όλα αυτά τα νέα δεδομένα; Ποια αξία κερδίζουμε από τη συλλογή; Για το θέμα αυτό, έχουμε μάθει όλα όσα μπορούμε από τα δεδομένα που έχουμε;

Φαίνεται ότι η αστρονομία, έχει πολλά να μάθει από το νέο παιδί της, την επιστήμη των δεδομένων. Ας σκεφτούμε, τι θα συμβεί αν προσπαθούμε να αποκτήσουμε και να

επεξεργαστούμε περισσότερα φωτόνια από τα πιο μακρινά σημεία του σύμπαντος, από όλο και πιο εξωτικές πηγές με ακόμα πιο πολύπλοκα όργανα;

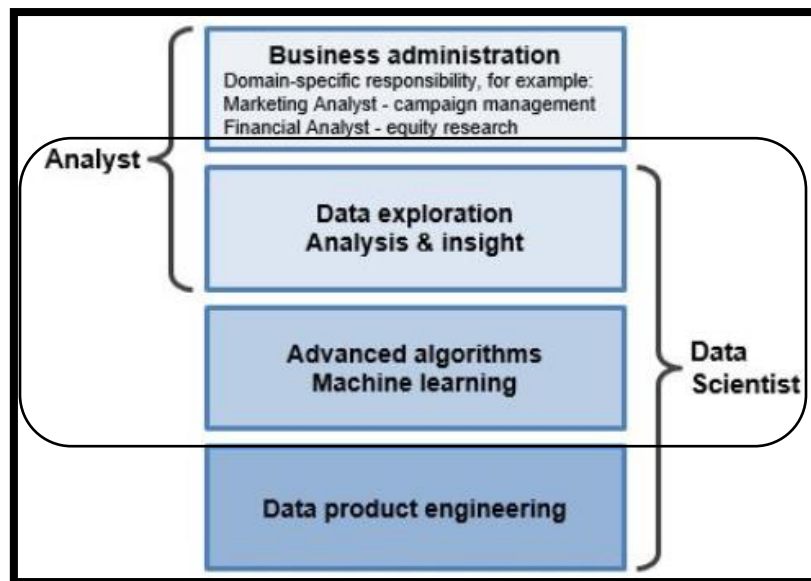
2.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η επιστήμη των δεδομένων γνωστή διεθνώς ως DataScienceείναι ουσιαστικά ένας κλάδος των επιστημών της πληροφορικής που οφείλει την δημιουργία της αρχικά ως διαχείριση δεδομένων (datamanagement) σε κλάδους της επιστήμης στους οποίους η αποθήκευση και διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων ήταν αναπόφευκτη, ενώ η εξέλιξη της οφείλεται στην εξέλιξη της μηχανικής μάθησης (machinelearning) και τεχνητής νοημοσύνης (AI).

Ειδικότερα πρόκειται για έναν διεπιστημονικό κλάδο που δανείζεται μεθοδολογίες από τις στατιστικές επιστήμες και την πληροφορική με στόχο την επεξεργασία πληροφοριών και την εξαγωγή γνώσης σχετικά με κάθε μία από τις γνωστές βασικές επιστήμες.

Πλέον, είναι ξεκάθαρο, ότι θα πρέπει να ξεχωρίζεται η έννοια του DataManagementτου DataAnalysisκαι του DataScience. Αποτελούν σε μεγάλο βαθμό ξεχωριστούς κλάδους καθώς και ξεχωριστούς τίτλους θέσεων εργασίας σε σημείο που κάποιος ειδήμων στον έναν να μην μπορεί απαραίτητα να ασχοληθεί με έναν από τους άλλους. Έτσι, ο "αναλυτής" και ο "επιστήμονας δεδομένων" έχουν κοινές δεξιότητες και κάποιο κοινό εύρος ευθυνών στην εργασία τους.

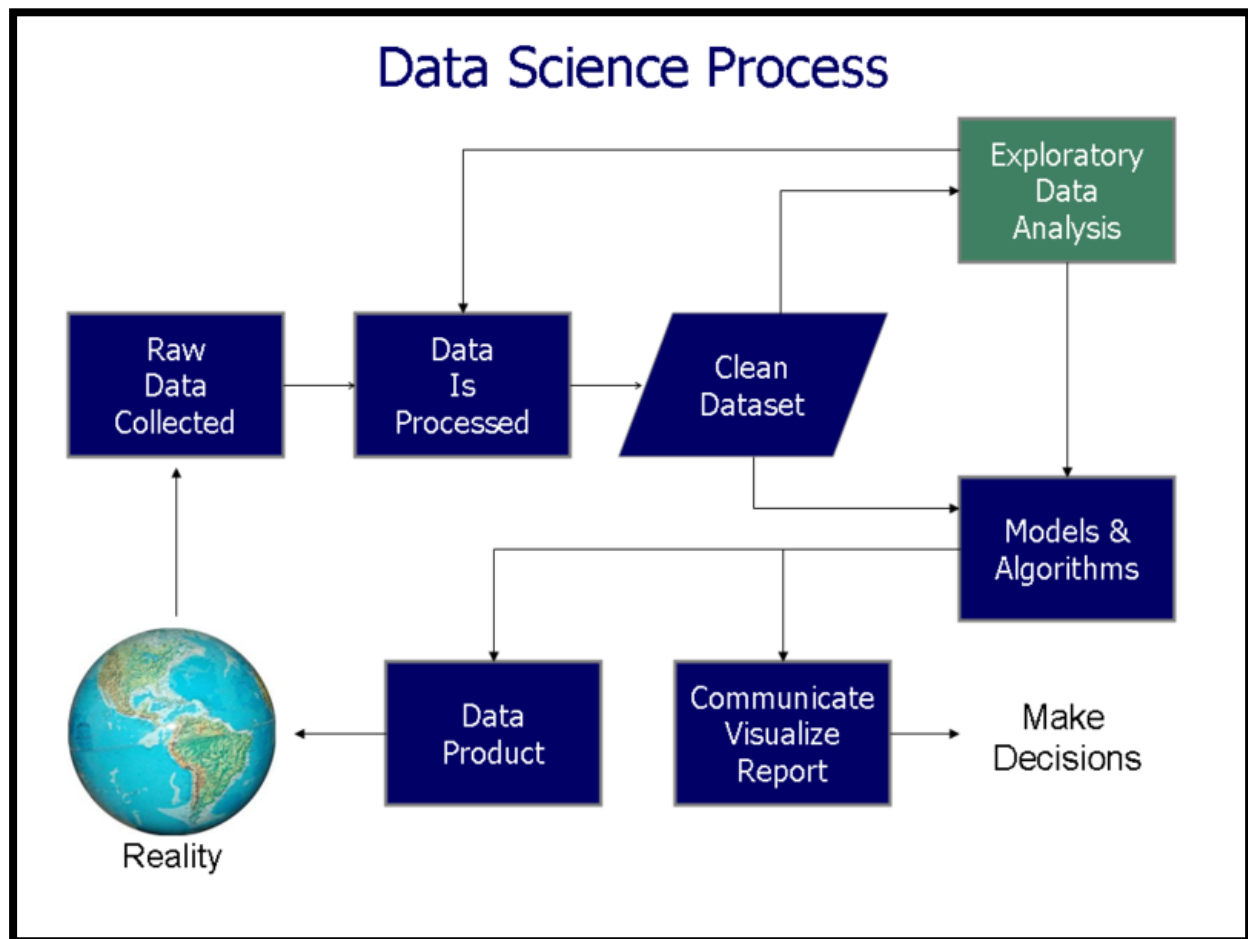
Το παρακάτω σχήμα (εικόνα 26) αντιστοιχώντας επιγραμματικά τους χώρους ενασχόλησης των εν λόγω επιστημόνων διαλευκάνει τις διαφορές και τους κοινούς τόπους των κλάδων που σχετίζονται με τις επιστήμες των δεδομένων και δίνει βήμα για την σύντομη ανάλυση τους.



Εικόνα 26: Απεικόνιση των κλάδων συναφών στις επιστήμες δεδομένων και η σχέση τους με τους αναλυτές και επιστήμονες δεδομένων. Το σύνολο των τεχνικών που σχετίζεται με τους ενδιάμεσους κλάδους είναι αυτοί που απασχολούν την αστρονομία (datajobs.com).

Από το παραπάνω σχήμα (εικόνα 26) η αστρονομία όπως και όλες βασικές επιστήμες σχετίζονται κυρίως με τους δύο ενδιάμεσους χώρους καθώς ο πρώτος καλύπτει περισσότερο το διαχειριστικό και διοικητικό κομμάτι ενώ ο τελευταίος (dataengineering) αποτελεί ένα χώρο γνώριμο μεν για έναν datascientistaλλά σχεδόν ολοκληρωτικά απαγκιστρωμένο από την βασική επιστήμη (στην προκυμμένη περίπτωση την αστρονομία) και καθ' ολοκληρία σχετική με την επιστήμη της πληροφορικής. Είναι δηλαδή ένας χώρος που αρχίζει και τελειώνει με αλγορίθμους, μέσα σε ένα προγραμματιστικό περιβάλλον.

Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 27) απεικονίζεται η ροή των δεδομένων από την συλλογή τους έως την παραγωγή του τελικού προϊόντος- αποτελεσμάτων.



Εικόνα 27: Διερεύνηση ροής δεδομένων της επιστήμης των δεδομένων (O'Neil, 2013).

2.2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η ανάλυση δεδομένων αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση ενός συνόλου στα ξεχωριστά συστατικά του με σκοπό την ατομική τους εξέταση. Η ανάλυση δεδομένων είναι μια διαδικασία για την απόκτηση ανεπεξέργαστων δεδομένων και τη μετατροπή τους σε πληροφορίες χρήσιμες για τη λήψη αποφάσεων από τους ερμηνευτές. Τα δεδομένα συλλέγονται και αναλύονται για να απαντούν σε ερωτήσεις, να δοκιμάζουν υποθέσεις ή να διαψεύδουν θεωρίες (Jude, 1989).

Υπάρχουν διάφορες φάσεις που μπορούν να διακριθούν, όπως περιγράφεται παρακάτω. Οι φάσεις είναι επαναληπτικές, καθώς η ανατροφοδότηση από τις μεταγενέστερες φάσεις μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετη εργασία σε προηγούμενες φάσεις.

Απαιτήσεις δεδομένων

Τα δεδομένα είναι απαραίτητα ως εισροές στην ανάλυση, η οποία καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις εκείνων που κατευθύνουν την ανάλυση (που θα χρησιμοποιήσουν το τελικό προϊόν της ανάλυσης). Ο γενικός τύπος οντότητας επί της οποίας θα συλλέγονται τα δεδομένα αναφέρεται ως πειραματική μονάδα (π.χ. ένα αστέρι ή ένα υπόλειμμα υπερκαινοφανούς).

Συλλογή δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέγονται από διάφορες πηγές. Οι απαιτήσεις μπορούν να κοινοποιούνται από τους αναλυτές στους θεματοφύλακες των δεδομένων, όπως το προσωπικό της τεχνολογίας της πληροφορίας διεθνώς γνωστοί ως (IT). Τα δεδομένα μπορούν επίσης να συλλέγονται από αισθητήρες στο περιβάλλον, όπως κάμερες, δορυφόρους, συσκευές εγγραφής κλπ. Μπορεί επίσης, όπως για παράδειγμα στις κοινωνικές επιστήμες, να ληφθεί μέσω συνεντεύξεων ή λήψεων από πηγές σε απευθείας (O'Neil, 2013).

Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία δεδομένων είναι αυτή που θα μας απασχολήσει περισσότερο στην συγκεκριμένη μελέτη. Τα δεδομένα που ελήφθησαν αρχικά πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία ή να οργανωθούν για ανάλυση. Για παράδειγμα, αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την τοποθέτηση δεδομένων σε σειρές και στήλες σε μορφή πίνακα (δομημένα δεδομένα) για περαιτέρω ανάλυση, όπως σε ένα υπολογιστικό φύλλο ή σε ένα στατιστικό λογισμικό.

Καθαρισμός δεδομένων

Το στάδιο του 'καθαρισμού δεδομένων' (datacleaning) ουσιαστικά δεν είναι αναπόσπαστο της επεξεργασίας δεδομένων (dataprocessing), αλλά αποτελεί μια διαδικασία με σαφείς στόχους και τεχνικές οπότε ο διαχωρισμός τους κρίνεται λογικός. Αν λοιπόν τις θεωρήσουμε διαφορετικές διαδικασίες, αφού γίνει επεξεργασία και οργάνωση, τα δεδομένα ενδέχεται να είναι ελλιπή, να περιέχουν επαναλήψεις ή να περιέχουν σφάλματα. Η ανάγκη για τον καθαρισμό των δεδομένων θα προκύψει από προβλήματα με τον τρόπο εισαγωγής και αποθήκευσης δεδομένων. Ο καθαρισμός δεδομένων είναι η διαδικασία πρόληψης και διόρθωσης αυτών των σφαλμάτων. Οι συνήθεις εργασίες περιλαμβάνουν την αντιστοίχιση, τον εντοπισμό της ανακρίβειας των δεδομένων και τη συνολική ποιότητα των υφιστάμενων δεδομένων. Τέτοια προβλήματα δεδομένων μπορούν επίσης να εντοπιστούν μέσω μιας ποικιλίας αναλυτικών τεχνικών.

Διερευνητική ανάλυση δεδομένων

Μόλις καθαριστούν τα δεδομένα, είναι έτοιμα για ανάλυση. Οι αναλυτές μπορούν να εφαρμόσουν μια ποικιλία τεχνικών που αναφέρονται ως ανάλυση διερευνητικών δεδομένων για να αρχίσουν να κατανοούν τα μηνύματα που περιέχονται στα δεδομένα. Η διαδικασία εξερεύνησης μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετο καθαρισμό δεδομένων ή πρόσθετα αιτήματα για δεδομένα, επομένως αυτές οι δραστηριότητες ενδέχεται να έχουν επαναληπτικό χαρακτήρα. Η οπτικοποίηση(visualization) των δεδομένων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση των δεδομένων σε γραφική μορφή, για να αποκτηθούν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα μηνύματα μέσα στα δεδομένα (O'Neil, 2013).

Μοντελοποίηση και αλγόριθμοι

Μαθηματικοί τύποι ή μοντέλα που ονομάζονται αλγόριθμοι μπορούν να εφαρμοστούν στα δεδομένα για τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, όπως η συσχέτιση ή η αιτιώδης συνάφεια.

