

# Συνεργασία Επαγγελματιών και Ερασιτεχνών αστρονόμων στην μελέτη του φαινομένου της νεφικής ασυνέχειας (cloud discontinuity / disruption) στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης

Εμμανουήλ (Μάνος) Καρδάσης<sup>1\*</sup>, Javier Peralta<sup>2</sup>, Γρηγόρης Μαραβέλιας<sup>3,4</sup>, Αλεξία Τακούδη<sup>1</sup>, Masataka Imai<sup>5</sup>, Anthony Wesley<sup>6</sup>, Tiziano Olivetti<sup>7</sup>, Yaroslav Naryzhniy<sup>8</sup>, Luigi Morrone<sup>9,10</sup>, Antonio Gallardo<sup>11</sup>, Giovanni Calapai<sup>12</sup>, Joaquin Camarena<sup>13</sup>, Paulo Casquinha<sup>14</sup>, Dzmitry Kananovich<sup>15</sup>, Niall MacNeill<sup>16</sup>, και Christian Viladrich<sup>17</sup>

<sup>1</sup> Σύλλογος Ερασιτεχνικής Αστρονομίας, Αλωπεκής 42, 10676 Αθήνα

<sup>2</sup> Departamento de FAMN, Facultad de Física, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

<sup>3</sup> ΙΑΑΔΕΤ, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Λόφος Νυμφών, Αθήνα

<sup>4</sup> Ινστιτούτο Αστροφυσικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, 70013 Ηράκλειο

<sup>5</sup> Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, Kyoto 603-8555, Japan

<sup>6</sup> Astronomical Society of Australia, Rubyvale, QLD 4702, Australia

<sup>7</sup> Union of Italian Amateur Astronomers, Via Lazio, 14-00040 Rocca di Papa, 26100 Cremona, Italy

<sup>8</sup> Independent Researcher, 09200 Kagarlyk, Kiev Region, Ukraine

<sup>9</sup> AstroCampania Association, 80051 Agerola, Italy

<sup>10</sup> British Astronomical Association, Burlington House, Piccadilly, London W1J 0DU, UK

<sup>11</sup> Asociación Astronómica del Campo de Gibraltar “Luz Cero”, 11351 Castellar de la Frontera, Spain

<sup>12</sup> Private Astronomical Observatory in Massa S. Giorgio, 98100 Messina, Italy

<sup>13</sup> Agrupación Astronómica de la Safor, 46003 Valencia, Spain

<sup>14</sup> Portuguese Association of Amateur Astronomers, 2780-048 Oeiras, Portugal

<sup>15</sup> Faculty of Chemistry, Tallinn University of Technology, 19086 Tallinn, Estonia

<sup>16</sup> Astronomy Society of NSW, P.O. Box 870, Epping, NSW 1710, Australia

<sup>17</sup> Astroqueyras, 05350 Saint-Véran, France

\* [astromanos2002@yahoo.gr](mailto:astromanos2002@yahoo.gr)

## Περίληψη

Το 2016 εντοπίστηκε από την διαστημοσυσκευή Akatsuki της JAXA, μια νεφική ασυνέχεια (cloud discontinuity/disruption - CD) στα μεσαία νέφη της Αφροδίτης. Πρόκειται για ένα φαινόμενο πλανητικής κλίμακας που διαπιστώθηκε ότι επαναλαμβάνεται, τουλάχιστον από τη δεκαετία του 1980. Το φαινόμενο ερμηνεύεται σαν ένα ατμοσφαιρικό κύμα, μια διαταραχή, που σχετίζεται με δραματικές αλλαγές στην αδιαφάνεια (opacity) των νεφών και την κατανομή των αερίων. Μπορεί να αποτελέσει ένα κρίσιμο κομμάτι στην κατανόηση της θερμικής ισορροπίας και της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της Αφροδίτης. Στη παρούσα εργασία, αναφέρουμε την επανεμφάνισή του στα μεσαία νέφη του φωτιζόμενου ημισφαιρίου τέσσερα χρόνια μετά την τελευταία του ανίχνευση από την κάμερα IR1 του Akatsuki. Για πρώτη φορά χαρακτηρίζουμε τις κύριες ιδιότητες του χρησιμοποιώντας αποκλειστικά εικόνες στο κοντινό υπέρυθρο από ερασιτεχνικές παρατηρήσεις. Σε συμφωνία με προηγούμενες αναφορές, η νεφική ασυνέχεια εμφάνισε χρονικές διακυμάνσεις στην ζωνική ταχύτητα, τον προσανατολισμό, το

