

Παρατηρώντας τον ραδιο-ουρανό με το **PICTOR**

Συντάκτης: Απόστολος Σπανάκης-Μισιρλής

Επανεξέταση: Dr. Cameron Van Eck

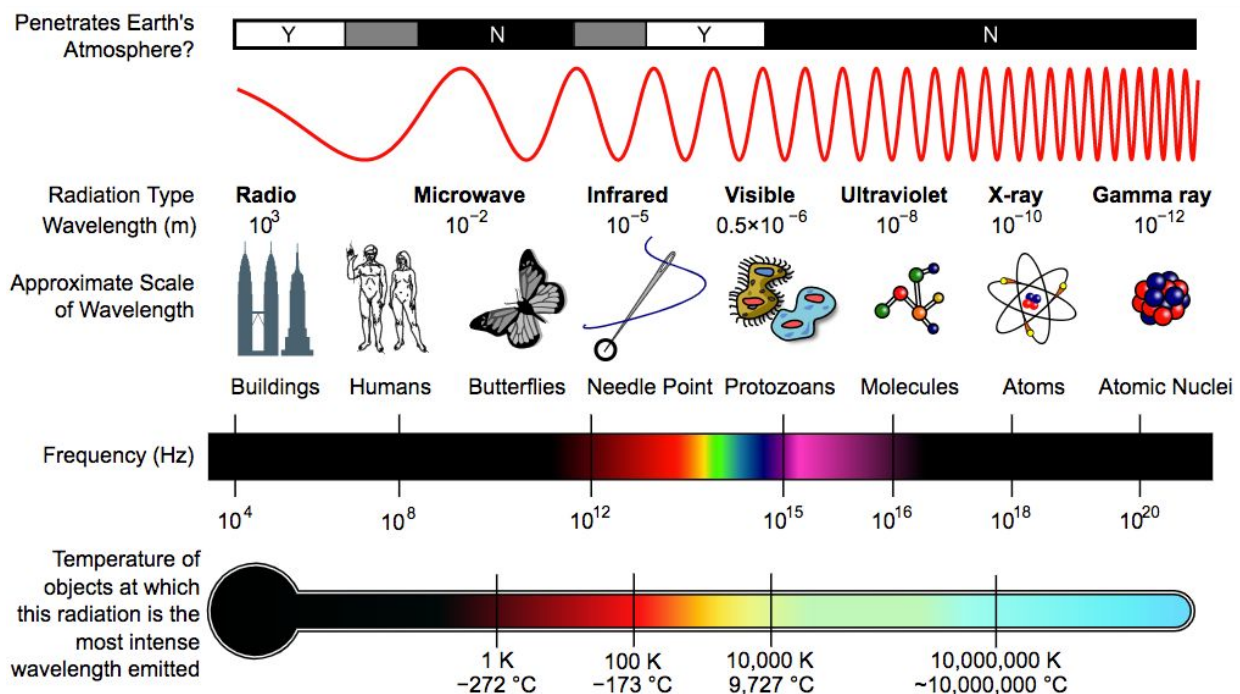
16th July, 2019

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	1
Εισαγωγή: Τι είναι η ραδιοαστρονομία;	2
Αλλά γιατί πρέπει να παρατηρούμε σε ραδιοκύματα;	2
Έτσι ... Τι μπορώ να παρατηρήσω με ένα ραδιοτηλεσκόπιο;	4
Η γραμμή υδρογόνου των 21 εκατοστών	4
Σχετικά με το PICTOR	5
Παρατηρώντας με το PICTOR	5
Παράμετροι και το νόημά τους	6
Πότε είναι η καλύτερη στιγμή για να παρατηρήσετε τη γραμμή υδρογόνου;	6
Συμπέρασμα	9
Σημείωση (image attribution)	10

Εισαγωγή: Τι είναι η ραδιοαστρονομία;

Η ραδιοαστρονομία είναι ένας υποπεδίο αστρονομίας που μελετά ουράνια αντικείμενα σε ραδιοσυχνότητες. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά τηλεσκόπια που παρατηρούν τον ουρανό στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (400-700 nm), τα ραδιοτηλεσκόπια παρατηρούν τον ουρανό σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από εκατοστά έως μερικά μέτρα.

