



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΟΡΑΤΑ ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ**

ANNA ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

A.M. 1110201300104

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΚΟΣΜΑΣ ΓΑΖΕΑΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΑΚΗΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 υπό την επίβλεψη του κυρίου Κοσμά Γαζέα, Λέκτορα Παρατηρησιακής Αστροφυσικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κύριο Κοσμά Γαζέα για την πολύτιμη βοήθειά του αλλά και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Μου αφιέρωσε το χρόνο του και μου προσέφερε τις γνώσεις και τις συμβουλές του ώστε να έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Λευτέρη Τζουγανάτο, ο οποίος μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω τον κώδικα που ο ίδιος ανέπτυξε για την επεξεργασία των φασμάτων και ήταν πρόθυμος να προσφέρει οποιαδήποτε διευκρίνιση και βοήθεια.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που με βοήθησαν ο καθένας με τον δικό του τρόπο, τόσο κατά τη διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας, όσο και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα εργασία στην οικογένειά μου και να την ευχαριστήσω για τη στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η φασματοσκοπία αποτελεί μια επιστήμη με ιδιαίτερη σημασία για την Αστροφυσική και την εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος. Η φασματοσκοπική μελέτη των ουράνιων σωμάτων μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη χημική σύσταση των ατμοσφαιρών τους, για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν όπως η πίεση και οι άνεμοι, αλλά και για την ακτινική τους ταχύτητα.

Στην εργασία αυτή, πραγματοποιήθηκε λήψη και επεξεργασία των φασμάτων των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος και της Σελήνης σε τρεις ξεχωριστές περιοχές στα ορατά μήκη κύματος. Απώτερος στόχος της διαδικασίας αυτής αποτελεί η ανίχνευση μοριακών ενώσεων στις ατμόσφαιρες των πλανητών σε σύγκριση με τα φάσματα των σωμάτων που είναι βραχώδη, χωρίς ατμόσφαιρα. Η ανίχνευση οργανικών ενώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής.

Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων που διεξήχθησαν στο Γεροσταθοπούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών συγκρίνονται με εκείνα από διαστημικές αποστολές ή από άλλα επίγεια και δορυφορικά παρατηρητήρια. Τα συμπεράσματά μας συμπίπτουν απόλυτα με παλαιότερες μελέτες. Επιπλέον, εντοπίζονται οι ομοιότητες μεταξύ των φασμάτων των πλανητών και της Σελήνης αλλά και οι χαρακτηριστικές απορροφήσεις που τους διαφοροποιούν. Για παράδειγμα, οι μεγάλες μπάντες μεθανίου στον Ουρανό και τον Ποσειδώνα επιβεβαιώνουν την μεγάλη αφθονία των μορίων στους αέριους γίγαντες.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην εργασία σχετίζεται με την ανίχνευση ατμόσφαιρας σε εξωπλανήτες και χρησιμοποιείται από επίγεια παρατηρητήρια.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	5
Περιεχόμενα	7
Κεφάλαιο 1: Θεωρία	9
1.1 Συνοπτική περιγραφή του Ηλιακού Συστήματος	9
1.2 Φασματοσκοπία.....	10
1.2.1 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	10
1.2.2 Αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη	11
1.2.2.1 Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	12
1.2.2.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	13
1.2.3 Φαινόμενο Doppler.....	13
1.2.4 Δομή φασματικών γραμμών.....	15
Κεφάλαιο 2: Λήψη και Επεξεργασία Φασμάτων	17
2.1 Λήψη Φασμάτων.....	17
2.1.1 Περιγραφή φασματογράφου.....	17
2.2.2 Διαδικασία λήψης των φασμάτων.....	20
2.2 Επεξεργασία Φασμάτων	21
Κεφάλαιο 3: Ανίχνευση Μοριακών Ενώσεων	25
3.1 Μοριακές ενώσεις και η σημασία τους για τη ζωή	25
3.2 Εντοπισμός μοριακών ενώσεων σε ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος... ..	25
3.2.1 Φάσμα Αφροδίτης	26
3.2.2 Φάσμα Σελήνης	29
3.2.3 Φάσμα Άρη	32
3.2.4 Φάσμα Δία	34
3.2.5 Φάσμα Κρόνου	37
3.2.6 Φάσμα Ουρανού.....	39
3.2.7 Φάσμα Ποσειδώνα.....	41
3.2.8 Σύγκριση Φασμάτων	43
Κεφάλαιο 4: Ανίχνευση ατμόσφαιρας σε εξωπλανήτες	45
4.1 Διαδικασία ανίχνευσης ατμόσφαιρας.....	45
4.2 Κατοικήσιμοι εξωπλανήτες.....	46
4.3 Αποστολές για την ανακάλυψη εξωπλανητών και την ανίχνευση ατμόσφαιρας σε αυτούς.....	47
Κεφάλαιο 5: Επίλογος	51
Βιβλιογραφία	53

Κεφάλαιο 1: Θεωρία

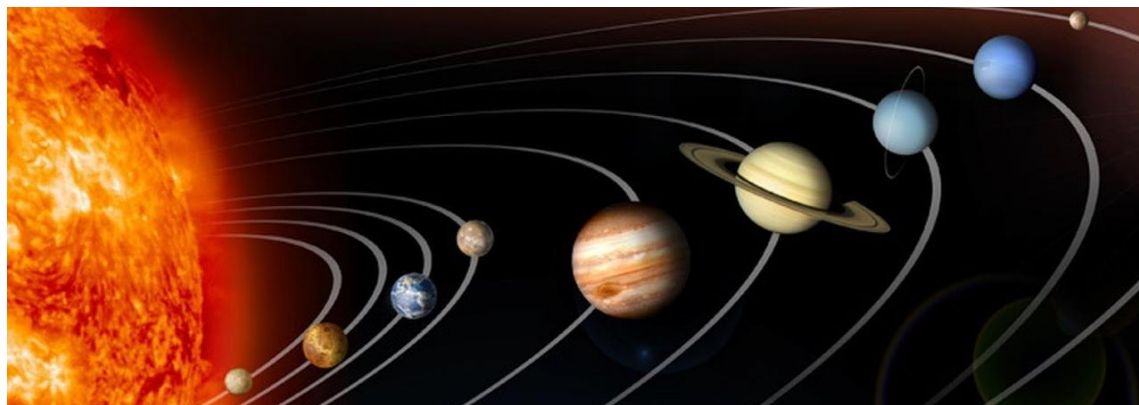
1.1 Συνοπτική περιγραφή του Ηλιακού Συστήματος

Το Ηλιακό μας Σύστημα περιλαμβάνει τον Ήλιο και όλα τα αντικείμενα τα οποία κινούνται σε τροχιά γύρω από αυτόν μέσα στο πεδίο βαρύτητάς του, είτε περιστρεφόμενα άμεσα γύρω του είτε κινούμενα σε τροχιές γύρω από άλλα σώματα που κινούνται γύρω από αυτόν.

Οι οκτώ πλανήτες είναι τα σώματα μεγαλύτερης μάζας που ανήκουν στο Ηλιακό Σύστημα. Οι τροχιές τους είναι ελλειπτικές με εκκεντρότητα πολύ κοντά στη μονάδα οπότε είναι σχεδόν κυκλικές και βρίσκονται πάνω στο επίπεδο που ορίζει η εκλειπτική. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους βραχύδεις και τους αέριους γίγαντες. Στους βραχύδεις ανήκουν ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης και στους αέριους γίγαντες ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας. Όλοι οι πλανήτες, εκτός από τον Ερμή και την Αφροδίτη, διαθέτουν φυσικούς δορυφόρους, ενώ οι αέριοι γίγαντες διαθέτουν επιπλέον και δακτυλίους.

Μέσα στο βαρυτικό πεδίο του Ήλιου υπάρχουν επίσης αστεροειδείς και κομήτες. Ανάμεσα στον Άρη και το Δία συναντάμε την Κύρια Ζώνη Αστεροειδών και πέρα από τον Ποσειδώνα τη ζώνη του Kuiper. Επιπλέον, η ζώνη του Kuiper, τα Αντικείμενα Διασκορπισμένου Δίσκου (SDO) και τα αντικείμενα του Νέφους του Oort σχηματίζουν την ομάδα των Μεταποσειδώνιων Αντικειμένων. Στο Ηλιακό Σύστημα ανήκουν επίσης νάνοι πλανήτες που βρίσκονται πέρα από τον Ποσειδώνα όπως η Δήμητρα, ο Πλούτωνας, η Haumea, ο Makemake και η Έρις. Ανάμεσα στις διάφορες περιοχές κινούνται, επίσης, ελεύθερα αντικείμενα όπως κομήτες, κένταυροι και διαπλανητική σκόνη.

Το Ηλιακό Σύστημα περιβάλλει η Ηλιόσφαιρα, το όριο της οποίας αποτελεί η Ηλιόπαυση, η επιφάνεια δηλαδή όπου η πίεση των εξερχόμενων σωματιδίων του ηλιακού ανέμου και των εισερχόμενων σωματιδίων από τη μεσοαστρική περιοχή εξισορροπούνται. Η διάμετρος της Ηλιόσφαιρας είναι περίπου 122 AU.



Εικόνα 1: Οι πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος και ο Πλούτωνας. Οι τροχιές και τα μεγέθη δεν είναι σε κλίμακα. Πηγή: NASA

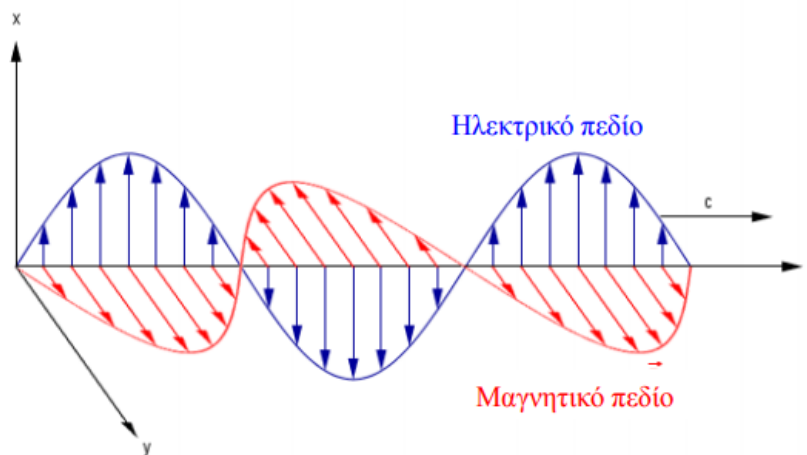
1.2 Φασματοσκοπία

Η Φασματοσκοπία είναι το σύνολο των πειραματικών τεχνικών με τις οποίες μελετάται η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη (άτομα, μόρια, ιόντα). Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί την επιστήμη της ανάλυσης του φωτός στις συχνότητες και μήκη κύματος από τις οποίες αποτελείται. Μελετώντας τα φάσματα εξάγονται συμπεράσματα σε σχέση με τη φύση, τη σύσταση και τις συνθήκες γενικότερα κάτω από τις οποίες εκπέμπεται το φως, όπως η θερμοκρασία, οι άνεμοι και η πίεση. Ακόμα, μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια η ακτινική ταχύτητα ενός ουράνιου σώματος και κατ' επέκταση να υπολογισθεί η συνολική του ταχύτητα. Είναι λοιπόν φανερό πως τα φάσματα αποτελούν πολύτιμα εργαλεία που συνεισφέρουν σημαντικά στην εξερεύνηση του διαστήματος, στην κατανόηση του Ηλιακού μας Συστήματος ακόμα και στην ανακάλυψη εξωπλανητών.

1.2.1 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η κατανόηση της φύσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρά με την ύλη αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ερμηνεία των φασμάτων. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελεί μορφή ενέργειας με κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες, έχει δηλαδή δυική φύση.

Όσον αφορά την κυματική της φύση, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης με ταχύτητα ίση με του φωτός $c=299.792.458$ m/s.

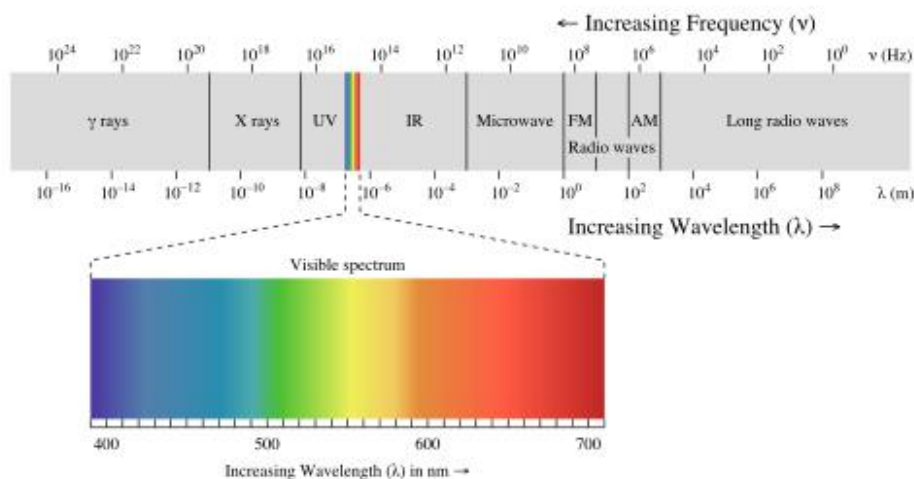


Εικόνα 2: Διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Πηγή: Πανεπιστήμιο Πατρών, Δημήτρης Κονταρίδης, Μοριακή Φασματοσκοπία.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αναφέρθηκε, έχει και σωματιδιακή φύση. Συμπεριφέρεται δηλαδή σαν δέσμη κινούμενων σωματιδίων τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Όλα τα φωτόνια κινούνται με την ίδια ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός, αλλά έχουν διαφορετική ενέργεια, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και είναι κβαντισμένη. Η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση $E = h\nu$ όπου h ονομάζουμε τη σταθερά του Planck η οποία είναι ίση με $h = 6.6262 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 3. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα (0-300 MHz), τα μικροκύματα (300 MHz – 300 GHz), η υπέρυθη ακτινοβολία (300 GHz – 400 THz), η ορατή ακτινοβολία (φως) (400-800 THz), η υπεριώδης ακτινοβολία (800 THz - $3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$), οι ακτίνες X ($3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$ - $5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$) και οι ακτίνες γ ($5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$ - $3 \cdot 10^{22} \text{ Hz}$).

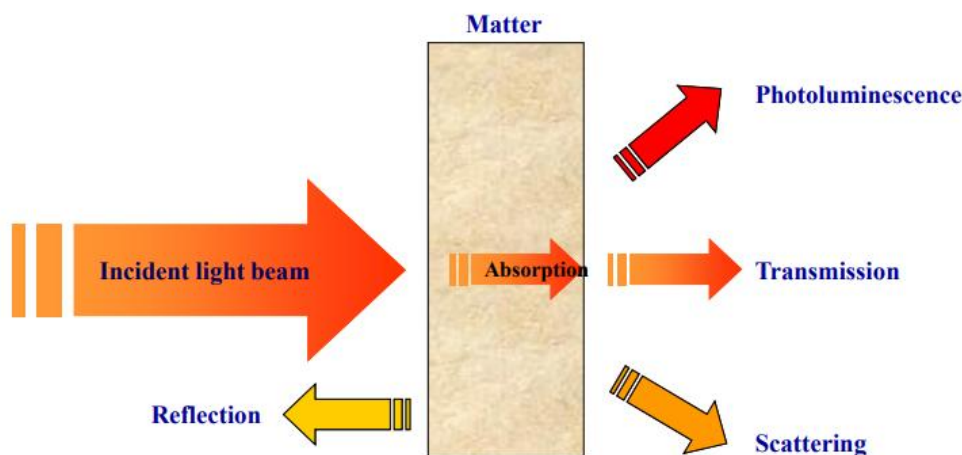


Εικόνα 3: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Πηγή: Ελληνογερμανική Αγωγή, https://www.ea.gr/ep/mobile/emr/ti_einai.html

1.2.2 Αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη

Κατά την πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ύλη λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες (εικόνα 4):

- Απορρόφηση ακτινοβολίας
- Εκπομπή ακτινοβολίας
- Φωταύγεια
- Σκέδαση ακτινοβολίας



*Εικόνα 4: Διεργασίες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
Πηγή: Uttar Pradesh Technical University (UPTU).*

Οι κυριότερες φασματομετρικές μέθοδοι ανάλυσης βασίζονται στην απορρόφηση και εκπομπή ακτινοβολίας. Αυτές οι διαδικασίες αναλύονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

1.2.2.1 Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία κατά την σύγκρουση ενός φωτονίου ενέργειας $E=hn$ με ένα δέκτη, δηλαδή ένα άτομο, ένα ιόν ή ένα μόριο, μπορεί να απορροφηθεί ενέργεια από τον δέκτη και να διεγερθεί.

Οι ενεργειακές στάθμες των ατόμων και των μορίων είναι κβαντισμένες. Όσον αφορά το άτομο, τα ηλεκτρόνια του βρίσκονται στη χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη υπό κανονικές συνθήκες, καταλαμβάνοντας όσα τροχιακά χρειάζονται. Με την απορρόφηση όμως της ακτινοβολίας αυξάνεται η ηλεκτρονιακή ενέργεια του ατόμου και το ηλεκτρόνιο μεταπηδά σε τροχιακά υψηλότερης ενέργειας. Συνεπώς, όταν άτομα, ιόντα ή μόρια απορροφούν ακτινοβολία, για να μεταβούν από μια ενεργειακή κατάσταση σε άλλη, η συχνότητα ν ή το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας σχετίζεται με τη διαφορά των ενεργειών στις δύο καταστάσεις: $\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu = hc/\lambda$. Όταν, λοιπόν, πολυχρωματική ακτινοβολία προσπέσει σε μια ουσία (στερεή, υγρή ή αέρια), είναι δυνατόν να απομακρυνθούν εκλεκτικά με απορρόφηση μερικές συχνότητες ως αποτέλεσμα της μεταφοράς ενέργειας στα άτομα, τα ιόντα ή τα μόρια. Η παρατήρηση της εναπομένουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δίνει το φάσμα απορρόφησης.

Τα φάσματα απορρόφησης διακρίνονται σε συνεχή, γραμμικά και ταινιωτά. Τα συνεχή παρουσιάζονται σαν φωτεινές ταινίες που διακόπτονται από σκοτεινές περιοχές. Τέτοια φάσματα δίνουν διαφανή στερεά και υγρά καθώς και τα έγχρωμα διαφανή αέρια. Τα γραμμικά φάσματα είναι συνεχή φάσματα με σκοτεινές γραμμές

στα μήκη κύματος τα οποία έχουν απορροφηθεί από αέριο ή ατμό τα οποία έχουν παρεμβληθεί. Τα ταινιωτά φάσματα αποτελούνται από σκοτεινές ταινίες που διακόπτουν το φάσμα εκπομπής. Οι ταινίες αυτές είναι σκοτεινές γραμμές που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Τέτοια φάσματα προκύπτουν εάν μεταξύ της πηγής λευκού φωτός και του φασματογράφου παρεμβάλλονται διατομικά ή τριατομικά αέρια ή ατμοί ή μοριακά διαλύματα υγρών ή στερεών.