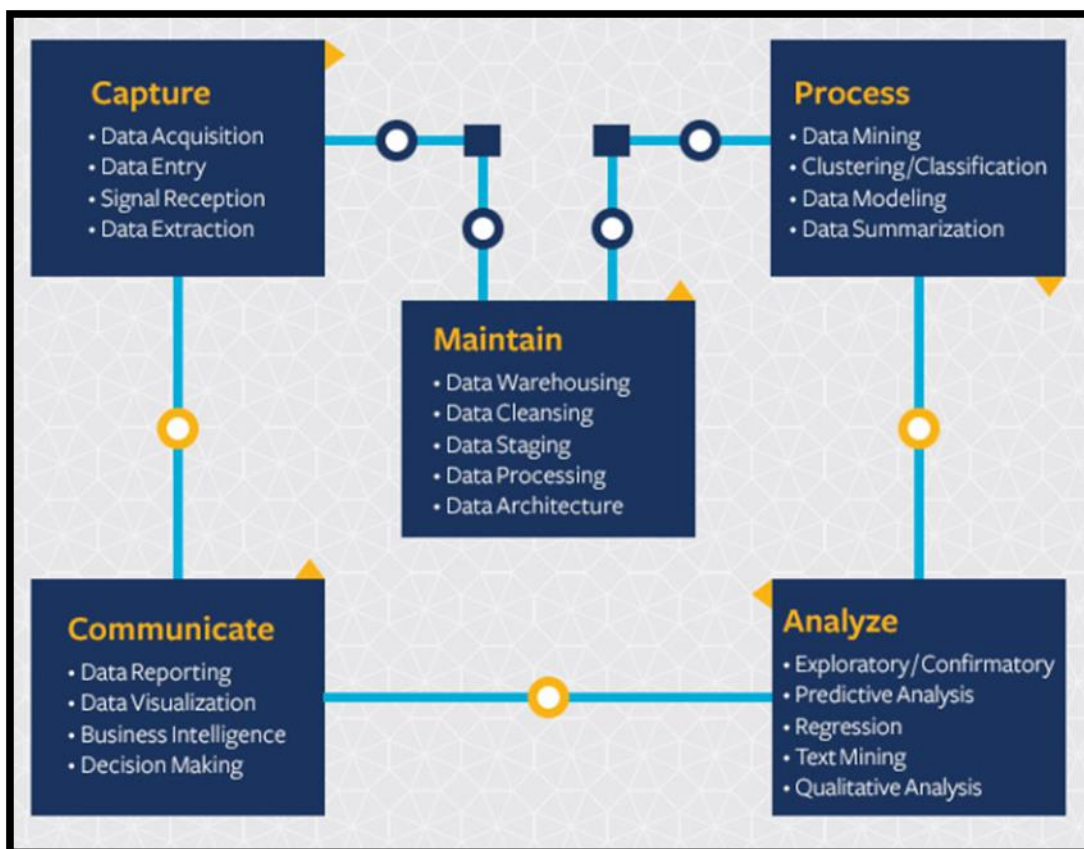
Προϊόν δεδομένων και η επικοινωνία τους

Ένα προϊόν δεδομένων είναι μια εφαρμογή υπολογιστή που λαμβάνει δεδομένα εισόδου και παράγει αποτελέσματα και μπορεί να τα επανατροφοδοτεί στο περιβάλλον. Μπορεί να βασίζεται σε μοντέλο ή αλγόριθμο.

Όταν καθορίζεται ο τρόπος επικοινωνίας των αποτελεσμάτων, ο αναλυτής μπορεί να εξετάσει τεχνικές οπτικοποίησης δεδομένων για να βοηθήσει σαφώς και αποτελεσματικά την επικοινωνία του μηνύματος στο κοινό. Η οπτικοποίηση δεδομένων χρησιμοποιεί φωτογραφίες, πίνακες και γραφήματα για την επικοινωνία των βασικών μηνυμάτων που περιέχονται στα δεδομένα.

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 28) συνοψίζονται και συσχετίζονται τα πέντε στάδια του κύκλου ζωής της επιστήμης των δεδομένων: Απόκτηση (συλλογή δεδομένων, καταχώρηση δεδομένων, λήψη σήματος, εξαγωγή δεδομένων). Διατήρηση (αποθήκευση δεδομένων, καθαρισμός δεδομένων, επεξεργασία δεδομένων, αρχιτεκτονική δεδομένων). Διαχείριση

(εξόρυξη δεδομένων, ομαδοποίηση, μοντελοποίηση δεδομένων). Ανάλυση (διερευνητική / επι-βεβαιωτική, προγνωστική ανάλυση, ποιοτική ανάλυση). Επικοινωνία (αναφορά δεδομένων, οπτικοποίηση δεδομένων, επιχειρηματική δραστηριότητα, λήψη αποφάσεων).



Εικόνα 28: Τα πέντε στάδια του κύκλου ζωής της επιστήμης των δεδομένων και οι διαδικασίες που περιλαμβάνουν.

2.2.2. ΠΡΟΗΓΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Πρόκειται για έναν ακόμη κλάδο της πληροφορικής και της επιστήμης των δεδομένων η οποία έχει γίνει κομμάτι της αστρονομίας όπως και σχεδόν κάθε επιστήμης. Η προσφορά του σε αυτά που εξηγήθηκαν επιγραμματικά παραπάνω είναι καταλυτική τόσο στην συλλογή όσο και στην επεξεργασία δεδομένων. Πως; Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής που

συμβαίνει διαρκώς είναι συσκευές που συλλογής δεδομένων (πχ τηλεσκόπια, ραντάρ, γεώφωνα), οι οποίες είναι φυσικά συνδεδεμένες σε κεντρική μονάδα υπολογιστών, αλλάζουν τον τρόπο και ή/και τις παραμέτρους λήψης δεδομένων εξολοκλήρου βασιζόμενες στα χαρακτηριστικά ή ακόμη και την μεταβολή των χαρακτηριστικών των δεδομένων των οποίων συλλέγουν.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η μηχανική μάθηση είναι ένας όρος στενά συνδεδεμένος με την επιστήμη των δεδομένων. Αναφέρεται σε μια ευρεία τάξη μεθόδων που περιστρέφονται γύρω από τη μοντελοποίηση δεδομένων και πραγματοποιούν προβλέψεις και αλγοριθμικά αποκωδικοποιούν πρότυπα στα δεδομένα. Έτσι, σε κάθε στάδιο, κάποιες συσκευές που έχουν αυτού του είδους την τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να ομαδοποιούν δεδομένα, να ανακαλύπτουν μοτίβα μέσα στα δεδομένα, να κατασκευάζουν μοντέλα κατάρτισης, να εκτιμούν πιθανότητες και λειτουργούν ανάλογα κατά τον βέλτιστο ή προκαθορισμένα προτιμητέο τρόπο.

2.3. ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εξόρυξη δεδομένων (DataMining) έχει μεγάλη σημασία στην εποχή των μεγάλων δεδομένων. Βοηθά τους ερευνητές να ανακαλύψουν αποτελεσματικά τις πληροφορίες που είναι χρήσιμες από τα μεγάλα ποσά δεδομένων που αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων και άλλα αποθετήρια πληροφοριών για τη διαχείριση δεδομένων, ανάλυση και υποστήριξη αποφάσεων. Ανάλογα με τον τύπο των εξορύξεων, τα καθήκοντα εξόρυξης δεδομένων αποτελούνται κυρίως από σύνοψη, ταξινόμηση, παλινδρόμηση, ομαδοποίηση, συσχέτιση, ανάλυση χρονοσειρών και απόκλιση / ανωμαλία ανίχνευση (Ball, & Brunner, 2010; Zhang&Zhao, 2011).

Ο Πίνακας 2 δείχνει τις προσεγγίσεις και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην αστρονομία για την εκτέλεση σημαντικών εργασιών εξόρυξης δεδομένων. Μεγαλύτερες κλίμακες, βαθύτερες έρευνες σε πολλά μήκη κύματος κλπ. του ουρανού οδηγούν σε αύξηση των διαστάσεων των αστρονομικών δεδομένων, ενώ τα δεδομένα μεγάλης διαστάσεως προκαλούν την ανεπάρκεια πολλών αλγορίθμων. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των προσεγγίσεων εξόρυξης δεδομένων, η επιλογή / εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη κατά την προετοιμασία των δεδομένων. Η επιλογή των χαρακτηριστικών προτιμάται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών επειδή η πρώτος διατηρεί τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων ενώ η τελευταία δεν λαμβάνει υπόψιν την έννοια και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

Πίνακας 3: Οι προσεγγίσεις και μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην αστρονομία για την εκτέλεση εξόρυξης δεδομένων.

Data Mining Tasks	Applied Approaches	Applications in Astronomy
Classification	Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM), Learning Vector Quantization (LVQ),	Known knowns: <ul style="list-style-type: none"> - Spectral-classification (stars, galaxies, quasars, supernovae) - Photometric classification (stars & galaxies, quasars, supernovae) - Morphological classification of galaxies

	Decision Trees, Random Forest, K-Nearest Neighbors, Bayesian Networks, Radial Basis Function Network, Gaussian Process, AD Tree.	- Solar activity
Regression	ANN, SVR, Decision Trees, Random Forest, Kernel Regression, Principal Components Reg. (PCR), Gaussian Process, Least Squared Regression, Partial Least Squares	Know unknowns - Photometric-Redshifts (galaxies, quasars) - StellarPhysicalParameterMeasurements ($[Fe/H]$, Teff, logG)
Clustering	PCA, DBScan, K-means, Optics, Cobweb, SOM, Expectation Maximization, Hierarchical Clustering, AutoClass, GMM.	Unknown unknowns - Classifications - Special/ rare object and/or event detections.
Outlier Detection or Anomaly detection	PCA, K-means, Expectation Maximization, Hierarchical Clustering, One-Class SVM	Unknown unknowns - Special/ rare object or event detections.
Time Series Analysis	Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM), Random Forest	Known unknowns - Novel detection - Trend Prediction

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει ορισμένες συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους επιλογής / εξαγωγής χαρακτηριστικών (feature selection/ extraction).

Πίνακας 4: Μέθοδοι επιλογής και εξαγωγής χαρακτηριστικών και οι εφαρμογές τους στην αστρονομία.

Feature selection/ extraction	Applied approaches	Applications in Astronomy
-------------------------------	--------------------	---------------------------

<p>Feature Selection</p>	<p>Best First, Exhaustive Search Greedy Stepwise Random Search Rank Search Genetic Search Random Forest ReliefF Fisher filtering καιάλλα.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reducing dimension - Choose effective features
<p>Feature Extraction</p>	<p>PCA, ICA Linear Discriminant analysis Latent Semantic Index (LSI) Singular Value Decomposition Multidimensional Scaling (MDS) Partial Least Squares (PLS) Locally Linear Embedding (LLE) ISOMAP Factor Analysis Kernel LDA/ PCA/ PLS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Noise reduction/ removal - Reducing dimension

Για την αντιμετώπιση ειδικών αστρονομικών προβλημάτων, οι αστρονόμοι έχουν αναπτύξει πολλά εργαλεία. Από την άποψη της εξόρυξης δεδομένων, η φωτομετρική μέτρηση 'redshift' γαλαξιών ή κβάζαρ είναι μια εργασία παλινδρόμησης. Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλά είδη εργαλείων ή διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για την φωτομετρική εκτίμηση της μετατόπισης στο ερυθρό (redshift). Ο κώδικας BayesianPhotometricRedshift (BPZ) εφαρμόζει τη Bayesian μέθοδο για την εκτίμηση της φωτο-z, που περιγράφεται από τον Benítez (2000). Ο Hyperz είναι ένας δημόσιος φωτομετρικός κωδικός redshift που βασίζεται σε τυπικές διαδικασίες προσαρμογής SED, δηλαδή, συγκρίνοντας τα παρατηρούμενα μεγέθη με αυτά που αναμένονται από τη χρήση ενός προτύπου SpectralEnergyDistributions (Bolzonella et al., 2000). Το ANNz είναι ένα ελεύθερα διαθέσιμο πακέτο λογισμικού για φωτο-z εκτίμηση χρησιμοποιώντας Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Collister & Lahav, 2004). Λαμβάνει τη σχέση μεταξύ φωτομετρία και redshift από ένα κατάλληλο σετ εκπαίδευσης των γαλαξιών με γνωστά φασματοσκοπικά redshifts. Η ZEBRA, η εξωγαλακτική Bayesian Redshift Analysis της Ζυρίχης, συνδυάζει και επεκτείνει αρκετές από τις κλασικές προσεγγίσεις για να παράγει ακριβείς φωτομετρικές κόκκινες μετατοπίσεις έως ελαφρές μάζες (Feldmann et al., 2006).

2.4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Σε αυτό το μέρος θα γίνει αναφορά στα γνωστότερα, στον κόσμο της αστρονομίας, λογισμικά πακέτα και στις χρήσεις τους. Έτσι ο αναγνώστης θα έχει την ευκαιρία να τα γνωρίσει και να κατανοήσει το εύρος και την ποικιλία τους που οφείλεται κυρίως στις δυνατότητες, εξειδίκευση και την πλεονεκτήματα η μειονεκτήματα που παρουσιάζουν σε αναλογία με τις διαφορετικές τους λειτουργίες. Να σημειωθεί ο αυξανόμενος αριθμός πακέτων λογισμικού ότι κύριες διαφορές πολλές φορές σχετίζονται με απολύτως τεχνικά χαρακτηριστικά όπως το μέσο που παρείχε τα δεδομένα και με το περιβάλλον εργασίας χρήστη.

Fitsplode

Το Fitsplode είναι ένα απλό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων φασματικής γραμμής που είναι αποθηκευμένα σε δυαδικούς πίνακες FITS. Λειτουργεί για τα αρχικά δεδομένα του Effelsberg σε μορφή MBFITS και τα ακατέργαστα δεδομένα του Arecibo σε μορφή CIMA FITS.

MeqTrees

Το MeqTrees είναι ένα πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή εξισώσεων μέτρησης. Αυτό το καθιστά μοναδικό και κατάλληλο για προσομοίωση και βαθμονόμηση των ραδιοαστρονομικών δεδομένων, ειδικά εκείνων που αφορούν νέα ραδιοτηλεσκόπια.

Obit

Το Obit είναι ουσιαστικά μια ομάδα πακέτων λογισμικού για το χειρισμό δεδομένων ραδιοαστρονομίας, χρησιμοποιείται ειδικά στη συμβολομετρία και την απεικόνιση OTF με έναν δέκτη.