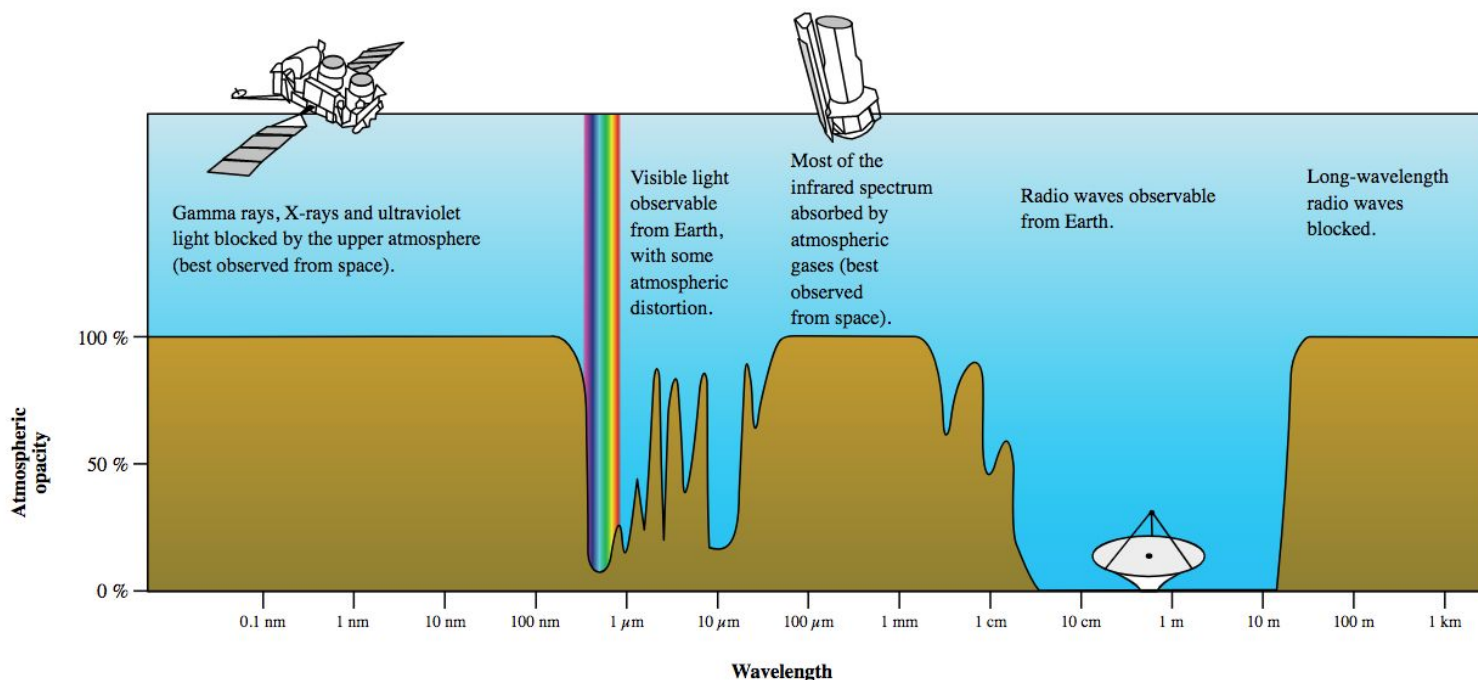


Εικόνα 1: Ένα διάγραμμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που δείχνει διάφορες ιδιότητες σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και των μηκών κύματος.

Αλλά γιατί πρέπει να παρατηρούμε σε ραδιοκύματα;

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για να παρατηρήσετε τον ουρανό στις ραδιοσυχνότητες. Ο πιο συνηθισμένος λόγος για τους ραδιοαστρονόμους που κατευθύνουν τα ραδιοτηλεσκόπια προς τον ουρανό είναι να μελετήσουν πηγές που παράγουν εκπομπές ραδιενέργειας: ακτινοβολία που είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι, αλλά είναι ικανή να παράσχει συναρπαστικές πληροφορίες στους αστρονόμους και τους αστροφυσικούς.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ραδιενεργών αστρονόμων πάνω από τους υπέρυθρους, υπεριώδεις και υψηλής ενέργειας αστρονόμους είναι το ατμοσφαιρικό παράθυρο: η ατμόσφαιρά μας είναι απολύτως διαφανής στα ραδιοκύματα, επομένως δεν χρειάζεται να στέλνουμε μεγάλες ραδιοφωνικές κεραιές στο διάστημα (όπως συνήθως έχουμε να κάνουμε με IR / UV / υψηλής ενέργειας δορυφόρους αστρονομίας) προκειμένου να εκθέσουν αποτελεσματικά τα όργανα μας στον ουρανό.