μήκος και την επίδρασή της στην ανακλαστικότητα (albedo) των νεφών κατά την ανατολική αποχή 2019/2020. Τέλος, μια σύγκριση με ταυτόχρονες παρατηρήσεις από το Akatsuki (με τις κάμερες UVI και LIR) επιβεβαίωσε ότι η ασυνέχεια δεν παρατηρείται στην μορφολογία ή στη θερμική εκπομπή των άνω νεφών, ενώ οι ζωνικές ταχύτητες είναι μικρότερες από τους ανέμους στην κορυφή των νεφών και μεγαλύτερες από ότι στα μεσαία νέφη, αποδεικνύοντας ότι αυτό το κύμα Kelvin μπορεί να μεταφέρει ορμή μέχρι τα ανώτερα νέφη.

**Λέξεις-κλειδιά:** ατμόσφαιρα Αφροδίτης, μεσαία νέφη, ατμοσφαιρικά κύματα, νεφική ασυνέχεια, ανάδρομη υπερπεριστροφή

## 1. Εισαγωγή<sup>1</sup>

Η Αφροδίτη καλύπτεται μόνιμα από μια πυκνή, στρωματοποιημένη ατμόσφαιρα. Εντός υψομέτρου ~48–70 χλμ. πάνω από την επιφάνεια, παρατηρούνται νέφη θειικού οξέος [1]. Αυτά χωρίζονται σε άνω, μεσαία και κάτω νέφη. Στην κορυφή (56,5–70 χλμ. πάνω από την επιφάνεια), βρίσκονται νέφη τα οποία κινούνται με μια ανάδρομη υπερπεριστροφή (retrograde superrotation) που φτάνει σε ταχύτητες ~  $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  στη κορυφή τους, σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, η οποία είναι 60 φορές ταχύτερη από την περιστροφή του πλανήτη [2]. Αυτό είναι το στρώμα που παρατηρείται συνεχώς για σχεδόν έναν αιώνα με ιώδη και υπεριώδη φίλτρα (UV) [3,4], του οποίου τα σκοτεινά/φωτεινά χαρακτηριστικά προκαλούνται από γνωστές ( $\text{SO}_2$ ) και άγνωστες απορροφητικές ουσίες [1,5]. Κάτω από αυτό το στρώμα, τα μεσαία νέφη (50,5–56,5 χλμ. πάνω από την επιφάνεια) παρατηρούνται στην φωτεινή πλευρά της Αφροδίτης στο οπτικό και κοντινό υπέρυθρο φάσμα (NIR) έως  $1 \mu\text{m}$  [1,6]. Τα χαμηλότερα νέφη (47,5–50,5 χλμ.) μπορούν να παρατηρηθούν ως σιλουέτες που εμποδίζουν μερικώς τη βαθύτερη θερμική εκπομπή στην πλευρά της Αφροδίτης που είναι νύχτα, κυρίως στη φασματική περιοχή των  $1,74 \mu\text{m}$  και  $2,32 \mu\text{m}$  [1,7,8]. Τα μεσαία και κατώτερα νέφη συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στο ισοζύγιο ακτινοβολίας [9]. Η μορφολογία και οι κινήσεις των νεφών διαφέρουν σε καθένα από αυτά τα τρία στρώματα [1,2,6,7,10].