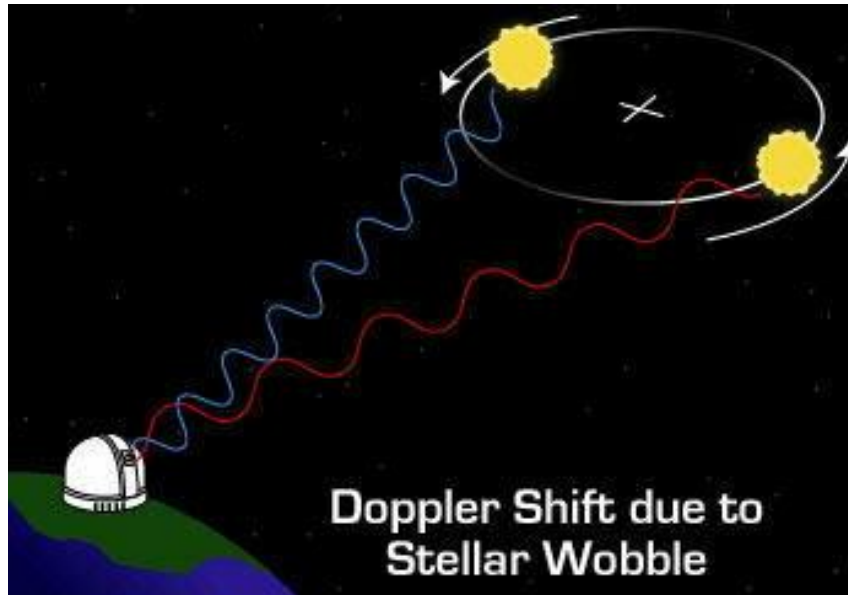
1.2.2.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Καθώς η αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης είναι αντιστρέπτο φαινόμενο, ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση επιστρέφουν σε χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες εκπέμποντας φωτόνια με χαρακτηριστικές ενέργειες. Όταν λαμβάνεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απευθείας από την πηγή που την εκπέμπει, έχουμε φάσμα εκπομπής.

Τα φάσματα εκπομπής διακρίνονται σε συνεχή, γραμμικά και ταινιωτά. Τα συνεχή αποτελούνται από μια συνεχή ταινία που δεν διακόπτεται από σκοτεινές περιοχές ή γραμμές. Τέτοια φάσματα δίνουν τα στερεά και υγρά που βρίσκονται σε διάπυρη κατάσταση. Το συνεχές φάσμα οφείλεται στο γεγονός ότι τα σώματα αυτά αποτελούνται από μεγάλο αριθμό ατόμων για τα οποία έχουμε πολλές στάθμες ενέργειας οι οποίες είναι κοντά μεταξύ τους. Τα γραμμικά φάσματα αποτελούνται από φωτεινές γραμμές σε σκοτεινό πεδίο σε καθορισμένες συχνότητες για το είδος της ύλης που εκπέμπει. Γραμμικά φάσματα δίνονται από τα άτομα των αερίων ή ατμών όταν διεγερθούν κατάλληλα. Τα ταινιωτά φάσματα αποτελούνται από διάφορες ομάδες γραμμών που δεν διακρίνονται καλά η μία από την άλλη. Τέτοια φάσματα δίνονται από αέρια τα οποία τη στιγμή της ακτινοβολίας τους βρίσκονται σε μορφή μορίων.

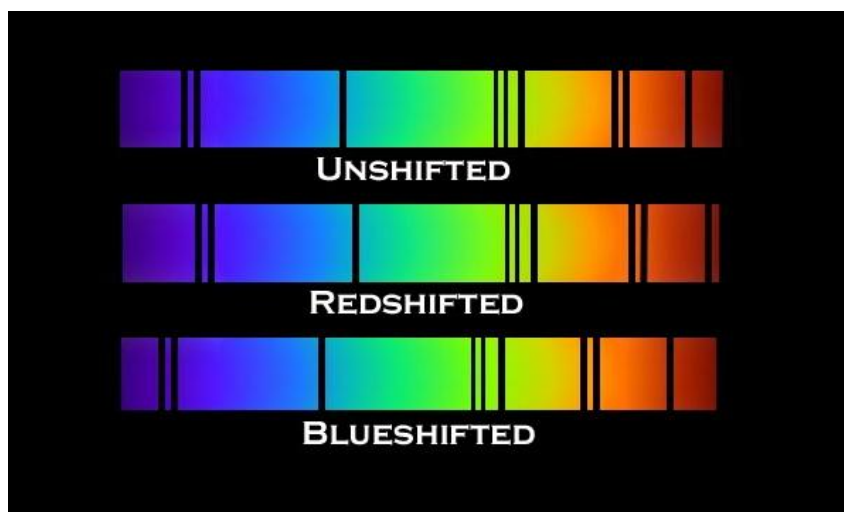
1.2.3 Φαινόμενο Doppler

Ιδιαίτερα σημαντικό για την Αστροφυσική αποτελεί το φαινόμενο Doppler. Πρόκειται για την αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος που προέρχεται από ένα κινητό αντικείμενο, όπως το αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής. Συγκεκριμένα για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το φαινόμενο Doppler εξηγεί την εξάρτηση του μήκους κύματος του φωτός που εκπέμπει μια πηγή από την κίνηση της πηγής ως προς τον παρατηρητή. Όταν το φως ενός ουρανού σώματος πλησιάσει τη Γη, μετατοπίζεται προς το μπλε άκρο του φάσματος του φωτός, ενώ όταν απομακρύνεται από τη Γη, μετατοπίζεται προς το ερυθρό άκρο του φάσματος.



Εικόνα 5: Φαινόμενο Doppler. Πηγή: *Astrobioblog*. (2011). *How to find a planet*. <https://astrobioblog.wordpress.com/2011/01/15/how-to-find-a-planet/>

Συνεπώς μέσω του φαινομένου Doppler έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε την ακτινική ταχύτητα των ουράνιων σωμάτων μέσα από τα φάσματά τους. Η ακτινική ταχύτητα είναι η συνιστώσα της γραμμικής ταχύτητας ενός αντικειμένου ως προς τον παρατηρητή πάνω στην ευθεία που ενώνει τον παρατηρητή με το αντικείμενο. Αυτός ο υπολογισμός επιτυγχάνεται με τη σύγκριση των μετρούμενων μηκών κύματος γνωστών φασματικών γραμμών με τα αντίστοιχα μήκη από εργαστηριακά δείγματα. Κατά σύμβαση, η ακτινική ταχύτητα είναι θετική όταν το σώμα απομακρύνεται και αρνητική όταν πλησιάζει.



Εικόνα 6: Φαινόμενο Doppler στα φάσματα. Πηγή: *Caltech, Redshift*, <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/sitemap.html#resources>.

1.2.4 Δομή φασματικών γραμμών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κάθε φασματική γραμμή προκύπτει από μια συγκεκριμένη μετάπτωση ηλεκτρονίου από μία στάθμη σε άλλη. Οι φασματικές γραμμές ωστόσο δεν είναι απείρως λεπτές παρουσιάζοντας δομή που τις καθιστά ευρείες. Η διεύρυνση αυτή μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες με αποτέλεσμα την ύπαρξη και των αντίστοιχων διευρύνσεων.

Η φυσική ή κβαντική πλάτυνση (ή διεύρυνση) οφείλεται στη φυσική ατομική απορρόφηση που εξαρτάται από τη δομή του ατόμου. Η φασματική γραμμή έχει πάχος καθώς δεν αντιστοιχεί σε μία μόνο συχνότητα όπως γίνεται κατανοητό από τους παρακάτω τύπους.

Από την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg

$$\Delta E \Delta t \approx \hbar \quad 1.1$$

Όμως,

$$E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \Delta E = \left| -\frac{hc}{\lambda^2} \right| \Delta \lambda \rightarrow \frac{h}{2\pi \Delta t} \approx \frac{hc}{\lambda^2} \Delta \lambda \rightarrow \Delta \lambda \approx \frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{1}{\Delta t} \quad 1.2$$

Συνεπώς, η ακρίβεια προσδιορισμού εξαρτάται από το χρόνο που βρίσκεται το κάθε ηλεκτρόνιο σε κάθε στιβάδα. Το εύρος αυτό είναι της τάξεως των 10^{-6} nm.

Επίσης, υπάρχει η θερμική ή κατά Doppler διεύρυνση. Για το φαινόμενο Doppler ισχύει ο τύπος

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \pm \frac{u_r}{c} \quad 1.3$$

όπου u_r η ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας.

Η θερμική ταχύτητα ισούται με

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad 1.4$$

επομένως,

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad 1.5$$

Με την αύξηση δηλαδή της θερμοκρασίας αυξάνεται και το εύρος της φασματικής γραμμής.

Ακόμα, διεύρυνση της φασματικής γραμμής μπορεί να υπάρξει λόγω των συγκρούσεων των ατόμων. Με την αύξηση της πίεσης γίνονται περισσότερες συγκρούσεις με αποτέλεσμα να διαταράσσονται οι στάθμες και να έχουμε πλάτυνση.

Για το εύρος λόγω φυσικής ατομικής απορρόφησης, όπως αναφέρθηκε, ισχύει

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{1}{\Delta t}$$

Όμως,

$$\Delta t = \frac{l}{u} \tag{1.6}$$

όπου l η μέση ελεύθερη διαδρομή για την οποία ισχύει

$$l = \frac{1}{n\sigma} \tag{1.7}$$

και

$$\sigma = \pi\alpha_0^2 \tag{1.8}$$

όπου α_0 η ακτίνα του Bohr.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως $u = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ άρα προκύπτει

$$\Delta t = \frac{1}{n\sigma\sqrt{\frac{3kT}{m}}} \rightarrow \Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2\pi c} n\sigma\sqrt{\frac{3kT}{m}} \tag{1.9}$$

Ένας ακόμα λόγος που οφείλεται η διεύρυνση είναι το μαγνητικό πεδίο (μαγνητική διεύρυνση), το οποίο διασπά τις ενεργειακές στάθμες σε περισσότερες από μία προσθέτοντας ή αφαιρώντας ενέργεια στο spin του ηλεκτρονίου.

Κεφάλαιο 2: Λήψη και Επεξεργασία Φασμάτων

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η λήψη και η επεξεργασία φασμάτων των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος και της Σελήνης με απώτερο στόχο την ανίχνευση μοριακών ενώσεων στις ατμόσφαιρές τους. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος λήψης και επεξεργασίας των φασμάτων.

2.1 Λήψη Φασμάτων

Η λήψη των φασμάτων διεξήχθη στο Γεροσταθοπούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών το οποίο ανήκει στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών και βρίσκεται στο τμήμα Φυσικής. Παρακάτω αναγράφονται τα χαρακτηριστικά του φασματογράφου και του τηλεσκοπίου και περιγράφεται η διαδικασία λήψης των φασμάτων.

2.1.1 Περιγραφή φασματογράφου

Για τη λήψη των φασμάτων απαιτείται ένας αστρονομικός φασματογράφος. Ο φασματογράφος που χρησιμοποιήθηκε για την διεκπεραίωση της εργασίας είναι ένας φασματογράφος φράγματος του οποίου το φράγμα είναι εγχάρακτο 5x5 cm, με 1200 l/mm και λειτουργία στα οπτικά μήκη κύματος σε πρώτη τάξη. Η σχισμή του είναι μεταβλητού πάχους από 0.0 mm έως 1.0 mm και μήκους 6 mm. Τα χαρακτηριστικά του κατευθυντήρα φακού είναι 160 mm με εστιακό λόγο f/8, ενώ του απεικονιστικού 135 mm και f/3.5. Η CCD κάμερα είναι ST10-XME CCD (2184x1472 pixels, pixel size = 6.8x6.8 μm). Η διασπορά είναι 0.4 Å/pixel, ενώ η θεωρητική και πραγματική διακριτική ικανότητα είναι 10000. Το φασματικό εύρος σε κάθε έκθεση είναι 900 Å και το φασματικό εύρος λειτουργίας είναι 3850 - 7850 Å. Το μήκος του φασματογράφου είναι 56 cm, το πλάτος του 26 cm και το ύψος του 28 cm, ενώ το βάρος του 10 kg. Το τηλεσκόπιο είναι διαμέτρου 0.4 m και εστιακού λόγου f/8.



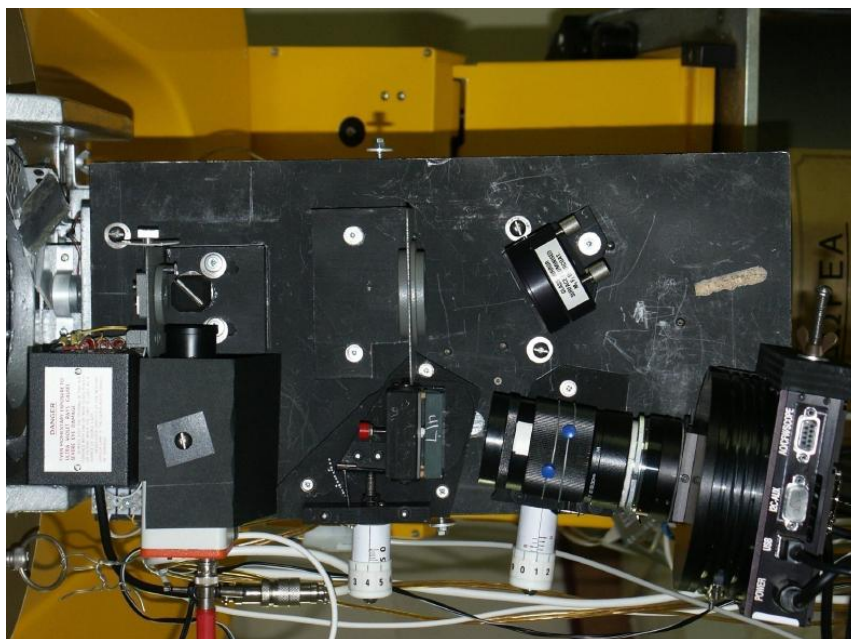
Εικόνα 7: Γεροσταθούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Τηλεσκόπιο και φασματογράφος. Πηγή: Kosmas Gazeas' Website, Φασματοσκοπία, http://users.uoa.gr/~kgaze/research_spectroscopy_gr.html

Οι πηγές βαθμονόμησης του φασματογράφου είναι τρεις λυχνίες, υδραργύρου (Hg), νέου (Ne) και ξένου (Xe), οι οποίες είναι τοποθετημένες πριν από τη σχισμή. Στις εικόνες 8 και 9 παρουσιάζονται η μονάδα ελέγχου του φασματογράφου καθώς και ο ίδιος ο φασματογράφος.

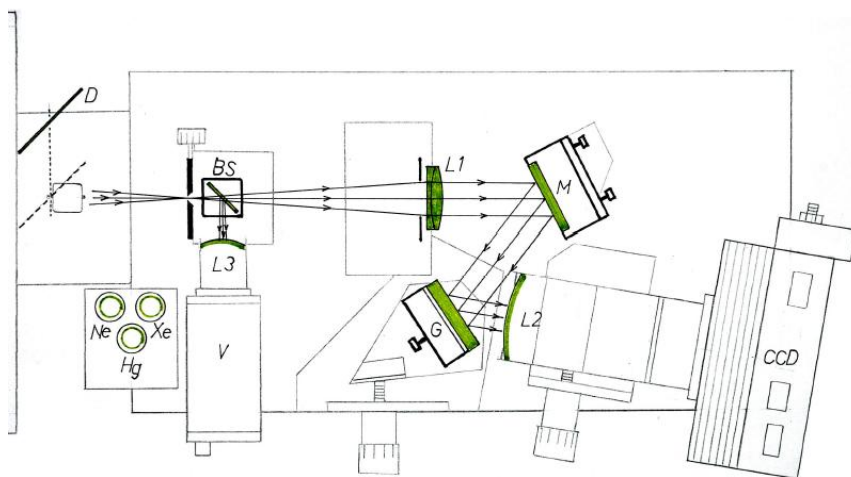


Εικόνα 8: Μονάδα ελέγχου φασματογράφου στο Γεροσταθούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Πηγή: Kosmas Gazeas' Website, Φασματοσκοπία, http://users.uoa.gr/~kgaze/research_spectroscopy_gr.html

Όλες οι συνδέσεις, οι διακόπτες καθώς και οι παροχές ρεύματος είναι συγκεντρωμένες στη μονάδα ελέγχου. Οι διακόπτες MERCURY, XENON, NEON αντιστοιχούν στις λάμπες βαθμονόμησης, ενώ η λειτουργία των διακοπών SHUTTER OPEN-SHUTTER CLOSE και MIRROR OPEN-MIRROR CLOSE είναι η μετακίνηση του φωτοφράκτη και του κατόπτρου αντίστοιχα.



Εικόνα 9: Ο φασματογράφος στο Γεροσταθοπούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Πηγή: Kosmas Gazeas' Website, Φασματοσκοπία, http://users.uoa.gr/~kgaze/research_spectroscopy_gr.html



Εικόνα 10: Σχέδιο φασματογράφου και απεικόνιση της πορείας των ακτινών. Πηγή: Kosmas Gazeas' Website, Φασματοσκοπία, http://users.uoa.gr/~kgaze/research_spectroscopy_gr.html

Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται ένα σχέδιο του φασματογράφου στο οποίο απεικονίζεται η πορεία των ακτινών.

Αρχικά, η δέσμη εισέρχεται στο φασματογράφο. Στη θέση D βρίσκεται ο φωτοφράκτης και με την αναβάθμιση του φασματογράφου, που πραγματοποιήθηκε το 2016, στη θέση αυτή τοποθετήθηκε και η οδηγητική κάμερα η οποία δεν απεικονίζεται στην εικόνα. Με τη βοήθεια του διαχωριστή δέσμης (BS), ένα μέρος της δέσμης κατευθύνεται στο φακό L3 με σκοπό να δοθεί σήμα στην κάμερα του autoguider (οδηγητική κάμερα). Το υπόλοιπο μέρος της κατευθύνεται στη σχισμή και διέρχεται από το φακό L1. Ανακλάται στα δύο κάτοπτρα M και G, οδηγείται στο φακό L2 και τελικά στην CCD κάμερα.