AIPS και AIPS++

Η ονομασία είναι αρκτικόλεξο που για την φράση AstronomicalImageProcessingSystem δηλαδή Αστρονομικό Σύστημα Επεξεργασίας Εικόνας.

XS

Αναπτύχθηκε από τον Per Bergman στο OnsalaObservatorySpace για τους δορυφόρους 20m, 25m και Odin.

GIPSY

Σύστημα επεξεργασίας εικόνας Groningen, το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά για το WesterborkSynthesisTelescope, και όπως πολλά από τα λογισμικά εξελίχθηκε και παραμετροποιήθηκε ώστε να είναι τώρα ικανό να χειριστεί διάφορα όργανα.

DEAP

Πρόγραμμα Εξαγωγής και Ανάλυσης Δεδομένων, βασισμένο σε Python και PGPlot, που αναπτύχθηκε από την NRAO για το GBT. Το λογισμικό αυτό έχει πλέον αντικατασταθεί από πιο σύγχρονα και χρησιμοποιείται σπανιότερα.

ASAP

Πρόκειται για πακέτο φασματικής ανάλυσης (SpectralAnalysis), που αναπτύχθηκε στο ATNF για τηλεσκοπία με ένα πιάτο, μονής κατεύθυνσης, ειδικά για όργανα ATNF. Προορίζεται ως αντικαταστάτης του πακέτου SPC.

MIRIAD

Ιδανικό για αναπαράσταση πολυκαναλικών εικόνων, ανάλυση εικόνας εμφάνιση εικόνας, που αναπτύχθηκε για τη συστοιχία BIMA.

SpecX

Πακέτο που εξειδικεύεται στην μείωση παλμικής φασματικής γραμμής χιλιοστών κύματος που αναπτύχθηκε για το JamesClerkMaxwellTelescope.

SPLAT

Άλλο ένα πακέτο φασματικής ανάλυσης. Το SPLAT είναι ένα γραφικό εργαλείο για την εμφάνιση, τη σύγκριση, την τροποποίηση και την ανάλυση των αστρονομικών φάσεων που είναι αποθηκευμένα σε αρχεία NDF, FITS και TEXT καθώς και στη νέα μορφή NDX. Το SPLAT αποτελεί μέρος της συλλογής STARJAVA και είναι ενσωματωμένο στο VirtualAstroGrid του Παρατηρητηρίου.

Pleinpot

Ένα περιβάλλον σχεδιασμένο για μείωση και ανάλυση αστρονομικών δεδομένων που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Lyon στην Γαλλία.

Κατά καιρούς ήταν γνωστά πολλά πακέτα ανάλυσης δεδομένων όπως τα CASA, GILDAS, CLASS, τα οποία είναι παρόμοια με τα παραπάνω αλλά δεν κρίνεται αναγκαία η περεταίρω ανάλυση τους.

Τα παραπάνω είναι κάποια από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα πακέτα για την ανάλυση και διαχείριση δεδομένων αστρονομίας. Όπως γίνεται κατανοητό από την ποικιλία των πακέτων και τις χρήσεις τους κάποια από αυτά είναι για ευρύτερες χρήσεις και είναι πολυεργαλεία όπως για παράδειγμα το PulsarAstronomy που καλύπτει διάφορες αναλύσεις σχετικά με τα Pulsar, ενώ κάποια άλλα παρουσιάζουν περιορισμένες έως καθόλου δυνατότητες όσον αφορά ορισμένες λειτουργίες αλλά αποτελούν μοναδική λύση για συγκεκριμένες αναλύσεις. Όπως για παράδειγμα το IRAF που χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες εφαρμογές υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Στην περίπτωση που κάποιος θέλει να εμβαθύνει σχετικά με κάποιο από τα παραπάνω πακέτα λογισμικού ή να ενημερωθεί για ακόμη περισσότερα μέσω της βιβλιογραφίας παραπέμπεται στο AustraliaTelescopeNationalFacility (ATNF) που αποτελεί και την κύρια πηγή των παραπάνω πληροφοριών.

2.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην διαχείριση δεδομένων ένα βασικό σύνολο εργασιών που βασικά προηγείται της ανάλυσης είναι η επεξεργασία. Φυσικά όπως σημειώθηκε δεν αποκλείεται η επεξεργασία και πριν την περάτωση της ερμηνεία αν προκύψει ανάγκη από αυτή. Το σύνολο αυτών των εργασιών περιλαμβάνει στατιστικές αναλύσεις, απαλοιφές θορύβων, εστίαση σε συγκεκριμένα στοιχεία των δεδομένων και άλλα. Τα λογισμικά και υπολογιστικά περιβάλλοντα που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζουν πολύ απλούστερα περιβάλλοντα εργασίας με λιγότερες εντολές καθώς ο χρήστης είναι αυτός που ουσιαστικά φτιάχνει τον κώδικα εντολών που θα ακολουθηθούν ώστε να πραγματοποιηθούν οι επιθυμητές διεργασίες. Σε αυτή την περίπτωση η δυσκολία έγκειται στην δημιουργία του κώδικα και οι απαιτούμενες γνώσεις και δεξιότητες δεν αφορούν τόσο την χρήση του λογισμικού και της επιστήμης με την οποία σχετίζονται τα δεδομένα αλλά τις προγραμματιστικές ικανότητες και την γνώση της γλώσσας η οποία χρησιμοποιείται. Στην ουσία πρόκειται για μία διεπαφή κατά την οποία το περιβάλλον αυτό ή το πρόγραμμα επιτρέπει σε έναν χρήστη να επικοινωνεί με έναν υπολογιστή ή ένα λογισμικό.

Παρακάτω σημειώνονται και περιγράφονται τα γνωστότερα περιβάλλοντα και γλώσσες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία δεδομένων.

Python

Η Python είναι η δημοφιλέστερη αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού η οποία όταν συνδυάζεται με μια σειρά πρόσθετων πακέτων, γίνεται ένα εξαιρετικά ισχυρό περιβάλλον χειραγώγησης δεδομένων για την αστρονομία. Χρησιμοποιείται συνήθως μαζί με iPython και SciPy συμπεριλαμβανομένων των NumPy και matplotlib, και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα PyEphem και PyFITS. Επίσης σε συγκεκριμένες περιπτώσεις στην αστρονομία χρησιμοποιούνται το PySpecKit και το astLib. Πρόκειται για συστήματα που στον κόσμο των προγραμματιστών ονομάζονται βιβλιοθήκες οι οποίες περιέχουν ενότητες που δίνουν 'λύνουν' διάφορες διαδικασίες όπως βελτιστοποίηση, άλγεβρα, και άλλες ειδικές λειτουργίες όπως, επεξεργασία σήματος και εικόνας και άλλες λειτουργίες κοινές στην επιστήμη και τη μηχανική (Scipy.org, Python.org).

IDL

Πρόκειται για αρκτικόλεξο για τη φράση Interactive DataLanguage. Είναι μια γλώσσα προγραμματισμού η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων. Είναι δημοφιλής σε συγκεκριμένους τομείς της επιστήμης, όπως η αστρονομία, η ατμοσφαιρική φυσική και η ιατρική απεικόνιση. Η IDL μοιράζεται μια κοινή σύνταξη με το PV-Wave και προέρχεται από τον ίδιο κώδικα, αν και οι γλώσσες αποκλίνουν στη συνέχεια λεπτομερώς. Υπάρχουν επίσης δύο δωρεάν εφαρμογές (opensource), η γλώσσα δεδομένων GNU (GDL) και η γλώσσα Fawltly (FL).

PerlDL

PerlDataLanguage δίνει την τυπική απλή γλώσσα Perl την ικανότητα να αποθηκεύει συμπαγώς και να χειρίζεται γρήγορα τις μεγάλες σειρές δεδομένων n-διαστάσεων.

MatLab

Πολλοί την αποκαλούν ως τη γλώσσα της τεχνικής πληροφορικής. Το MATLAB είναι στην πραγματικότητα ένα αριθμητικό υπολογιστικό περιβάλλον πολλαπλών υποδειγμάτων και ιδιόκτητη γλώσσα προγραμματισμού που αναπτύχθηκε από την MathWorks. Επιτρέπει χειρισμούς σε μήτρα, σχεδίαση λειτουργιών και δεδομένων, υλοποίηση αλγορίθμων, δημιουργία διεπαφών χρήστη και διασύνδεση με προγράμματα γραμμένα σε άλλες γλώσσες, όπως C, C ++, Java, Fortran και Python. Παρόλο που το MATLAB προορίζεται κυρίως για αριθμητική υπολογιστική, μια προαιρετική εργαλειοθήκη χρησιμοποιεί το συμβολικό μηχανισμό MuPAD, επιτρέποντας την πρόσβαση σε συμβολικές υπολογιστικές ικανότητες. Ένα πρόσθετο πακέτο, η Simulink, προσθέτει γραφική προσομοίωση πολλαπλών τομέων και σχεδιασμό με βάση το μοντέλο για δυναμικά και ενσωματωμένα συστήματα. Χρησιμοποιείτε εκτενώς από κάθε είδους επιστήμη, οικονομολόγους και μηχανικούς μετρώντας αρκετά εκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως (mathworks.com).

GNU Octave

GNU Octave "παρέχει μια βολική διασύνδεση γραμμής εντολών για την επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών προβλημάτων αριθμητικά και για την εκτέλεση άλλων αριθμητικών πειραμάτων χρησιμοποιώντας μια γλώσσα που είναι ως επί το πλείστον συμβατή με το Matlab.

MathCAD

Η μοναδική οπτική μορφή Mathcad και η διασύνδεση scratchpad ενσωματώνουν τυπική μαθηματική μνεία, κείμενο και γραφήματα σε ένα φύλλο εργασίας. Το Mathcad είναι

λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή προοριζόμενο κυρίως για την επαλήθευση, επικύρωση, τεκμηρίωση και επαναχρησιμοποίηση υπολογιστικών μηχανικών (ptc.com).

Mathematica

Το Mathematica είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την ροή εργασιών, συνοχή, και αξιοπιστία. Το WolframMathematica είναι ένα σύγχρονο τεχνικό υπολογιστικό σύστημα που καλύπτει τους περισσότερους τομείς της τεχνικής πληροφορικής - συμπεριλαμβανομένων των νευρωνικών δικτύων, της μηχανικής μάθησης, της επεξεργασίας εικόνας, της γεωμετρίας, της επιστήμης των δεδομένων, των απεικονίσεων και πολλών άλλων. Η γλώσσα προγραμματισμού Wolfram είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται στο Mathematica (wolfram.com).

SciLab

Το Scilab είναι ένα ελεύθερο υπολογιστικό πακέτο ανοικτού κώδικα, πολλαπλών πλατφορμών και μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία σήματος, στατιστική ανάλυση, ενίσχυση εικόνων, αριθμητική βελτιστοποίηση και μοντελοποίηση. Το Scilab είναι μία από τις δύο μεγαλύτερες εναλλακτικές λύσεις ανοιχτής πηγής στη MATLAB, η άλλη είναι το GNU Octave (scilab.org).

3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

Το δύσκολο κομμάτι αυτής της διατριβής είναι να ξεχωριστούν και να κατηγοριοποιηθούν τα λογισμικά και οι μέθοδοι που σχετίζονται με τις επιστήμες των δεδομένων στις αντίστοιχες κατηγορίες, δηλαδή datamining, management και processing. Η δυσκολία έγκειται στην συνάφια και στους κοινούς τόπους των παραπάνω υποκλάδων του datascience. Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αυτή η προσπάθεια με σαφήνεια και διατηρώντας αυτές τις πληροφορίες ξεκάθαρες και ως γνώση πλέον, θα δούμε εκτενέστερα την πορεία ενός πακέτου δεδομένων (dataset) όπως περιγράφεται στην εικόνα 27 του προηγούμενου κεφαλαίου. Καθώς κρίνεται περιττό να ασχοληθούμε με ένα συγκεκριμένο dataset, παρότι θα μας δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα της πορείας των διαδικασιών διαδοχικά, θα μελετήσουμε αποσπασματικά διαφορετικές περιπτώσεις των διαδοχικών σταδίων με στόχο να δούμε το κάθε στάδιο της πορείας του πακέτου δεδομένων από μία αντιπροσωπευτική οπτική, όσον αφορά την συχνότητα χρήσης τους στην πραγματικότητα.

Όπως εκτενώς αναφέρθηκε στο περασμένο κεφάλαιο, τα επιστημονικά δεδομένα έχουν διττή δομή. Τα ακατέργαστα δεδομένα είναι κατά κύριο λόγο πολυδιάστατες συστοιχίες ή αλληλουχίες ενώ τα μεταδεδομένα και τα παράγωγα δεδομένα αντιπροσωπεύονται καλύτερα ως μη συμφωνημένες σχέσεις. Η επεξεργασία των επιστημονικών δεδομένων απαιτεί πολύπλοκες λειτουργίες μέσω συστοιχιών και σχέσεων. Αυτές οι πράξεις δεν μπορούν να εκφραστούν χρησιμοποιώντας μόνο τυπικούς χειριστές γραμμικής και σχεσιακής άλγεβρας, αντίστοιχα. Τα υπάρχοντα συστήματα επεξεργασίας επιστημονικών δεδομένων σχεδιάζονται για ένα ενιαίο μοντέλο δεδομένων και χειρίζονται την περίπλοκη επεξεργασία στο επίπεδο εφαρμογής τους.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει αναφορά σε δύο τύπους δεδομένων που αφορούν την ραδιοαστρονομία και μέσα από παραδείγματα θα πάρουμε μια γεύση από μεθόδους που χρησιμοποιούνται καθώς και από την δουλειά του επιστήμονα που ασχολείται με την διαχείριση τέτοιων δεδομένων.

