

Πλανήτης Αφροδίτη: Παρατήρηση της Μορφολογίας και Δυναμικής της Ατμόσφαιρας από Ερασιτέχνες Αστρονόμους

Εμμανουήλ (Μάνος) Ι. Καρδάσης¹

¹Σύλλογος Ερασιτεχνικής Αστρονομίας (ΣΕΑ), Αλωπεκής 42, 10676, Αθήνα, www-hellas-astro.gr

Περίληψη

Οι ερασιτεχνικές παρατηρήσεις της Αφροδίτης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την κατανόηση της ατμόσφαιρας της, συμπληρώνοντας δεδομένα που λαμβάνονται από διαστημοσυσσκευές ή μεγάλα τηλεσκόπια. Η σύγχρονη τεχνολογία έδωσε την δυνατότητα της παρατήρησης και επεξεργασίας με ψηφιακά μέσα (κάμερες, υπολογιστές, λογισμικά) σε πολύ μεγάλη λεπτομέρεια σε σχέση με το παρελθόν, και γίνεται σε ένα μεγαλύτερο φάσμα που περιλαμβάνει το υπεριώδες, το οπτικό και φτάνει μέχρι το κοντινό υπέρυθρο μεταξύ ~300-1000nm. Η ατμόσφαιρα της είναι πλήρως καλυμμένη από πυκνά σύννεφα που στον παρατηρητή παρουσιάζουν αμυδρούς ή έντονους σχηματισμούς. Στο υπεριώδες φάσμα του φωτιζόμενου ημισφαιρίου καταγράφουμε την κίνηση εύκολα ανιχνεύσιμων σχηματισμών στις κορυφές των νεφών που έχουν μελετηθεί για δεκαετίες. Τα μεσαίου ύψους νέφη μπορούν να παρατηρηθούν στο κοντινό υπέρυθρο, αλλά οι μετρήσεις ανέμων είναι πολύ πιο σπάνιες εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης αντίθεσης της φωτεινότητας των σχηματισμών. Πολλά ακόμα φαινόμενα είναι ανιχνεύσιμα με ένα ερασιτεχνικό τηλεσκόπιο και με ψηφιακά μέσα, όπως, φωτεινές κηλίδες αλλά και οι επιφανειακοί σχηματισμοί στην πλευρά της νύχτας. Στην παρούσα εργασία θα κάνουμε μια σύντομη ανασκόπηση της παρατήρησης του πλανήτη από την αρχαιότητα μέχρι και την γνώση που έχουμε για αυτόν σήμερα και είναι χρήσιμη στην μεθοδική παρατήρηση. Θα εστιάσουμε στα σημεία που ένας αφοσιωμένος παρατηρητής μπορεί να συμμετέχει στην εξερεύνηση του δίδυμου πλανήτη με το δικό του σύγχρονο εξοπλισμό.

1. Εισαγωγή - Σύντομη αναδρομή της παρατήρησης του πλανήτη

Το πιο εντυπωσιακό αντικείμενο στον ουρανό μετά τον Ήλιο και την Σελήνη είναι σίγουρα η Αφροδίτη. Στην εμφάνιση της λίγο μετά την δύση του Ήλιου είναι γνωστή ως Αποσπερίτης (Έσπερος ή Εωσφόρος) ενώ στις εμφανίσεις πριν την Ανατολή ως

Αυγερινός. Εντυπωσιασμένοι από την ομορφιά της στην αρχαιότητα της απέδωσαν το όνομα της θεάς της ομορφιάς Αφροδίτης. Ο Γαλιλαίος στρέφοντας το τηλεσκόπιο του σε αυτήν παρατήρησε τις φάσεις όπου διαπίστωσε ότι πρόκειται για πλανήτη που κινείται εσωτερικά της τροχιάς της Γης στηρίζοντας το ηλιοκεντρικό μοντέλο του Κοπέρνικου. Το 1761 ο Ρώσος αστρονόμος Μ.Λομονόσοφ παρατήρησε για πρώτη φορά την ύπαρξη ατμόσφαιρας κατά την διάβαση της Αφροδίτης μπροστά από τον δίσκο του Ηλίου. Η μέτρηση της παράλλαξης κατά τις διαβάσεις του 19ου αιώνα επέτρεψε την ακριβή μέτρηση της απόστασης Γη-Ήλιος. Καθώς τα τηλεσκόπια γίνονταν καλύτερα, οι παρατηρητές έκαναν προσπάθειες για να δουν χαρακτηριστικά στη Αφροδίτη που θα μπορούσαν να δώσουν πληροφορίες για τη φύση του πλησιέστερου πλανήτη. Αναφορές για διάφορα φαινόμενα εμφανίζονται στα επαγγελματικά περιοδικά του δέκατου ένατου αιώνα. Επειδή η οπτική παρατήρηση της Αφροδίτης με τηλεσκόπιο εμφανίζει έναν υπέρλαμπρο δίσκο αυτό μεταφράστηκε σε ύπαρξη πυκνής ατμόσφαιρας. Δεν παρατηρούνται χαρακτηριστικά αλλά κάποιες φορές υποψίες σχηματισμών, όπως φωτεινές κηλίδες, που κάποιες φορές ερμηνεύονται εκείνη την εποχή ως κορυφές ορεινών όγκων που καλύπτονται από χιόνι, ή φωτεινές πολικές κηλίδες και σκιάσεις. Οι σχηματισμοί, οι σκιάσεις ή οι λαμπρότητες αρχίζουν να γίνονται αντιληπτές στο ιώδες μέρος του φάσματος όπου η ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού πέφτει κατακόρυφα. Τα χαρακτηριστικά είναι περισσότερο εμφανή στο ιώδες και το μπλε φάσμα και απουσιάζουν στο κόκκινο φάσμα. Η κλασική σειρά από υπεριώδεις φωτογραφίες από τον Ross το 1928 (Ross 1928) απέδειξε ότι υπάρχουν εμφανή χαρακτηριστικά μεγάλης αντίθεσης στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα. Υπέθεσε υψηλή πίεση στην επιφάνεια του πλανήτη και ότι οι αλλαγές οφείλονταν σε βίαια μετεωρολογικά φαινόμενα στην πυκνή ατμόσφαιρά του και πρότεινε μια περίοδο περιστροφής περίπου 30 ημερών. Η εκτίμηση αυτή ήταν σχετικά μακριά από την πραγματική περιστροφή της ανώτερης ατμόσφαιρας που παρατηρούμε. Η πραγματική ταχύτητα περιστροφής της, των ~4 ημερών, εντοπίστηκε από τον ερασιτέχνη αστρονόμο C.Boyer (Boyer 1961). Το σημαντικότερο όμως βήμα στην εξερεύνηση του πλανήτη έγινε με την έναρξη της διαστημικής εποχής και τις αποστολές διαστημοσυσκευών στην Αφροδίτη.