Εικόνα 2: Ένα διάγραμμα που δείχνει την ποσότητα απορρόφησης κάθε μήκους κύματος φωτός από την ατμόσφαιρα της Γης, επισημαίνοντας τα ατμοσφαιρικά παράθυρα.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι παρατηρήσεις μέσω ραδιοφώνου μπορούν να πραγματοποιηθούν τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας, ακόμη και κάτω από κακές καιρικές συνθήκες (π.χ. σύννεφα)!

Τέλος, μπορούμε να αξιοποιήσουμε τις τεχνικές ραδιομεταφοράς και σύνθεσης ανοιγμάτων χρησιμοποιώντας μεγάλες σειρές κεραιών για να επιτύχουμε εξαιρετικά υψηλές (γωνιακές) παρατηρήσεις επίλυσης, γεγονός που καθιστά δυνατή την πρώτη εικόνα μιας μαύρης τρύπας (ο συνδυασμός αρκετών ραδιοτηλεσκοπίων σε όλο τον κόσμο επέτρεψε στην ομάδα του Horizon Telescope να δημιουργήσει ένα εικονικό τηλεσκόπιο με το μέγεθος της Γης)!



Εικόνα 3: Η πολύ μεγάλη διάταξη (VLA) είναι μία από τις πιο εξελιγμένες συστοιχίες ραδιοτηλεσκοπίων στον κόσμο, αποτελούμενη από είκοσι επτά ραδιοφωνικές κεραίες μήκους 25 μέτρων που μπορούν να λειτουργήσουν ως ραδιοσυχνόμετρο υψηλής ευκρίνειας.

Έτσι ... Τι μπορώ να παρατηρήσω με ένα ραδιοτηλεσκόπιο;

Υπάρχουν πολλές πηγές στον ουρανό που παρουσιάζουν εκπομπές ραδιοσυχνότητας, συμπεριλαμβανομένων των γαλαξιών, υπολειμμάτων σουπερνόβα, νεφελωμάτων, γαλαξιών ραδιοσυχνότητας, κβάζαρ, πάλσαρ, κυψέλες και πολλά άλλα. Δεδομένου ότι το ραδιοτηλεσκόπιο που χρησιμοποιείτε χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση της ουδέτερης συγκέντρωσης υδρογόνου των σπειροειδών βραχιόνων του γαλαξία, θα εστιάσουμε την προσοχή μας στη γραμμή υδρογόνου.

Η γραμμή υδρογόνου των 21 εκατοστών

Η γραμμή υδρογόνου αναφέρεται στη φασματική γραμμή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δημιουργείται από μια αλλαγή στην ενεργειακή κατάσταση ουδέτερων ατόμων υδρογόνου. Αυτή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει την κατά προσέγγιση συχνότητα 1420,4 MHz, η

οποία είναι ισοδύναμη με το μήκος κύματος περίπου 21 cm ($\lambda = c\nu$). Αυτό το μήκος κύματος εμπίπτει στην περιοχή ραδιοσυχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και συχνά παρατηρείται από τους ραδιοαστρονόμους. Ο ακριβής μηχανισμός υπό τον οποίο τα άτομα υδρογόνου εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος 21 cm είναι λίγο περίπλοκος, αλλά δεν είναι σημαντικό αν θέλετε απλώς να εκτελέσετε ουδέτερες παρατηρήσεις υδρογόνου (εάν σας ενδιαφέρει να μάθετε πώς τα άτομα υδρογόνου μπορούν να εκπέμπουν ακτινοβολία, κοιτάξτε εδώ και εδώ).

Σχετικά με το PICTOR

Το PICTOR είναι ένα ραδιοτηλεσκόπιο ανοιχτού κώδικα που επιτρέπει σε οποιονδήποτε να παρακολουθεί δωρεάν τον ουρανό του ραδιοφώνου χρησιμοποιώντας την βολική πλατφόρμα του. Στόχος αυτής της προσπάθειας είναι να εισαγάγει τους σπουδαστές, τους εκπαιδευτικούς, τους αστρονόμους και άλλους στην μεγαλοπρέπεια του ουρανού του ραδιοφώνου, προωθώντας την εκπαίδευση της ραδιοαστρονομίας, χωρίς την ανάγκη κατασκευής ενός μεγάλου και ακριβού ραδιοτηλεσκοπίου.