3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΣΤΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ

Η αστροφωτογραφία αποτελεί τον πιο γνωστό στο ευρύ κοινό τύπο δεδομένου αστρονομίας. Σαν δεδομένο δεν σχετίζεται με την ραδιοαστρονομία, όσον αφορά την φύση του καθώς πρόκειται ουσιαστικά για συλλογή φωτονίων, δηλαδή ήλεκτρο-μαγνητικής ακτινοβολίας και όχι ραδιοκυμάτων. Παρόλα αυτά, η παρουσίαση των δεδομένων αστροφωτογραφίας στο κεφάλαιο 3.1. κρίνεται εξαιρετικής σημασίας για πάρα πολλούς λόγους, μερικοί από αυτούς είναι:

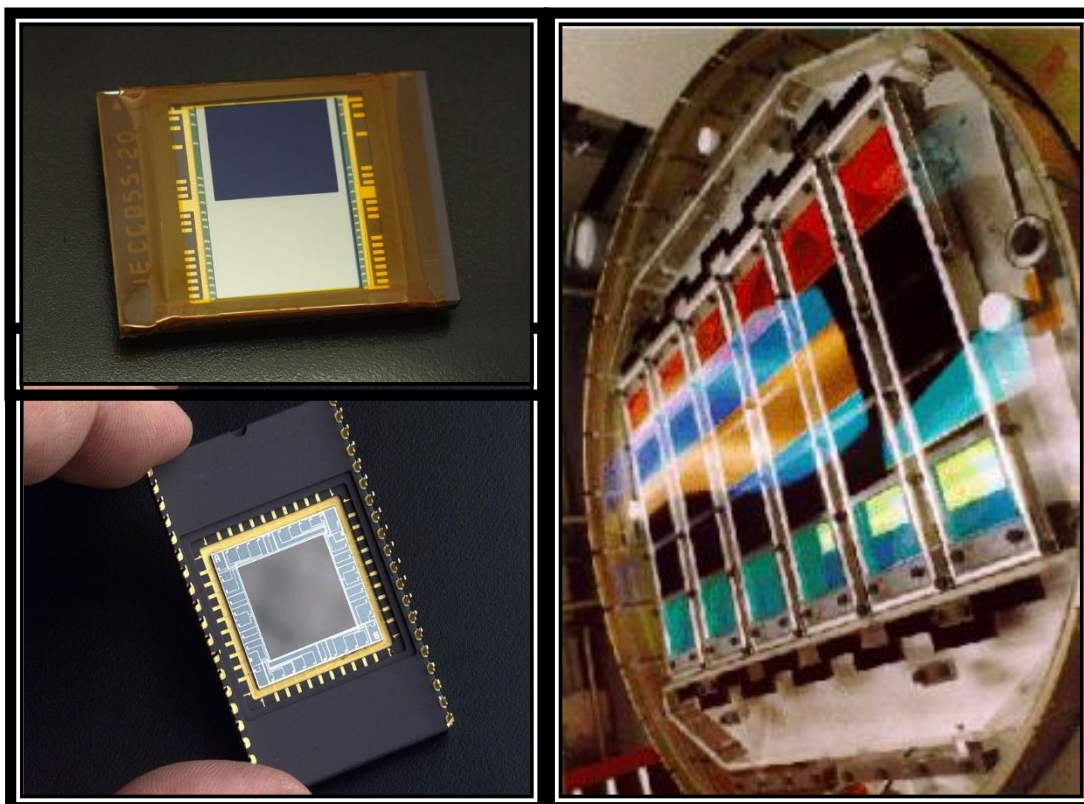
- Οι αστροφωτογραφίες αποτελούν το πρώτο δεδομένο που χρησιμοποιείται για να έρθει σε πρώτη επαφή με το αντικείμενο μελέτης του ο αστρονόμος όποια και αν είναι η συνέχεια της μελέτης του.
- Οι βασικές αρχές που διέπουν την λήψη, διαχείριση και κυρίως επεξεργασία των παρακάτω δεδομένων καθώς και την οπτικοποίηση τους, που είναι το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται, είναι ανάλογες σε όλους τους κλάδους της αστρονομίας.
- Οι μέθοδοι απαλοιφής θορύβων που χρησιμοποιούνται και περιγράφονται στις εικόνες του υποκεφαλαίου 3.1.2 χρησιμοποιούνται με αντίστοιχο τρόπο σε όλα τα είδη κυμάτων.
- Η οπτικοποίηση και παρουσίαση μιας εικόνας, φωτογραφίας ή χάρτη με δεδομένα ακτίνων γ , υπέρυθρων ή άλλης συχνότητας έχει την ίδια λογική. Αρκεί να γίνει κατανοητό ότι όπως το μάτι μας είναι το όργανο που ανιχνεύει φωτόνια και συγκεκριμένα ένα ορισμένο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έτσι τα τηλεσκόπια άλλων μηκών κύματος μπορούν να θεωρηθούν ως μάτια συντονισμένα έτσι ώστε να ανιχνεύουν διαφορετικές ακτινοβολίες που με ανάλογες με τις παρακάτω μεθόδους οπτικοποιούνται με σκοπό να τις κατανοούμε.
- Σε όλα τα παραπάνω είναι χρήσιμο να προστεθεί ότι η απλότητα των συγκεκριμένων δεδομένων και η ευκολία κατανόησης τους λόγω του ότι είναι αυτά που από τη φύση μας ως δέκτης αντιλαμβανόμαστε, καθιστούν την παρουσίαση των δεδομένων αστροφωτογραφίας ως τη καλύτερη εισαγωγή για την παρουσίαση επεξεργασίας δεδομένων ώστε στην συνέχεια να γίνει ομαλότερα η μετάβαση στην επεξεργασία δεδομένων ραδιοαστρονομίας.

3.1.1. ΑΣΤΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ CCD

Τα δεδομένα CCD είναι τα απλούστερα δεδομένα που σχετίζονται με την αστρονομία. Ουσιαστικά σχετίζονται με έναν κλάδο που μοιράζεται μεταξύ της αστρονομίας και του 'αρτιστικού' κλάδου της φωτογραφίας την αστροφωτογράφιση. Ένα συναρπαστικό χόμπι που δίνει την δυνατότητα σε όλον κόσμο να δει και να γνωρίσει αν επιθυμεί τα πιο απόμακρα σημεία του σύμπαντος, νέους πλανήτες σε πλανητικά νεφελώματα, αστέρια σε 'βρεφική ηλικία' αλλά και αστέρια 'μαθουσάλες' με ηλικίες πολλών δισεκατομμυρίων ετών, υπολείμματα αστρικών πτωμάτων και διαδικασίες γένεσης αστρικών συνόλων. Ο κύκλος της ζωής στην πιο θεμελιώδη έκφανση της...

Οι συσκευές CCD (Chargecoupledevice) ουσιαστικά μετακινούν ηλεκτρικά φορτία κατευθύνοντας τα σε συγκεκριμένα σημεία όπου θα συλλεχθούν και θα μετατραπούν σε μία ψηφιακή μορφή αποκτώντας τιμή.

Τα τελευταία χρόνια το CCD έχει γίνει μια σημαντική τεχνολογία για την ψηφιακή απεικόνιση. Σε έναν αισθητήρα εικόνας CCD, τα εικονοστοιχεία (Pixel) αντιπροσωπεύονται από πυκνωτές μεταλλικού οξειδίου-ημιαγωγού. Αυτοί οι πυκνωτές είναι προκατειλημμένοι πάνω από το όριο για αναστροφή όταν ξεκινά η απόκτηση εικόνας, επιτρέποντας τη μετατροπή των εισερχόμενων φωτονίων σε ηλεκτρόνια στη διεπαφή οξειδίου - ημιαγωγού. Το CCD χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να διαβάσει αυτά τα φορτία.



Εικόνα 29 : Πάνω αριστερά απλή μορφή αισθητήρα CCD, κάτω αριστερά ειδικό CCD για απεικόνιση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Δεξιά διάταξη 30 CCD (driftscanning) χρησιμοποιούμενη στην κάμερα του τηλεσκοπίου SloanDigitalSky

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στα λογισμικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση, διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων με αποτέλεσμα να μοιάζει με ωδή στην επιστήμη της πληροφορικής. Έτσι είναι... Όπως αναφέρεται συχνά σε αυτή την μελέτη η συμβολή των λογισμικών είναι πλέον αναμειγμένη σε κάθε στάδιο, κάθε κλάδου-πεδίου της αστρονομίας. Για παράδειγμα στην απλή περίπτωση των δεδομένων CCD, προκειμένου να καταγράφουν τα δεδομένα των παρατηρήσεων, χρησιμοποιούνται λογισμικά που ουσιαστικά καταγράφουν τα δεδομένα της κάμερας και λογισμικά τα οποία και λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία οδήγησης του τηλεσκοπίου. Λογισμικά που βοηθούν τον παρατηρητή να βρίσκει αυτοματοποιημένα τους στόχους του άλλα. Τα λογισμικά καταγραφής είναι σημαντικό να επιλεγθούν σωστά καθώς παίζει σημαντικό ρόλο η φύση του στόχου που θα είναι η πηγή δεδομένων καθώς και η κάμερα που χρησιμοποιείται ενώ τα λογισμικά καθοδήγησης έχουν πολύ συγκεκριμένες λειτουργίες. Καθώς τα συγκεκριμένα λογισμικά δεν έχουν άμεση σχέση με την διαχείριση δεδομένων αλλά μόνο με την διαδικασία λήψης τους δεν χρήζει ιδιαίτερης σημασίας για την συγκεκριμένη μελέτη η λεπτομερέστερη περιγραφή τους.



Εικόνα 30: Πάνω: Αριστερά μια τυπική κάμερα CCD για τηλεσκόπιο, δεξιά στήριξη διάταξης τηλεσκοπίου με οδηγητή (mount). Κάτω: Εξοπλισμοί σε φωτογραφική διάταξη, μπροστά ισημερινή στήριξη με δύο διοπτρικά τηλεσκόπια (ένα για

3.1.2. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ CCD

Στην διαχείριση δεδομένων από αισθητήρες CCD το βασικότερο πρόβλημα προς αντιμετώπιση είναι ο θόρυβος. Ο θόρυβος είναι επιπλέον σήματα- δεδομένα ίδιας η παρόμοιας φύσης που καθιστούν την ανάλυση, αναπαράσταση και ερμηνεία των δεδομένων δύσκολη έως αδύνατη. Ο θόρυβος ενδέχεται να προκύπτει από:

- Διάφορα φωτόνια που αλληλοεπιδρούν με τον αισθητήρα,
- από την ίδια την πηγή ή αντικείμενο παρατήρησης,
- προσθήκες που προέρχονται κατά την καταγραφή από το ίδιο τον περιβάλλοντα χώρο ή και το ίδιο το σύστημα καταγραφής.
- Τέλος, φυσικά μπορεί να είναι συνδυασμός κάποιων ή όλων των παραπάνω.

Αυτά για τα δεδομένα σχετίζονται με αισθητήρες CCD, άλλων ειδών δεδομένα μπορούν να έχουν και άλλης φύσεως θορύβους αλλά σε γενικές γραμμές η φύση τους και ιδίως οι βασικές προελεύσεις τους είναι οι παραπάνω. Ο έμπειρος παρατηρητής μπορεί να ξεχωρίσει την φύση και προέλευση τους και να αφού κατανοήσει αυτές να έχει το βέλτιστο και ταχύτερο δυνατό αποτέλεσμα ώστε να φτάσει στο επόμενο στάδιο προετοιμασίας του τελικού προϊόντος που στην περίπτωση αυτών των δεδομένων είναι μια καθηλωτική φωτογραφία.

Συνοπτικά, η βασική διαχείριση δεδομένων αισθητήρων CCD έχει ως εξής. Με σκοπό να διορθωθεί το αρχικό καρέ ως προς την ομοιομορφία των πίξελ, χρησιμοποιούνται κάποιες βασικές εικόνες αποτελούμενες από καρέ (FLAT, LIGHT, BIAS και DARK), τα οποία εξηγούνται στην συνέχεια. Αφαιρείται από το καρέ του αντικειμένου- στόχου το βασικό καρέ και στη συνέχεια διαιρείται με το μέσο καρέ BIAS (διόρθωση επιπέδου BIAS).

$$\text{Τελική εικόνα (καρέ)} = \frac{\text{Βασικό καρέ (Raw Light Frame)} - \text{Καρέ BIAS}}{\text{Καρέ FLAT FIELD}}$$

Φυσικά και τα καρέ FLAT περιέχουν bias τα οποία έχουν ήδη αφαιρεθεί με την ίδια διαδικασία κατά την οποία μεταχειρίζονται ως raw. Πολλές φορές καρέ DARK αντικαθιστά καρέ BIAS αν κριθεί απαραίτητο από την σύγκριση της ποιότητας των καρέ και φυσικά αναλόγως το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επίσης, κατά την ανάλυση αυτή θα πρέπει να αφαιρεθούν τυχούσες αχρείαστες πληροφορίες που αποτελούν θόρυβο. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας εικόνα του ουρανού σε συνάφεια με τον στόχο. Ας παραμείνουμε όμως στην βασική ανάλυση εξηγώντας και περιγράφοντας τα καρέ (frames):

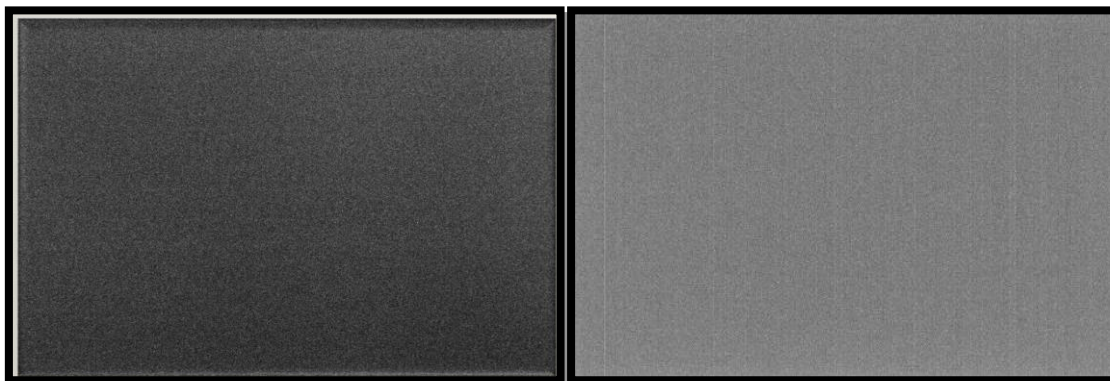
Biasframe:

Πρόκειται για καρτέ που χρησιμοποιείται για την απαλοιφή θορύβου, η πληροφορία που δίνει είναι για τον θόρυβο του αισθητήρα της φωτογραφικής μηχανής. Έτσι αυτές οι εικόνες (καρτέ) είναι μηδενικού χρόνου έκθεσης με κλειστό κλείστρο και ουσιαστικά γίνεται καταγραφή της πληροφορίας που έχει η κάμερα λόγω της κατασκευής, διάταξης και χρήσης της. Αυτός ο θόρυβος υπάρχει σε κάθε φωτογραφία και με αυτόν τον τρόπο τον αναγνωρίζουμε. Τώρα γίνεται αντιληπτός ο λόγος που τον αφαιρούμε στην παραπάνω εξίσωση. Να σημειωθεί ότι συνηθίζεται η λήψη από αρκετά τέτοια καρτέ διότι παρατηρούνται διακυμάνσεις ακόμη και σε μία τόσο απλή λήψη ώστε να χρησιμοποιηθεί το πιο αντιπροσωπευτικό ή σωστότερα ο μέσος όρος της συνολικής πληροφορίας.