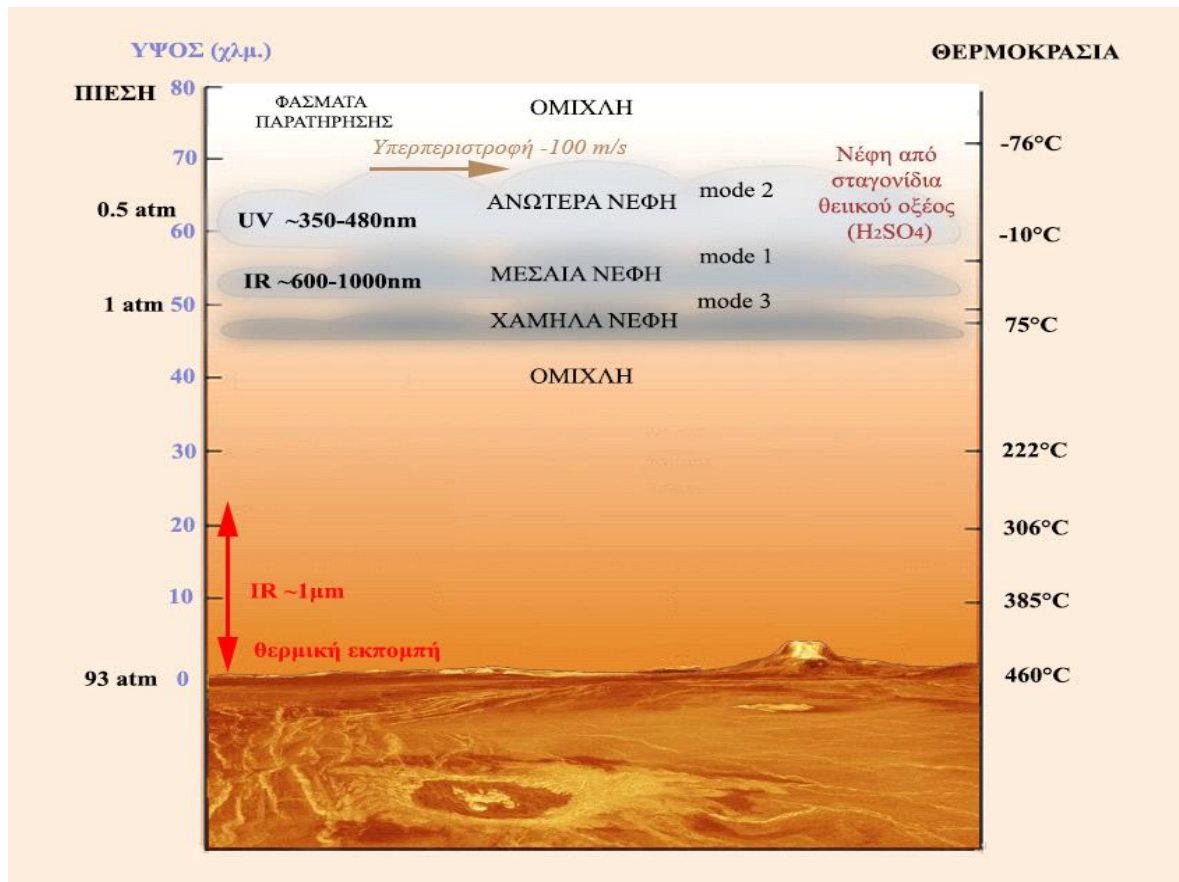
Η πρώτη επιτυχημένη αποστολή έγινε με το Mariner 2 το 1962 που μας έστειλε τις πρώτες κοντινές φωτογραφίες από τον πλανήτη. Το Venera 4 απέκτησε για πρώτη φορά άμεσες μετρήσεις με την συσκευή που προσεδαφίστηκε το 1967. Το Pioneer Venus το 1978, η σειρά Venera (5-16) από το 1969 έως το 1985, και τα Vega 1 και 2 που ακολούθησαν το 1985 διέθεταν συσκευές που διείσδυσαν στη ατμόσφαιρα και έκαναν επί τόπου μετρήσεις. Η πρώτη ομαλή προσεδάφιση στον πλανήτη έγινε με το Venera 7 το 1970. Εν τω μεταξύ, το 1984, παρατηρήσεις από την Γη κατέστησαν δυνατή την παρατήρηση της κατώτερης ατμόσφαιρας της Αφροδίτης σε μήκος κύματος 2.3 μm . Βρέθηκε ότι υπήρχαν μεγάλες διαφοροποιήσεις των μεσαίων και κατώτερων νεφών της Αφροδίτης. Το 1996 κατέστη δυνατή η παρατήρηση από τη Γη και στα μήκη κύματος 1.0, 1.1 και 1.18 μm τα οποία παρέχουν πληροφορίες για το έδαφος και την ατμόσφαιρα κοντά σε αυτό (Meadows and Crisp 1996).

Στη συνέχεια το 1989 η διαστημοσυσκευή Magellan της NASA χαρτογράφησε επί τέσσερα χρόνια με ραντάρ το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, αποκαλύπτοντας τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, τους μηχανισμούς που τη διαμορφώνουν καθώς και το μαγνητικό πεδίο της. Το Νοέμβριο του 2005 εκτοξεύτηκε η πρώτη Ευρωπαϊκή αποστολή προς την Αφροδίτη, το Venus Express και μελέτησε κυρίως την ατμόσφαιρά της σε διάφορα μήκη κύματος, καθώς και το κλίμα και την επιφανειακή θερμοκρασία με σημαντικές ανακαλύψεις για την ταχύτητα περιστροφής των νεφών, τις πολικές δίνες, την ηφαιστειότητα, την χημική σύσταση το μαγνητικό πεδίο κτλ. Τέλος, στις 7 Δεκεμβρίου 2015, τέθηκε σε τροχιά το ιαπωνικό σκάφος Akatsuki το οποίο χρησιμοποιεί πέντε διαφορετικές κάμερες που λειτουργούν σε διάφορα μήκη κύματος, με σκοπό την μελέτη της δυναμικής της ατμόσφαιρας και βρίσκεται ακόμα σε τροχιά. Οι αστρονόμοι των δυο τελευταίων αποστολών ζήτησαν την συνδρομή των ερασιτεχνών σε παρατηρήσεις (Barentsen 2008 & β.δ. JAXA)

Η εξερεύνηση του πλανήτη με την πληθώρα αυτή των αποστολών αλλά και με τις επίγειες παρατηρήσεις έχει οδηγήσει σε μια καλή γνώση της ατμόσφαιρας αλλά έχει δημιουργήσει και νέα ερωτήματα. Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της Ατμόσφαιρας της Αφροδίτης, τα χρήσιμα παρατηρησιακά δεδομένα, της περιοχές του φάσματος που παρατηρούμε και τους τρόπους που οι ερασιτεχνικές παρατηρήσεις μπορούν να συνδράμουν στην περαιτέρω εξερεύνηση του πλανήτη σε συνεργασία με τους επαγγελματίες αστρονόμους.

2. Βασικά στοιχεία της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης

Η Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα (96.5%), άζωτο (3.5%) και μικροποσότητες από άλλα αέρια, κυρίως διοξείδιο του θείου, ενώσεις του υδρογόνου, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και ατομικό οξυγόνο. Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Αφροδίτης είναι 460 °C, και η πίεση είναι 92 bar. Οι πληροφορίες για το ανάγλυφο του εδάφους προέρχονται αποκλειστικά από ραντάρ απεικόνισης (Taylor 2014). Τα σύννεφα της Αφροδίτης είναι τόσο πυκνά ώστε δεν επιτρέπουν την παρατήρηση της επιφάνειας, αντανακλούν το 75% του ηλιακού φωτός που πέφτει πάνω τους. Σχηματίζουν ένα εκτεταμένο στρώμα (σε ύψος ~50-70 χλμ.) που καλύπτει μόνιμα τον πλανήτη και χωρίζεται σε τρία υποστρώματα (άνω, μεσαία και χαμηλότερα νέφη) που φιλοξενούν κυρίως διαφορετικούς τύπους (modes) σταγονιδίων θεικού οξέος (H₂SO₄). Πάνω και κάτω από το κυρίως στρώμα υπάρχουν ομιχλώδη στρώματα (Εικ.1).



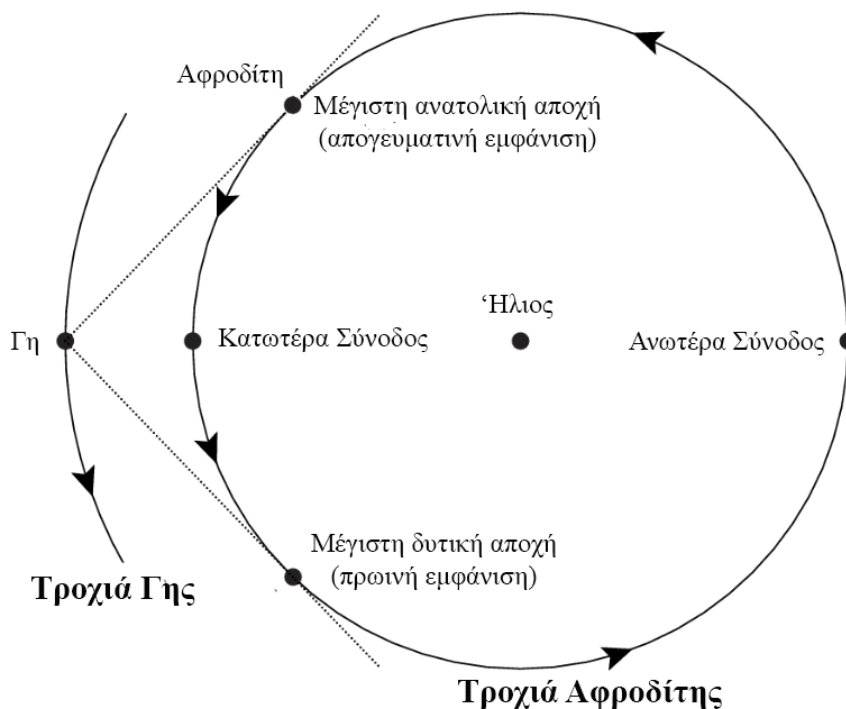
Εικόνα 1. Δομή και χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης μέχρι το ύψος των 80χλμ. Περιοχές του φάσματος που μπορούμε να την παρατηρήσουμε με ερασιτεχνικό εξοπλισμό (Με βασικό υπόβαθρο από το σχετικό γράφημα στο Basilevsky 2003)