Οι πολλαπλές παρατηρήσεις μας έχουν δώσει δεδομένα για τα πλανητικής κλίμακας κύματα σε αυτή τη στρωματοποιημένη ατμόσφαιρα, και αυτά τα κύματα πιθανολογείται ότι παίζουν κρίσιμο ρόλο στην τροφοδοσία της υπερπεριστροφής [2]. Αυτά έχουν παρατηρηθεί κυρίως στα ανώτερα νέφη, όπως για παράδειγμα, ο χαρακτηριστικός σχηματισμός μορφής Y [11], το ακίνητο κύμα σε σχήμα τόξου που δημιουργείται στην επιφάνεια [12] ή οι ηλιακές παλίρροιες που φαίνεται να συμβάλλουν στη διατήρηση της υπερπεριστροφής κοντά στον ισημερινό [13]. Πρόσφατα, ο Peralta et al. [9] ανέφερε την ανακάλυψη μιας γιγάντιας ασυνέχειας/διακοπής στα βαθύτερα νέφη της Αφροδίτης (Cloud Discontinuity/disruption), η οποία αποδείχθηκε ότι είναι ένα κυκλικό φαινόμενο που περιορίζεται μεταξύ  $30^\circ \text{ S}$  και  $40^\circ \text{ N}$ , που αλλάζει σημαντικά τις ιδιότητες και τα αερολύματα των νεφών [9,14], διαδίδεται πιο γρήγορα από τους υπερστρεφόμενους ανέμους και είναι σε θέση να διατηρήσει ένα συνεκτικό σχήμα μετά από αρκετές περιστροφές. Με βάση αριθμητικές προσομοιώσεις, ο Peralta et al. [9] ερμήνευσε αυτό το φαινόμενο ως νέο τύπο κύματος πλανητικής κλίμακας που μπορεί να τροφοδοτεί την υπερπεριστροφή στο άνω μέρος των νεφών, μεταφέροντας ορμή από

<sup>1</sup> Η παρούσα εργασία αποτελεί μετάφραση της αντίστοιχης δημοσίευσης στα αγγλικά: Kardasis et al. (2022), "Amateur Observers Witness the Return of Venus' Cloud Discontinuity", Atmosphere 2022, 13(2), 348; <https://doi.org/10.3390/atmos13020348>;

τη βαθύτερη ατμόσφαιρα, όπου εκεί ακριβώς η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης συσσωρεύει το μεγαλύτερο μέρος της στροφορμής της [15]. Η απουσία του στη κορυφή των νεφών και το εύρος των ταχυτήτων φάσης ενισχύουν επίσης την άποψη, ότι αυτό το κύμα θα πρέπει να διαλύεται μέσα στα ανώτερα νέφη [9]. Ο Peralta et al. [9] έδειξε επίσης ότι η νεφική ασυνέχεια (στο εξής - NA) είναι ένα επαναλαμβανόμενο για δεκαετίες χαρακτηριστικό στα χαμηλότερα νέφη του ημισφαιρίου της Αφροδίτης που είναι νύκτα, αν και είναι λιγότερο συχνό στα μεσαία νέφη της φωτιζόμενης πλευράς, όπου παρατηρήθηκε για τελευταία φορά στις 27 Νοεμβρίου 2016 από την κάμερα Akatsuki/IR1, πριν σταματήσει αυτή να λειτουργεί [16].

Εδώ αναφέρουμε την επανεμφάνιση της NA στα μεσαία νέφη της φωτεινής πλευράς της Αφροδίτης, κατά τη διάρκεια της ανατολικής αποχής το 2019/2020, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις από μικρά ιδιωτικά τηλεσκόπια σε όλο τον κόσμο, σε συντονισμό με τον δορυφόρο Akatsuki της JAXA [17]. Στην Ενότητα 2, παρουσιάζονται περιληπτικά οι παρατηρήσεις και η μεθοδολογία ανάλυσης των δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας παρέχονται και συζητούνται στην Ενότητα 3. Τέλος, η Ενότητα 4 συνοψίζει την εργασία μας.