Darkframe:

Πρόκειται πάλι για καρτέ που καταγράφονται με κλειστό κλείστρο αλλά με κάποια διάρκεια έκθεσης ανάλογη της διάρκειας έκθεσης που προορίζουμε για τον βασικό στόχο- αντικείμενο ενδιαφέροντος (στα light καρτέ).

Κάθε πίξελ στη κάμερα είναι διαφορετικό και έτσι διαβάζει το σήμα είτε σε πιο κρύα είτε ζεστή κατάσταση, έτσι μπορούμε να διακρίνουμε αν κάποιο πίξελ είναι υπέρθερμο και κατ' επέκταση να κατανοήσουμε και να μετρήσουμε τον θερμικό θόρυβο. Πολλές φορές κρίνεται αναγκαίο να αφαιρεθεί το Bias και από το Dark.



Εικόνα 31: Αριστερά biasframe, δεξιά darkframe με πεπλατυσμένο ιστόγραμμα με σκοπό για να φαίνεται η διαφοροποίηση στο σήμα.

Flatframe:

Η περίπτωση των καρτέ flat σχετίζεται με τον 'φωτεινό θόρυβο'. Η λήψη τέτοιας πληροφορίας γίνεται με εκθέσεις του αισθητήρα στο φως (είτε του χώρου είτε του ουρανού). Τέτοιες λήψεις χρησιμοποιούνται για την διόρθωση ανομοιογενειών που οφείλονται στην απόκριση του αισθητήρα ή ακόμη και στο τηλεσκόπιο. Στα flatframes είναι απαραίτητη η λήψη παραπάνω καρτέ (30-50) με σκοπό το βέλτιστο αποτέλεσμα στο τελικό καρτέ.

Raw object frame/ Raw light frame:

Πρόκειται για το καρέ του στόχου παρατήρησης ο οποίος είναι και το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Ανάλογα με τον τύπο του στόχου ή τα χαρακτηριστικά της μελέτης μας μπορεί η λήψη τους να έχουν χρόνο έκθεσης από κλάσματα του δευτερολέπτου έως και πολλά λεπτά ή ακόμα και ώρες. Είναι απόλυτα κατανοητό ότι σε αυτό το καρέ κρύβονται όλοι οι θόρυβοι των προηγούμενων καρέ (για αυτό και αφαιρούνται από αυτό). Επιπλέον όμως περιέχονται προσθήκες σημάτων από το ίδιο το αντικείμενο παρατήρησης, τον ουράνιο θόλο, την κοσμική ακτινοβολία και άλλων τύπων 'περαστικοί' θόρυβοι κατά την διάρκεια έκθεσης. Όλα διορθώνονται με την χρήση λογισμικών για την διαχείριση τέτοιων δεδομένων.



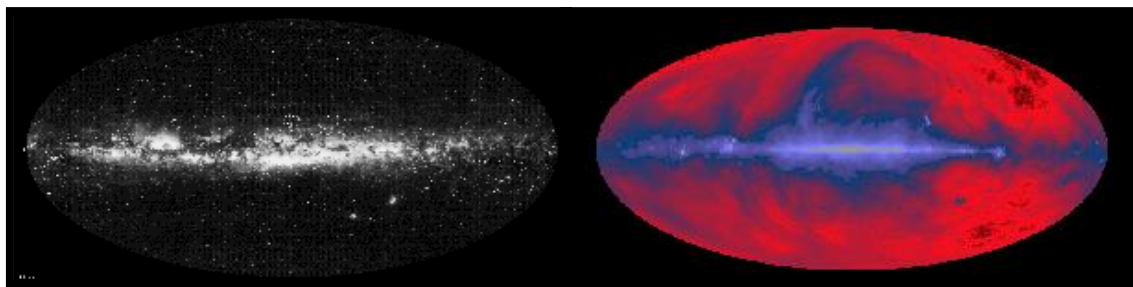
Εικόνα 32: Αριστερά, στο flatframe φαίνεται η κατανομή της φωτεινής πληροφορίας στον αισθητήρα. Δεξιά, στο Lightframe παρατηρείτε ο στόχος. Η ανομοιομορφία στην κατανομή του φωτός οφείλεται στο ότι το καρέ flat δεν έχει εφαρμοστεί.

Στην εικόνα 32 προτιμήθηκε η συγκεκριμένη εικόνα lightframe (δεξιά) ανεπεξέργαστη όσον αφορά την μη εφαρμογή flat ώστε να γίνει κατανοητή η αρχή της διαδικασίας βασικής διαχείρισης δεδομένων και φυσικά να οπτικοποιηθεί η παραπάνω εξίσωση που ασυνήθιστα περιλαμβάνει καρέ και όχι αριθμητικές τιμές. Παρατηρώντας με λεπτομέρεια τις δύο εικόνες γίνεται αντιληπτό πως για να γίνει πιο καθαρό το καρέ light απαιτείται η απαλοιφή του flat, πληροφορία του οποίου υπάρχει και εμποδίζει την καθαρή εμφάνιση του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Η φιλοσοφία αυτών των διαδικασιών για την απεικόνιση στην αστροφωτογραφία είναι παρόμοια με τις απεικονίσεις στην ραδιοαστρονομία όπως σε κάθε κλάδο της αστρονομίας.

Πλέον απίστευτης ποιότητας φωτογραφίες βγαίνουν και με τις διαδεδομένες στο ευρύτερο κοινό κάμερες DSLR. Τα πλεονεκτήματα των DSLR είναι το σχετικά χαμηλό κόστος σε σχέση με τους ανάλογους σε ανάλυση CCD αισθητήρες και το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι ο θερμικός θόρυβος που οφείλεται στο ότι δεν απαιτείται χρόνος έκθεσης κατά τον οποίο οι CCD εκμεταλλεύονται το σύστημα ψύξης τους μειώνοντας τον σε μεγάλο βαθμό. Επίσης οι DSLR έχουν προσαρμοσμένα ειδικά φίλτρα (IRcut), απαραίτητα για καθημερινές φωτογραφίες αλλά που εμποδίζουν συγκεκριμένες ακτινοβολίες όπως τις υπέρυθρες που εκπέμπονται ως βασικές σε κάποια ουράνια σώματα (πχ. νεφελώματα)

3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

Όπως έχει αναφερθεί αναλυτικότερα στην εισαγωγή, τα ραδιοφωνικά σήματα είναι ικανά να φτάσουν στη Γη και είναι πολλά τα μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια/ ραδιόφωνο-παρατηρητήρια που έχουν κατασκευαστεί για μπορούμε να μελετούμε αντικείμενα μέσω αυτού του μεγάλου τμήματος του φάσματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι παρακάτω εικόνες (εικόνα 33) αποτελούν χάρτες του Γαλαξία μας σε οπτική γωνία 360°, αριστερά φαίνεται ο Γαλαξίας σε οπτικά μήκη κύματος και σε ραδιοφωνική ακτινοβολία, δεξιά. Ξανατονίζεται ότι η ραδιοφωνική ακτινοβολία μας επιτρέπει να δούμε αντικείμενα που εκπέμπουν σχετικά χαμηλή ενέργεια. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη σκόνη και τα αέρια στον γαλαξία μας και το ηλιακό σύστημα.



Εικόνα 33: Τομή του γαλαξία μας σε οπτική γωνία 360°, αριστερά σε οπτικά και δεξιά σε ραδιοφωνικά μήκη κύματος (συγκεκριμένα 408Hz).

Φυσικά και οι δύο φωτογραφίες έχουν υποστεί μία σειρά από διαδικασίες ανάλογες αυτών που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο διαχείρισης δεδομένων CCD (κεφάλαιο 3.1.2). Συγκεκριμένα χωρίς να είναι γνωστό για τις συγκεκριμένες είναι σίγουρο πως για την αριστερή φωτογραφία οι διαδικασίες ήταν σχεδόν πανομοιότυπες ενώ στην δεξιά ανάλογες επιβεβαιώνοντας έτσι την χρησιμότητα της παρουσίασης του κεφαλαίου 3.1 στην συγκεκριμένη μελέτη.

Η εκτίμηση του χρήστη για τα ραδιοτηλεσκόπια είναι στενά συνδεδεμένη με τα εργαλεία λογισμικού που διατίθενται για την επεξεργασία δεδομένων. Καθώς δεν έχει την άμεση επαφή με τα δεδομένα όπως έχει στο οπτικό τηλεσκόπιο. Το πακέτο μείωσης δεδομένων παρέχει την κύρια διεπαφή μεταξύ του χρήστη και των δεδομένων. Μετά από μια περίοδο σχετικής μικρής δραστηριότητας σε αυτόν τον τομέα, υπάρχει τώρα μια προσπάθεια να παραχθούν νέα εργαλεία λογισμικού χρήστη και να ενισχυθεί το προϊόν των δεδομένων στην ευρωπαϊκή κοινότητα ραδιοαστρονομίας. Αυτό το έργο χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, γνωστό ως ALBUS (AdvancedLongBaselineUserSoftware), έχει δημιουργήσει νέες γνώσεις σε διάφορους τομείς. Επιπλέον, έχει δημιουργήσει ένα πρώτο εργαλείο χρήστη με τη μορφή ParseITongue, μια διεπαφή δέσμης ενεργειών Python για το AIPS.

Εκτός από αυτή τη συνεργασία που αφορά το λογισμικό σε επίπεδο χρηστών, γίνεται επίσης ολοένα και πιο σημαντικός ο ρόλος για το λογισμικό στην απόκτηση δεδομένων, καθώς περισσότερη λειτουργικότητα υλοποιείται με ευέλικτο τρόπο στο υλικό των βασικών προϊόντων. Προκειμένου να διερευνηθούν οι δυνατότητες για ταχύτερη απόκτηση και μεταφορά δεδομένων σε υλικό βασικών προϊόντων, καθώς και η συσχέτιση λογισμικού, πολλά ινστιτούτα συνεργάζονται με την FABRIC (Future Arrays of Broadband Radio-telescopes on Internet Computing).

3.2.1. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ

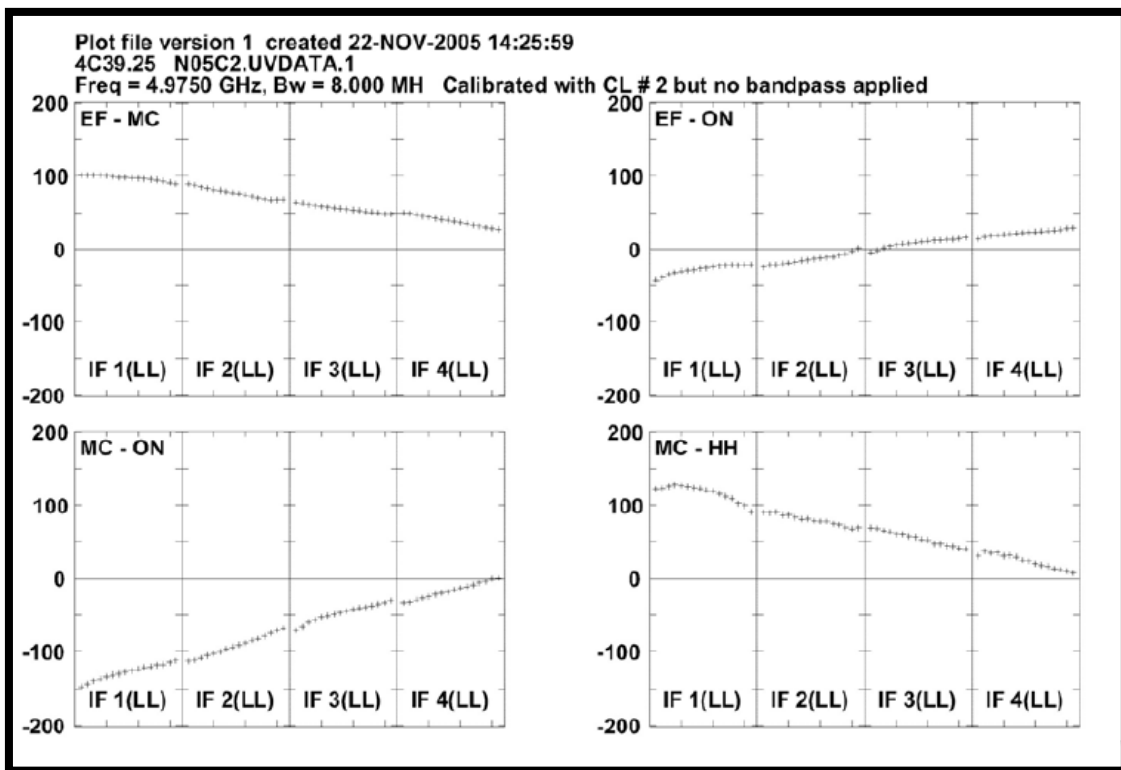
Η ραδιοφωνική απεικόνιση (radioimaging), έχει μια σημαντική διαφορά από την οπτική (φωτογραφική). Αντίθετα από τα οπτικά τηλεσκόπια, τα ραδιοτηλεσκόπια μπορούν να συλλέξουν μόνο ένα εικονοστοιχείο (pixel) τη φορά. Κάθε εικόνα ραδιοφωνικού σήματος είναι μία σύνθεση πολλών συλλεγόμενων δεδομένων και χρειάζεται ώρες, ημέρες ή και χρόνια για να ολοκληρωθεί η σύνθεση της. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της επαγγελματικής απεικόνισης ραδιοαστρονομίας είναι η γωνιακή ανάλυση η οποία δίνει την δυνατότητα να διαχωρίζονται δύο διαφορετικά αντικείμενα. Τα επαγγελματικά τηλεσκόπια ραδιοσυχνοτήτων (VLBI – Very Long Baseline Interferometry) μπορούν να σαρώσουν/ παρατηρήσουν περιοχές σε πολύ μικρότερη κλίμακα από ένα χιλιοστό του δευτερόλεπτου (αντιστοιχία γωνίας ανάλυσης μιας τρίχας σε 15 χιλιόμετρα), ενώ τα οπτικά τηλεσκόπια τα καταφέρνουν μέχρι 5 χιλιοστά του δευτερόλεπτου. Τα ραδιοτηλεσκόπια μπορούν να πετύχουν αυτήν την ανάλυση εύκολα επειδή μπορούν να κατασκευαστούν πολύ μεγαλύτερα ραδιοτηλεσκόπια συνδέοντας πολλά ραδιοτηλεσκόπια μαζί, τα συμβολόμετρα που εξηγήθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο. Όπως έχει αναφερθεί το πραγματικό μέγεθος τους βασίζεται στη διάμετρο των πλέον απομακρυσμένων τηλεσκοπίων. Από την άλλη πλευρά, ένας ερασιτέχνης μπορεί να πετύχει στην καλύτερη περίπτωση μερικές μοίρες ανάλυση λόγω του μικρού μεγέθους κεραίας που προφανώς θα χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα, ένας δίσκος 10 ιντσών παρατηρώντας στα 1,42 GHz θα είχε ανάλυση περίπου 4-5 μοιρών.