Στα ανώτερα και μεσαία σύννεφα της Αφροδίτης κυριαρχεί η λεγόμενη υπερπεριστροφή, μια ατμοσφαιρική περιστροφή που είναι 60 έως 80 φορές πιο γρήγορη από αυτή του ίδιου του πλανήτη. Η κορυφή των άνω νεφών στα 70 χλμ μπορεί να παρατηρηθεί στο υπεριώδες (UV) και ιώδες φάσμα (350-480 nm), και η μορφολογία τους και η δυναμική έχει μελετηθεί εκτεταμένα εδώ και δεκαετίες. Η ζωνική ταχύτητα (διεύθυνση ανατολή-δύση) του ανέμου σε αυτό το επίπεδο είναι περίπου 100 ± 10 m/s σε γεωγραφικό πλάτος μικρότερο από 50° . Οι άνεμοι κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση από την τροχιά περιστροφής του πλανήτη (Sánchez-Lavega 2017). Στα μεγαλύτερα Αφροδιτογραφικά πλάτη οι άνεμοι μειώνονται ταχέως, και τελικά μηδενίζονται στους πόλους. Όσο πηγαίνουμε σε χαμηλότερο ύψος προς το έδαφος οι ταχύτητες των ανέμων μειώνονται με ρυθμό ~ 3 m/s ανά χλμ. (Svedhem 2007) και κοντά στην επιφάνεια της Αφροδίτης είναι πολύ μικρές. Οι άνεμοι κατά την μεσημβρινή διεύθυνση (βοράς-νότος) είναι πολύ βραδύτεροι από ότι οι ζωνικοί άνεμοι (Sánchez-Lavega 2017). Ο θερμός αέρας ανυψώνεται στη περιοχή του ισημερινού, λόγω θέρμανσης από τον Ήλιο, και ρέει προς τους πόλους (κυκλοφορία Χάντλεϊ) μέχρι τα πλάτη $\pm 60^\circ$. Εκεί ο αέρας αρχίζει να κατεβαίνει και επιστρέφει στον ισημερινό κινούμενος κάτω από το στρώμα νεφών. Στα πλάτη 60° - 70° υπάρχουν πολικοί δακτύλιοι που χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες θερμοκρασίες

από αυτές της ανώτερης τροπόσφαιρας στα κοντινά γεωγραφικά πλάτη. Εκεί υπάρχουν δομές που ονομάζονται "πολικές δίνες" και είναι τεράστιες θύελλες τύπου τυφώνα με δύο κέντρα περιστροφής, που συνδέονται με ξεχωριστές δομές νεφών σχήματος S. Η περιοχή είναι πολύ δυναμική και είναι πιθανόν στην παρατήρηση να εμφανιστούν φωτεινές κηλίδες. Η πρώτη βόρεια δίνη ανακαλύφθηκε στην Αφροδίτη από το Pioneer Venus το 1978 και η νότια το 2006 από το Venus Express (Svedhem 2007).

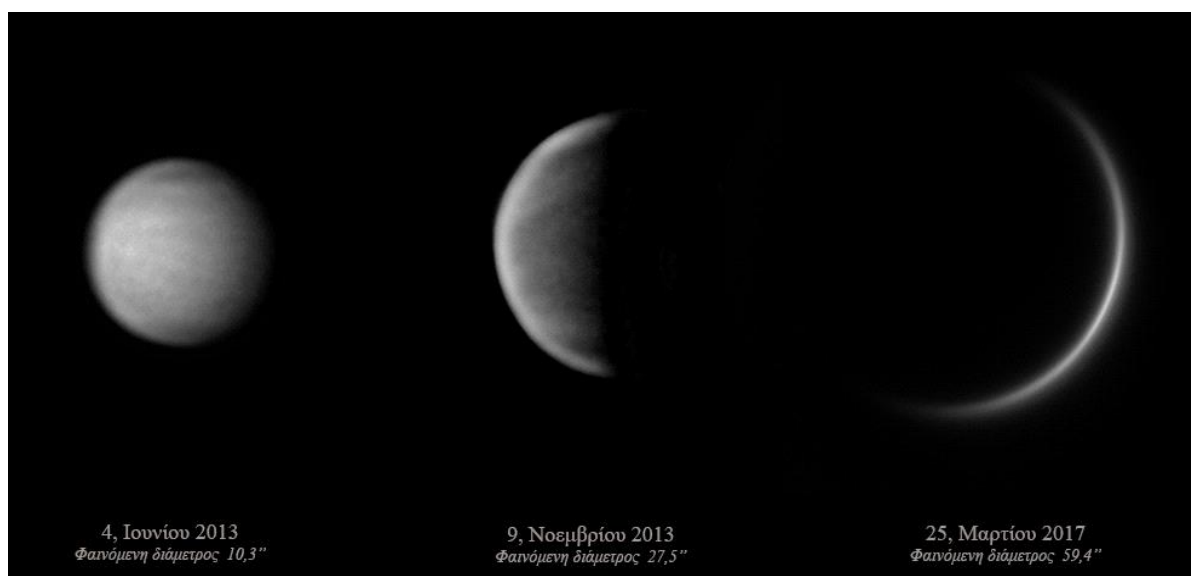
3. Παρατήρηση

Η Αφροδίτη ολοκληρώνει την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο κάθε 224,65 ημέρες. Η περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά της διαρκεί 243 γήινες ημέρες. Όπως παρατηρείται από την Γη η μέγιστη αποχή της είναι 47° . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, συχνά να βρίσκεται σε κοντινή φαινόμενη απόσταση από τον Ήλιο και σπάνια παρατηρείται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ωστόσο, λόγω της εξαιρετικά υψηλής φωτεινότητας της, οι παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν και με τον Ήλιο πάνω από τον ορίζοντα (Καρδάσης 2013). Σε κάθε περίπτωση όμως η ποιοτική παρατήρηση της παρουσιάζει προβλήματα. Η τροχιά της Αφροδίτης έχει μία ή δύο μέγιστες αποχές ανά γήινο έτος, ενώ η μέση συνοδική περίοδος είναι 584 ημέρες. Η δυτική αποχή (πρωινή) συμβαίνει 0.4 γήινα έτη μετά την ανατολική αποχή (απογευματινή). Η ακόλουθη ανατολική αποχή πραγματοποιείται 1.2 έτη μετά την τελευταία δυτική εμφάνιση (Εικόνα 2). Οι αποχές διέπονται από ένα οκταετή κύκλο και μια συγκεκριμένη θέση του πλανήτη θα επαναληφθεί σχεδόν με ακρίβεια μετά από λίγα χρόνια.



Εικόνα 2. Σημαντικές για την παρατήρηση σχετικές θέσεις Ήλιου-Γης-Αφροδίτης

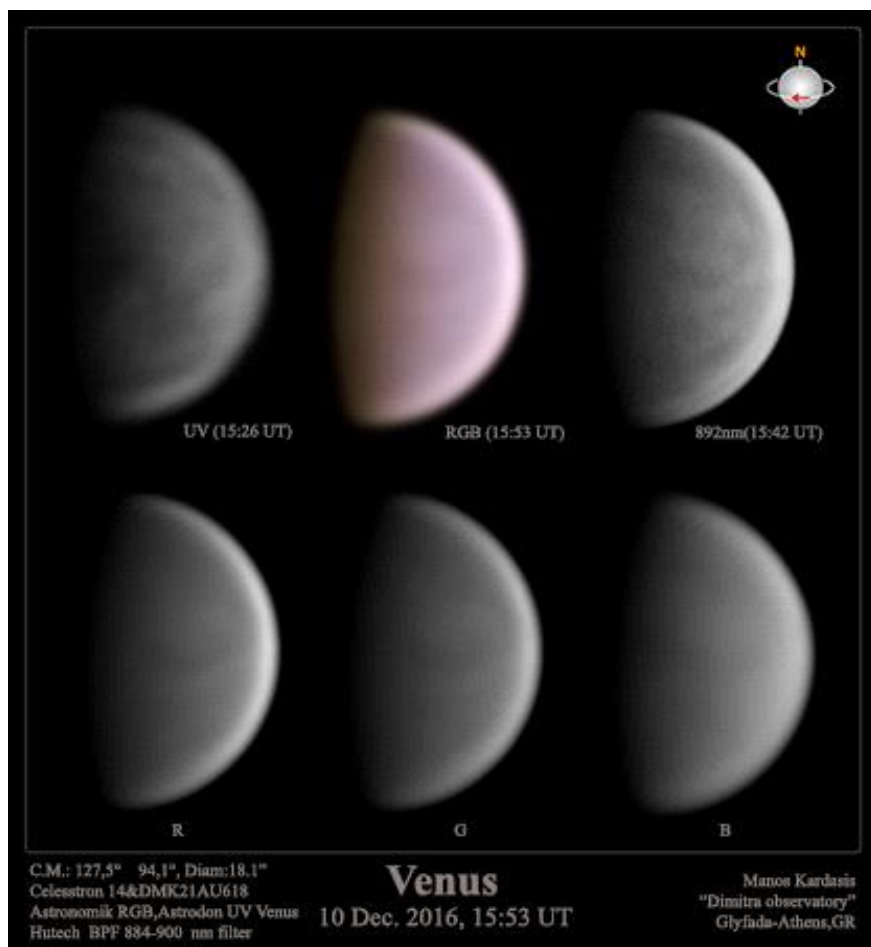
Η παρατήρηση της παρουσιάζει φάσεις όπως ο σεληνιακός δίσκος, επειδή κινείται εσωτερικά της τροχιάς της Γης και οι φαινόμενες διαστάσεις κυμαίνονται από 9.7 έως 66 δευτερόλεπτα του τόξου (Εικόνα 3). Οι παρατηρήσεις από την Γη είναι γενικά ασυνεχείς και συγκεντρωμένες σε σύντομες χρονικές περιόδους λόγω των εγγενών δυσκολιών που αντιμετωπίζει η παρατήρηση του πλανήτη δεδομένης της γειννίας της με τον Ήλιο. Αυτό περιορίζεται ακόμα περισσότερο λόγω των φάσεων. Η ορατότητα του φωτιζόμενου τμήματος (Ημέρα Αφροδίτης) ή του σκοτεινού τμήματος (Νύχτα Αφροδίτης) είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού δίσκου όπου στις ημερομηνίες κοντά στη μέγιστη αποχή, φθάνει το 50%. Σε σπάνιες περιπτώσεις η Αφροδίτη "περνάει" μπροστά από τον Ηλιακό δίσκο οπότε έχουμε "Διάβαση".