Παρατηρώντας με το PICTOR

Για να παρατηρήσετε με τον PICTOR, θα πρέπει απλά να ακολουθήσετε αυτά τα βήματα:

1. Επισκεφθείτε τη διεύθυνση <https://pictortelescope.com/>, κάντε κλικ στο 'Παρατηρήστε' → κάντε κλικ στο 'Παρατηρήστε'. Εναλλακτικά, απλώς επισκεφτείτε τη διεύθυνση <https://pictortelescope.com/observe>.
2. Θα πρέπει να δείτε μια φόρμα που σας επιτρέπει να εισαγάγετε ορισμένες παραμέτρους για την παρατήρησή σας (ανατρέξτε στην επόμενη ενότητα για να μάθετε ποιες παραμέτρους θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για μια επιτυχημένη παρατήρηση). Αφού τα συμπληρώσετε, κάντε κλικ στην επιλογή "Υποβολή".
3. Περιμένετε να τελειώσει ο PICTOR να παρατηρεί τον ουρανό. Η διάρκεια της παρατήρησης εξαρτάται από τη διάρκεια που καθορίσατε (+ 1 έως 2 λεπτά για να αρχίσει η παρατήρηση κλπ.). Μόλις ολοκληρωθεί η παρατήρηση, τα δεδομένα θα παραδοθούν στο email σας ως συνημμένο εικόνας.

Παράμετροι και το νόημά τους

Παράμετρος	Εννοια	Παράδειγμα τιμής
Όνομα παρατήρησης	Ένα όνομα για την παρατήρησή σας	My first HI observation
Κεντρική συχνότητα (MHz)	Η συχνότητα που θέλετε να ακούσετε	1420
εύρος ζώνης	Το φάσμα συχνοτήτων που θέλετε να παρακολουθείτε ταυτόχρονα	2.4 MHz
Αριθμός καναλιών	Η ποσότητα των σημείων δεδομένων στον άξονα συχνότητας (περισσότερα κανάλια = ανάλυση υψηλότερης συχνότητας)	2048
Αριθμός κάδων	Αυτό σας επιτρέπει να επηρεάσετε τη διάρκεια κάθε δείγματος * (παρόμοιο με τον χρόνο έκθεσης στη φωτογραφία)	10000
Διάρκεια	Η διάρκεια της παρατήρησής σας	300
Email	Η διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στα οποία θα πρέπει να παραδοθούν τα δεδομένα	email@example.com

*Κάθε δείγμα διαρκεί $T_{int} = n_{bins} * n_{chan} / \text{bandwidth}$, όπου ο T_{int} ο χρόνος ολοκλήρωσης σε δευτερόλεπτα, ο αριθμός των κεραιών, ο αριθμός των καναλιών και το εύρος ζώνης είναι το στιγμιαίο εύρος ζώνης σε Hz.