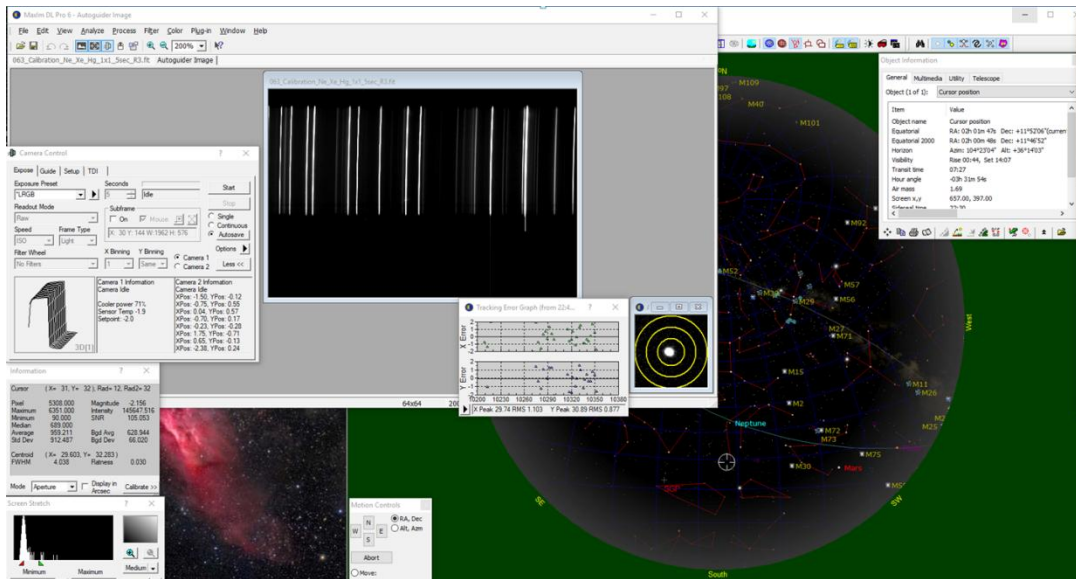
2.2.2 Διαδικασία λήψης των φασμάτων

Για τη λήψη των φασμάτων ήταν αναγκαίο να εγκατασταθεί ο φασματογράφος. Τα βήματα εγκατάστασής του ήταν τα εξής.

- 1) Αρχικά, έγινε αποσύνδεση της κάμερας και αφαίρεση του τροχού των φίλτρων.
- 2) Πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση της κάμερας στον απεικονιστικό φακό και το σύνολο αυτό πάνω στον φασματογράφο.
- 3) Έγινε σύνδεση των καλωδίων με τις λάμπες βαθμονόμησης και τον φωτοφράκτη.
- 4) Πραγματοποιήθηκε ευθυγράμμιση και εστίαση με δοκιμαστικές λήψεις σε φάσμα βαθμονόμησης NEON. Συγκεκριμένα, ευθυγραμμίστηκε ο απεικονιστικός φακός με όλο το οπτικό σύστημα, έγινε εστίαση της CCD κάμερας στη σχισμή, διορθώθηκε και ευθυγραμμίστηκε η απεικονιστική κάμερα, η σχισμή και η οδηγητική κάμερα έτσι ώστε η εικόνα του φάσματος να είναι παράλληλη με τον οριζόντιο άξονα του chip της κάμερας. Ακόμα, έγινε εστίαση της κάμερας του autoguider σε ένα αστέρι.

Η διαδικασία λήψης των φασμάτων ήταν η ακόλουθη.

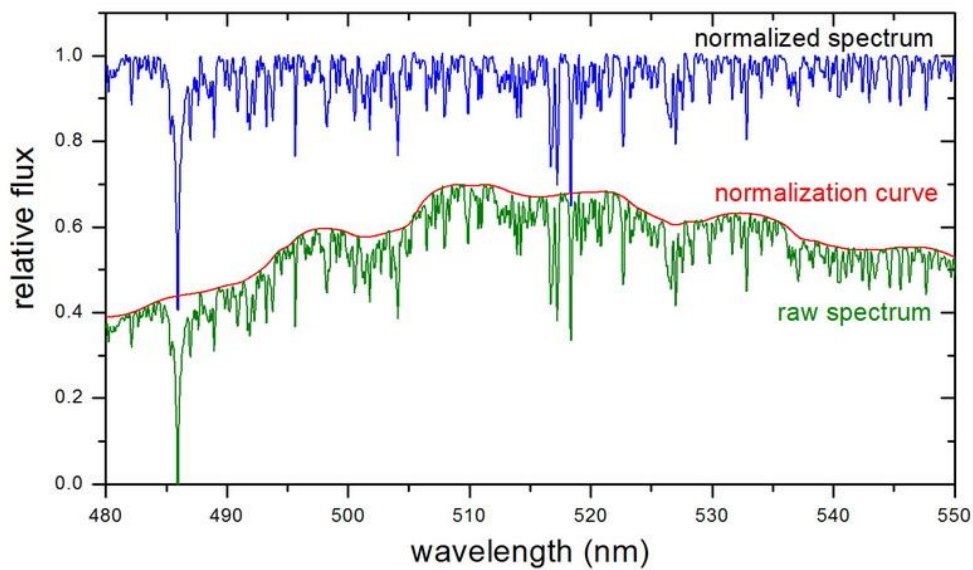
- 1) Πρώτα, έγινε στόχευση των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος.
- 2) Πραγματοποιήθηκε λήψη φάσματος βαθμονόμησης ανοίγοντας τις πηγές Hg, Ne, Xe έχοντας κλειστό το φωτοφράκτη.
- 3) Έπειτα έγινε λήψη φάσματος του ουράνιου σώματος με κλειστές τις πηγές βαθμονόμησης και ανοιχτό το φωτοφράκτη.
- 4) Μετά, πάρθηκε άλλο ένα φάσμα βαθμονόμησης.
- 5) Τέλος, λήφθηκαν εικόνες dark με χρόνο έκθεσης αυτόν που απαιτούσε κάθε πλανήτη με σκοπό τη διόρθωση των φασμάτων από το θόρυβο.



Εικόνα 11: Λήψη φάσματος βαθμονόμησης Hg, Ne, Xe στα 625-715 nm στο Γεροσταθοπούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο.

2.2 Επεξεργασία Φασμάτων

Για την επεξεργασία των φασμάτων χρησιμοποιήθηκε αυτοματοποιημένος κώδικας ο οποίος έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον MATLAB από τον Λευτέρη Τζουγανάτο, προπτυχιακός φοιτητής του Τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ. Με τον κώδικα αυτό ο χρήστης εισάγει τις πρωτότυπες εικόνες των φασμάτων που έχουν ληφθεί από το τηλεσκόπιο, τις εικόνες των φασμάτων βαθμονόμησης καθώς και τις εικόνες dark που αντιστοιχούν στο χρόνο έκθεσης της πρωτότυπης εικόνας του φάσματος που μελετάται αλλά και των εικόνων των φασμάτων βαθμονόμησης. Με αυτά τα δεδομένα πραγματοποιείται βαθμονόμηση και κανονικοποίηση των φασμάτων όπως φαίνεται στην εικόνα 12.



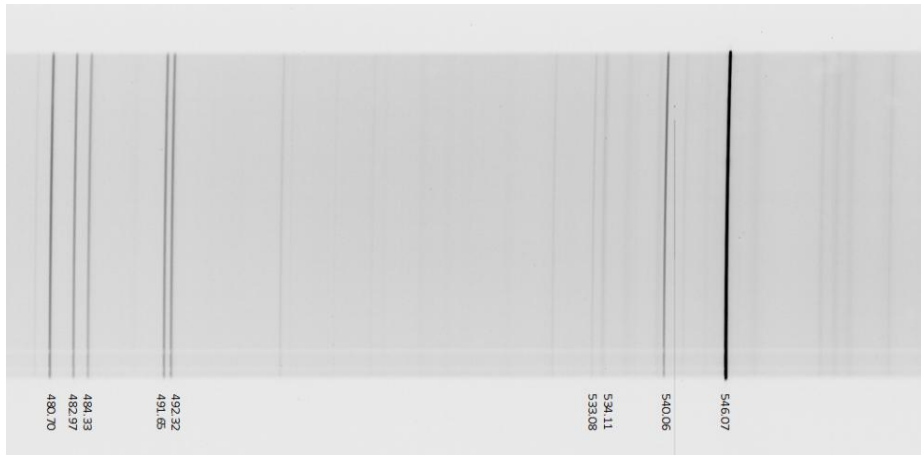
Εικόνα 12: Φάσμα πριν και μετά την κανονικοποίηση με χρήση του κώδικα. Πηγή: Kosmas Gazeas' Website, Φασματοσκοπία, http://users.uoa.gr/~kgaze/research_spectroscopy_gr.html

Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται με την αντιστοιχία μήκους κύματος και pixel σε φασματικές γραμμές των οποίων τα μήκη κύματος είναι γνωστά, όπως είναι ο υδράργυρος (Hg), το νέο (Ne) και το ξένο (Xe). Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται με την άνοδο των κορυφών του φάσματος προκειμένου η μέγιστη τιμή ροής να είναι η μονάδα.

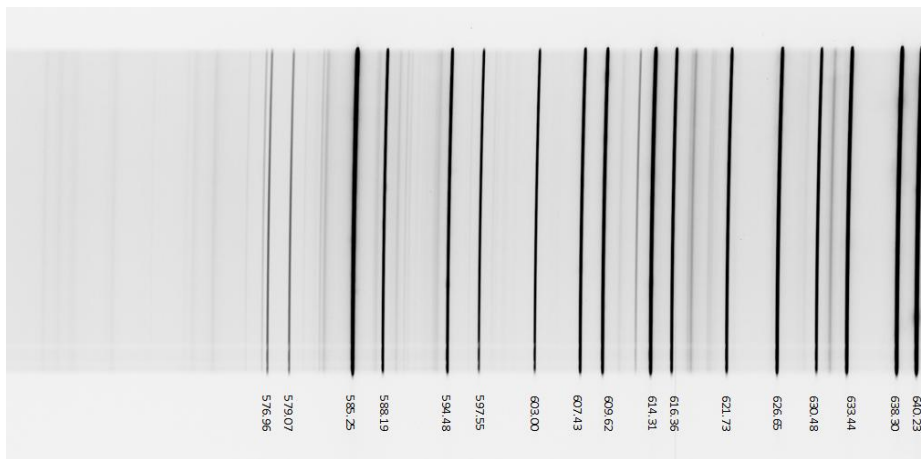
Έπειτα, οι τιμές της ροής για κάθε μήκος κύματος χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία γραφήματος όπου απεικονίζεται το φάσμα βαθμονομημένο και κανονικοποιημένο. Ύστερα, μελετώντας το γράφημα πραγματοποιήθηκε εντοπισμός των στοιχείων και των μοριακών ενώσεων από το μήκος κύματος που βρίσκεται η απορρόφηση, η μειωμένη δηλαδή ροή. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των φασμάτων για τη δημιουργία γραφημάτων με κώδικα στη MATLAB. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ταυτοποίηση του μήκους κύματος των φασματικών γραμμών των λαμπών βαθμονόμησης (εικόνες 13, 14, 15). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων των Ne και Xe ήταν 5 sec, ενώ για τον Hg ήταν 3 sec.

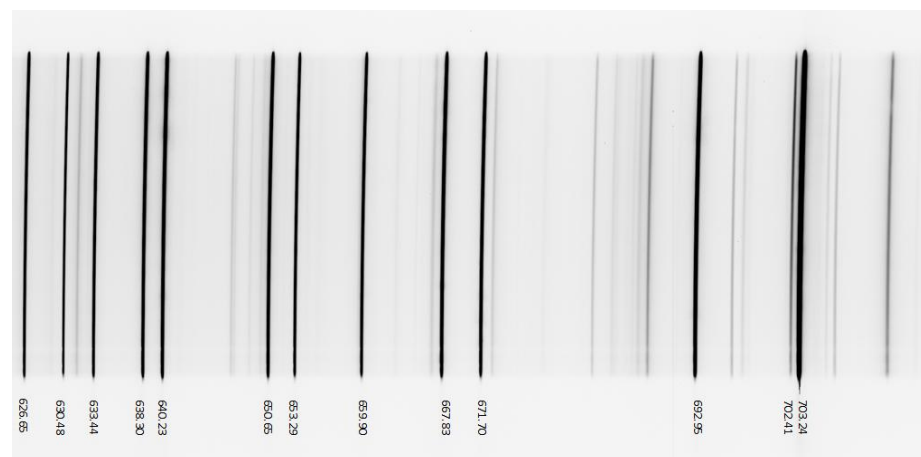
Με την παραπάνω διαδικασία το σφάλμα της βαθμονόμησης είναι 0.04 nm (0.4 Å).



Εικόνα 13: Φασματικές γραμμές βαθμονόμησης από πηγές Hg, Ne και Xe στα 470-570 nm.



Εικόνα 14: Φασματικές γραμμές βαθμονόμησης από πηγές Hg, Ne και Xe στα 550-650 nm.



Εικόνα 15: Φασματικές γραμμές βαθμονόμησης από πηγές Hg, Ne και Xe στα 625-715 nm.

Κεφάλαιο 3: Ανίχνευση Μοριακών Ενώσεων

3.1 Μοριακές ενώσεις και η σημασία τους για τη ζωή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται τα φάσματα των ουράνιων σωμάτων με σκοπό την ανίχνευση μοριακών ενώσεων στις ατμόσφαιρές τους. Οι μοριακές ενώσεις αποτελούνται από άτομα τα οποία συγκρατούνται με ομοιοπολικούς δεσμούς και ασχολούμαστε με αυτές διότι είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη ζωή. Ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο και το άζωτο συμμετέχουν, σε σημαντικό βαθμό, στη σύνθεση των μορίων που αποτελούν βασικά δομικά ή λειτουργικά συστατικά των οργανισμών, γι' αυτό και αναζητούμε ενώσεις όπως νερό, αμμωνία, μεθάνιο.

Ο άνθρακας έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει χημικές ενώσεις οι οποίες μπορούν να ανήκουν σε πολλές διαφορετικές δομές. Το υδρογόνο και το οξυγόνο σε μορφή νερού αποτέλεσαν το διαλυτικό μέσο για τη διεξαγωγή βιολογικών διαδικασιών και αντιδράσεων που οδήγησαν στην εμφάνιση ζωής. Ακόμα, ο σχηματισμός ομοιοπολικών δεσμών ανάμεσα στον άνθρακα και το οξυγόνο απελευθερώνει ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται από όλες τις σύνθετες μορφές ζωής και όλα τα στοιχεία μαζί συνθέτουν τα αμινοξέα που αποτελούν τους θεμελιώδεις λίθους των πρωτεϊνών.

Ο Alexander Oparin το έτος 1924 και ο J.B.S. Haldane το 1925 πρότειναν την θεωρία της μοριακής ή χημικής εξέλιξης, κατά την οποία τα χημικά μόρια μπορούν να εξελίσσονται προς ολοένα και πολυπλοκότερα, από τα οποία τελικά δημιουργήθηκαν τα πρώτα ζωντανά κύτταρα. Η άποψη αυτή αποτελεί τη θεωρία της αβιοτικής προέλευσης της ζωής και τίθεται ένας «νόμος» ο οποίος κάνει την εξής πρόβλεψη: Όποτε υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος, διατίθενται τα απαραίτητα ατομικά στοιχεία, θερμότητα και ελεύθερη ενέργεια τότε αναγκαστικά προκύπτει κάποιος οργανισμός για παράδειγμα μόριο, κύτταρο με πολυπλοκότητα που διαρκώς αυξάνεται, μειώνοντας την εντροπία δηλαδή το βαθμό αταξίας του, δεσμεύοντας ενέργεια από τον Ήλιο.

3.2 Εντοπισμός μοριακών ενώσεων σε ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα φάσματα που λήφθηκαν και επεξεργάστηκαν για κάθε ουράνιο σώμα ξεχωριστά. Τα φάσματα αυτά είναι φάσματα απορρόφησης, εμφανίζουν δηλαδή σκοτεινές γραμμές σε συγκεκριμένα μήκη κύματος σε φωτεινό υπόβαθρο. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές των μηκών κύματος στα οποία εκπέμπουν μοριακές ενώσεις όπως είναι η αμμωνία (NH_3), το μεθάνιο (CH_4), το νερό (H_2O) και το οξυγόνο (O_2).

Πίνακας 1: Μήκη κύματος (σε nm) στα οποία εκπέμπουν οι ακόλουθες μοριακές ενώσεις.

NH₃	CH₄	H₂O	O₂
550	486	514	627.6
552	509	550	686.7
647	543	605	690
	576	662	
	595	695	
	597	702	
	619		
	666.7		
	668		
	680		
	702		
	726		

3.2.1 Φάσμα Αφροδίτης

Η Αφροδίτη έχει παρόμοιο μέγεθος με τη Γη, αλλά η σύσταση της ατμόσφαιράς της είναι πολύ διαφορετική. Αποτελείται κατά 96% από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), 3.5% από άζωτο (N₂) και λιγότερο από 1% από μονοξείδιο του άνθρακα (CO), αργό (Ar), διοξείδιο του θείου (SO₂) και υδρατμούς.

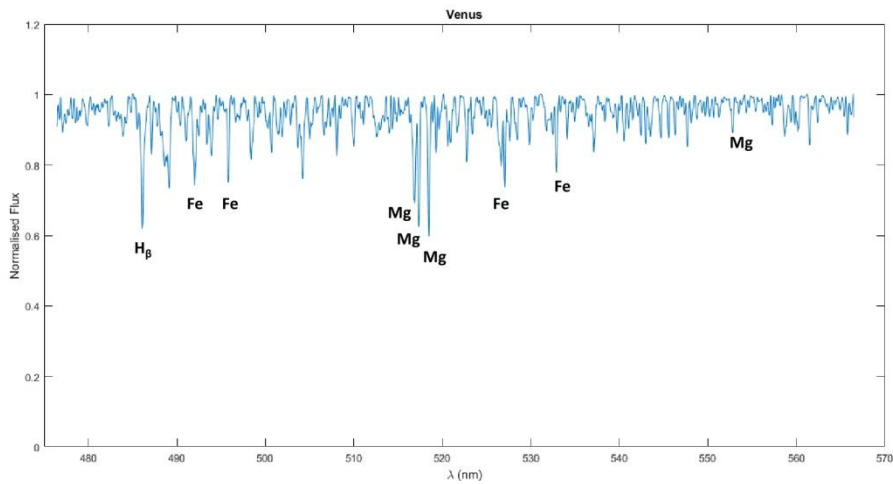
Η μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και η ύπαρξη υδρατμών και διοξειδίου του θείου, δημιουργούν έντονο φαινόμενο του θερμοκηπίου, παγιδεύοντας την ηλιακή ενέργεια, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να φτάνει τους 740K (467 °C). Συνεπώς, η Αφροδίτη αποτελεί τον πιο θερμό πλανήτη του Ηλιακού Συστήματος, παρόλο που ο Ερμής βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο.

Οι συνθήκες που επικρατούν στην Αφροδίτη καθιστούν απαγορευτική την ύπαρξη ζωής, όπως τη γνωρίζουμε στην επιφάνειά της.