Εικόνα 3. Χαρακτηριστικές φάσεις της Αφροδίτης (Αριστ.-κοντά στην ανώτερα σύνοδο, Κέντρο-κοντά στην μέγιστη αποχή, Δεξιά-κοντά στην κατώτερα σύνοδο). Οχι υπό κλίμακα (Μ.Καρδάσης)

Όπως και στους άλλες πλανήτες για την ψηφιακή παρατήρησή της ακολουθείται η μεθοδολογία πλανητικής παρατήρησης όπου γίνεται λήψη βίντεο λίγων λεπτών (π.χ. με λογισμικό Firecapture) από ειδικές κάμερες προσαρμοσμένες πάνω στο τηλεσκόπιο. Στα βίντεο, που αποτελούνται από χιλιάδες εικόνες γρήγορων λήψεων γίνεται επεξεργασία στη συνέχεια από ειδικά προγράμματα όπως το Registax και το Autostakkert όπου αθροίζονται οι καλύτερες εικόνες και στην τελική εικόνα αυξάνεται η ευκρίνεια τυχών σχηματισμών με λογισμικό (Kardasis 2016 & Καρδάσης 2011). Οι σύγχρονες ασπρόμαυρες πλανητικές κάμερες προτιμώνται στην Αφροδίτη μιας και έχουν αυξημένη ευαισθησία από την υπεριώδη έως και την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (από 350 nm έως 1000 nm). Βασικό χαρακτηριστικό μιας κάμερας για αυτές τις παρατηρήσεις είναι η ικανοποιητική απόκριση στο ιώδες και υπέρυθρο (>15% του μέγιστου). Οι πιο χρήσιμες εικόνες (Εικόνα 4) λαμβάνονται σχεδόν αποκλειστικά με φίλτρα στενής ζώνης που τοποθετούνται μπροστά από την κάμερα. Τα φίλτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ερασιτέχνες αφορούν

την υπεριώδη, την οπτική και την υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (Peralta 2017) και θα αναλυθούν στη συνέχεια.



Εικόνα 4. Παρατήρηση της Αφροδίτης από ερασιτεχνικό τηλεσκόπιο στο υπεριώδες, στο οπτικό (με φίλτρα RGB και σύνθεση αυτών) και στο υπέρυθρο φάσμα

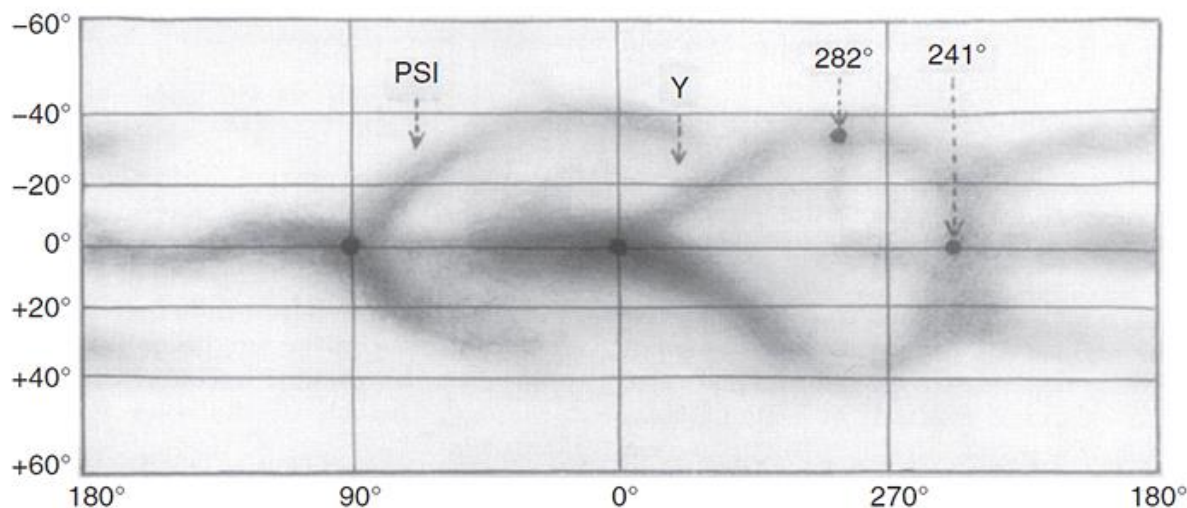
Σε όλες τις περιπτώσεις ψηφιακής παρατήρησης θα πρέπει να γίνονται διαδοχικές λήψεις και με την ίδια επεξεργασία να έχουμε ίδια αποτελέσματα (καταγραφή μορφολογιών φωτεινών και σκοτεινών σχηματισμών), διαφορετικά θα πρόκειται για artifacts ή θόρυβο. Εικόνες με χρονικές διαφορές τουλάχιστον μίας ώρας μπορούν να μας οδηγήσουν σε εκτιμήσεις ταχύτητας μετακίνησης των νεφών (Kardasis 2017). Σε διαδοχικές εικόνες που γίνονται σε χρονικό ορίζοντα ημερών μπορούμε να εντοπίσουμε μεγάλους αναγνωρίσιμους σχηματισμούς να επιστραφούν στο κάδρο μας, κυρίως στο υπεριώδες (μεγάλοι τυπικοί σχηματισμοί τύπου Υ και Φ – Εικόνα 5), υπολογίζοντας έτσι την ταχύτητα περιστροφής.

Ένα εξαιρετικό εργαλείο για τον πλανητικό παρατηρητή είναι το πρόγραμμα WinJupos με το οποίο μπορούμε να έχουμε αναλυτικές παρατηρησιακές λεπτομέρειες με γραφικά, να κάνουμε μετρήσεις των θέσεων των σχηματισμών σε διαδοχικές εικόνες, να υπολογίζουμε ταχύτητες νεφών, να δημιουργούμε χάρτες κτλ.

3α. Παρατήρηση στο υπεριώδες φάσμα UV (στο φωτιζόμενο μέρος του πλανήτη-Ημέρα)

Οι παρατηρήσεις στο υπεριώδες φάσμα (UV) έχουν περίπου 90 χρόνια ιστορίας ξεκινώντας από τις πρώτες επίγειες παρατηρήσεις (Wright 1927, Ross 1928) μέχρι και τις πιο πρόσφατες (Sánchez-Lavega 2016, McKim 2019). Επίσης έχουν γίνει παρατηρήσεις από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (Na and Esposito 1995), τις διαστημοσυσκευές Mariner 10, Galileo, Messenger, καθώς και αυτές που τέθηκαν σε τροχιά (Venera, Pioneer Venus, Venus Express και Akatsuki) (Yamazaki 2018). Με τις έρευνες στο υπεριώδες έγινε η πρώτη ανίχνευση της περιστροφής 4 ημερών της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης από ερασιτέχνη με ένα μικρό τηλεσκόπιο (Boyer 1961).