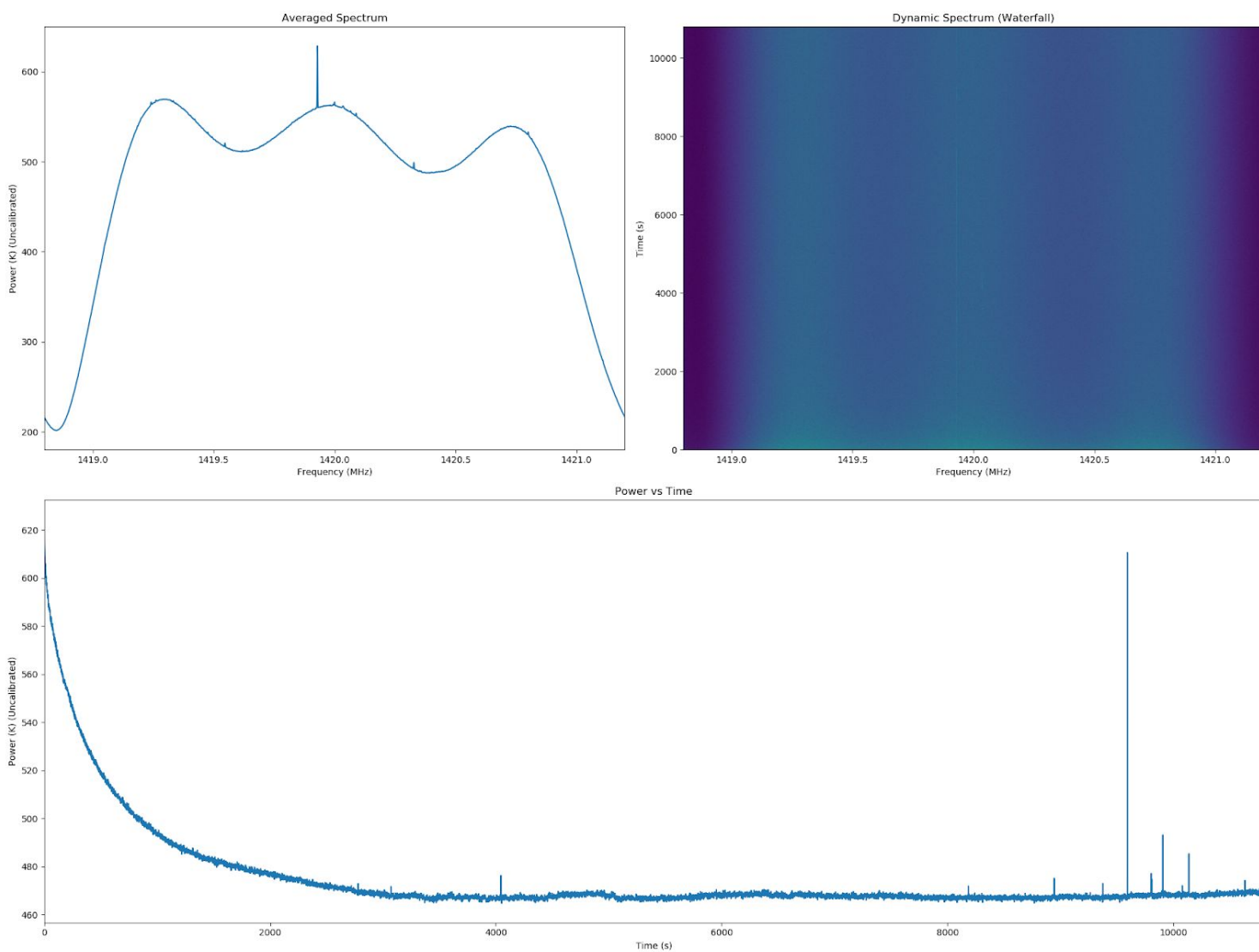
Πότε είναι η καλύτερη στιγμή για να παρατηρήσετε τη γραμμή υδρογόνου;

Ο πιο "ιδανικός" χρόνος για να παρατηρήσετε και να ανιχνεύσετε τη γραμμή 21 cm θα είναι όταν το επίπεδο της Γαλαξίας βρίσκεται στη δοκό * (οπτικό πεδίο) του τηλεσκοπίου. Για να ελέγξετε πότε το γαλαξιακό αεροπλάνο βρίσκεται κατευθείαν πάνω από το κεφάλι (το τηλεσκόπιο δείχνει σταθερά στο τοπικό zenith), μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα δωρεάν λογισμικό πλανητάριο όπως το Stellarium (ορίστε τη θέση στο «Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών» (οποιαδήποτε θέση στην Αθήνα θα δώσει ακριβή αποτελέσματα)).

* Το εύρος δέσμης του τηλεσκοπίου είναι $8,95^\circ$, οπότε φανταστείτε ότι ένας κύκλος με γωνιακή διάμετρο $8,95^\circ$ με κέντρο στο zenith είναι το "οπτικό σας πεδίο" (πέρα από αυτό, η ευαισθησία της κεραίας καθίσταται ασήμαντη).

Συνιστάται επίσης η διενέργεια δύο παρατηρήσεων αντί μόνο ενός. Προσπαθήστε να παρατηρήσετε πότε και ο Γαλαξίας είναι εκτός της δέσμης και συγκρίνετε τις δύο παρατηρήσεις (αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως «On-Off»).