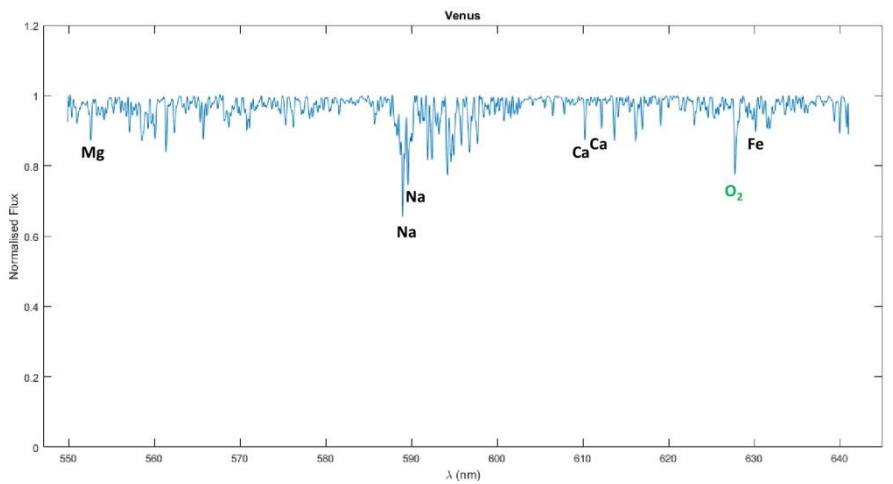


Εικόνα 16: Καλλιτεχνική απεικόνιση της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης. Πηγή: European Space Agency/J. Whatmore, <https://phys.org/news/2016-12-weather-venus.html>

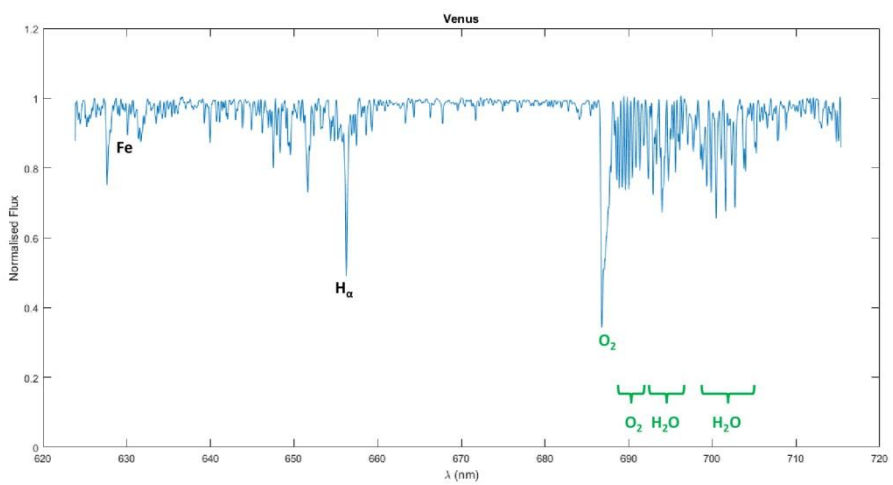
Παρακάτω παρατίθεται το φάσμα της Αφροδίτης σε τρεις περιοχές μηκών κύματος (εικόνες 17, 18, 19), οι ακριβείς τιμές των οποίων αναφέρονται στις λεζάντες. Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων της Αφροδίτης ήταν 5 sec.



Εικόνα 17: Φάσμα της Αφροδίτης στην περιοχή 476.46-566.46 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου.



Εικόνα 18: Φάσμα της Αφροδίτης στην περιοχή 549.88-640.98 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.



Εικόνα 19: Φάσμα της Αφροδίτης στην περιοχή 623.84-715.34 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.

Στο φάσμα της Αφροδίτης εντοπίζονται οι γραμμές Fraunhofer, δηλαδή οι φασματικές γραμμές του Ήλιου αλλά και ορισμένες της ατμόσφαιρας της Γης. Αναφέρονται μερικές χαρακτηριστικές στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2: Έντονες γραμμές στο φάσμα της Αφροδίτης. Συγκεκριμένα, οι φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι τελλουρικές.

Μήκος κύματος (nm)	Στοιχείο-Ένωση
486.07	H _β
492	Fe
495.75	Fe
516.9	Mg
517.32	Mg
518.47	Mg
526.67	Fe
527.05	Fe
532.9	Fe
552.77	Mg
588.94	Na
589.56	Na
610.22	Ca
612.14	Ca
627.66	O ₂
630.17	Fe
656.28	H _α
686.79	O ₂
695	H ₂ O
702	H ₂ O

Το μοριακό οξυγόνο στα 627.66 nm και στα 686.79 nm και οι μπάντες του νερού στα 695 nm και στα 702 nm οφείλονται στην ατμόσφαιρα της Γης, ενώ οι υπόλοιπες γραμμές είναι οι απορροφήσεις του Ήλιου. Η ύπαρξη αυτών των γραμμών είναι αναμενόμενη καθώς η Αφροδίτη αποτελεί ένα ετερόφωτο σώμα που φωτίζεται από τον Ήλιο και η λήψη των φασμάτων πραγματοποιήθηκε με επίγειο τηλεσκόπιο όπου μεσολαβεί η ατμόσφαιρα της Γης. Οι μοριακές ενώσεις που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης εντοπίζονται στα υπέρυθρα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για αυτό και δεν εμφανίζονται στα παραπάνω φάσματα.

3.2.2 Φάσμα Σελήνης

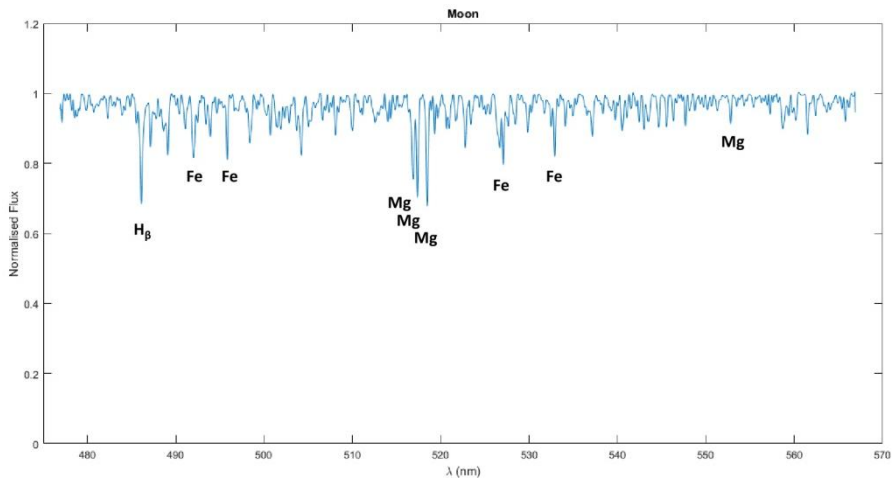
Για μεγάλο χρονικό διάστημα υπήρχε η θεώρηση ότι η Σελήνη δεν έχει ατμόσφαιρα τελικά. Σήμερα, διαπιστώθηκε πως αυτό δεν αληθεύει. Η Σελήνη έχει μια πολύ λεπτή

ατμόσφαιρα και μάλιστα υπάρχουν στοιχεία τα οποία δεν εντοπίζονται σε άλλους πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος όπως νάτριο (Na) και κάλιο (K). Με την αποστολή LADEE της NASA ανιχνεύθηκαν μικρές ποσότητες ηλίου (He), αργού (Ar) και πιθανότατα νέου (Ne), αμμωνίας (NH₃), μεθανίου (CH₄) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

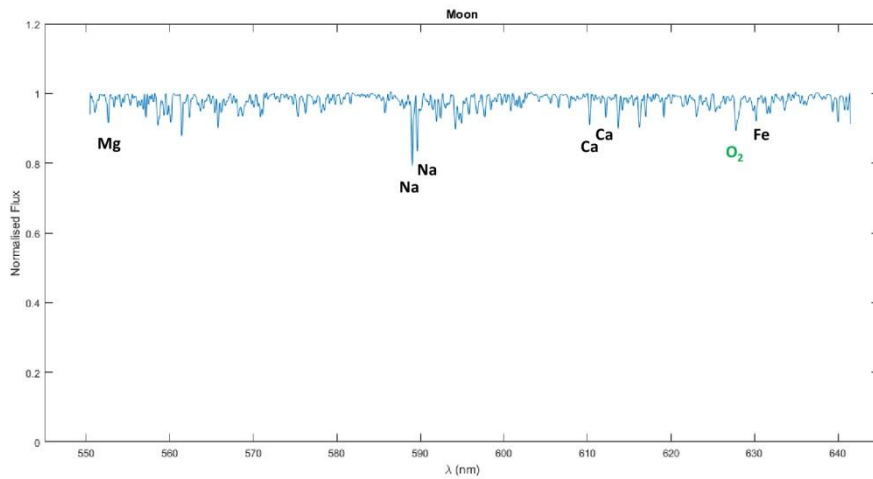


Εικόνα 20: Πατημασιές στη Σελήνη από τον αστροναύτη Alan Bean(1969). Πηγή: NASA, <http://www.sciencemag.org/news/2017/01/earth-sending-oxygen-moon>

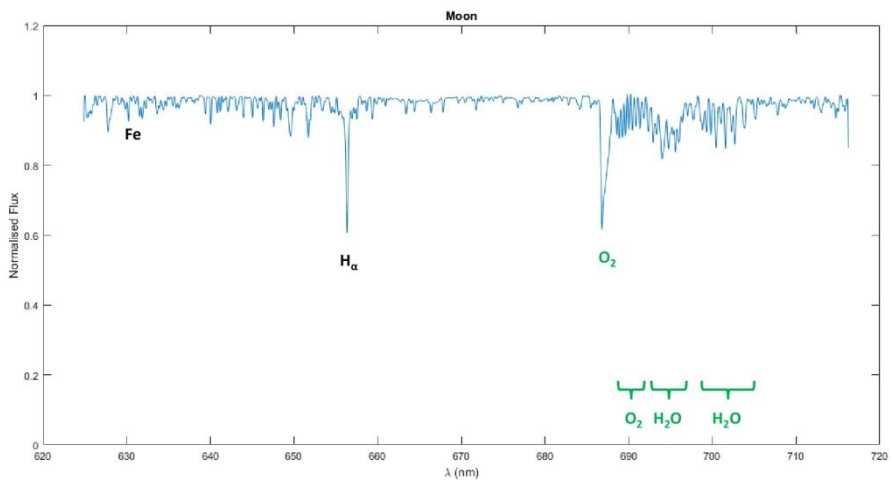
Παρακάτω παρουσιάζεται το φάσμα της Σελήνης σε τρεις περιοχές μηκών κύματος (εικόνες 21, 22, 23). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 60 sec.



Εικόνα 21: Φάσμα της Σελήνης στην περιοχή 476.91-566.88 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου.



Εικόνα 22: Φάσμα της Σελήνης στην περιοχή 550.45-641.46 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.



Εικόνα 23: Φάσμα της Σελήνης στην περιοχή 624.91-716.25 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.

Το φάσμα της Σελήνης είναι παρόμοιο με το φάσμα της Αφροδίτης στα ορατά μήκη κύματος. Εντοπίζονται οι γραμμές του Ήλιου και οι τελλουρικές γραμμές, όπως έχουν καταγραφεί στον πίνακα 2. Η Σελήνη, όπως και η Αφροδίτη, ανακλά το φως του Ήλιου, για αυτό και παίρνουμε ουσιαστικά το δικό του φάσμα. Επειδή έχει πολύ λεπτή ατμόσφαιρα, δεν εντοπίζουμε τα στοιχεία τα οποία την αποτελούν παρά μόνο τις γραμμές του Ήλιου και τις τελλουρικές.

3.2.3 Φάσμα Άρη

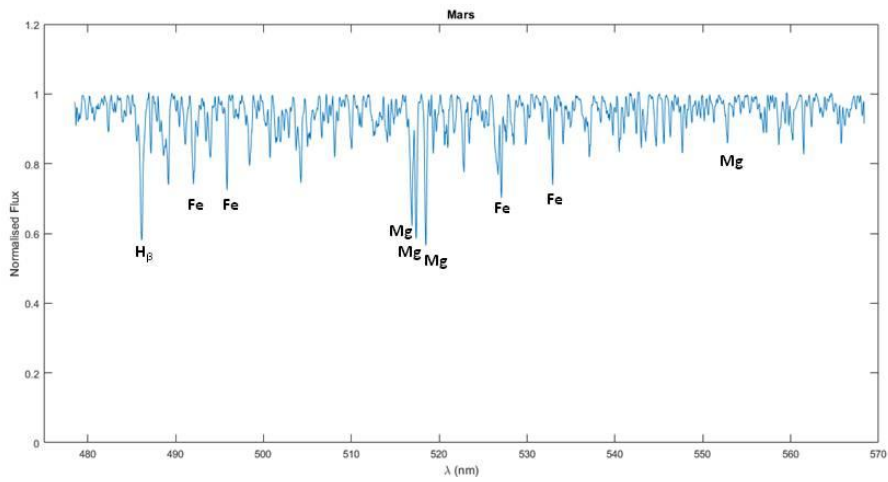
Η ατμόσφαιρα του Άρη είναι 100 φορές πιο λεπτή από την ατμόσφαιρα της Γης. Αποτελείται κατά 95.2% από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), 2.7% από άζωτο (N_2), 1.6% από αργό (Ar), 0.13% από οξυγόνο (O_2), 0.08% από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και από μικρές ποσότητες από νερό (H_2O), οξείδια του αζώτου (NO_x), κρυπτό (Kr), ξένο (Xe) και μεθάνιο (CH_4). Χαρακτηριστικό του Άρη αποτελούν οι εκτεταμένες αμμοθύελλες επομένως η σκόνη αποτελεί ένα μόνιμο συστατικό της ατμόσφαιράς του.

Ο Άρης θα μπορούσε κάποτε να φιλοξενούσε ζωή και υπάρχει το ενδεχόμενο να φιλοξενεί και σήμερα. Αν υπάρχει υγρό νερό σε υπόγεια στρώματα, τότε θα μπορούσε εκεί να βρίσκεται ένα καταφύγιο για οποιαδήποτε μορφή ζωής. Σύγχρονες μελέτες έχουν δείξει πως υπάρχει μεγάλη ποσότητα παγωμένου νερού κάτω από την επιφάνεια.

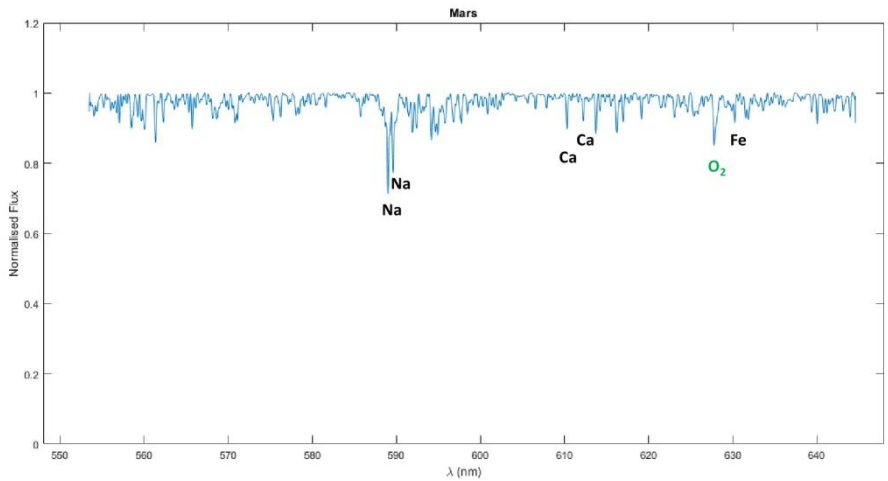


Εικόνα 24: Ο Άρης. Πηγή: NASA/JPL/Caltech, <https://spacenews.com/mars-looming-traffic-jam/>

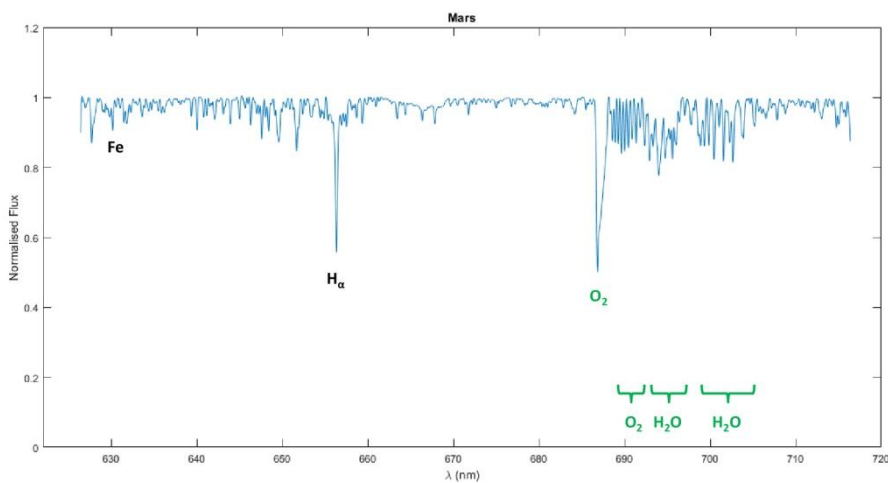
Παρακάτω παρατίθεται το φάσμα του Άρη χωρισμένο σε τρεις περιοχές (εικόνες 25, 26, 27). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 30 sec.



Εικόνα 25: Φάσμα του Άρη στην περιοχή 478.48-568.37 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου.



Εικόνα 26: Φάσμα του Άρη στην περιοχή 553.48-646.6 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.



Εικόνα 27: Φάσμα του Άρη στην περιοχή 626.4-716.39 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης.

Στο φάσμα του Άρη παρατηρούνται οι φασματικές γραμμές του Ήλιου και μοριακές ενώσεις όπως νερό και οξυγόνο της ατμόσφαιρας της Γης, όπως στην περίπτωση της Αφροδίτης και της Σελήνης. Οι απορροφήσεις των μοριακών ενώσεων της ατμόσφαιρας του Άρη εντοπίζονται στα υπέρυθρα μήκη κύματος, επομένως δεν είναι εφικτό να προσδιορισθεί η σύσταση της ατμόσφαιράς του με μετρήσεις στα ορατά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

3.2.4 Φάσμα Δία

Ο Δίας ανήκει στους Αέριους Γίγαντες και η σύνθεση της ατμόσφαιράς του είναι παρόμοια με τη συνολική του. Επειδή δεν έχει επιφάνεια, η βάση της ατμόσφαιράς του θεωρείται το σημείο στο οποίο η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με 10 bar. Αποτελείται κυρίως από μοριακό υδρογόνο (H_2) κατά 90% και ήλιο (He) κοντά στο 10%. Περιλαμβάνει ακόμα σε μικρότερες ποσότητες αμμωνία (NH_3), μεθάνιο (CH_4), υδρόθειο (H_2S), φωσφίνη (PH_3) και νερό. Η αφθονία τους στην τροπόσφαιρα υποδηλώνει ότι η ατμόσφαιρα του Δία είναι εμπλουτισμένη με στοιχεία όπως άνθρακα, άζωτο, θείο και πιθανώς οξυγόνο. Ακόμα, παρουσιάζονται ευγενή αέρια όπως αργό (Ar), κρυπτό (Kr) και ξένο (Xe).