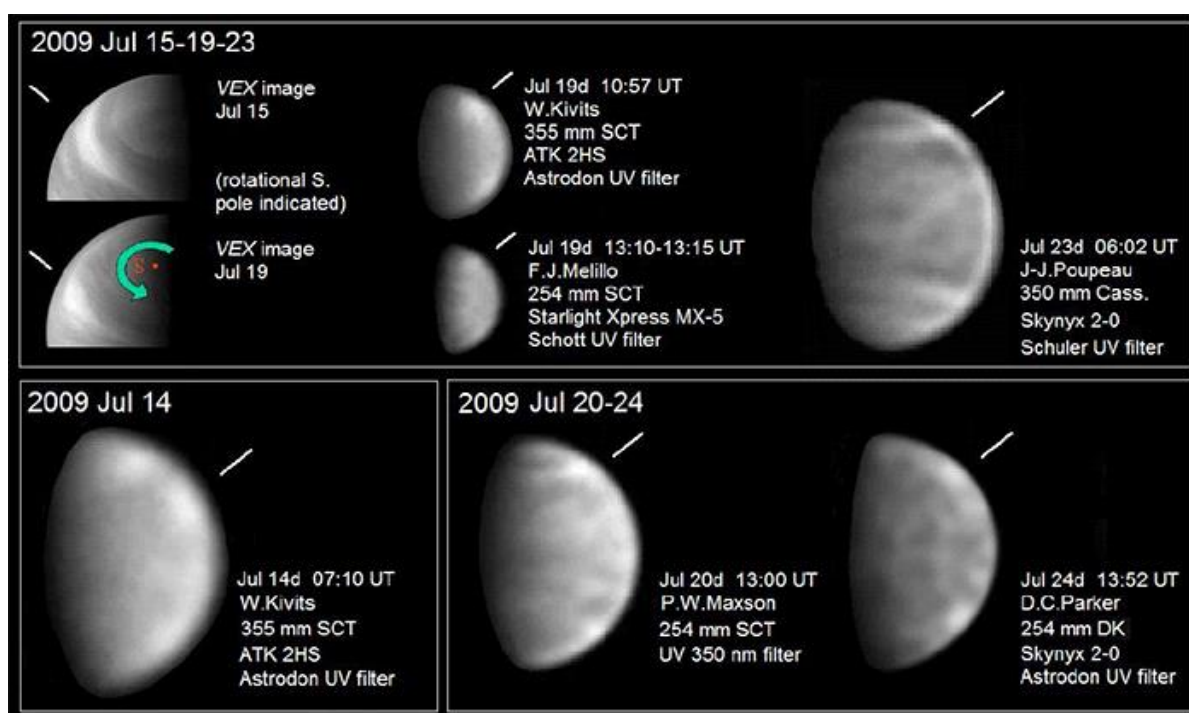
Οι καταγραφές στο UV παρουσιάζουν υψηλής αντίθεσης φωτεινά και σκοτεινά χαρακτηριστικά, γεγονός που σχετίζεται με το πώς κατανέμονται τα στοιχεία που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία. Ένα από αυτά τα στοιχεία είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το οποίο έχει μια ζώνη απορρόφησης στα μήκη κύματος 210-320 nm. Ένα άλλο άγνωστο μέχρι στιγμής στοιχείο παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση γύρω στα 400 nm (Yamazaki 2018) στο φάσμα που παρατηρούν οι ερασιτέχνες. Ως εκ τούτου, σε αντίθεση με τις παρατηρήσεις στο ορατό μήκος κύματος, οι υπεριώδες εικόνες εμφανίζουν μοναδικές μορφολογίες νεφών, συμπεριλαμβανομένων και των γνωστών σχηματισμών «Y-V-Ψ» (Εικόνα 5), οι οποίοι παρατηρούνται για τουλάχιστον 4 δεκαετίες (ενδεικτικά Dollfus 1975, Yamazaki 2018, McKim 2019).



Εικόνα 5. Γράφημα-χάρτης της Αφροδίτης στο υπεριώδες φάσμα (UV) που δείχνει τους χαρακτηριστικούς σχεδόν μόνιμους σχηματισμούς τύπου Ψ-Y-V (Taylor 2014)

Παρόλο που οι παρατηρήσεις από διαστημοσυσκευές παρέχουν εκπληκτικές λεπτομέρειες των χαρακτηριστικών οι παρατηρήσεις από την Γη έχουν μια διαχρονική συνέχεια και λειτουργούν συμπληρωματικά ή κύρια στην εξερεύνηση του γειτονικού πλανήτη (Gasparri 2010, Sánchez-Lavega 2016, McKim 2019). Μεγάλης έκτασης χαρακτηριστικά (όπως οι σχηματισμοί της Εικόνας 5) επανεμφανίζονται

μετά από 4 ημέρες. Σε διαδοχικές εικόνες με απόσταση λίγων ωρών οι σκοτεινοί σχηματισμοί κινούνται με ανάδρομη φορά σε σχέση με την περιστροφή του πλανήτη. Με μετρήσεις των διαδοχικών θέσεων των σχηματισμών σε σχέση με το χρόνο μπορούμε και υπολογίζουμε την ταχύτητα περιστροφής στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης σε ύψος ~65-70 χλμ. (Εικόνα 1) καθώς και μακροπρόθεσμες αλλαγές (Peralta 2017). Επίσης μελέτες παρατηρήσεων των χαρακτηριστικών μπορούν να είναι χρήσιμες για την ανίχνευση ασυνήθιστων συμβάντων, όπως είναι η πολύ φωτεινή κηλίδα που παρατηρήθηκε το 2009 από το Venus Express αλλά και από ερασιτέχνες (Εικ.6 αλλά και από την Ελλάδα από τον Γ.Ταρσούδη βλ. β.δ. ALPO-Japan 19/7/2009) και καταδεικνύει τη συνολική δυναμική του ανώτερου στρώματος νεφών (Limaye 2010, McKim 2019).



Εικόνα 6. Η φωτεινή κηλίδα που παρατηρήθηκε το 2009 από το Venus Express (πάνω αριστ. εικ.) αλλά και από ερασιτ. αστρον. σε 50° νότιο πλάτος (κέντρο, δεξιά, κάτω εικ.) (McKim 2019)

Συνεπώς από τις πιο σημαντικές παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν με ερασιτεχνικό τηλεσκόπιο αφορούν την παρατήρηση στο υπεριώδες. Σε αυτό το φάσμα η παρατήρηση είναι απόλυτα εξαρτώμενη από την σταθερότητα της ατμόσφαιρας (seeing), το είδος του τηλεσκοπίου και τη θερμοκρασιακή προσαρμογή του στο περιβάλλον παρατήρησης. Για την παρατήρηση προτείνονται φίλτρα που επιτρέπουν την διέλευση του φάσματος ~300-400 nm, όπως το AstrodonUVenus ή το BaaderUV. Μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση στα φίλτρα αυτά είναι η χρήση του φίλτρου Wratten47 (W47) "ιώδες" του οποίου το φάσμα είναι πιο κοντά στο φάσμα του μπλε όπου οι κάμερες είναι πολύ πιο ευαίσθητες παράγοντας καλύτερη ευκρίνεια και ανάλυση από ό,τι το τυπικό φίλτρο UV-pass, με ελαφρώς λιγότερη αντίθεση

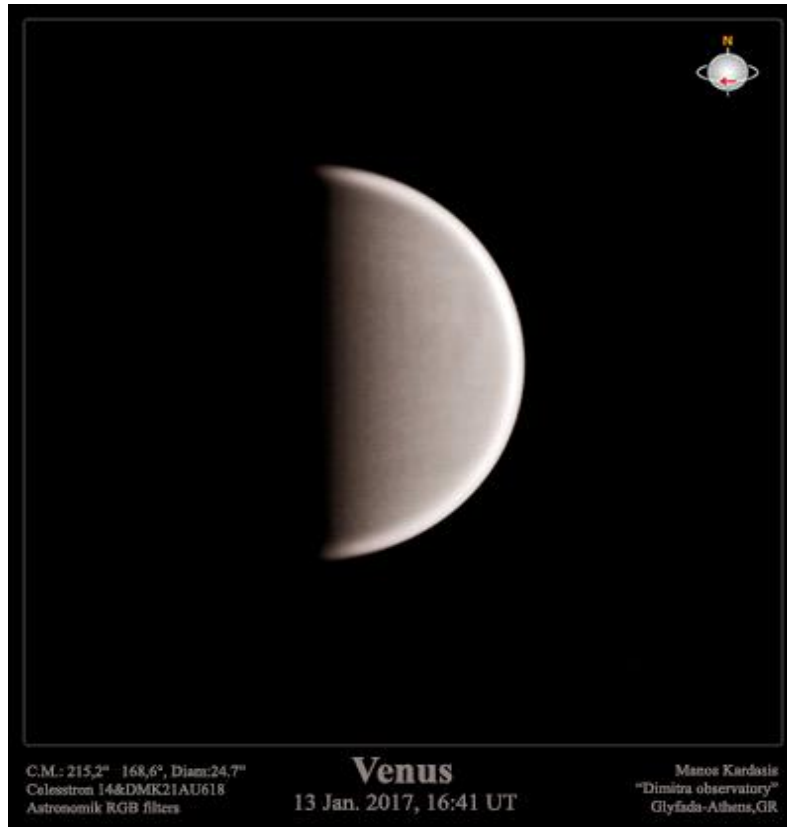
όμως. Το φίλτρο W47 ωστόσο απαιτεί την παράλληλη χρήση ενός φίλτρου αποκλεισμού της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR-block π.χ. το BG39) επειδή το γυαλί του παρουσιάζει έντονη διαρροή στο υπέρυθρο φως πάνω από τα 700 nm (Moussis 2014).