## 2. Παρατηρήσεις και Μέθοδοι

### 2.1. Εικόνες της Αφροδίτης από επίγεια τηλεσκόπια

Για να μελετήσουμε επανεμφάνισης της NA, εξετάσαμε τις ερασιτεχνικές παρατηρήσεις της Αφροδίτης, που φιλοξενούνται στη βάση δεδομένων της ALPO-Japan <http://alpo-j.sakura.ne.jp/indexE.htm> (με πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2021) [18]. Επιλέξαμε και εξετάσαμε 458 NIR και 552 UV παρατηρήσεις της ανατολικής αποχής 2019/2020. Οι NIR παρατηρήσεις έγιναν με φίλτρα στο φάσμα 685-1050 nm και οι UV παρατηρήσεις με φίλτρα στο φάσμα ~320-410 nm. Ο πίνακας 1 παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με αυτές τις NIR και UV παρατηρήσεις καθώς και τη γωνία φάσης της Αφροδίτης και την μέγιστη ονομαστική (nominal) ανάλυση. Η ευκρίνεια των ερασιτεχνικών εικόνων κυμαινόταν από 187 έως 663 χλμ. ανάλογα με το φαινομενικό γωνιακό μέγεθος της Αφροδίτης και την καλύτερη ανάλυση που επιτρέπει η διάμετρος του τηλεσκοπίου [19]. Ένας από εμάς (EK), στις 11 Μαρτίου 2020 (με την Αφροδίτη σε ηλιακή αποχή 45,6° Ανατολικά, με 20.6" διάμετρο και 58% φωτισμένο δίσκο), εντόπισε μία ισχυρή εκδήλωση μίας NA και ειδοποίησε τους παρατηρητές και τους ερευνητές της Αφροδίτης. Αυτό το γεγονός κινητοποίησε την εντατική παρατήρηση της Αφροδίτης και οδήγησε στην τρέχουσα εργασία. Εξετάσαμε παρατηρήσεις από τις 13 Οκτωβρίου 2019 έως τις 25 Απριλίου 2020 (Ηλιακή αποχή 16,2°-40,8° Ανατολικά, γωνιακό μέγεθος 10.3"-35.8", φωτισμένος δίσκος 0,962-0,295).

Πίνακας 1. Σύνοψη των εικόνων NIR και UV της Αφροδίτης που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία. Παρουσιάζεται η ημερομηνία και η ώρα κάθε παρατήρησης (στήλη 1), η γωνία φάσης της Αφροδίτης (στήλη 2), η διάμετρος και ο τύπος του τηλεσκοπίου (στήλη 3), η μέγιστη ανάλυση (στήλη 4), η οποία υπολογίστηκε θεωρητικά από τις ιδιότητες του τηλεσκοπίου και η φαινόμενη διάμετρος του δίσκου, το παρατηρούμενο φάσμα του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (στήλη 5), ο χρόνος συνολικής έκθεσης για κάθε εικόνα (στήλη 6), ο παρατηρητής (στήλη 7) και η χώρα (στήλη 8).

120 Πανελλήνιο Συνέδριο Ερασιτεχνικής Αστρονομίας  
Πάτρα, Οκτώβριος 2022

Date and Time (UT) (YYYY-MM-DDThh:mm.m)	Venus Phase Angle (deg)	Telescope Diameter (m)	Best Spatial Resolution (km)	Effective Transmission (nm)	Integration Time (s)	Observer	Country
2019-11-14T07:22.7	33.3	0.41 (N)	589	750-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-17T07:34.9	34.3	0.41 (N)	589	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-18T07:53.2	34.6	0.41 (N)	583	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-19T07:50.3	35.0	0.41 (N)	583	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-20T07:50.5	35.3	0.41 (N)	583	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-22T07:53.6	36.0	0.41 (N)	578	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-23T08:13.9	36.3	0.41 (N)	578	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-23T15:00.6	36.3	0.35 (S)	663	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-11-24T08:07.9	36.7	0.41 (N)	573	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-27T14:19.0	37.7	0.35 (S)	652	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-11-29T07:58.2	38.4	0.41 (N)	568	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-11-30T08:06.5	38.7	0.41 (N)	563	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-12-01T14:41.0	39.1	0.35 (S)	646	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-12-02T08:09.8	39.4	0.41 (N)	558	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-12-03T15:20.0	39.7	0.35 (S)	641	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-12-04T08:13.4	40.1	0.41 (N)	558	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-12-05T08:02.4	40.4	0.41 (N)	554	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-12-06T08:48.0	40.8	0.35 (S)	635	850-1020	180	Niall MacNeill	Australia
2019-12-07T14:55.0	41.1	0.35 (S)	630	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-12-08T15:29.0	41.5	0.35 (S)	630	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2019-12-18T08:09.0	45.0	0.41 (N)	527	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2019-12-18T15:23.0	45.0	0.35 (S)	604	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-01-11T11:34.0	53.7	0.50 (D)	393	807-1050	249	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-01-11T14:51.0	53.7	0.35 (S)	547	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-01-29T11:42.2	60.8	0.50 (D)	356	807-1050	315	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-02-01T11:27.6	62.0	0.50 (D)	352	807-1050	415	Tiziano Olivetti	Thailand