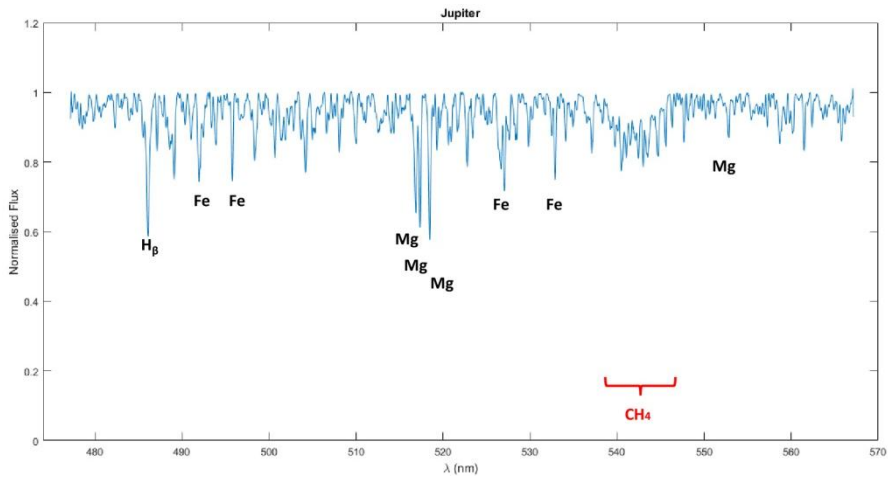
Η ατμόσφαιρα του Δία παρουσιάζει πλατιές σκοτεινές ταινίες, παράλληλες προς τον ισημερινό του, που διαχωρίζονται από φωτεινές ζώνες. Η φωτεινότητα, το πλάτος και η θέση των ζωνών αλλάζουν συνέχεια στο διάστημα ενός έτους. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της ατμόσφαιρας του Δία είναι η ερυθρή κηλίδα, με διάμετρο που χωράει δύο ή τρεις πλανήτες στο μέγεθος της Γης. Υποστηρίζεται πως η μεγάλη κόκκινη κηλίδα, που υπάρχει στην ατμόσφαιρά του, είναι μια τεράστια καταιγίδα, ένας αντικυκλώνας, που κρατάει εδώ και τουλάχιστον 350 χρόνια.

Το περιβάλλον του Δία δεν είναι κατάλληλο για την ύπαρξη ζωής όπως την γνωρίζουμε. Οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις που τον χαρακτηρίζουν είναι αποτρεπτικές για την προσαρμογή των οργανισμών. Ωστόσο, στην Ευρώπη που είναι δορυφόρος του Δία υπάρχουν ενδείξεις για την ύπαρξη ενός τεράστιου ωκεανού από υγρό νερό κάτω από την παγωμένη της επιφάνεια, επομένως θα μπορούσε πιθανόν να υποστηριχθεί ζωή.

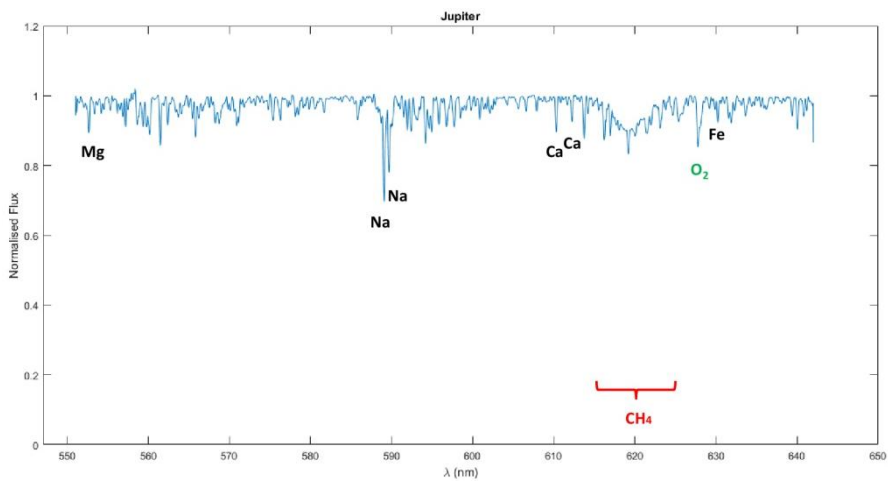


Εικόνα 28: Η ερυθρά κηλίδα του Δία όπως φαίνεται από το Voyager. Πηγή: NASA/JPL-Caltec, <https://www.space.com/18385-jupiter-atmosphere.html>

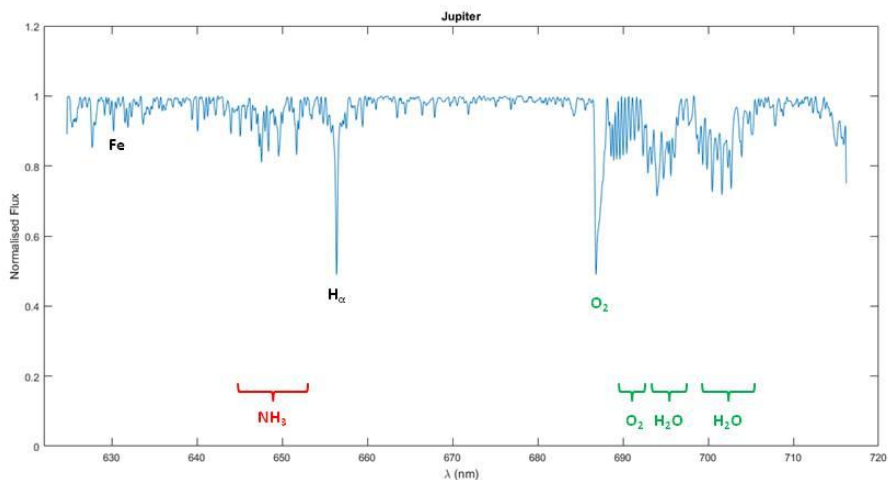
Παρακάτω παρουσιάζεται το φάσμα του Δία στις τρεις περιοχές (εικόνες 29, 30, 31). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 60 sec.



Εικόνα 29: Φάσμα του Δία στην περιοχή 477.15-567.15 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Δία.



Εικόνα 30: Φάσμα του Δία στην περιοχή 551.02-642.01 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Δία.



Εικόνα 31: Φάσμα του Δία στην περιοχή 624.72-716.2 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Δία.

Στο φάσμα του Δία, εκτός από τις γραμμές Fraunhofer, παρατηρούνται μπάντες μοριακών ενώσεων. Συγκεκριμένα, ανιχνεύεται μεθάνιο (CH₄) στα 542.9 nm και στα 619.09 nm, ενώ στα 647.5 nm εντοπίζεται αμμωνία (NH₃).

3.2.5 Φάσμα Κρόνου

Η ατμόσφαιρα του Κρόνου όπως και του Δία αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από μοριακό υδρογόνο (H₂) και κατά ένα μικρότερο από ήλιο (He). Η σύνθεση της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει ακόμα σε μικρές ποσότητες αμμωνία (NH₃), μεθάνιο (CH₄), αιθίνιο (C₂H₂), αιθάνιο (C₂H₆), προπάνιο (C₃H₈) και φωσφίνη (PH₃). Τα υψηλότερα νέφη του Κρόνου αποτελούνται από κρυστάλλους αμμωνίας, ενώ τα κατώτερα είτε από ένα μίγμα υδρόθειου (H₂S) και αμμωνίας (NH₃) είτε από νερό.

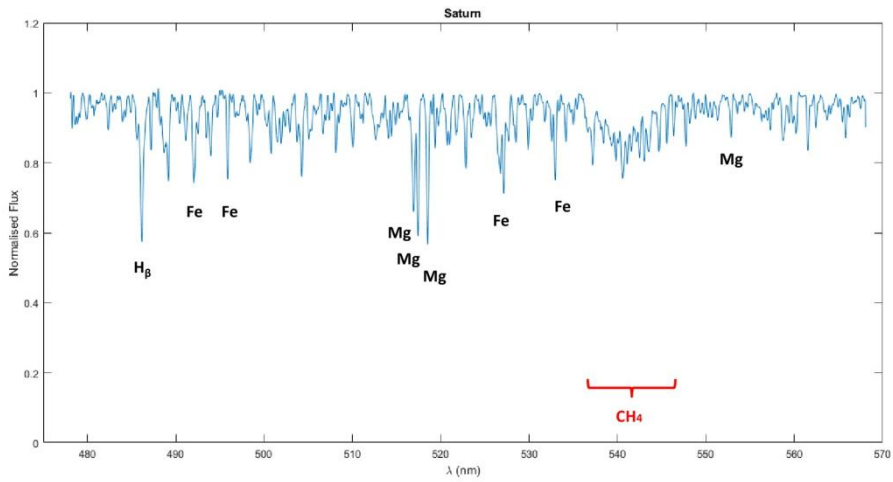
Η ατμόσφαιρα του Κρόνου παρουσιάζει ένα μοτίβο λωρίδων όμοιο με αυτό του Δία, μόνο που οι λωρίδες του Κρόνου είναι πιο αχνές και ευρύτερες στον ισημερινό. Ένα ενδιαφέρον ατμοσφαιρικό χαρακτηριστικό του Κρόνου στο βόρειο πόλο είναι ένας εξαγωνικός σχηματισμός σύννεφου. Αντίστοιχος σχηματισμός δεν έχει παρατηρηθεί σε άλλο σώμα του Ηλιακού Συστήματος.

Το περιβάλλον του Κρόνου είναι αντίστοιχο με του Δία, άρα δεν είναι κατάλληλο για την ύπαρξη ζωής, όπως την γνωρίζουμε. Ωστόσο, δορυφόροι του Κρόνου όπως ο Εγκέλαδος και ο Τιτάνας, στους οποίους υπάρχουν εσωτερικοί ωκεανοί, θα μπορούσε πιθανόν να υποστηριχθεί ζωή.

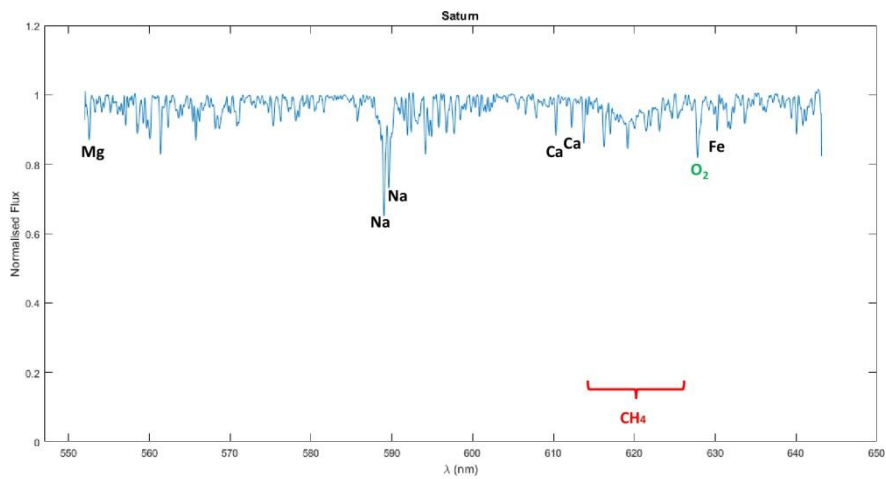


Εικόνα 32: Καλλιτεχνική απεικόνιση της αποστολής Cassini σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο. Πηγή: NASA/JPL-Caltech, <https://www.nasa.gov/feature/jpl/groundbreaking-science-emerges-from-ultra-close-orbits-of-saturn>

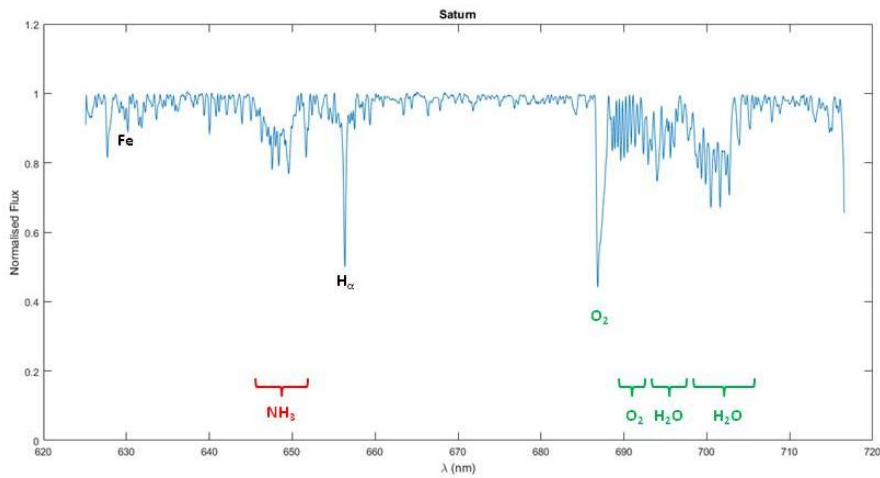
Παρακάτω παρατίθεται το φάσμα του Κρόνου στις τρεις περιοχές (εικόνες 33, 34, 35). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 300 sec.



Εικόνα 33: Φάσμα του Κρόνου στην περιοχή 478.1-568.05 nm Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Κρόνου.



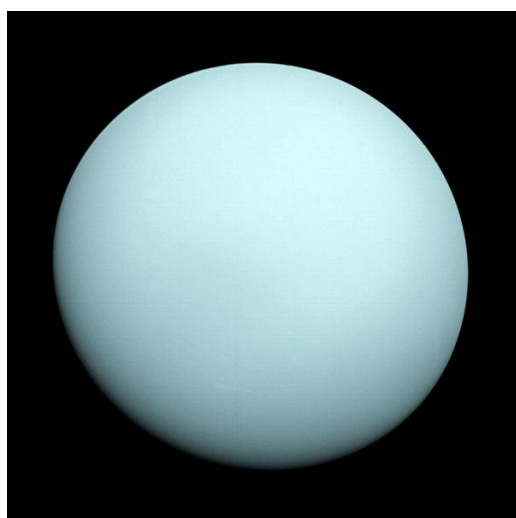
Εικόνα 34: Φάσμα του Κρόνου στην περιοχή 552.01-643.14 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Κρόνου.



Εικόνα 35: Φάσμα του Κρόνου στην περιοχή 625.11-716.54 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Κρόνου.

Το φάσμα του Κρόνου μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με το φάσμα του Δία καθώς παρουσιάζονται μπάντες μοριακών ενώσεων στα ίδια μήκη κύματος. Ωστόσο, παρουσιάζονται διαφορές στο βάθος των απορροφήσεων. Συγκεκριμένα, στα 542.5 nm και στα 619.2 nm εντοπίζεται μεθάνιο (CH_4) με απορρόφηση λίγο μικρότερη από του Δία. Στα 648.4 nm υπάρχει αμμωνία (NH_3) και το βάθος της απορρόφησης είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το βάθος που παρουσιάζεται στην αμμωνία του Δία. Επομένως, στα ορατά μήκη κύματος παρατηρούνται μικρότερες ποσότητες μεθανίου στον Κρόνο σε σχέση με τον Δία και μεγαλύτερες ποσότητες αμμωνίας.

3.2.6 Φάσμα Ουρανού



Η σύσταση της ατμόσφαιρας του Ουρανού διαφέρει από τη σύσταση ολόκληρου του πλανήτη. Αποτελείται κατά 82.5% από μοριακό υδρογόνο (H_2), 15.2% από ήλιο (He) και 2,3% από μεθάνιο (CH_4). Περιέχει ακόμα νερό και αμμωνία (NH_3).

Το γαλαζοπράσινο ή κυανό χρώμα του Ουρανού οφείλεται στο μεθάνιο, το οποίο απορροφά το ερυθρό φως. Η ελάχιστη θερμοκρασία του είναι 49K (-224,2 °C) γεγονός που τον καθιστά πιο ψυχρό ακόμα και από τον Ποσειδώνα σε ορισμένες

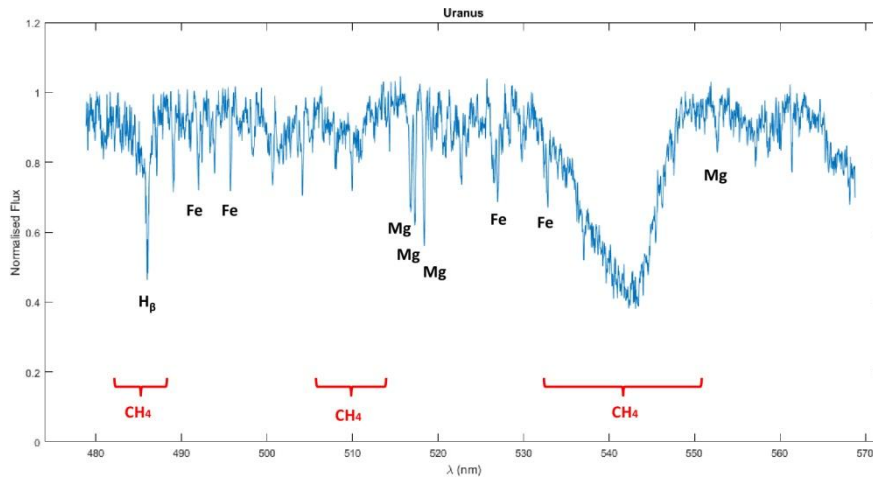
περιοχές.

Εικόνα 36: Ο Ουρανός όπως τραβήχτηκε από το Voyager 2 (1986).

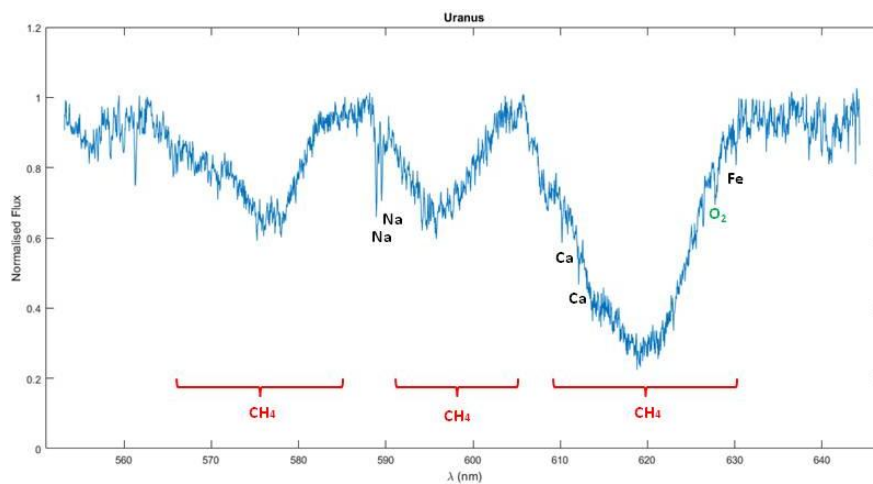
Πηγή: NASA/JPL-Caltech, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18182>

Στον Ουρανό επικρατούν ακραίες καιρικές συνθήκες και δεν μπορεί να υποστηρίξει ζωή όπως την γνωρίζουμε.