3β. Παρατηρήσεις σε οπτικά μήκη κύματος

Στην σχετική εργασία (Στέλλας 2002) υπάρχει αναλυτικός οδηγός παρατήρησης με γυμνό μάτι όπου αναλύονται όλες οι λεπτομέρειες για τον μεθοδικό παρατηρητή καθώς και τα πιθανά φαινόμενα προς παρατήρηση. Αυτά γενικά περιλαμβάνουν την καταγραφή σχηματισμών και λαμπροτήτων, τις πολικές επικαλύψεις, την γεωμετρία της διαχωριστικής γραμμής κτλ. Εδώ θα αναφερθούμε μόνο στις διαφοροποιήσεις της ψηφιακής παρατήρησης, καθώς όλα τα φαινόμενα που ιστορικά παρατηρούνται "με το μάτι" συνεχίζουν να ενδιαφέρουν τον ψηφιακό παρατηρητή. Πολύ μεγάλο επίσης ενδιαφέρον θα είχε η ταυτόχρονη οπτική και ψηφιακή παρατήρηση με αντίστοιχη συσχέτιση καταγραφών. Στην ψηφιακή παρατήρηση στο οπτικό φάσμα όπως και στην απευθείας οπτική παρατήρηση εμφανίζονται επίσης κάποιες λεπτομέρειες εξαιρετικά χαμηλής αντίθεσης όμως. Οι σχηματισμοί, σκιάσεις ή λαμπρότητες αρχίζουν να γίνονται αντιληπτοί στο μέρος του φάσματος (ιώδες) όπου η ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού πέφτει κατακόρυφα.

Τα οπτικά μήκη κύματος (400-700nm) καταγράφονται είτε με φίλτρα RGB και χρήση ασπρόμαυρων καμερών ή με έγχρωμες κάμερες και φίλτρα αποκοπής IR-UV. Φίλτρα RGB υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία ειδικά κατασκευασμένα όμως για CCD και όχι για παρατήρηση με γυμνό μάτι. Η παρατήρηση με φίλτρα κοντά στο μπλε φως (400 έως 500 nm) εμφανίζει παρόμοιους σχηματισμούς με αυτού που απεικονίζονται στο UV με πολύ μειωμένη αντίθεση όμως. Η έρευνα των λεπτομερειών στο πράσινο φάσμα (500 έως 600 nm) και στο κόκκινο (600 έως 700 nm) θα μπορούσε επίσης να έχει ενδιαφέρον, καθώς δεν συσχετίζονται ακριβώς με τα χαρακτηριστικά που παρατηρούνται σε γειτονικές ζώνες αν και στο κόκκινο συναντάμε ομοιότητες με το υπέρυθρο φάσμα επίσης πολύ χαμηλής αντίθεσης όμως (Εικόνα. 4). Στη νυχτερινή πλευρά της Αφροδίτης, όταν ο πλανήτης παρατηρείται ως ημισέληνος, το αμφιλεγόμενο τεφρώδες φως (Ashen light) θα ήταν επίσης ένα ενδιαφέρον θέμα πιθανής καταγραφής και μελέτης (Στέλλας 2002, McKim 2019) μιας και δεν έχει παρατηρηθεί με ψηφιακά μέσα μέχρι στιγμής.

Το 1793 ο Schröter βρήκε τη λεγόμενη «ανωμαλία της φάσης της Αφροδίτης» όπου οι στιγμές που θεωρητικά βρισκόμαστε στην διχοτόμηση (φάση 50%) παρατηρησιακά καταγράφονται νωρίτερα ή αργότερα κατά αρκετές ημέρες ή παρατηρούνται ανωμαλίες στην γεωμετρία (Εικόνα 7). Περαιτέρω έρευνες και ερμηνείες από ερασιτέχνες που χρησιμοποιούν διαφορετικά φίλτρα για να υπολογίσουν το σχετικό χάσμα μεταξύ παρατήρησης-θεωρίας, καθώς φαίνεται να ποικίλλει ιδιαίτερα μεταξύ κόκκινου / πράσινου και μπλε / ιώδες φωτός (Moussis 2014).

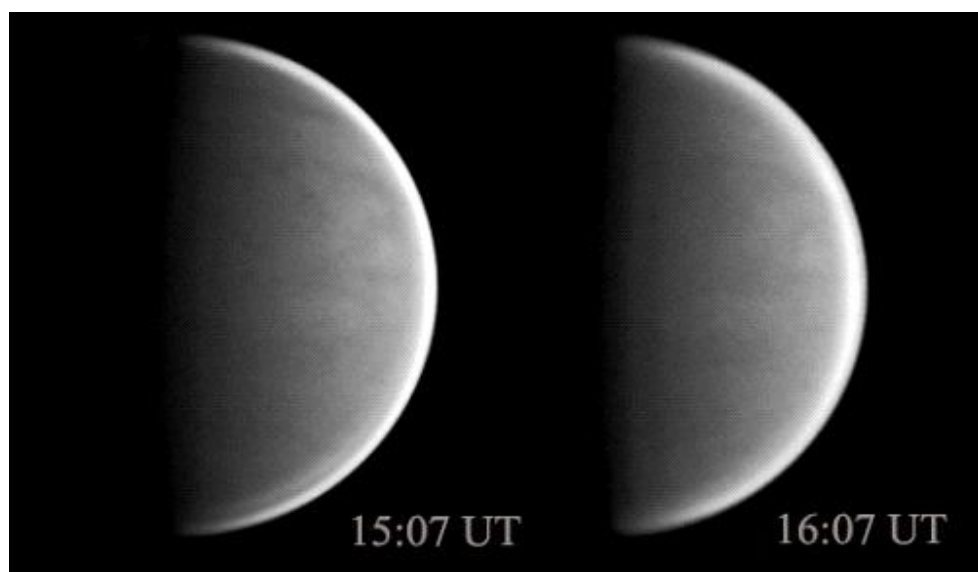


Εικόνα 7. Παρατήρηση της Αφροδίτης την ημέρα της διχοτόμησης (φάση 50% -13/1/2017). Παρατηρούμε ότι εμφανίζονται πολικές προεξοχές και όχι απόλυτη ημισφαιρική γεωμετρία.

3γ. Παρατήρηση στο υπέρυθρο φάσμα IR (στο φωτιζόμενο ημισφαίριο)

Επειδή τα φωτόνια με μεγαλύτερα μήκη κύματος μπορούν να εισχωρήσουν βαθύτερα στα σύννεφα της Αφροδίτης προτού σκεδαστούν, τα μεσαία νέφη παρατηρούνται στο φάσμα εντός των φασματικών ζωνών ~600-1000 nm (Εικόνα 1). Το υψόμετρο των νεφών αυτών δεν είναι καλά τεκμηριωμένο και έχουν γίνει διάφορες εκτιμήσεις που αναφέρουν ύψη που κυμαίνονται μεταξύ 51-68 χλμ. Πρώτες μελέτες αυτών των νεφών έγιναν με παρατήρηση στα 935 nm κατά τη διάρκεια της αποστολής Pioneer Venus, αν και η διαφορετική μορφολογία τους και οι βραδύτερες ταχύτητες ανέμων έγιναν εμφανείς μέσω εικόνων στα 986 nm το 1990 με την διαστημοσυσκευή Galileo. Μετρήσεις ανέμων κατά τη διάρκεια της αποστολής Venus Express και της διαστημοσυσκευής MESSENGER όχι μόνο επιβεβαίωσαν αυτά τα αποτελέσματα, αλλά επίσης έδειξαν ότι οι άνεμοι των μεσαίων νεφών μπορεί να είναι μεταβλητοί. Πρόσφατα, τα μεσαία νέφη παρατηρήθηκαν με την αποστολή Akatsuki της JAXA και με ερασιτεχνικές παρατηρήσεις σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια (Εικόνα 8). Οι παρατηρήσεις δείχνουν νέες μορφολογίες νεφών, όπως ημισφαιρικές ασυμμετρίες, έντονες ασυνέχειες ή επιμήκεις "αγκιστροειδείς" λωρίδες και αυτοί οι σχηματισμοί υπόκεινται σε γρήγορες αλλαγές από μέρα σε μέρα. Έγιναν μετρήσεις ανέμων όπου διαπιστώθηκε ότι οι μέσοι ζωνικοί άνεμοι κορυφώνονται στον ισημερινό και έγινε σύγκριση των δεδομένων από επίγεια τηλεσκόπια. Τα δεδομένα του Venus Express

και του Akatsuki σε βάθος 10 ετών αποκαλύπτουν μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της τάξης των 20 m/s (Peralta 2019).