Το παρακάτω σχήμα είναι μια 3ωρη παρατήρηση του ψυχρού / ραδιού-ήσυχου ουρανού (όταν το γαλαξιακό επίπεδο απέχει πολύ από την ακτίνα).

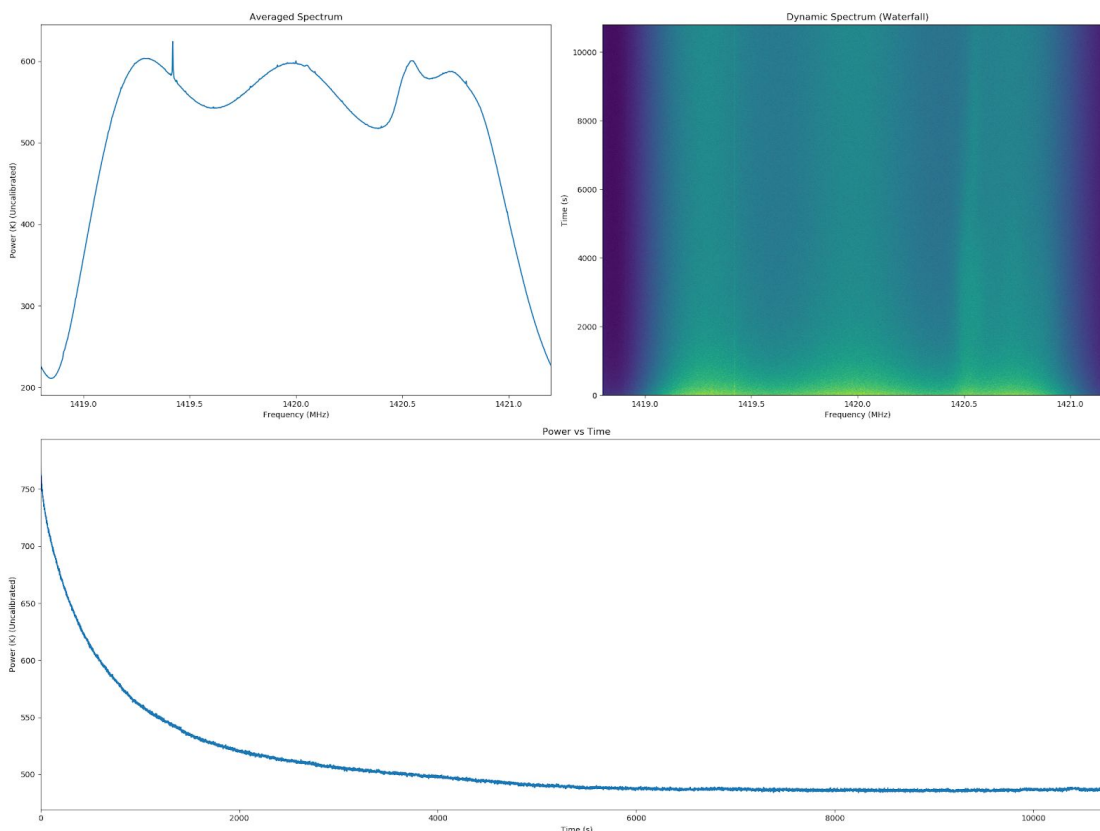


Εικόνα 4: Η παρατήρηση εκτός λειτουργίας. Κορυφαία αριστερά: Μεσαίο φάσμα, δεξιά δεξιά: Δυναμικό φάσμα (Καταρράκτης), κάτω: Μέση ισχύς vs. Σχέδιο χρόνου.

Το άνω αριστερό γράφημα είναι το μέσο εύρος φάσματος, που δείχνει τη μέση ισχύ (ένταση) για κάθε συχνότητα. Το πάνω δεξιό διάγραμμα δείχνει το δυναμικό φάσμα (καταρράκτη) (ένα γράφημα Ισχύς εναντίον Συχνότητας έναντι Χρόνου εμφανιζόμενο ως 2D οικόπεδο με μια χρωματική ένδειξη που δείχνει Ισχύς) και η γραφική παράσταση στο κάτω μέρος δείχνει μια μέση σχέση ισχύος / χρόνου. Η κατανομή μέσου φάσματος είναι συνήθως επαρκής για αρχάριους παρατηρητές.