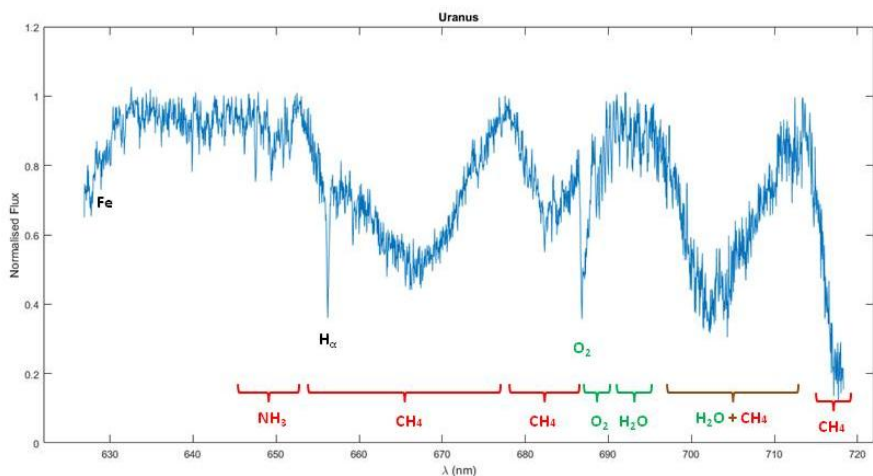
Το φάσμα του παρουσιάζεται στις τρεις φασματικές περιοχές (εικόνες 37, 38, 39). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 600 sec.



Εικόνα 37: Φάσμα του Ουρανού στην περιοχή 478.84-568.76 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ουρανού.



Εικόνα 38: Φάσμα του Ουρανού στην περιοχή 553.26-644.26 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ουρανού.



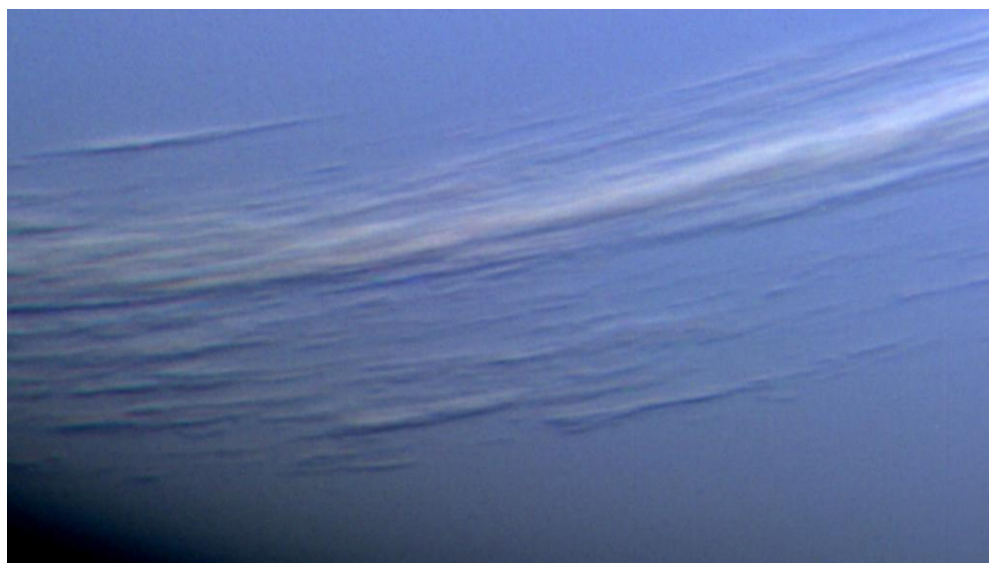
Εικόνα 39: Φάσμα του Ουρανού στην περιοχή 626.9-718.32 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ουρανού.

Ο Ουρανός, εκτός από το ηλιακό φάσμα και τις τελλουρικές γραμμές, παρουσιάζει μεγάλες μπάντες μοριακών ενώσεων ακόμα και στα ορατά μήκη κύματος. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται μεθάνιο (CH_4) στα 486.25 nm, 510.76 nm, 543 nm, 576.7 nm, 596.8 nm, 619.6 nm, 666.56 nm και στα 682.35 nm. Επιπλέον, αμμωνία (NH_3) ανιχνεύεται στα 649.4 nm. Επίσης, στα 702 nm υπάρχει η μπάντα νερού (H_2O) που οφείλεται στην ατμόσφαιρα της Γης αλλά και μεθάνιο (CH_4) που ανιχνεύεται στην ατμόσφαιρα του Ουρανού.

3.2.7 Φάσμα Ποσειδώνα

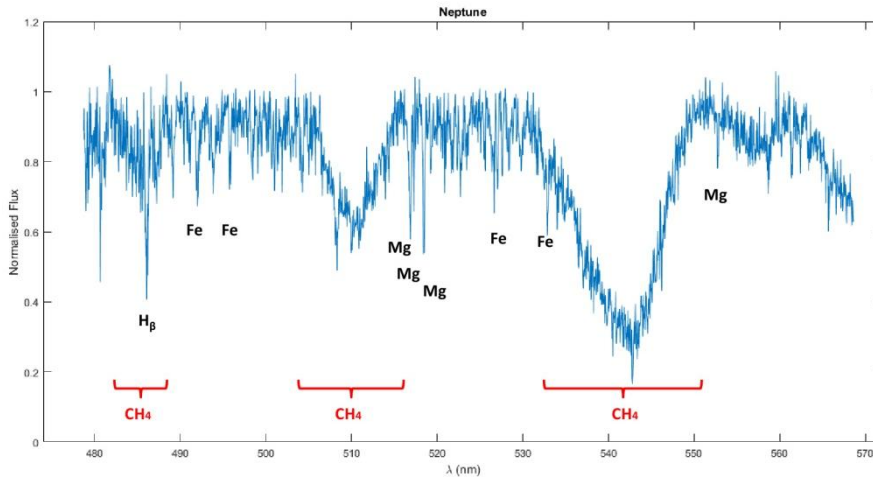
Ο Ποσειδώνας είναι ο όγδοος και τελευταίος πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος. Η ατμόσφαιρά του μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με την ατμόσφαιρα του Ουρανού. Αποτελείται κυρίως από μοριακό υδρογόνο (H_2), ήλιο (He) και σε μικρότερη ποσότητα από μεθάνιο (CH_4). Υπάρχει επίσης πάχος αμμωνίας και νερού.

Το έντονο μπλε χρώμα του οφείλεται κατά ένα ποσοστό στο μεθάνιο που απορροφά το ερυθρό και ανακλά το μπλε φως, αλλά υπάρχει ακόμα ένας παράγοντας ο οποίος δεν είναι γνωστός στον οποίο οφείλεται η ένταση του χρώματος. Στην ατμόσφαιρα του Ποσειδώνα επικρατούν ακραίες καιρικές συνθήκες με ισχυρούς κυκλώνες και γρήγορους ανέμους. Όπως είναι αναμενόμενο, στον Ποσειδώνα δεν μπορεί να υποστηριχθεί ζωή στη μορφή που τη γνωρίζουμε.

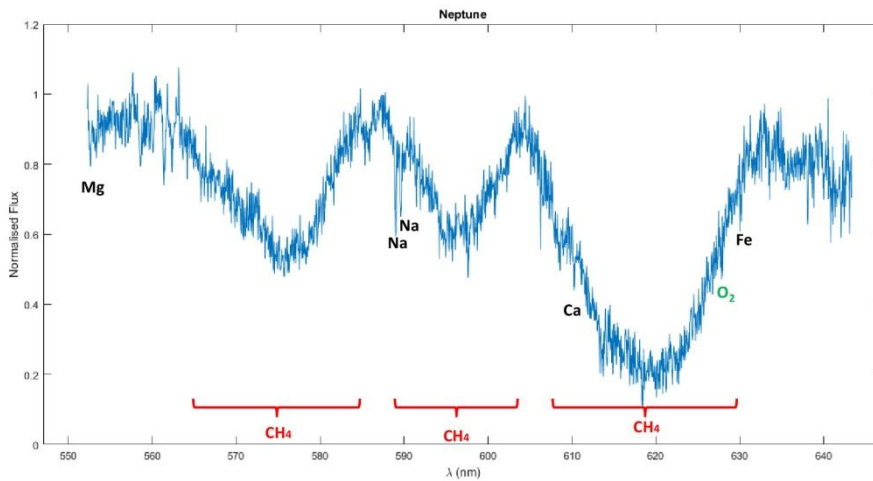


Εικόνα 40: Σύννεφα στον Ποσειδώνα όπως τραβήχτηκαν από το Voyager 2 (1989). Πηγή: Voyager 2, NASA, <https://apod.nasa.gov/apod/ap150215.html>.

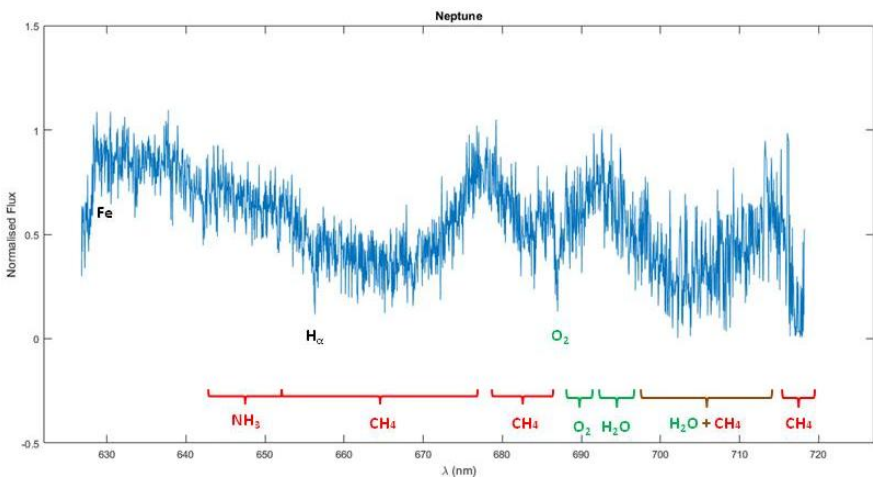
Το φάσμα του παρατίθεται στις τρεις περιοχές (εικόνες 41, 42, 43). Ο χρόνος έκθεσης για τη λήψη των φασμάτων ήταν 1800 sec.



Εικόνα 41: Φάσμα του Ποσειδώνα στην περιοχή 478.71-568.58 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου και οι χημικές ενώσεις με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ποσειδώνα.



Εικόνα 42: Φάσμα του Ποσειδώνα στην περιοχή 552.28-643.27 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ποσειδώνα.



Εικόνα 43: Φάσμα του Ποσειδώνα στην περιοχή 626.81-718.87 nm. Τα χημικά στοιχεία με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές του Ήλιου, οι χημικές ενώσεις με το πράσινο στην ατμόσφαιρα της Γης και με το κόκκινο στην ατμόσφαιρα του Ποσειδώνα. Στον άξονα της κανονικοποιημένης ροής τα όρια είναι από - 0.5 έως 1.5 για καλύτερη εποπτεία.

Το φάσμα του Ποσειδώνα παρουσιάζει απορροφήσεις των ίδιων μοριακών ενώσεων με τον Ουρανό αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες όπως φαίνεται από το βάθος της απορρόφησης. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται μεθάνιο (CH_4) στα 486 nm, 510.69 nm, 543 nm, 576.7 nm, 596.8 nm, 619.6 nm, 666.56 nm και στα 682.35 nm. Επιπλέον, αμμωνία (NH_3) ανιχνεύεται στα 649.4 nm. Επίσης, στα 702 nm υπάρχει η μπάντα νερού (H_2O) που οφείλεται στην ατμόσφαιρα της Γης αλλά και μεθάνιο (CH_4) που ανιχνεύεται στην ατμόσφαιρα του Ποσειδώνα.

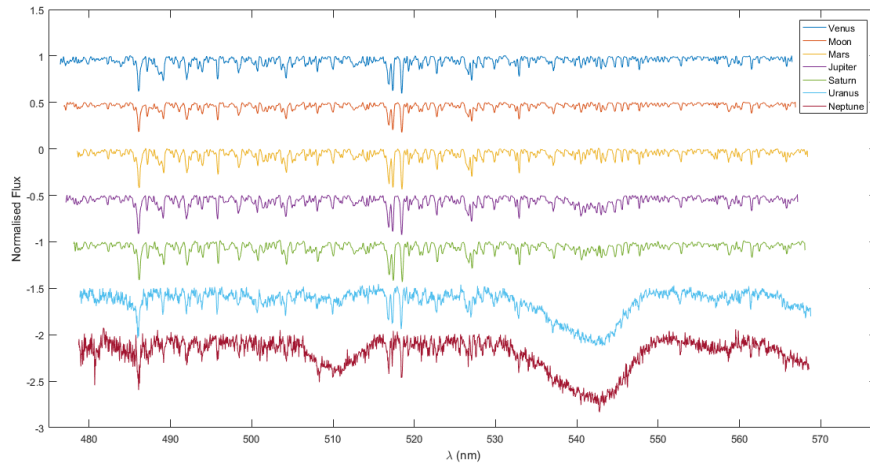
3.2.8 Σύγκριση Φασμάτων

Στα διαγράμματα της επόμενης σελίδας έχουν συγκεντρωθεί όλα τα φάσματα των ουράνιων σωμάτων ανά περιοχή μηκών κύματος (εικόνες 44, 45, 46).

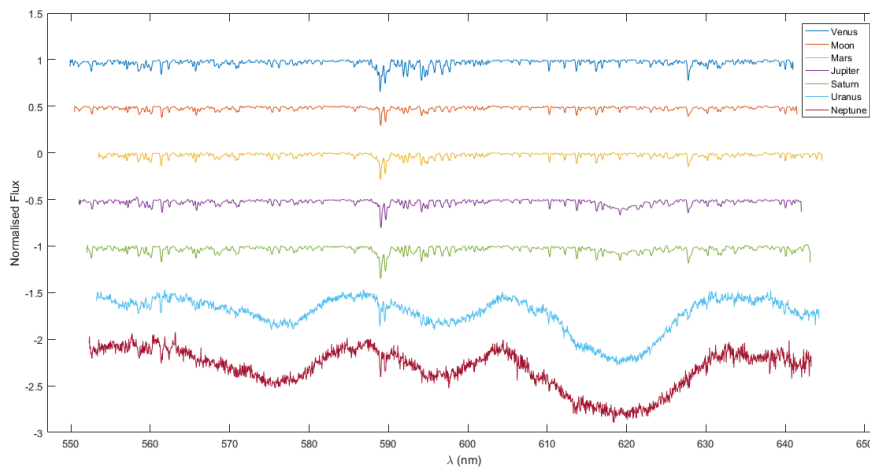
Με τη σύγκριση όλων των φασμάτων εξάγονται ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αρχικά, σε όλα τα φάσματα υπάρχουν οι γραμμές Fraunhofer, δηλαδή το φάσμα του Ήλιου και μοριακό οξυγόνο και μπάντες νερού που οφείλονται στην ατμόσφαιρα της Γης (telluric lines). Η ύπαρξη αυτών των γραμμών στα φάσματα όλων των ουράνιων σωμάτων είναι αναμενόμενη καθώς το τηλεσκόπιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι επίγειο, επομένως μεσολαβεί η γήινη ατμόσφαιρα για αυτό και εντοπίζονται γραμμές που ανήκουν στην ατμόσφαιρα της Γης. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα ουράνια σώματα είναι ετερόφωτα, φωτίζονται δηλαδή από τον Ήλιο, συνεπώς παίρνοντας το φάσμα κάποιου ουράνιου σώματος του Ηλιακού Συστήματος ανιχνεύονται και οι φασματικές γραμμές της πηγής του φωτός (του Ήλιου).

Οι βραχώδεις πλανήτες και οι δορυφόροι όπως η Σελήνη παρουσιάζουν παρόμοια φάσματα μεταξύ τους καθώς τα στοιχεία που διαφοροποιούν τις (αραιές) ατμόσφαιρές τους εκπέμπουν στα υπέρυθρα μήκη κύματος. Συνεπώς, δεν μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη σύσταση της ατμόσφαιρας αυτών των σωμάτων.

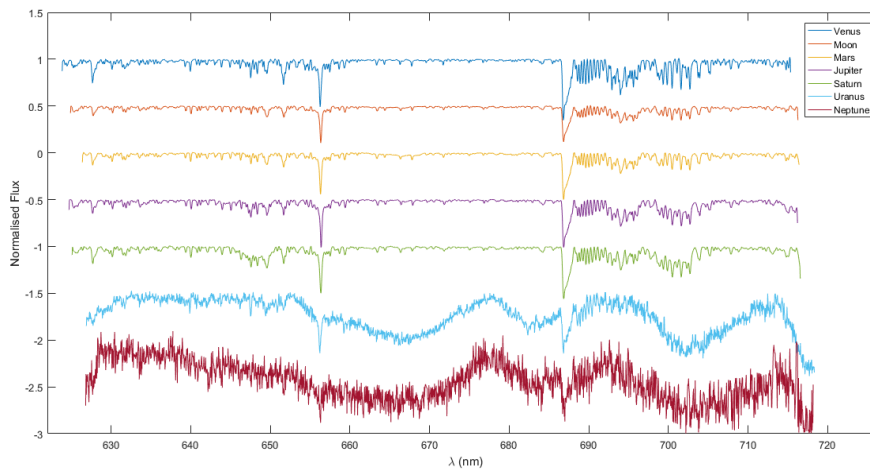
Ωστόσο, στους αέριους πλανήτες εντοπίζονται μεγάλες μπάντες μοριακών ενώσεων και στις τρεις περιοχές των ορατών μηκών κύματος. Ο Δίας και ο Κρόνος παρουσιάζουν απορροφήσεις στα ίδια μήκη κύματος, επομένως έχουν τις ίδιες μοριακές ενώσεις αλλά σε διαφορετικές ποσότητες, όπως είναι φανερό από το βάθος των απορροφήσεων. Ο Δίας περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου σε σχέση με τον Κρόνο, ενώ ο Κρόνος μεγαλύτερες ποσότητες αμμωνίας, όπως έχει επιβεβαιωθεί και από άλλα παρατηρητήρια. Αντίστοιχα, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας έχουν παρόμοια φάσματα. Τους χαρακτηρίζουν οι μεγάλες μπάντες μεθανίου οι οποίες εντοπίζονται και στις τρεις περιοχές των ορατών μηκών κύματος όπου λήφθηκαν τα φάσματα. Ωστόσο, ο Ποσειδώνας παρουσιάζει μπάντες μεθανίου με μεγαλύτερο βάθος το οποίο αντιστοιχεί και σε μεγαλύτερη ποσοστιαία αναλογία της μοριακής ένωσης.



Εικόνα 44: Τα βαθμονομημένα και κανονικοποιημένα φάσματα των σωμάτων σε κοινό διάγραμμα στην περιοχή 475-570 nm. Η ροή είναι μετατοπισμένη κατά 0.5 σε κάθε φάσμα.



Εικόνα 45: Τα βαθμονομημένα και κανονικοποιημένα φάσματα των ουράνιων σωμάτων σε κοινό διάγραμμα στην περιοχή 550-650 nm. Η ροή είναι μετατοπισμένη κατά 0.5 σε κάθε φάσμα.