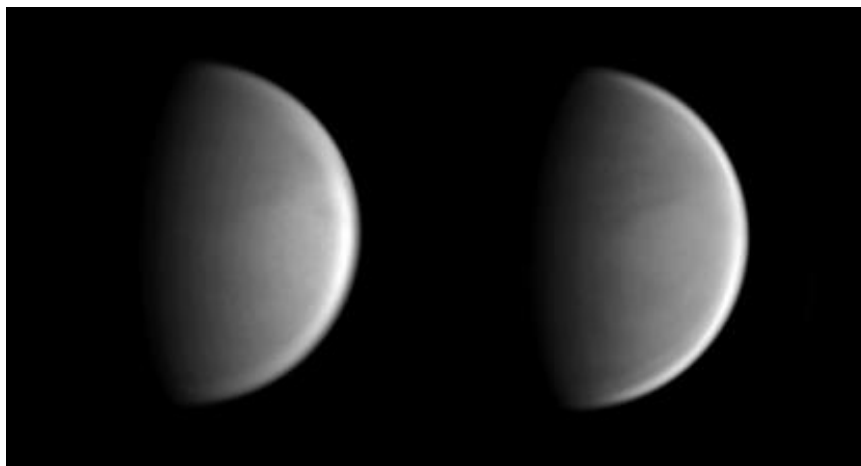


Εικόνα 8. Παρατήρηση της Αφροδίτης στις 2 Ιανουαρίου 2017, στο υπέρυθρο φάσμα ~900 nm με διαφορά 1 ώρας όπου φαίνεται η μετακίνηση των σκοτεινών σχηματισμών (Kardasis 2017)

Στις 7 Δεκ.2015 ένας περίεργος τοξοειδής σχηματισμός μήκους 10.000 χιλιομέτρων παρατηρήθηκε στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης από το ιαπωνικό σκάφος Akatsuki. Πιθανώς να ήταν το μεγαλύτερο «κύμα βαρύτητας» που έχει καταγραφεί ποτέ στο Ηλιακό Σύστημα. Σχηματίστηκε πιθανώς όταν ρεύματα της κατώτερης ατμόσφαιρας συνάντησαν ψηλά βουνά (στη περιοχή Aphrodite Terra) και διαδόθηκαν μέχρι την ανώτερη ατμόσφαιρα. Τα κύματα βαρύτητας εμφανίζονται όταν ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) αναγκάζεται να εκτοπιστεί από μια θέση ισορροπίας όπως π.χ. οι μετατοπίσεις νερού από σεισμό προκαλούν τσουνάμι στις ανοικτές θάλασσες (Fukuhara 2017). Η συστηματική παρατήρηση του πλανήτη στο υπέρυθρο φάσμα ή και πιθανόν σε άλλα φάσματα από τους ερασιτέχνες και ο τυχόν εντοπισμός παρόμοιας δραστηριότητας θα είναι σημαντική για την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου.

Αν και τα μεσαία νέφη παρουσιάζουν χαμηλότερη αντίθεση, είναι πιο εύκολο να καταγραφούν με ερασιτεχνικό εξοπλισμό επειδή τα υπέρυθρα μήκη κύματος επηρεάζονται λιγότερο από την κατάσταση της ατμόσφαιρά της Γης. Απαιτείται όμως πολύ προσεκτική επεξεργασία. Η καταγραφή τους είναι πιο χρήσιμη μιας και η έρευνα των χαρακτηριστικών και ταχυτήτων των μεσαίων νεφών έχει μελετηθεί λιγότερο. Για την παρατήρηση στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία πάνω από τα ~700nm, ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων φίλτρων διατίθενται στην αγορά όπως το Baader IR-Pass 685 ή το Astronomik ProPlanet 742 IR-pass. Πειράματα που γίνονται από την ερασιτεχνική κοινότητα τα τελευταία χρόνια έχουν αποδείξει ότι τα φίλτρα πάνω από τα ~ 800 nm δίνουν εικόνες ελαφρώς υψηλότερης αντίθεσης από τα φίλτρα που ξεκινούν χαμηλότερα (Εικόνα 9). Πολύ καλά αποτελέσματα έχει η χρήση του φίλτρου στενού φάσματος ~890nm που χρησιμοποιείται στους πλανήτες Δία και Κρόνο (περιοχή απορρόφησης μεθανίου) (Kardasis 2017) ή φίλτρα που είναι πιο

ψηλά στο υπέρυθρο φάσμα κοντά στα 1000nm. Όσο πιο «ψηλά» πάμε όμως μειώνεται ή διακριτική ικανότητα των τηλεσκοπίων και η απόκριση των καμερών. Η επίδραση της Γήινης ατμόσφαιρας ελαττώνεται που είναι σημαντικό όταν οι συνθήκες παρατήρησης δεν είναι καλές.



Εικόνα 9. Σύγκριση παρατήρησης (9/12/2016) στο υπέρυθρο φάσμα με διαφορετικά φίλτρα. Αριστερά με φίλτρο 685+nm, δεξιά με φίλτρο ~900nm. Η εικόνα δεξιά παρουσιάζει πιο ευκρινές αποτέλεσμα (Μ.Καρδάσης)

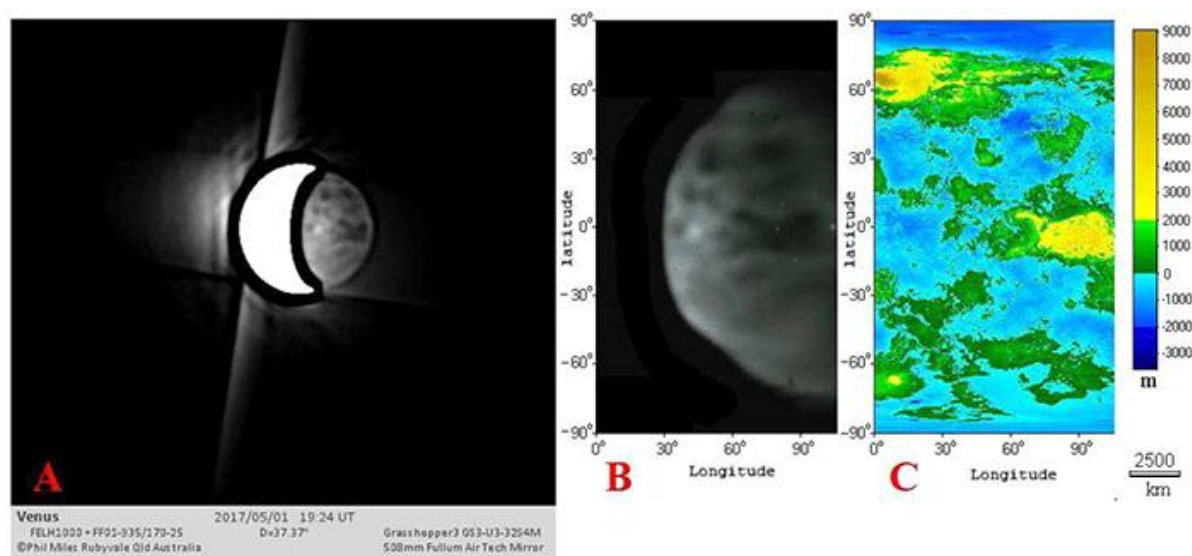
Σχετικά με την εργασία (Peralta 2019) αξίζει να σημειωθεί ότι είναι η πρώτη φορά που παρατηρήσεις από τη Γη και μάλιστα ερασιτεχνικές συμβάλουν σε επαγγελματική έρευνα των ταχυτήτων των μεσαίων νεφών. Πολύ περισσότερο σημαντικό είναι για την ελληνική ερασιτεχνική κοινότητα μιας και υπάρχει ελληνική συμμετοχή στην παρατήρηση και συγγραφή της σχετικής εργασίας.

3δ. Παρατήρηση στο υπέρυθρο ~1000nm (θερμική εκπομπή στη πλευρά της νύχτας)

Από το 2004 στο εγγύς υπέρυθρο (~1000 nm) παρατηρείται από ερασιτέχνες η θερμική εκπομπή στην πλευρά του ημισφαιρίου που είναι νύχτα στη Αφροδίτη και παρουσιάζεται ως μη φωτιζόμενο στον παρατηρητή (Pellier 2013). Στα 1000 nm, το θερμικό σήμα που εκπέμπεται από την επιφάνεια του πλανήτη (Εικόνα 1) μπορεί να καταγραφεί από τη Γη χάρη στη χαμηλή απορρόφηση του CO₂ της Αφροδίτης σε αυτό το μήκος κύματος. Συσχετισμοί των σκοτεινών περιοχών που καταγράφηκαν με αντίστοιχες περιοχές του χάρτη επιφάνειας του εδάφους, θα μπορούσε να επιτρέψει σε κάποιον να εντοπίσει πιθανό επηρεασμό του θερμικού σήματος από παροδικά, χαμηλά νέφη (Moussis 2014). Επίσης πρόσφατες προσπάθειες των ερασιτεχνών P.Miles και A.Wesley έδειξαν ότι μπορεί να καταγραφεί με ακόμα καλύτερη ανάλυση η θερμική ακτινοβολία αλλά και πιθανώς να παρατηρηθούν και νέα φαινόμενα όπως μια φωτεινή κηλίδα που ενδέχεται να σχετίζεται με ηφαιστειακή δραστηριότητα (Εικόνα 10).