Παρά τις συγκεκριμένες σημαντικές διαφορές στην απεικόνιση, στο σημείο παρουσίασης όπου λαμβάνεται το τελικό προϊόν, δηλαδή μία φωτογραφία ή ένας χάρτης, οι διαδικασίες είναι παρόμοιες και φυσικά καταλήγουν σε μία επεξεργασία φωτογραφίας τύπου Photoshop όπου η προσοχή συνίσταται στο να μην αλλοιωθεί κάποιο σημαντικό στοιχείο ως θυσία στην ομορφιά του τελικού προϊόντος. Αυτό απαιτεί γνώση φυσικά του αντικειμένου που απεικονίζεται στην φωτογραφία ή τον χάρτη.

Πριν όμως από τις μετατροπές και την διαχείριση δεδομένων που αφορούν καθαρά την απεικόνιση δεδομένων τα δεδομένα υπόκεινται σε διάφορες επεξεργασίες, βελτιώσεις και απαλοιφές θορύβων των οποίων οι περιγραφές ακολουθούν συνοπτικά μέσα από χαρακτηριστικά παραδείγματα.

3.2.2. ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Εκτός από τη σχεδιαζόμενη αναβάθμιση των εργαλείων αρχειοθέτησης, πολλά πακέτα χρησιμοποιούνται για την βελτίωση βαθμονόμησης. Το παράδειγμα που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτό το κεφάλαιο αρκετά είναι για δεδομένα από το EVN(EuropeanVLBINetwork). Είναι ίσως η ευκολότερη περίπτωση άντλησης δεδομένων για την συγκεκριμένη μελέτη και η έκτασή μας δίνει την δυνατότητα με ένα σταθερό παράδειγμα να επεκταθούμε στα περισσότερα κομμάτια του κεφαλαίου. Προς απόδειξη αυτού αρκεί να αναφερθεί ότι συγκεκριμένα τρία πακέτα εργασίας επικεντρώνονται μόνο στη βελτίωση της βαθμονόμησης της ραδιοσυμβατικής αντιστάσεως. Για ένα μόνο θέμα τρία πακέτα, που εξειδικεύονται σε συγκεκριμένα κομμάτια της διαδικασίας. Το πρώτο έχει επικεντρωθεί στο προϊόν δεδομένων από το EVN. Έχει ενεργοποιήσει τα δεδομένα θερμοκρασίας του συστήματος να προσαρτηθούν απευθείας στο προϊόν δεδομένων και έχει βελτιώσει τη λεγόμενη διόρθωση vanVleck. Επιπλέον, στην συνέχεια άρχισε να χρησιμοποιείται και λογισμικό για την αντιμετώπιση με σήματα φάσης (phase-Cal) στον επεξεργαστή δεδομένων EVNMkIV στο JIVE. Αυτοί οι 'τόνοι' μπορούν πλέον να ανιχνευθούν από τον συσχετιστή και να χρησιμοποιηθούν για την ευθυγράμμιση των φάσεων σε ανεξάρτητες υποζώνες (εικόνα 34). Το Jiveτην περασμένη δεκαετία είχε βασικό στόχο και την βελτίωση της ιονοσφαιρικής βαθμονόμησης με στόχο την βελτίωση της απόδοσης αναφοράς φάσης στο EVN.



Εικόνα 34: Example of phase-tone calibration; after application of the measured phase values the phases align across different bands.

3.2.3. ΜΑΖΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην περίπτωση EVL αναφέρθηκε πως τρία πακέτα εργασίας χειρίζονται την ασύλληπτη ροή δεδομένων από νέα τηλεσκόπια. Διάφοροι συνδυασμοί διαφορετικών ή παρόμοιων λειτουργικά υπολογιστικών πακέτων λειτουργούν, αυτό συμβαίνει στα περισσότερα συμβολόμετρα. Οπότε, είναι σαφές το γεγονός ότι είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούμε παράλληλα υπολογιστικά συστήματα για να επεξεργαζόμαστε τα προϊόντα δεδομένων σε ένα χρονοδιάγραμμα που επιτρέπει την αλληλεπίδραση με τον επιστημονικό χρήστη. Ωστόσο, τα καθήκοντα επεξεργασίας εικόνας στη ραδιοαστρονομία είναι πολύ εντατικώς εξαρτώμενα από τα δεδομένα, με κάμποσες λειτουργίες ανά byte, καθιστώντας τα συνηθισμένα συστήματα μετάδοσης μηνυμάτων πολύ ανεπαρκή για τη διανομή των δεδομένων. Τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζονται καλύτερα με παραλληλισμό «εργασίας». Μια τέτοια προσέγγιση ακολουθεί στενά τη δομή δεδομένων και κατανέμει το φόρτο εργασίας και τα δεδομένα σε μεμονωμένους κόμβους. Ένα περιβάλλον υψηλού επιπέδου scripting θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τη ροή εργασίας για τέτοιες προσεγγίσεις.

Για να παραμείνουμε σταθεροί, στην περίπτωση του παραδείγματος μας, αυτό το πεδίο ερευνήθηκε στο ASTRON (Ινστιτούτο Ραδιοαστρονομίας της Ολλανδίας) και συνήχθη το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο πρόβλημα που σχετίζεται με την απεικόνιση ευρείας ζώνης αντιμετωπίζεται στην Jodrell Bank. Μετά την προσέγγιση αλγόριθμου καθαρισμού ευρείας ζώνης Sault-Wieringa, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν, και επίλυση για τη παράγωγο πρώτης και δεύτερης τάξης του φασματικού δείκτη κάθε πηγής. Η απεικόνιση ευρείας περιοχής απευθύνεται και αυτή στο JIVE (Bourke, 2006).

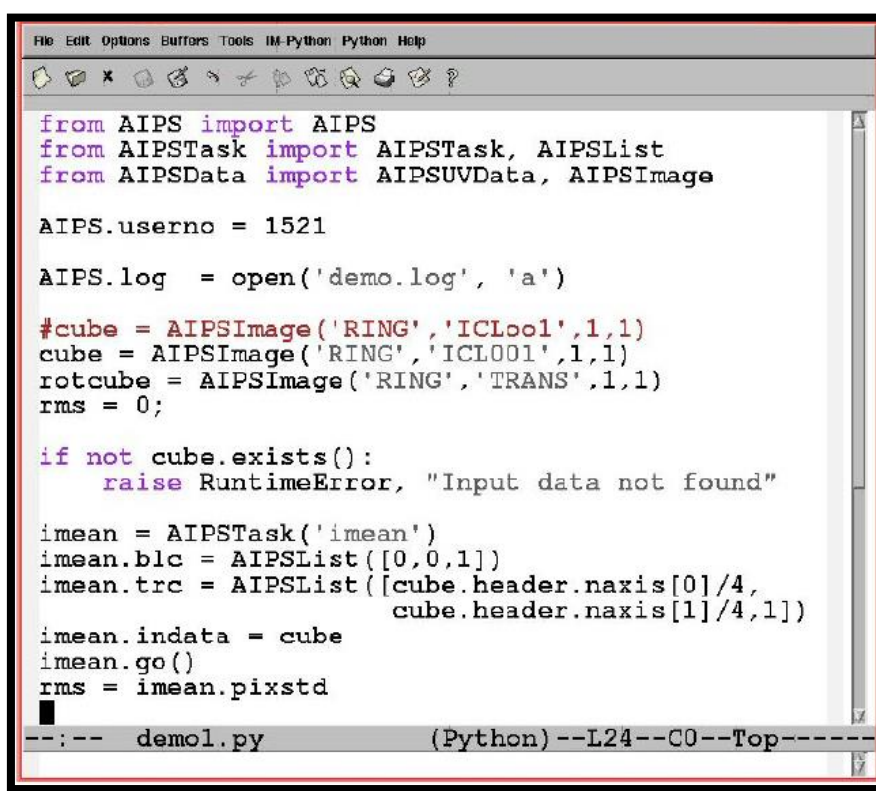
3.2.4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

Αρκετές αναφορές έχουν γίνει σε αλγόριθμους, προγραμματιστικά περιβάλλοντα χειρισμού και διαχείρισης δεδομένων καθώς και γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση δεδομένων αστρονομίας. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός script, σε ParseITongue, με σκοπό να δοθεί στον αναγνώστη μια εικόνα πως είναι ένας αλγόριθμος και πως φαίνεται μια γλώσσα προγραμματισμού. Συγκεκριμένα να αναφέρουμε συνοπτικά ότι η ParseITongue είναι ένα interface που χρησιμοποιείται στην Python με τα κλασικά πακέτα AIPS, Orbit και πιθανώς άλλα πακέτα data reduction.

Στο έργο (project) ALBUS, πρόκειται για λογισμικό, το περιβάλλον κωδικοποίησης στηρίζεται στην ανάπτυξη του ParseITongue interface, που 'συνδέει' την Python με την κλασική AIPS (Astronomical Image Processing System) που είναι το μοναδικό πακέτο που ασχολούνταν με

την βαθμονόμηση στο VLBI. Η ParseITongue θεωρήθηκε ότι θα μπορούσε να προδώσει τα εργαλεία ώστε να αποκτηθεί πρόσβαση στις πληροφορίες βαθμονόμησης οι οποίες στην πορεία να βελτιωθούν και παράλληλα να παράγουν ένα εργαλείο δέσμης διαδοχικών ενεργειών υψηλού επιπέδου για καταναμημένους υπολογιστές, ακολουθώντας παράλληλη εργασία (parallelization).

Εκτός από τα παραπάνω, παρέχει άμεσες συνδέσεις στις δομές δεδομένων και στους πίνακες βαθμονόμησης. Μια άλλη δυνατότητα είναι η δυνατότητα εκκίνησης των υπαρχουσών εργασιών AIPS από το περιβάλλον Python, (Εικόνα 35). Για την ακριβή εξήγηση της εικόνας, ουσιαστικά το script είναι εντολές που καθορίζουν τον θόρυβο RMS (rootmeansquare) σε πρώτο επίπεδο ενός εικονοστοιχείου ή καλύτερα κύβου εικόνας (imagecube).



```
File Edit Options Buffers Tools IM Python Python Help
from AIPS import AIPS
from AIPSTask import AIPSTask, AIPSTList
from AIPSTData import AIPSTUVDData, AIPSTImage

AIPS.userno = 1521

AIPS.log = open('demo.log', 'a')

#cube = AIPSTImage('RING', 'ICL001', 1, 1)
cube = AIPSTImage('RING', 'ICL001', 1, 1)
rotcube = AIPSTImage('RING', 'TRANS', 1, 1)
rms = 0;

if not cube.exists():
    raise RuntimeError, "Input data not found"

imean = AIPSTask('imean')
imean.blc = AIPSTList([0, 0, 1])
imean.trc = AIPSTList([cube.header.naxis[0]/4,
                      cube.header.naxis[1]/4, 1])
imean.indata = cube
imean.go()
rms = imean.pixstd
--:-- demo1.py (Python)--L24--C0--Top-----
```

Εικόνα 35: Παράδειγμα πολύ μικρού σκριπτ σε ParseITongue. Αυτό το παράδειγμα καθορίζει τον θόρυβο rms στο πρώτο τεταρτημόριο του πρώτου επιπέδου σε έναν κύβο εικόνας.

Όχι μόνο εξυπηρέτησε τις συγκεκριμένες ανάγκες του έργου ALBUS, αλλά παρέχει επίσης σε κάθε ενδιαφερόμενο χρήστη ένα σύγχρονο περιβάλλον scripting AIPS. Εκτός από την ικανότητα αυτοματοποίησης μεγάλων βημάτων μείωσης δεδομένων και την άμεση πρόσβαση στη βαθμονόμηση, αποδείχθηκε επίσης εξαιρετικά χρήσιμη για τον έλεγχο εργασιών που πρέπει να συνδεθούν με τον έξω κόσμο, για παράδειγμα με αρχεία δεδομένων ή ιστότοπους.

3.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΥΠΟΥ SMA

Τα ακατέργαστα δεδομένα SMA (rawSMAdata) καταγράφονται σε μια ποικιλία αρχείων που περιέχονται σε ένα μόνο κατάλογο. Η μορφή δεδομένων είναι MIR, η οποία είναι προσαρμοσμένη στηνIDL για να λειτουργεί με δεδομένα SMA. Τα δεδομένα είναι δυαδικά, για την 'αποκρυπτογράφηση' τους απαιτείται λεπτομερής ενημέρωση για το μορφότυπο αρχείου.

Το SMA είχε δύο συσχετιστές(correlatos): ΤονASIC, και αποκλειστικά από το 2016 τονSWARM. ΟASIC είχε 48 φασματικά παράθυρα τα οποία θα μπορούσαν να έχουν διαφορετική ανάλυση συχνότητας. Ενώ σε διαφορετικά σημεία του πίνακα, το ASIC είχε 2GHz ή 4GHzbandwidth. Το SWARM από την άλλη πλευρά είναι πιο απλό. Έχει μόλις τέσσερα τεμάχια (ορολογία SWARM για φασματικά παράθυρα) 2GHz η κάθε μία, με σταθερή ανάλυση συχνότητας 140kHz.