Παρά την ύπαρξη ισχυρής ραδιοφωνικής πηγής στη δέσμη εκείνη την εποχή, βλέπουμε τρία καμπύλα προσκρούσεις στο μέσο εύρος φάσματος. Αυτό οφείλεται στο σχήμα του bandpass του δέκτη (ευαισθησία σε κάθε συχνότητα) και δεν πρέπει να συγχέεται με εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων (γι 'αυτό διεξάγουμε παρατηρήσεις On-Off: για να υπολογίσουμε τις "αστάθειες" του δέκτη κλπ.). Σημειώστε ότι υπάρχουν και κάποιες αιχμηρές ακίδες στο φάσμα. Αυτές οι αιχμές είναι παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων στενής ζώνης (RFI), πιθανότατα προερχόμενες από τους ταλαντωτές του επεξεργαστή του υπολογιστή. Η γραμμή υδρογόνου φαίνεται να έχει πολύ ευρύτερο πλάτος καθώς πρόκειται να δείτε, έτσι είναι γενικά εύκολο να διακρίνετε τη γραμμή υδρογόνου από RFI.

Η ακόλουθη εικόνα είναι η ισοδύναμη 3ωρη παρακολούθηση της Γαλαξίας (όταν το γαλαξιακό επίπεδο βρίσκεται στη δέσμη).



Εικ. 5: Η παρατήρηση Οη. Κορυφαία αριστερά: Μεσαίο φάσμα, δεξιά δεξιά: Δυναμικό φάσμα (Καταρράκτης), κάτω: Μέση ισχύς vs. Σχέδιο χρόνου.

Όπως μπορείτε να δείτε, υπάρχει μια ξεχωριστή κορυφή στο μέσο εύρος φάσματος γύρω στα 1420.5 έως 1420.6 MHz. Αυτή είναι η γραμμή του υδρογόνου, και είναι μπλε-μεταβαλλόμενη (συχνότητα > 1420,4 MHz), που σημαίνει ότι η πηγή μας πλησιάζει! Μόλις εντοπίσαμε έναν σπειροειδή βραχίονα του ίδιου του γαλαξία μας και κάνοντας μια άλλη παρατήρηση (δηλαδή όταν η άλλη πλευρά του Γαλαξία βρίσκεται στη δέσμη), θα πρέπει να περιμένουμε να δούμε έναν διαφορετικό σπειροειδή βραχίονα, τον Doppler μετατοπισμένο (redshifted ή blueshifted) σε διαφορετικό βαθμό, επιβεβαιώνοντας ότι, πράγματι ζούμε σε έναν σπειροειδή γαλαξία!

Χρησιμοποιώντας μερικές απλές εξισώσεις μετατόπισης Doppler, ενθαρρύνεστε επίσης να βρείτε την ταχύτητα των εντοπισμένων σπειροειδών βραχιόνων σε σχέση με τη Γη.

Συμπέρασμα

Ελπίζω αυτό το όργανο να σας εισάγει στην μεγαλοπρέπεια του ουρανού ραδιοφώνου και σας ενθαρρύνει να παρατηρήσετε τον ουρανό σε ραδιοκύματα. Εάν θέλετε να μάθετε περισσότερα σχετικά με τη ραδιοαστρονομία, συνιστώνται οι παρακάτω πόροι:

- Mapping the Galaxy with Radio Astronomy: <https://youtu.be/-UrzmAa62ho>
- Radio Astronomy in Five Minutes: <https://youtu.be/3EcrLNIWdE>
- National Radio Astronomy Observatory (NRAO): <https://public.nrao.edu/radio-astronomy/>
- The Hydrogen 21-cm Line: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/h21.html>
- What is Radio Astronomy - ATNF: <https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/everyone/radio-astronomy/index.html>

Εάν έχετε οποιοσδήποτε ερωτήσεις, σχόλια, προτάσεις ή οτιδήποτε άλλο θέλετε να επικοινωνήσετε με τον συγγραφέα, μη διστάσετε να στείλετε μήνυμα με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο στο Oxcoto@protonmail.com και θα χαρώ να σας επιστρέψουμε σύντομα!

Σημείωση (image attribution)

Το παρόν έγγραφο περιέχει υλικό από το άρθρο "[Electromagnetic spectrum](#)" της Wikipedia, το οποίο εκδίδεται υπό το [Creative Commons Attribution-Share-Alike License 3.0](#).