Τα φίλτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το Schott RG 1000 ή το Thorlabs FEL1000. Το βέλτιστο αποτέλεσμα μπορεί να προέλθει από περαιτέρω δοκιμές και

συνδυασμούς φίλτρων (McKim 2017). Η παρατήρηση αυτού του τύπου πάντως είναι πολύ δύσκολη.



Εικόνα 10. Σύγκριση της παρατήρησης θερμικής εκπομπής στα 1000nm με τα υψομετρικά δεδομένα εδάφους από τη διαστημοσυσκευή Μαγγελάνο. Φαίνεται και η καταγραφή της φωτεινής κηλίδας. Παρατήρηση από τους ερασιτέχνες P.Miles και A.Wesley (McKim 2017)

Η αυξανόμενη ευαισθησία στο υπέρυθρο στις νέες κάμερες θα δώσει στους ερασιτέχνες την δυνατότητα καταγραφής και σε άλλα χρήσιμα “παράθυρα παρατήρησης” πάνω από τα 1000nm στο σύντομο μέλλον.

4. Συνεργασία επαγγελματιών-ερασιτεχνών αστρονόμων - Συμπεράσματα

Συμπεραίνουμε από τα προηγούμενα ότι η παρατήρηση της Αφροδίτης έχει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον. Παρόλο που πολλές διαστημικές αποστολές μας έχουν δώσει πληθώρα πληροφοριών, η ανάγκη για συνεχείς επίγειες παρατηρήσεις παραμένει. Η ατμόσφαιρα της παρουσιάζει μια ιδιαίτερα δυναμική και ταχέως εξελισσόμενη συμπεριφορά όπου η διαθεσιμότητα των επαγγελματικών τηλεσκοπίων και αποστολών δεν είναι αρκετή για να τις παρακολουθήσει. Η κατανόηση των ατμοσφαιρικών διεργασιών απαιτεί μακροπρόθεσμη παρακολούθηση του πλανήτη σε αρκετές χρονικές κλίμακες (από μία ώρα έως αρκετές ημέρες). Πολλοί ερασιτέχνες με μικρά τηλεσκόπια και επαρκή σύγχρονο εξοπλισμό και λογισμικό μπορούν να παρακολουθήσουν αυτές τις αλλαγές με συγκεκριμένη μεθοδολογία κυρίως κατά την διάρκεια των αποχών. Οι παρατηρήσεις τους και οι καταγραφές τους είναι σχεδόν συνεχείς και σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να κινητοποιήσουν επαγγελματικές παρατηρήσεις όπως η εμφάνιση φωτεινών κηλίδων.

Οι ερασιτέχνες είναι σε θέση να καταγράφουν τη δομή και την εξέλιξη των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών στο υπεριώδες, στο οπτικό και στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Με την παρακολούθηση των κινήσεων των σχηματισμών μπορούν

να μετρούν ταχύτητες ανέμων στα μέσα και ανώτερα στρώματα νεφών της ατμόσφαιρας. Έτσι, ο συντονισμός και η επικοινωνία μεταξύ επαγγελματιών και ερασιτεχνών κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός. Παραδείγματα τέτοιων συνεργασιών είναι α) η οργάνωση των παρατηρήσεων σε βάσεις δεδομένων σε διαφορετικά μήκη κύματος, β) η διαχρονική εξέταση της μεταβλητότητας των ατμοσφαιρικών φαινομένων, γ) η παροχή της χωρικής και χρονικής ανάλυσης των χαρακτηριστικών που μπορούν να παρατηρηθούν από τις διαστημοσυσκευές όπως η αποστολή Venus Express και Akatsuki αλλά και το να λειτουργούν συμπληρωματικά σε αυτές.

Η χρονική στιγμή που βρισκόμαστε (Νοέμβριος 2019) είναι ιδανική για την έναρξη των παρατηρήσεων πριν και μετά την ανατολική αποχή της 30ης Μαρτίου 2020. Κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό οι παρατηρήσεις να γίνονται στα φάσματα που αναλύθηκαν παραπάνω με χρήση φίλτρων, με συγκεκριμένη μεθοδολογία καθώς και πλήρη τεκμηρίωση τους με αναγραφή όλων των στοιχείων παρατήρησης (όργανο παρατήρησης, φίλτρα, κάμερα, ημέρα και ακριβή ώρα σε UT, σημείο παρατήρησης, όνομα παρατηρητή) όπως οι εικόνες 4,6,7,10. Τέλος αυτές θα πρέπει να αποστέλλονται σε βάσεις δεδομένων για πιθανή χρήση τους όπως: η επαγγελματική PVOL, η ερασιτεχνική Afro-Japan και οι βάσεις δεδομένων επίγειων παρατηρήσεων υποστήριξης της εκάστοτε αποστολής όπως στην παρούσα φάση η διαστημοσυσκευή Akatsuki. Ο γράφων είναι πάντα στην διάθεση κάθε ενδιαφερομένου για περισσότερες παρατηρησιακές πληροφορίες.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον Σύλλογο Ερασιτεχνικής Αστρονομίας και ειδικά τον Ιάκωβο Στέλλα, τον πρώτο σύγχρονο Έλληνα Ερασιτέχνη Αστρονόμο που έθεσε τις βάσεις τις πλανητικής παρατήρησης στην ελληνική ερασιτεχνική κοινότητα. Τέλος, ευχαριστώ την γυναίκα μου Δήμητρα για την υποστήριξη διαχρονικά.

Αναφορές

- Barentsen G. & Koschny D.,(2008).Plan. & Space Science,vol.56,Iss.10,P. 1444-1449
- Basilevsky A. & Head J,(2003),The surf. of Venus,Rep.on Progr. in Physics, vol.,n.10
- Boyer,C&Camichel,H.(1961).Obs.photogr.dela planet Venus,Ann. d’Astroph. 24, 531
- Dollfus,A.(1975).Venus evolution of the upper atm.clouds. J.Atm.Sci. 32:1060–1070.
- Fukuhara T.etal.(2017).Large st.grav.wave in the atm.of Venus,Nature G..vol.10, p.85
- Gasparri, D. (2010). The study of Venus with amateur telesc., EPSC2010-167, 2010
- Καρδάσης, E. (2011). Παρατήρηση & φωτ.πλανητών, 7ο ΠΣΕΑ, Χανιά 9/10/ 2011
- Καρδάσης,E.(2013).Ψηφ.παρ.πλαν. κατά την διάρκεια της ημέρας, 8ο ΠΣΕΑ, Θάσος
- Kardasis,E.etal.(2016).The need for PRO-AMcollab.in stud.of Jup&Sat, JBAA126,1

Kardasis, E. (2017). Digital amat. obs. of Venus at $\sim 0.9\mu\text{m}$, EPSC2017-405, Riga Latvia.

McKim, R. (2017), Mapping IR emiss. from the surf. of Venus, JBAA, v.127, no.5, p.261

McKim, R. et al. (2019). The E&W elong. of Venus, 2007–'17, I., JBAA 129.

Limaye, S. et al. (2010). A Bright Spot on Venus, GRA Vol. 12, EGU2010-11468

Meadows, V.S. & Crisp, D. (1996). JGR, Vol.101, I E2, p.4595-4622

Moussis O. et al (2014). Experimental Astronomy, Nov. 2014

Na, C.Y. & Esposito, L.W. (1995). UV obs. of Venus with HST. BAAS 27:1071

Pellier, C. & Monachino, G. (2013). Groundbased obs. of Venus in NIR, EPSC2013-556

Peralta, J. et al (2017). Overview of useful spectral regions for Venus, Icarus, 288, 235-9

Peralta, J. et al. (2019). Morph. and dynam. of Venus's middle clouds Akatsuki, GRL 46

Ross, F.E. (1928). Photographs of Venus. Astrophys. J. 68:57.

Sánchez-Lavega, A. et al. (2016). Venus cloud morphology and motions, AJL 833(1):L7

Sánchez-Lavega, A. et al. (2017). The Atm. Dynamics of Venus, SSR212(4):1-76

Svedhem, H. et al. (2007). Venus as a more Earth-like planet, Nature 450 (7170): 629–32.

Στέλλας, I.N. (2002)., διαθέσιμο στο: <https://hellas-astro.gr/τομείς/πλανήτες/αφροδίτη/>

Taylor, F. (2014). The Scientific Exploration of Venus, Cambridge University Press

Wright, W.H. (1927). Photogr. of Venus made by IR and by violet light. PASP 39:220

Yamazaki, A. et al. (2018). UV imager on Venus orbiter Akatsuki, EP&Space, 70, 23.

Βάσεις Δεδομένων Παρατηρήσεων:

ALPO Japan, <http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/Latest/Venus.htm>

PVOL, <http://pvol2.ehu.eus/pvol2/>

JAXA, Akatsuki, <https://akatsuki.matsue-ct.jp/>

Χρήσιμα λογισμικά:

Autostakkert, <https://www.autostakkert.com/>

Firecapture, <http://firecapture.de/>

Registax, <https://www.astronomie.be/registax/>

WinJupos, <http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/>