Εικόνα 46: Τα βαθμονομημένα και κανονικοποιημένα φάσματα των ουράνιων σωμάτων σε κοινό διάγραμμα στην περιοχή 620-720 nm. Η ροή είναι μετατοπισμένη κατά 0.5 σε κάθε φάσμα.

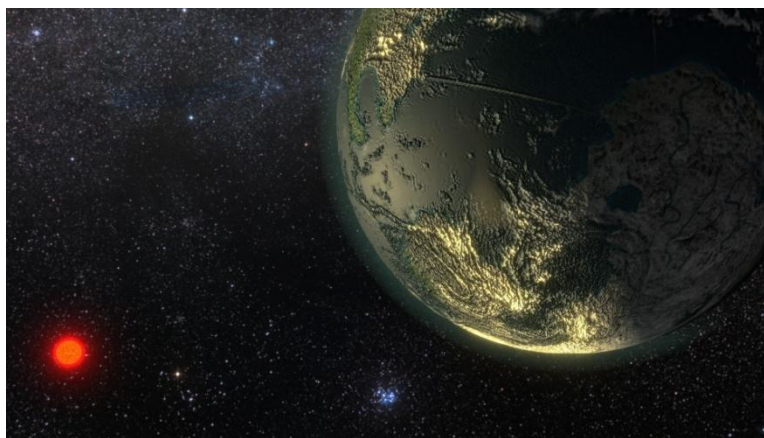
Κεφάλαιο 4: Ανίχνευση ατμόσφαιρας σε εξωπλανήτες

Εξωπλανήτης ονομάζεται κάθε πλανήτης που δεν ανήκει στο δικό μας Ηλιακό Σύστημα, δεν περιφέρεται δηλαδή γύρω από τον Ήλιο. Σήμερα είναι γνωστοί 3.801 εξωπλανήτες σε 2.842 πλανητικά συστήματα, από τα οποία 633 έχουν πάνω από ένα πλανήτη. Ο αριθμός αυτός αυξάνεται συνεχώς με τις νέες ανακαλύψεις.

4.1 Διαδικασία ανίχνευσης ατμόσφαιρας

Μία από τις μεθόδους εντοπισμού εξωπλανητών είναι η φασματοσκοπική μέθοδος και συγκεκριμένα η μέτρηση της μεταβολής της ακτινικής ταχύτητας του αστέρα. Ένας πλανήτης που περιφέρεται γύρω από έναν αστέρα ασκεί πάνω του βαρυτική δύναμη και προκαλεί μια μικρή έκκεντρη κίνηση του αστέρα. Η μεταβολή αυτή γίνεται αντιληπτή καθώς ο αστέρας πλησιάζει και απομακρύνεται εξαιτίας αυτής της κίνησης από τη Γη, κάτι που προκαλεί αλλαγές στο φάσμα του εξαιτίας του φαινομένου Doppler. Τα σημερινά φασματοσκόπια είναι αρκετά ευαίσθητα ώστε να μπορούν να εντοπίσουν τις μεταβολές αυτές, κυρίως για πλανήτες μεγέθους του Δία που κινούνται γύρω από άστρα σε μέσες αποστάσεις, έως δηλαδή μερικές εκατοντάδες έτη φωτός.

Αρκετοί από τους πλανήτες που έχουν εντοπιστεί έχουν ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρά τους μπορεί να ανιχνευθεί με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι να γίνει φασματοσκοπία όταν ο εξωπλανήτης περάσει μπροστά από το αστέρι έτσι ώστε το φως που θα λάβει ο φασματογράφος να έχει διέλθει από την ατμόσφαιρα του εξωπλανήτη. Εναλλακτικά, το φάσμα της ατμόσφαιρας του εξωπλανήτη μπορεί να καταγραφεί από τη διαφορά του φάσματος του αστέρα μαζί με του εξωπλανήτη που λαμβάνεται στις περισσότερες θέσεις της τροχιάς του αστέρα, με το φάσμα που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια μιας δευτερεύουσας έκλειψης όπου ο πλανήτης βρίσκεται πίσω από τον αστέρα.



Εικόνα 47: Καλλιτεχνική απεικόνιση εξωπλανήτη. Πηγή: NASA, Exoplanet Exploration, <https://exoplanets.nasa.gov/>

4.2 Κατοικήσιμοι εξωπλανήτες

Η ανακάλυψη εξωπλανητών έχει θέσει σε νέες βάσεις το ζήτημα της ύπαρξης εξωγήινης ζωής, καθώς δίνει μια καλύτερη εικόνα της στατιστικής πιθανότητας ανάπτυξης ζωής στο Γαλαξία μας.

Η επίτευξη πλανητικής κατοικησιμότητας εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενέργειας για την τροφοδότηση της ζωής. Επομένως, θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί εάν τα αστρικά χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα. Ο φασματικός τύπος του αστέρα ή του αστρικού συστήματος θα πρέπει να είναι φασματικού τύπου από αρχές του F έως και μέσα του K που αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες περίπου 7000K έως 4000K. Αυτοί οι φασματικοί τύποι είναι κατάλληλοι διότι έχουν διάρκεια ζωής μερικά δισεκατομμύρια χρόνια που είναι επαρκής χρόνος για την ανάπτυξη ζωής και εκπέμπουν τόση υπεριώδη ακτινοβολία ώστε να είναι εφικτός ο σχηματισμός ατμόσφαιρας αλλά να μην καταστρέφεται και η ζωή.

Ακόμα, σημαντικός παράγοντας είναι η ύπαρξη σταθερής κατοικήσιμης ζώνης. Αν η φωτεινότητα του αστέρα λόγω της εξέλιξής του αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό τότε τα όρια της κατοικήσιμης ζώνης αλλάζουν με εξίσου γρήγορο ρυθμό με αποτέλεσμα οι πλανήτες να μην βρίσκονται για επαρκές χρονικό διάστημα στην κατοικήσιμη ζώνη ώστε να μπορέσει να αναπτυχθεί ζωή. Επιπλέον, η υψηλή μεταλλικότητα αποτελεί ευνοϊκό χαρακτηριστικό για την ανάπτυξη ζωής καθώς πλανήτες που έχουν δημιουργηθεί γύρω από άστρο με χαμηλή μεταλλικότητα πιθανόν να έχουν μικρή μάζα.

Από τα πλανητικά χαρακτηριστικά το κύριο είναι ο πλανήτης να είναι βραχώδης χωρίς όμως να έχει αποκλειστεί οριστικά το ενδεχόμενο ανάπτυξης ζωής στις κορυφές των νεφών των γιγάντων αέριων πλανητών. Ωστόσο, οι πιθανότητες είναι σε σημαντικό βαθμό μικρότερες διότι δεν διαθέτουν επιφάνεια και έχουν ισχυρή βαρύτητα.

Επίσης, ένα πλανητικό χαρακτηριστικό που λαμβάνεται υπόψη είναι η μάζα. Πλανήτες με ελάχιστη μάζα αδυνατούν να συγκρατήσουν την ατμόσφαιρά τους λόγω της μικρής βαρύτητας καθώς τα μόρια της ατμόσφαιρας μπορούν πιο εύκολα να αποκτήσουν την ταχύτητα διαφυγής και να χαθούν. Ακόμα, οι μικρότεροι πλανήτες δεν διαθέτουν τεκτονική δραστηριότητα η οποία είναι σημαντική για την υποστήριξη της ζωής καθώς ανακυκλώνονται χημικά στοιχεία και αναπτύσσεται η βιοποικιλότητα. Επιπρόσθετα, μεγαλύτεροι πλανήτες είναι πιθανότερο να διαθέτουν πυρήνα από σίδηρο που αποτελεί μία από τις δύο προϋποθέσεις της θεωρίας δυναμό για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου το οποίο θωρακίζει τον πλανήτη από τον αστρικό άνεμο.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό αποτελεί η τροχιά και η περιστροφή του πλανήτη. Είναι προτιμότερο η τροχιά να έχει μικρή εκκεντρότητα προκειμένου να υπάρχει μια σταθερότητα στη θερμοκρασία. Αντίθετα, αν η τροχιά έχει μεγάλη εκκεντρότητα και

η έλλειψη είναι επιμηκυμένη τότε οι αλλαγές στη θερμοκρασία λόγω της διαφορετικής απόστασης από τον Ήλιο θα είναι μεγάλες γεγονός που δυσκολεύει τους οργανισμούς να προσαρμόζονται και να επιβιώνουν. Αντίστοιχα, η κλίση του άξονα θα είναι προτιμότερο να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την ήπια εναλλαγή των εποχών επομένως να μην είναι ούτε πολύ μεγάλη ούτε πολύ μικρή.

Όλες αυτές οι προϋποθέσεις βασίζονται στην αναζήτηση ζωής αντίστοιχη με τη ζωή στη Γη. Ωστόσο, δεν έχει αποκλειστεί το ενδεχόμενο ύπαρξης ζωής με διαφορετική βιοχημεία. Για παράδειγμα εναλλακτικά στοιχεία που θα μπορούσαν να παίξουν το ρόλο του άνθρακα και του νερού είναι η αμμωνία και το πυρίτιο αντίστοιχα. Στην περίπτωση λοιπόν μιας εναλλακτικής βιοχημείας τα κριτήρια κατοικησιμότητας διευρύνονται.

4.3 Αποστολές για την ανακάλυψη εξωπλανητών και την ανίχνευση ατμόσφαιρας σε αυτούς

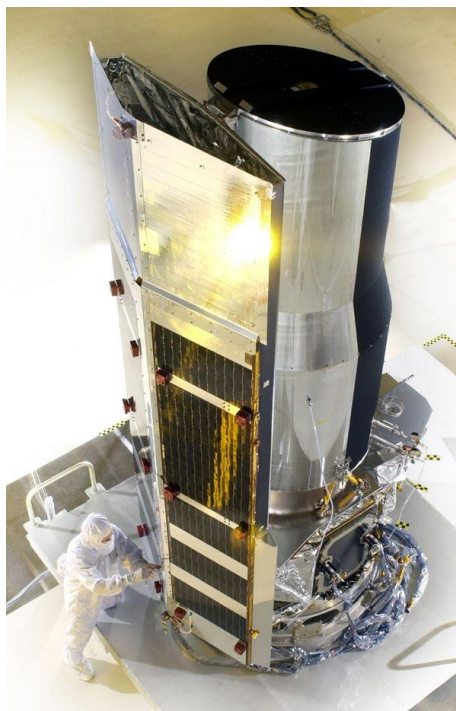
Η ανακάλυψη εξωπλανητών βρίσκεται στην επικαιρότητα του επιστημονικού κόσμου και αποστολές που τους αφορούν έχουν ήδη σταλεί, αλλά σχεδιάζονται και νέες για το κοντινό μέλλον.

Το Hubble Space Telescope (HST) εκτοξεύτηκε το 1990 και είναι αποστολή της NASA. Έχει εντοπίσει αέριους εξωπλανήτες που βρίσκονται κοντά στο αστέρι τους και έχει πάρει φάσματα από τις ατμόσφαιρές τους.



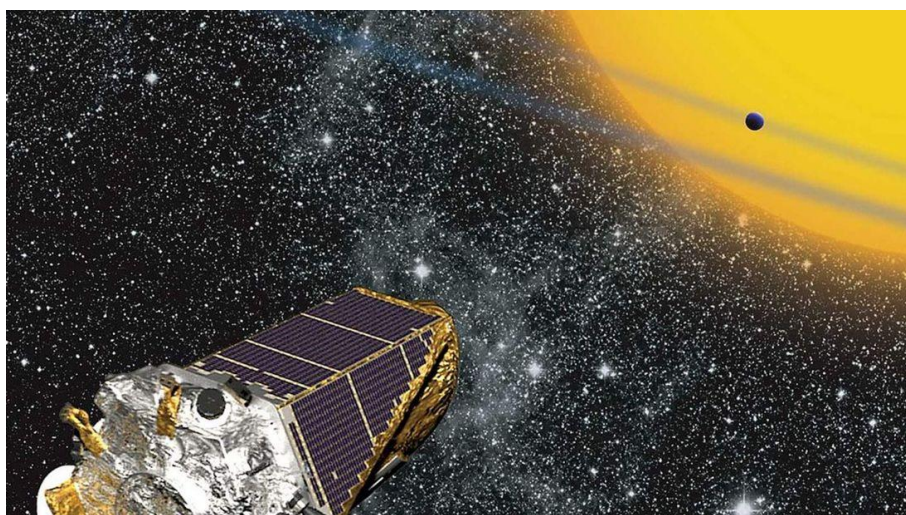
Εικόνα 48: Το Hubble Space Telescope της NASA. Πηγή: NASA, https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html

Το Spitzer Space Telescope αποτελεί επίσης αποστολή της NASA και μέσω των εκλείψεων έχει δώσει πληροφορίες για την εκτίμηση του μεγέθους και της μέσης θερμοκρασίας διαφόρων εξωπλανητών.



Εικόνα 49: Το Spitzer Space Telescope. Πηγή: NASA, <https://www.nasa.gov/centers/jpl/missions/spitzer.html>

Άλλη μία σημαντική αποστολή της NASA είναι η αποστολή Kepler που εκτοξεύθηκε το 2009 και σχεδιάστηκε για να παρακολουθεί συγκεκριμένη περιοχή του ουρανού. Από τότε έχει επιβεβαιώσει την ύπαρξη πολυάριθμων εξωπλανητών.



Εικόνα 50: Καλλιτεχνική απεικόνιση του Kepler Space Telescope. Πηγή: W Stenzel/NASA Ames

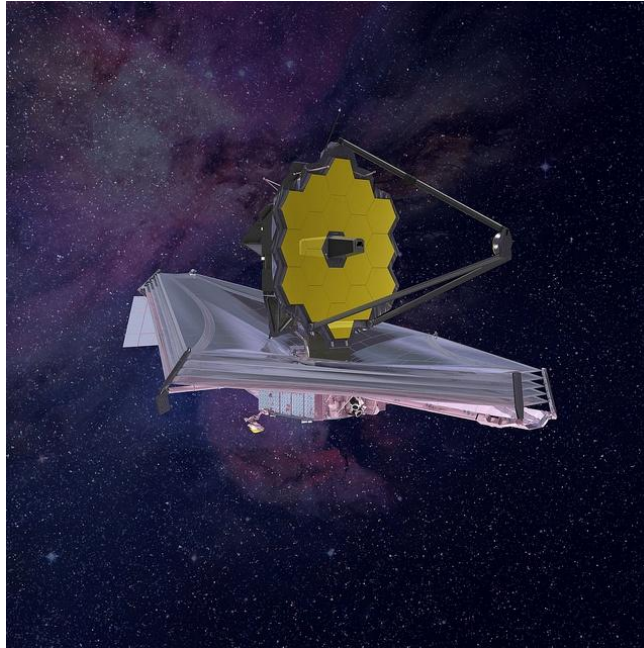
Η πιο πρόσφατη αποστολή της NASA όσον αφορά τους εξωπλανήτες είναι το Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), το οποίο εκτοξεύθηκε το 2018. Θα ταυτοποιήσει ποικίλα μεγέθη πλανητών που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από

διάφορους τύπους αστερών. Ο κύριος σκοπός του είναι η ανίχνευση μικρών πλανητών που κινούνται γύρω από λαμπρούς αστέρες κοντά στη γειτονιά του Ήλιου ώστε να μελετήσει λεπτομερώς τους ίδιους και τις ατμόσφαιρές τους.



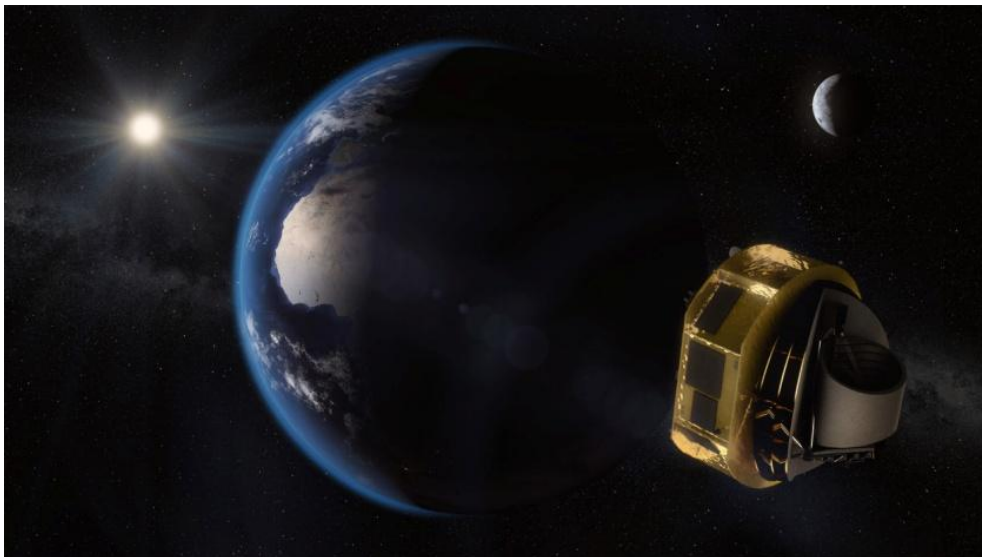
Εικόνα 51: To Transiting Exoplanet Survey Satellite (Tess) της NASA. Πηγή: NASA, <https://tess.gsfc.nasa.gov/overview.html>

Η επόμενη αποστολή της NASA σε συνεργασία με την ESA και την CSA θα είναι το James Webb Space Telescope (JWST) που πρόκειται να εκτοξευθεί το 2021. Στόχος του είναι να μελετήσει κάθε φάση της ιστορίας του σύμπαντος, το σχηματισμό των πρώτων γαλαξιών καθώς και το σχηματισμό των αστερών και των πλανητών, κάτι που συμπεριλαμβάνει απευθείας απεικόνιση των εξωπλανητών.



Εικόνα 52: Καλλιτεχνική απεικόνιση του James Webb Space Telescope (JWST) . Πηγή: NASA's James Webb Space Telescope, <https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope/sets/72157624413830771/with/16678793810/>

Η πρώτη αποστολή της ESA για τους εξωπλανήτες ονομάζεται ARIEL και στόχο έχει τη μελέτη των ατμοσφαιρών τους. Προγραμματίζεται να εκτοξευθεί το 2028 και αναμένεται να απαντήσει σε ερωτήματα που αφορούν το σχηματισμό των πλανητικών συστημάτων και των εξωπλανητών καθώς και τη σύστασή τους.



Εικόνα 53: Καλλιτεχνική απεικόνιση της μελλοντικής αποστολής ARIEL της ESA. Πηγή:ESA/STFC RAL/Space/UCL/Europlanet-Science Office, <https://fys.kuleuven.be/ster/news/2018/esa-selects-ariel-exoplanet-mission-with-ku-leuven-in-a-key-role>.