Για να περιπλέξει κ κατάσταση, η μετάβαση από το ASIC στο SWARM ήταν σταδιακή, οπότε μεταξύ του 2014 και 2016, τα δεδομένα είχαν τα 48 παράθυρα ASIC και έναν ποικίλο αριθμό τεμαχίων SWARM.

Μέσα από το παράδειγμα αυτών των δεδομένων θα γνωρίσουμε κάποια από τα βήματα που χρησιμοποιούνται στην διαχείριση δεδομένων, αυτή την φορά σε γλώσσα IDL.

3.3.1. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥΝ ΤΥΠΟΥ SMA

Η πρώτη κίνηση είναι να ανοίξουν ή/ και να διαβαστούν τα δεδομένα. Για να καταφέρουμε κάτι τέτοιο πρέπει να δωθεί η ανάλογη εντολή. Πολλές φορές η διαδικασία δεν γίνεται εύκολα ανάλογα τον τύπο των δεδομένων.

Τέτοιες αρχικές/ προκαταρτικές εντολές (read-in) έχουν την παρακάτω μορφή:

```
source /opt/mir/setup
  source /opt/mir/linux/MIRRC.linux
idl
readdata, dir='/2009/science/mir_data/track_time'
```

Αυτά αφού φυσικά έχουν καθοριστεί οι θέσεις και ονομαστεί ανάλογα τα δεδομένα. Στην παρακάτω εικόνα 37, φαίνεται ένα παράδειγμα που απεικονίζει τα δεδομένα όπως θα έχουν εισαχθεί πλέον στο περιβάλλον όπου θα γίνει η διαχείριση τους. Τοκομμάτι κώδικα που προηγείται είναι εντολή επιλογής σε IDL (εικόνα 36). Φαίνεται ξεκάθαρα η εντολή readdata, με την ονομασία των δεδομένων το χώρο από όπου θα τραβήξει, στην συνέχεια τις πηγές τα bandsκαι άλλα στοιχεία που χρειάζονται για την σαφή οριοθέτηση των δεδομένων.

```
IDL> readdata, dir='/sma/data/science/mir_data.2015/151230_04:37:57'
IDL> select
% Compiled module: SELECT.
All Sources: 3c84 Vesta 3c84_LR 0510+180_LR 0510+180 S255IR-SMA1 0532+075_LR 0532+075 0739+016_LR 0739+016 Callisto 3c279_LR 3c279
All Baselines: 1-2 1-3 1-4 1-5 1-6 1-7 1-8 2-3 2-4 2-5 2-6 2-7 2-8 3-4 3-5 3-6 3-7 3-8 4-5 4-6 4-7 4-8 5-6 5-7 5-8 6-7 6-8 7-8
All Recs: 345
All Bands: c1 s01 s02 s03 s04 s05 s06 s07 s08 s09 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16 s17 s18 s19 s20 s21 s22 s23 s24
All Sidebands: 1 u
All Polarization states: Unknown RR RL LR LL LH LV RH RV HR HL HH HV VR VL VH VV
All Integrations: 0-3448
```

Εικόνα 36: Κομμάτι κώδικα, πρόκειται για μία ολοκληρωμένη εντολή επιλογής δεδομένων για εισχώρηση στο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων.

```
[root@rtdc9 ~]$ whatishere /sma/data/science/mir_data.2015/151230_04:37:57/
|>-----
LO Freq. (Rx0): 349.993 GHz
UT Start: 4.6281 UT Stop: 19.1997
Maximum baselines: 28 Max. ok baselines: 28
Minimum baselines: 28
Number of scans: 3450 Number of ok scans: 3305
Number of sources: 13
(In following list, names are truncated at 16 characters)
# Name #Scans Scan Range Avg UTH HA min HA max
1 3c84 208 ( 0-1448) 9.1824 -2.53 3.72
2 Vesta 41 ( 7- 47) 4.7541 0.33 0.50
3 3c84_LR 243 ( 53-1406) 8.3812 -2.29 3.54
4 0510+180_LR 134 ( 179-1974) 9.4365 -3.58 4.16
5 0510+180 163 ( 189-2087) 9.3520 -3.54 4.65
6 S255IR-SMA1 1367 ( 199-2409) 10.3135 -4.55 4.99
7 0532+075_LR 22 ( 874- 992) 8.6516 -0.96 -0.45
8 0532+075 43 ( 886-1112) 9.0319 -0.91 0.06
9 0739+016_LR 33 (2090-2316) 14.1149 2.17 3.15
10 0739+016 54 (2102-2433) 14.5137 2.22 3.65
11 Callisto 34 (2437-3362) 15.6116 -0.26 3.45
12 3c279_LR 408 (2470-3405) 16.9727 -1.47 2.29
13 3c279 555 (2510-3449) 17.5277 -1.30 2.48
|>-----
> No high frequency receiver data found.
|>-----
```

Εικόνα 37: παράδειγμα που απεικονίζει τα δεδομένα όπως θα έχουν εισαχθεί πλέον στο περιβάλλον όπου θα γίνει η διαχείριση τους

Στην συνέχεια μπορούμε να προγραμματίσουμε τον έλεγχο των δεδομένων και την επιλογή της κεραίας αναφοράς. Συχνά ακολουθούνται τα εξής:

- Βαθμολόγηση του βαθμονομητή και της πηγής, τουλάχιστον έναν ή μία από κάθε περίπτωση. Μπορεί να είναι περισσότερες από μια ομάδες.
- Διαβάθμιση βαθμονόμησης (passband). Συνήθως ένα ισχυρό κβάζαρ, μερικές φορές ένας ισχυρός πλανήτης, π.χ. ο Άρης. Ένας ισχυρός βαθμονομητής μπορεί να διπλασιαστεί ως βαθμονομητής passband.
- Ρυθμιστής ροής (fluxcalibrator): Ένας πλανήτης ή δορυφόρος. Συχνά σε ένα πείραμα χωρίς προφανή προβλήματα, π.χ., φθίνουσες φάσεις,

```
select, /pos_wt, /reset
plot_continuum
```

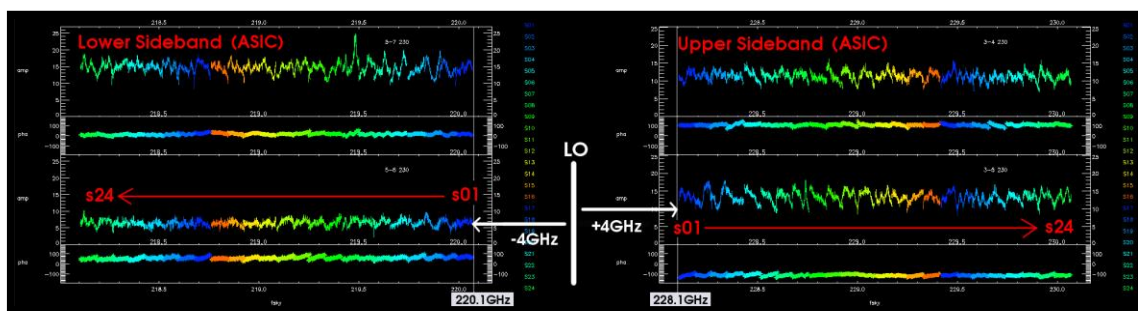
```
select, /pos_wt, /reset  
plot_continuum, x='int
```

ή με βάση την κεραία, βαθμονόμηση πλάτους σήματος:

```
select, /pos_wt, /reset, band=['s13']  
pass_cal, cal_type='amp', tel_bsl='telescope', refant=5, preavg=4, ntrim=0,  
smooth=1  
all no  
passband_cal yes
```

```
select, /pos_wt, /reset, band=['-s13']  
pass_cal, cal_type='amp', tel_bsl='telescope', refant=5, ntrim=0, smooth=1  
allno  
passband_cal yes
```

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται γραφικά τα δεδομένα όπως τα παρουσιάζει ο συσχετιστής ASIC, είναι ορατή η κατανομή φάσης και πλάτους του σήματος στις συγκεκριμένες συχνότητες.



Εικόνα 38: Γραφική απεικόνιση σημάτων (δεδομένων) ραδιοαστρονομίας.

Όπως είναι κατανοητό και έχει ξανασημειωθεί τα κομμάτια κώδικα που θα μπορούσαμε να παρουσιάσουμε μπορούν να ξεπεράσουν σε σελίδες ολόκληρη την μελέτη κατά πολλές φορές. Για λόγους συντομίας και απλότητας παρουσιάσαμε λίγα από τα βασικά ώστε να αποκτήσει ο αναγνώστης κάποια εικόνα από την μορφή αλλά να πάρει και μία γεύση από την λογική αλληλουχίας που διέπει τον προγραμματισμό στο κομμάτι της διαχείρισης επιστημονικών δεδομένων. Για περισσότερο κώδικα ο αναγνώστης μπορεί να μεταβεί στον ιστότοπο του RadioTelescopeDataCenter(RTDC) του SmithsonianAstrophysicalObservatory.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μελλοντικές προηγμένες εγκαταστάσεις θα παράγουν πρωτοφανή τεράστια δεδομένα. Τα δεδομένα από διαφορετικές έρευνες είναι μοναδικά και απαιτούνται για να εξυπηρετήσουν την επιστήμη. Η ενσωμάτωση των κατανεμημένων συνόλων δεδομένων από διάφορες έρευνες, διαφορετικούς χρόνους και διαφορετικά μήκη κύματος θα προσφέρει μεγάλες νέες προκλήσεις και ευκαιρίες. Ορισμένες απαντήσεις σε νέες ερωτήσεις θα προκύψουν συνδυάζοντας διαφορετικά σύνολα πληροφοριών, όπως τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων πολλαπλών κυμάτων και ανάλυση χρονικών σειρών μεταβλητών πηγών. Ζούμε στην εποχή των μεγάλων δεδομένων και πρέπει να μάθουμε για τον κόσμο των μεγάλων δεδομένων ώστε να είμαστε ικανοί να προοδεύσουμε σε κάθε είδος τεχνολογικής και επιστημονικής ανάπτυξης. Η αστρονομία εκτός από την θετική της όσον αφορά τις επιστήμες κατεύθυνση είχε και θα έχει, όπως φαίνεται, μεγάλη επιρροή στις θεωρητικές επιστήμες δίνοντας τροφή για σκέψη (και για πολλούς απαντήσεις) στα μεγαλύτερα υπαρξιακά ζητήματα της ανθρωπότητας. Οπότε γίνεται κατανοητό πως κατανοώντας τον κόσμο των μεγάλων δεδομένων κατανοούμε πολλά για τις επιστήμες αλλά και για την ίδια την φύση της ζωής και την έννοια της ύπαρξης.

Κάθε βήμα που κάνουμε όσον αφορά την γνώση των δεδομένων, από την παραγωγή τη συλλογή, τον μετασχηματισμό, την αποθήκευση, την διαχείριση, την προεπεξεργασία, την επεξεργασία, την εξόρυξη, την οπτικοποίηση, την κατανόηση, την αξιολόγηση, την ερμηνεία και εξήγηση δεδομένων, εξαρτάται από τη βελτίωση των υφιστάμενων ή την ανακάλυψη νέων μεθοδολογιών, εργαλείων και τεχνολογιών. Η αποθήκευση σε υπολογιστές και δίσκους, παρόλη την εξέλιξη της είναι ανεπαρκής, η αποθήκευση σε διαδικτυακές υπηρεσίες απομακρυσμένης σύνδεσης όπως τα γνωστά cloud (συννεφοροή δεδομένων), μπορεί να είναι μια καλή λύση, αλλά οι τεχνολογίες cloud βρίσκονται ακόμα στα αρχικά αν όχι εμβρυακά στάδια. Για τη διαχείριση των σωστά αρχειοθετημένων δεδομένων από έρευνες που έχουν μεγάλη αξία, απαιτούνται νέες τεχνολογίες βάσεων δεδομένων και θα πρέπει να εξετάζεται πάντα την ορθή διαχείριση των δεδομένων κατά την περίοδο σχεδιασμού και υλοποίησης κάθε τέτοιας εγκατάστασης. Η ποικιλία σε βάσεις δεδομένων (π.χ. SciDB, MSSQLserver, Oracle, DB2, MonetDB, Vertica, PostgreSQL, MySQL, SQLite, MongoDB, LucidDB, Sphinx, NoSQL), η κάθε μία με ένα συνδυασμό προτερημάτων και υστερήσεων, απαιτεί μεγάλη προσοχή στο τι είδους βάση δεδομένων πρέπει να χρησιμοποιείτε σε κάθε διαφορετική περίπτωση. Το SciDB είναι ένα είδος νεογέννητης βάσης δεδομένων που δοκιμάζεται από το LSST, το FermiLab και άλλα αστρονομικά έργα που αυξάνουν την επιστημονική δημιουργικότητα και την εύκολη πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων και σε εργαλεία, καθώς και την ενσωμάτωση και διαλειτουργικότητα εργαλείων και συνόλων δεδομένων που είναι απαραίτητα για τους αστρονόμους. Η ταχύτητα και η αποδοτικότητα των αλγορίθμων εξόρυξης δεδομένων επηρεάζουν άμεσα τον αλγόριθμο που επιλέγεται κατά την διεξαγωγή εξερεύνησης δεδομένων. Αν παρουσιάζουν καθυστέρηση ή δυσκολεύονται να ανταποκριθούν όταν ασχολούνται με μαζικά δεδομένα, οι αλγόριθμοι θα πρέπει να παραλληλιστούν/ διανεμηθούν

από το MapReduce ή άλλες τεχνολογίες παραλληλοποίησης στις πλατφόρμες μηχανικής μάθησης (π.χ. Hadoop, Graphlab, Spark, κλπ.). Με KD-Treeindex ή άλλου είδους μεθόδους ευρετηρίασης, μετατρέπονται σε GPU ή σε ομάδες (clusters), ή ακόμη αντικαθίστανται από άλλες προηγμένες μεθόδους/ προσεγγίσεις. Η μεγάλη εποχή των δεδομένων έχει προωθήσει την εμφάνιση μιας διεπιστημονικής και πολυεπιστημονικής εποχής, μια εποχή συνεργασίας. Είναι αδύνατο να εξαχθεί αποτέλεσμα σημαντικής αξίας από τέτοια τεράστια ποσά δεδομένων σε εύλογο χρονικό διάστημα, από μεμονωμένες ειδικότητες επιστημόνων. Εάν δεν χρησιμοποιούνται καθόλου ή δεν χρησιμοποιούνται εγκαίρως, τα δεδομένα είναι άχρηστα, είναι σχεδόν σκουπίδια. Κανείς, σε κανένα κλάδο δεν θέλει να ασχολείται με πολύ δαπανηρά όργανα που δεν παράγουν αποτελέσματα. Η συνεργασία αυτή, μεταξύ αστρονόμων, στατιστικών, μαθηματικών, επιστημόνων υπολογιστών, επιστημόνων πληροφόρησης και επιστημόνων δεδομένων είναι η μόνη σωστή λύση. Πολλά προγράμματα/ έργα, για παράδειγμα, η έρευνα SDSS, δείχνουν τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας συνεργασίας.

Σήμερα, η SloanDigitalSkySurvey (SDSS) (<http://www.sdss.org>) είναι μία από τις πιο φιλόδοξες και με επιρροή έρευνες, καθώς είναι η πιο επιτυχημένη και η συχνότερα αναφερόμενη έρευνα στην ιστορία της αστρονομίας. Η SDSS έχει εξελιχθεί σε SDSS-I και SDSS-II και έχει αποδώσει ως SDSS-III, που βρίσκεται σε λειτουργία για περισσότερα από 15 χρόνια με σκοπό να κατασκευάσει έναν χάρτη του σύμπαντος, έργο που θα συνεχίζεται για πολλά χρόνια ακόμη. Έχει δημιουργήσει πάνω από 5.800 δημοσιευμένες επιστημονικές δημοσιεύσεις στην αστρονομία και άλλες επιστήμες των οποίων οι αναφορές έχουν συνολικά περίπου 250.000 επισκέψεις. Σημαντικά επιστημονικά αποτελέσματα του SDSS είναι η ανακάλυψη των redshiftz > 6 QSOs, καφέ νάνους (brown dwarfs) και πολλούς νέους βαρυτικούς φακούς (gravitational lenses), η υποδομή του Γαλαξία, οι μικρότεροι γαλαξίες χαμηλής επιφανειακής φωτεινότητας, οι δυναμικές οικογένειες αστεροειδών, τα άστρα υπερ-ταχύτητας και βαρυονικές ακουστικές ταλαντώσεις. Τα περισσότερα γεγονότα που ανακαλύφθηκαν δεν είχαν καν βρεθεί στην σφαίρα της φαντασίας των προγραμματιστών της έρευνας. Το SDSS παρέχει μοναδικά και ενδιαφέροντα δεδομένα, αυξάνοντας την ποσότητα ακριβών πολυχρωματικών φωτομετρικών δεδομένων χίλιες φορές. Τα δεδομένα έως και 109 αντικειμένων επιτρέπουν τη διεξαγωγή στατιστικών μελετών σχεδόν σε κάθε πεδίο της αστροφυσικής. Η μεγάλη επιτυχία του SDSS οφείλεται σε διάφορους παράγοντες: μια μεγάλη επένδυση από και προς την ερευνητική κοινότητα, συνθήκες υπό τις οποίες τα δεδομένα διατίθενται όσο το δυνατόν πιο εύκολα, και το γεγονός ότι πρόκειται για μια ευρέως διαδεδομένη εξερεύνηση που δεν γίνεται στα τυφλά. Ο πιο αξιοσημείωτος παράγοντας είναι η άριστη συνεργασία μεταξύ των αστρονόμων της SDSS, της Microsoft, των επιστημόνων των υπολογιστών και των φυσικών σωματιδιακής φυσικής, που διευκολύνει τη διαχείριση και τη συντήρηση των βασικών δεδομένων. Εν συντομία, η επιτυχία του SDSS μας δίνει την ιδέα ότι η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών κλάδων και διαφορετικών επιχειρήσεων αντιπροσωπεύει τη γενική τάση στην μεγάλη εποχή της αστρονομίας. Μακροπρόθεσμα, υποστήριξη από τις κυβερνήσεις και τις κοινότητες θα πρέπει να αυξηθεί και να ενθαρρύνει την εξέλιξη αυτής και άλλων αντίστοιχων

ερευνών. Ταυτόχρονα, εκπαιδεύοντας την επόμενη γενιά επιστημόνων να εργάζονται με μεγάλα δεδομένα είναι ότι πιο αναγκαίο για να υπάρξει ταχύτερη εξέλιξη.

Η αναφορά σε βάσεις δεδομένων προτιμήθηκε να γίνει επιγραμματικά και σύντομα στο καταληκτικό κεφάλαιο των συμπερασμάτων αφενός διότι εκτενέστερη περιγραφή θα απαιτούσε την σπατάλη ενός ολόκληρου κεφαλαίου στρέφοντας τον ζυγό προς την πλευρά της επιστήμης των δεδομένων και όχι της αστρονομίας. Έτσι αναφέρθηκε έστω και συνοπτικά το βασικό αυτό κομμάτι της επιστήμης των δεδομένων και αποφεύχθηκε η υπερβολική διόγκωση της έρευνας αυτής. Επίσης αποτέλεσε έναυσμα για την επισήμανση του σημαντικότερου συμπεράσματος αυτής της εργασίας, την ραγδαία εξέλιξη που υπάρχει στην αστρονομία την εποχή των μεγάλων δεδομένων και την ανάγκη για βελτίωση και κατανόηση όλων αυτών των υποκλάδων καθώς και την σημασία της μεταξύ τους συνεργασίας. Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο, ίδια είναι η συνεισφορά της αναφοράς στην SDSS, μιας έρευνας που μέσα από την διεπιστημονικότητα μας δείχνει πως ο τεράστιος όγκος δεδομένων, ασύλληπτης ποικιλομορφίας μπορεί να γίνει σχετικά συνεκτικός καθώς και ερμηνεύσιμος αποδίδοντας νέα σημαντικά στοιχεία όπως αυτά που αναφέρονται παραπάνω... Όσον αφορά τους ανθρώπινους πόρους, αρκούν μόνο γνώση, θέληση και συνεργασία.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ/ REFERENCES

- Angouloupis S., Seiradakis I.X. (1993): "Παρατηρησιακή Αστρονομία", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Baade W. (1942): *Astrophys. J.*, 96, 188.
- Ball, N. M. & Brunner, R. J. (2010) *IJMPD* 19, p 1049.
- Banou G., (1985): "Γενική Αστρονομία", Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Benítez, N. (2000) *ApJ* 536, p 571. Retrieved from the World Wide Web November 23, 2014: <http://iopscience/iop.org/0004-637X/536/2/571/fulltext/>
- Bolton J.G., Stanley G.J. and Slee O.B. (1949): *Nature*, 164, 101.
- Bolzonella, M., Miralles, J.-M., & Pelló, R. (2000) *A&A* 363, p 476. Retrieved from the World Wide Web November 19, 2014: <http://webast.ast.obs-mip.fr/hyperz/>
- Bourke, S., van Langevelde H.J., (2006): Analysing very large datasets with ParselTongue, in proceedings of the 8th EVN Symposium, PoS(8thEVN)066.
- Carroll B. W., Ostlie D. A., (2014), *Introduction to Modern Astrophysics*, Addison Wesley Publishing Company, Inc
- Cesarsky, Catherine (2009), *Η περιπέτεια του σύμπαντος από τον Γαλιλαίο ως σήμερα*, Αθήνα: Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη / Ελευθεροτυπία, [2009].
- Charles, Philip A., Seward, Frederick D., (1995), *Exploring the X-ray universe*, Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Christensen, Lars Lindberg, Fosbury, R. A. E., Hurt, Robert, (2009). *Hidden universe*, Weinheim, Germany: Wiley / VCH, 2009.
- Collister, A. A. & Lahav, O. (2004) *PASP* 116, p 345. Retrieved from the World Wide Web November 19, 2014: <http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucapola/annz.html>
- Danezis, M., Theodosiou S., (1999), *Το σύμπαν που αγάπησα: εισαγωγή στην αστροφυσική*, Αθήνα: Δίαυλος, 1999.
- Dyson, Marianne J., (2007), *Space and astronomy: decade by decade*, New York: Facts On File, 2007.
- Feldmann, R., Carollo, C. M., Porciani, C., et al. (2006) *MNRAS* 372, p 565.
- Fischer, D., Duerbeck, H., *Hubble (1996): a new window to the universe*, New York: Springer / Copernicus, 1996.
- Fischer, D., Duerbeck, H., (1998): *Hubble revisited: new images from the discovery machine*, New York: Springer / Copernicus, 1998.
- Green D.A. (1991) " A catalogue of supernova remnants", *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 103, 209.
- Hayashi, C., Yajima, K., Bock, H.H., Ohsumi, N., Tanaka, Y., Baba, Y., (1998), *Data Science, Classification, and Related Methods*, Springer Japan.
- Hey J.S. (1975): "The Radio Universe", Pergamon Press, Oxford.
- Judd C., McClelland, G., (1989), *Data Analysis*.

- Kerrod, R., (2003): Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble: ο καθρέφτης του σύμπαντος, Αθήνα: Σαββάλας, 2003.
- Kouroumpatzakis K., (2011): Οπτικές Παρατηρήσεις Υπολειμάτων Υπερκαινοφανών, ΑΠΘ.
- Kraus J.D. (1986): "Radio Astronomy" Cygnus-Quasar Books, Ohio.
- Lo F., (2018), "What is Data Science? What is analytics? What is a data scientist?", datajobs.com, accessed: 10/01/2019.
- Lorimer, Duncan R. (2008). «Binary and Millisecond Pulsars».
- Lorimer, Duncan R.; Kramer, Michael (2004). Handbook of Pulsar Astronomy. Cambridge University Press. ISBN 0521828236.
- Lyne, Andrew G., Graham-Smith, Francis (1998). Pulsar Astronomy. Cambridge University Press. ISBN 0521594138.
- Mitton, J., (2005): Αστέρια και πλανήτες, Αθήνα: Σαββάλας, 2005.
- Moore, P., (1997): Eyes on the universe: the story of the telescope, London, Berlin: Springer, 1997.
- Napier, Ninth P., (2004): Synthesis Imaging Summer School, June 15-22 2004.
- National Research Council (NRC), (1991). Working Papers: Astronomy and Astrophysics Panel Reports. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1635>.
- O'Neil, C., Schutt R., (2013). Doing Data Science. O'Reilly Media
- Petersen, C. C., Brandt, J. C., Visions of the cosmos, Cambridge: Cambridge University.
- Reynolds S.P. (1988): "Supernova Remnants" in Galactic and Extragalactic Radio Astronomy (eds.G.L. Verschuur and K.I. Kellermann), Springer Verlag, p.439.
- Richard N.; Taylor, Joseph H. (1977). Pulsars. W. H. Freeman and Company. ISBN 0716703580.
- Rohlf, K. & Wilson, T. L. (2004): Tools of radio astronomy. Astronomy and astrophysics library. Berlin: Springer (2004). 1933: "Radio waves from outside the solar system", Nature, 132, p66.
- Sharpe, M., (2006), Space: the ultimate frontier, Surrey, UK: Taj Books, 2006.
- Shklovskii. (1960): Soviet Astron., 4, 243.
- Simopoulos, D. P., (2008): Η βιογραφία του σύμπαντος, Αθήνα: Ερευνητές, 2008.
- Simopoulos D.,P., Delivorias A.,A., (2011), Παράθυρα στο Σύμπαν, Ίδρυμα Ευγενίδου, Νέο ψηφιακό πλανητάριο, p. 68-80, 84-96, 104.
- Spyrou N. (1986): "Αρχές Αστρικής Εξέλιξης", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Stairs, I. H., (2003). «Testing General Relativity with Pulsar Timing».
- Tucker, W., Tucker, K., Revealing the universe: the making of the Chandra X - ray Observatory, Cambridge
- Van Langevelde., H.J., (2006): Data processing software for radio astronomy ,The 8th European VLBI Network Symposium, September 26-29, 2006, Toruń, Poland
- Varvoglis., H., Seiradakis., I.H., Introduction to modern astronomy, Gartaganis Publications.
- Varvoglis., H., Seiradakis., I.H., (1995): "Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αστρονομία", Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Varvoglis., H., Seiradakis., I.H., (1991): "Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αστρονομία", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Vlachou., L., (1990): "Φυσική Πλάσματος", ΔιδακτικέςΣημειώσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Watson, F., (2005): Stargazer: the life and times of the telescope, Cambridge: Da Capo, 2005.

Weiler K.W. (1983): "The Crab Nebula is not alone!", Observatory, 103, 85.

Zhang, Y., Luo, A., & Zhao, Y. (2004) Astronomical Data Analysis II. Proc. of SPIE 5493, p 483.

Zhang, Y. & Zhao, Y. (2011) e-Science Technology & Application 3, pp 13–27.

Zhang, Y and Zhao, Y 2015 Astronomy in the Big Data Era. Data Science Journal, 14: 11, pp. 1–9, DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/dsj-2015-011>

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

Διεθνή:

- ATNF: <http://www.atnf.csiro.au/computing/software/index.html>
- Bell Labs Nokia: <https://www.bell-labs.com/radio-astronomy-celebration>
- Berkley School of Information: <https://datascience.berkeley.edu/about/what-is-data-science/#fn2>
- Chandra X ray observatory: <http://chandra.harvard.edu>
- Data jobs: <https://datajobs.com/what-is-data-science>
- Harris Geospatial Solutions: <https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/IDL>
- HiSPARC Project. <http://www.hisparc.nl/en/>.
- Mathworks.com: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- National Academies Press: <https://www.nap.edu>
- NRAO (National RadioAstronomy Observatory)www.nrao.edu/whatisra/hist_jansky.shtml
- Radio Telescope Data Center / Smithsonian Astrophysical Observatory: <https://www.cfa.harvard.edu/rtdc>
- Raw Astrophotography Data: <http://www.rawastrodata.com/pages/typesofimages.html>
- Scilab.org: <https://www.scilab.org/>
- Scipy.org: www.scipy.org
- PTC Mathcad: <https://www.ptc.com/en/products/Mathcad>
- Python.org: <https://www.python.org/>
- RTDC:www.cfa.harvard.edu
- Sloan Digital Sky Survey web site: <http://www.sdss.org>
- Steve Torchinsky's blog: <http://satorchi.net/specsoft/specsoft.php>
- Wolfram.com: <https://www.wolfram.com/mathematica/>
- RadioNEt: <http://www.radionet-eu.org/>

Ελληνικοί:

- AVAT, AsrtoVox astrophotography team: <https://www.astrovox.gr/avat/types.php>
- ΕΕΑ: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών <http://www.noa.gr>
- ΕΑΔ: Εταιρία Αστρονομίας και Διαστήματος www.astronomos.gr
- ΕΑΠ: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο www.eap.gr