Κεφάλαιο 5: Επίλογος

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την μελέτη των φασμάτων ορισμένων ουράνιων σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος με απώτερο σκοπό την ανίχνευση μοριακών ενώσεων στις ατμόσφαιρές τους. Για την επίτευξη αυτού εγκαταστάθηκε φασματογράφος στο Γεροσταθοπούλειο Πανεπιστημιακό Αστεροσκοπείο Αθηνών και πραγματοποιήθηκαν λήψεις φασμάτων της Αφροδίτης, της Σελήνης, του Άρη, του Δία, του Κρόνου, του Ουρανού και του Ποσειδώνα καθώς και φασμάτων βαθμονόμησης με λάμπες Hg, Ne και Xe. Οι λήψεις αυτές έγιναν σε τρεις διαφορετικές περιοχές στα ορατά μήκη κύματος. Τα φάσματα που πάρθηκαν ήταν φάσματα απορρόφησης, παρουσίαζαν δηλαδή σκοτεινές γραμμές σε ορισμένα μήκη κύματος σε φωτεινό υπόβαθρο.

Έπειτα, τα φάσματα αυτά επεξεργάστηκαν, βαθμονομήθηκαν και κανονικοποιήθηκαν με χρήση αυτοματοποιημένου κώδικα αναπτυγμένου σε περιβάλλον MATLAB. Στη συνέχεια, έγινε ταυτοποίηση των στοιχείων που αντιστοιχούσαν στα μήκη κύματος όπου υπήρχε απορρόφηση. Σε όλα τα ουράνια σώματα εντοπίστηκαν οι γραμμές Fraunhofer, δηλαδή το φάσμα του Ήλιου καθώς και μοριακό οξυγόνο και νερό που οφείλεται στην ατμόσφαιρα της Γης. Ήταν αναμενόμενη η ύπαρξη αυτών των γραμμών στα φάσματα όλων των ουράνιων σωμάτων καθώς το τηλεσκόπιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι επίγειο, επομένως μεσολαβεί η γήινη ατμόσφαιρα και οι πλανήτες και η Σελήνη είναι ετερόφωτα σώματα οπότε ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα φάσματα της Αφροδίτης, του Άρη και της Σελήνης στα ορατά μήκη κύματος είναι ίδια και αποτελούν στην ουσία το φάσμα του Ήλιου με τις τελουρικές γραμμές. Συνεπώς, δεν μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη σύσταση της ατμόσφαιρας αυτών των σωμάτων εφόσον οι μοριακές τους ενώσεις συναντώνται στα υπέρυθρα μήκη κύματος.

Αντίθετα, στους αέριους πλανήτες ανιχνεύθηκαν μοριακές ενώσεις στα ορατά μήκη κύματος. Ο Δίας και ο Κρόνος παρουσιάζουν απορροφήσεις στα ίδια μήκη κύματος, επομένως έχουν τις ίδιες μοριακές ενώσεις αλλά σε διαφορετικές ποσότητες, όπως είναι φανερό από το βάθος των απορροφήσεων. Ο Δίας περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου σε σχέση με τον Κρόνο, ενώ ο Κρόνος μεγαλύτερες ποσότητες αμμωνίας. Αντίστοιχα, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας έχουν παρόμοια φάσματα. Τους χαρακτηρίζουν οι μεγάλες μπάντες μεθανίου οι οποίες εντοπίζονται και στις τρεις περιοχές των ορατών μηκών κύματος όπου λήφθηκαν τα φάσματα. Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές στην ποσότητα του μεθανίου ανάμεσα στους δυο πλανήτες. Συγκεκριμένα, ο Ποσειδώνας παρουσιάζει μπάντες μεθανίου με μεγαλύτερο βάθος το οποίο αντιστοιχεί και σε μεγαλύτερη ποσοστιαία αναλογία της μοριακής ένωσης.

Η φασματοσκοπική μελέτη μερικών από τα ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος που πραγματοποιήθηκε στην εργασία αυτή αναδεικνύει τη σημασία της φασματοσκοπίας ως μέσο ανίχνευσης ατμόσφαιρας σε κάποιο ουράνιο σώμα

αλλά και ως μέσο προσδιορισμού της σύστασής της. Με αυτό τον τρόπο, συμβάλει σημαντικά στην ανακάλυψη εξωπλανητών και την ανίχνευση μοριακών ενώσεων στις ατμόσφαιρές τους, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ύπαρξη ζωής όπως τη γνωρίζουμε.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην εργασία για τη μελέτη της σύστασης των ατμοσφαιρών εφαρμόζεται και στην περίπτωση των εξωπλανητών, ένα θέμα επίκαιρο που απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα και βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλόνσο, Μ. & Φίν, Ε. (1990). *Θεμελιώδης πανεπιστημιακή φυσική ΙΙ*. Αθήνα: Εκδόσεις Κορφιάτης.
- Αστρονομία. (2007). Φαινόμενο Doppler. Πρόσβαση στις 18 Ιουλίου, 2018.
https://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_Doppler
- Αστρονομία. (2006). *Αφροδίτη*. Πρόσβαση στις 18 Σεπτέμβρη, 2018.
https://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=%CE%91%CF%86%CF%81%CE%BF%CE%B4%E%AF%CF%84%CE%B7#.CE.91.CF.84.CE.BC.CF.8C.CF.83.CF.86.CE.B1.CE.B_9.CF.81.CE.B1
- Βικιπαίδεια. (2018). *Αφροδίτη*. Πρόσβαση στις 22 Ιουλίου, 2018.
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%86%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AF%CF%84%CE%B7_\(%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%86%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AF%CF%84%CE%B7_(%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%82))
- Γαζέας, Κ. (2013). *Φασματοσκοπία*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κατσαούνης, Α. (χ.χ.). *Εισαγωγή στις Φασματομετρικές Τεχνικές*. Πάτρα: Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
- Κολοκοτρώνης, Β. (χ.χ.). *Το Ηλιακό Σύστημα*. Πρόσβαση στις 31 Ιουλίου, 2018.
http://www.meteo.gr/pdf/intro_solar_system.pdf
- Κούππαρης, Μ. (χ.χ.). *Εισαγωγή στις Φασματοσκοπικές Τεχνικές Αναλύσεως*. Παραδόσεις Αναλυτικής Χημείας ΙΙ. Αθήνα: ΕΚΠΑ.
- Meteo. (χ.χ.). *Η ατμόσφαιρα στους Πλανήτες*. Πρόσβαση στις 28 Αυγούστου, 2018.
<http://www.meteo.gr/pdf/astro%20atmospheres.pdf>
- Νταής, Φ. (2001). *Φασματοσκοπία*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Όξενκιουν-Πετροπούλου, Μ. (2012). *Φασματομετρικές Μεθοδοί*. (3^η Έκδοση) Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Περισυνάκης, Α. (2014). *Μοριακή Βιολογία Νουκλεϊνικών Οξέων. Προέλευση της ζωής – Βιοχημική εξέλιξη*. (1^η Έκδοση). Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων .

Πρόσβαση στις 8 Ιουλίου 2018.

<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1276>.

Τραχανάς, Σ.(2012). *Στοιχειώδης Κβαντική Φυσική*. Κρήτη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.http://homepage.physics.uiowa.edu/~spangler/2952_EXW/Locus18_EXW.htm

Χατζηδημητρίου, Δ., Γαζέας, Κ., Τόμπρας, Γ.Σ., Νισταζάκης, Ε.Ε., Λάτσας, Γ., Κωνσταντόπουλος, Π., Αδακτύλου, Ν., Ντάντου, Α., Γεωργάκη, Χ., Δεληγιώργη, Δ., Καλτσουνίδης, Ν., Μποσιώλη, Ε., Παπαϊωάννου, Γ., Πρωτονοταρίου, Α., Τόμπρου, Μ. & Χέλμης, Κ. (2016-2017). Εργαστηριακός Οδηγός για τα Εργαστήρια του Τμήματος Φυσικού. Αθήνα: ΕΚΠΑ.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Astrobioblog. (2011). *How to find a planet*. Retrieved on 28 July, 2018.

<https://astrobioblog.wordpress.com/2011/01/15/how-to-find-a-planet/>

Atkins P.W., J. De Paula. (2014). *Φυσικοχημεία*. (9th Edition). Κρήτη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.

Atreya, Sushil K., Mahaffy, P. R., Niemann, H. B., Wong, M. H., Owen, T. C. (2003). Composition and origin of the atmosphere of Jupiter—an update, and implications for the extrasolar giant planets. *Planetary and Space Science*, 51 (2), 105–112.

Basilevsky, T., James W. (2003). The surface of Venus. *Reports on Progress in Physics*, 66 (10), 1699–1734.

Bauer, M. (2018). *Esa's next science mission to focus on nature of exoplanets*. Retrieved on 28 July, 2018. <http://sci.esa.int/cosmic-vision/59796-esa-s-next-science-mission-to-focus-on-nature-of-exoplanets/>

Bridge, S. (χ.χ.). *What is the wave frequency of the Moon's light?* Retrieved on 27 July, 2018. <https://www.quora.com/What-is-the-wave-frequency-of-the-Moon%E2%80%99s-light>

California Institute of Technology and Illinois Institute of Technology Research Institute (1970). The 5520 Å Band of Ammonia in the Spectrum of Jupiter. *The Astrophysical Journal*, 164, 211-212.

- California State University, Los Angeles. (2012). *Star tables*. Retrieved on 28 July, 2018. <http://www.world-builders.org/lessons/less/les1/StarTables.html>
- Cowen, R. (2013). Voyager 1 has reached interstellar space. *Nature*. Retrieved on 28 July, 2018. <https://www.nature.com/news/voyager-1-has-reached-interstellar-space-1.13735>
- Cramer , C. E., Lykke, K. R., Woodward, J. T. & Smith, A. W. (2013). Precise Measurement of Lunar Spectral Irradiance at Visible Wavelengths. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 118, 396-402.
- Danielson, R. E.(1974). The Visible Spectrum of Uranus. *Astrophysical Journal*, 192, 107. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1974ApJ...192L.107D>
- ESA, (χ.χ.). *LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer)*. Retrieved on 20 September, 2018. <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/l/ladee>
- ESA, (χ.χ.). *Saturn's atmosphere*. Retrieved on 10 July, 2018. [http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens/Saturn s atmosphere](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens/Saturn_s_atmosphere)
- Expoplanet (2018). *The Extrasolar Planets Encyclopaedia*. Retrieved on 28 July, 2018. <http://exoplanet.eu/>
- Gibney,E. (2018). First space mission dedicated to exoplanet atmospheres gets green light. *Nature*, 555, 571. Retrieved on 12 July, 2018. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-03445-5>
- Heliosphere. (χ.χ.). *The Doppler Effect: Change in frequency of a wave for an observer moving relative to its source*. Retrieved on 20 September 2018. <http://web.mit.edu/knazemi/www/intermediateExperiment1.htm>
- Kasting, F., Whittet, DC, Sheldon, WR. (1997). Ultraviolet radiation from F and K stars and implications for planetary habitability. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 27 (4), 413–420.
- Kasting, F., Whitmore, Daniel P., Reynolds, Ray T. (1993). Habitable Zones Around Main Sequence Stars, *Icarus* 101 (1), 108–128.
- Kenneth, R. (1978). *Astrophysical Formulae. A compendium for the Physicist and Astophysicist*. USA: Department of Physics, Tufts University Medford.
- Kuhn, H., Forsterling, H.-D., Waldeck, D.H. & Sons, J.W. (2000). *Principles of Physical Chemistry (2nd Edition Inc)*.

- Mahaffy, P. R., Webster, C. R., Atreya, S. K., Franz, H., Wong, M., Conrad, P. G., Harpold, D., Jones, J. J., Leshin, L. A., Manning, H., Owen, T., Pepin, R. O., Squyres, S., Trainer, M., Kempainen, O., Bridges, N., Johnson, J. R., Minitti, M., Cremers, D., Bell, J. F., Edgar, L., Farmer, J., Godber, A., Wadhwa, M., Wellington, D., McEwan, I., Newman, C., Richardson, M., Charpentier, A., et al. (2013). Abundance and Isotopic Composition of Gases in the Martian Atmosphere from the Curiosity Rover. *Science*, 341(6143), 263-266.
- Martinez, P. & Dunlop, S. (1994). *The Observer's Guide to Astronomy*. Cambridge.
- McQuarrie, D.A., Simon J.D. (1997). *Physical Chemistry: A Molecular Approach* University Science Books. California: Sausalito.
- Mumma, M. J., Disanti, M. A., Dello Russo, N., Magee-Sauer, K., Gibb, E., Novak, R. (2003). Remote infrared observations of parent volatiles in comets: A window on the early solar system. *Advances in Space Research*. 31 (12), 2563–2575.
- National Aeronautics and Space Administration, (NASA). *The Transiting Exoplanet Survey Satellite*. Retrieved on 15 September, 2018.
<https://tess.gsfc.nasa.gov/>
- NASA. (2013). Is There an Atmosphere on the Moon? . Retrieved on 15 September, 2018. https://www.nasa.gov/mission_pages/LADEE/news/lunar-atmosphere.html
- NASA. (2018). *Solar System Exploration*. Retrieved on 15 September, 2018.
<https://solarsystem.nasa.gov/>
- NASA. (2018). *Solar System Exploration: Jupiter*. Retrieved on 15 September, 2018.
https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/in-depth/#atmosphere_otp
- NASA. (2018). *Solar System Exploration: Neptune*. Retrieved on 15 September, 2018.
<https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/in-depth/>
- NASA. (2018). *Solar System Exploration: Saturn*. Retrieved on 15 September, 2018.
<https://solarsystem.nasa.gov/planets/saturn/in-depth/>
- NASA. (2018). *Solar System Exploration: Uranus*. Retrieved on 15 September, 2018.
https://solarsystem.nasa.gov/planets/uranus/in-depth/#atmosphere_otp
- NASA. (2011). *NASA's Voyager Hits New Region at Solar System Edge*. Retrieved on 22 August, 2018.
https://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/voyager20111205.html

- National Astronomical Observatory of Japan. (2015). *The Spectra of Saturn and its Ring*. Retrieved on 22 August, 2018.
<http://prc.nao.ac.jp/extra/uos/en/no24/>
- National Institute of Standards and Technology, (χ.χ.). *Basic Atomic Spectroscopic Data.Strong Lines of Neon (Ne)*. Retrieved on 5 August,2018.
<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/neontable2.htm>
- National Institute of Standards and Technology, (χ.χ.). *Basic Atomic Spectroscopic Data. Strong Lines of Neon (Xe)*. Retrieved on 5 August, 2018.
<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/xenontable2.htm>
- Owen, T. & Cess, R. D. (1975). Methane absorption in the visible spectra of the outer planets and Titan. *Astrophysical Journal*, 197, L37-L40. Retrieved on 20 August, 2018.
<http://adsbit.harvard.edu//full/1975ApJ...197L..37O/L000038.000.html>
- Papageorgiou, P., Zervos, M. & Othonos, A. (2011). An investigation into the conversion of In₂O₃ into InN nanowires. *Nanoscale Research Letters*, 6, 311.
- Raymond, S., (1990). *Ηλεκτρομαγνητισμός*. (2^η έκδοση).(Μτφρ. Ρεσβάνης, Λ.). Αθήνα: Ιδιωτική.
- Redd, N.T. (2018). *Uranus' Atmosphere: Layers of Icy Clouds*. Retrieved on 29 August, 2018. <https://www.space.com/18708-uranus-atmosphere.html>
- Redd, N.T. (2012). *Jupiter's Atmosphere & the Great Red Spot*. Retrieved on 29 August, 2018. <https://www.space.com/18385-jupiter-atmosphere.html>
- Redd, N.T. (2012). *Saturn's Atmosphere: All the Way Down*. Retrieved on 29 August, 2018. <https://www.space.com/18475-saturn-s-atmosphere-composition-climate-and-clouds.html>
- Redd, N.T. (2012). *Venus' Atmosphere: Composition, Climate and Weather, Space.com*. Retrieved on 29 August, 2018. <https://www.space.com/18527-venus-atmosphere.html>
- Russell, H. N. (χ.χ.). The Absorption Bands in the Spectra of the Outer Planets. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 29, 52. Retrieved on 20 August, 2018.
<http://adsbit.harvard.edu//full/1935JRASC..29...51R/0000052.000.html>
- Russell, R. (2003). *An Overview of Jupiter's Atmosphere*. Retrieved on 25 August, 2018. https://www.windows2universe.org/jupiter/lower_atmosphere.html

- Salazar, D.E. (2018). *Jupiter's Great Red Spot Could Disappear Within 20 Years*. Retrieved on 20 August, 2018. <https://www.space.com/39764-jupiter-great-red-spot-could-disappear.html>
- Sharp, T. (2017). *Mars' Atmosphere: Composition, Climate & Weather*. Retrieved on 20 September, 2018. <https://www.space.com/16903-mars-atmosphere-climate-weather.html>
- Space telescope science institute, (χ.χ.). *Focusing tomorrow's technology on the quest for life in the universe*. Retrieved on 20 September, 2018. <http://www.searchforlife.net/exoplanet-missions/>
- Stevenson, C. C.(1994). Penetrating the Fog - Correcting Groundbased CCD Spectroscopy for Telluric Absorption. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 267, 904. <http://adsbit.harvard.edu//full/1994MNRAS.267..904S/0000905.000.html>
- Taylor, Fredric W. (2016). *Venus: Atmosphere: In Tilman, Spohn; Breuer, Doris; Johnson, T. V. Encyclopedia of the Solar System* (3rd ed.). Oxford: Elsevier
- Science & Technology Universe Guide (2009). *Saturn*. Retrieved on 10 September, 2018. <https://www.universeguide.com/planet/Saturn>
- University of Iowa. (χ.χ.). *Exploration of the Solar System: Jupiter and the Jovian Planets*. Retrieved on 13 September, 2018.
- University of Bremen.(2008). Water Vapour Retrieval using AMC-DOAS. Retrieved on 5 October, 2018. <http://www.iup.uni-bremen.de/amcdoas/>
- University of Washington. (χ.χ.). Identifying Elements in the Sun Using Spectral Lines. Retrieved on 2 October, 2018. <http://www.columbia.edu/~vjd1/Solar%20Spectrum%20Ex.html>
- UPWARDS. (2016). *NOMADs first view of the Martian atmosphere*. Retrieved on 13 September, 2018. <http://upwards-mars.eu/content/nomads-first-view-martian-atmosphere>
- Watanabe, J.I. (2012). *A Spectrum of the Moon*. Retrieved on 15 September, 2018. <http://prc.nao.ac.jp/extra/uos/en/no08/>
- Wikipedia. (2018). Atmosphere of Mars. Retrieved on 10 September, 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Mars
- Wikipedia. (2018). *Atmosphere of Venus*. Retrieved on 10 September, 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Venus

Wikipedia. (2018). *Atmosphere of Jupiter*. Retrieved on 10 September, 2018.

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Jupiter

Wikipedia. (2018). *Fraunhofer lines*. Retrieved on 7 October, 2018.

https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines

Wikipedia. (2018). *Saturn*. Retrieved on 11 September, 2018.

https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn#cite_note-39

Windows To The Universe. (χ.χ.). *A Look at what Neptune's Atmosphere is Made of*.

Retrieved on 10 September, 2018.

https://www.windows2universe.org/neptune/atmosphere/N_atm_composition.html