Date and Time (UT) (YYYY-MM-DDThh:mm.m)	Venus Phase Angle (deg)	Telescope Diameter (m)	Best Spatial Resolution (km)	Effective Transmission (nm)	Integration Time (s)	Observer	Country
2020-02-01T15:51.0	62.0	0.35 (S)	490	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-02-05T11:38.2	63.7	0.50 (D)	343	807-1050	415	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-02-16T07:55.0	68.6	0.41 (N)	387	1000-1020	180	Anthony Wesley	Australia
2020-02-24T17:27.0	72.3	0.35 (S)	419	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-02-24T18:48.5	72.3	0.35 (S)	419	807-1050	380	Paulo Casquinha	Portugal
2020-02-28T17:41.7	74.2	0.28 (S)	509	742-1050	240	Antonio Gallardo	Spain
2020-03-07T15:59.0	78.3	0.35 (S)	377	850-1020	160	Raimondo Sedrani	Italy
2020-03-08T11:37.0	78.9	0.50 (D)	269	807-1050	na	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-09T11:32.0	79.4	0.50 (D)	266	807-1050	na	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-10T16:57.0	79.9	0.35 (S)	367	850-1020	160	Raimondo Sedrani	Italy
2020-03-11T16:44.8	80.5	0.35 (S)	366	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-03-11T17:09.1	80.5	0.35 (S)	366	1000-1050	300	Luigi Morrone	Italy
2020-03-11T16:30.0	80.5	0.35 (S)	366	807-1050	60	Joaquin Camarena	Spain
2020-03-12T15:59.0	81.0	0.35 (S)	360	807-1050	60	Joaquin Camarena	Spain
2020-03-13T11:22.0	81.6	0.50 (D)	256	807-1050	482	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-14T16:25.0	82.1	0.35 (S)	354	807-1050	60	Joaquin Camarena	Spain
2020-03-15T15:10.0	82.7	0.40 (D)	314	950-1050	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-03-16T15:00.0	83.3	0.40 (D)	313	950-1050	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-03-16T16:01.0	83.3	0.28 (S)	438	685-1050	1000	Giovanni Calapai	Italy
2020-03-16T16:54.4	83.3	0.35 (S)	349	1000-1050	300	Luigi Morrone	Italy
2020-03-21T11:34.4	86.2	0.50 (D)	237	807-1050	301	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-21T17:35.0	86.2	0.25 (K)	330	830-1020	205	Dzmitry Kananovich	Estonia
2020-03-21T17:10.2	86.2	0.35 (S)	330	850-1020	160	Raimondo Sedrani	Italy
2020-03-21T17:35.0	86.2	0.35 (S)	330	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece

Date and Time (UT) (YYYY-MM-DDThh:mm.m)	Venus Phase Angle (deg)	Telescope Diameter (m)	Best Spatial Resolution (km)	Effective Transmission (nm)	Integration Time (s)	Observer	Country
2020-03-26T15:20.0	89.3	0.40 (D)	281	950-1050	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-03-26T17:01.6	89.3	0.28 (S)	394	742-1050	240	Antonio Gallardo	Spain
2020-03-31T16:15.0	92.6	0.40 (D)	266	950-1050	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-03-31T17:04.0	92.6	0.35 (S)	296	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-04-05T16:40.0	96.1	0.40 (D)	250	950-1050	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-04-10T16:18.0	99.9	0.35 (S)	261	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-04-10T17:00.1	99.9	0.35 (S)	261	1000-1050	300	Luigi Morrone	Italy
2020-04-20T11:31.7	108.5	0.50 (D)	187	807-1050	247	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-04-25T17:27.0	113.4	0.35 (S)	211	884-900	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-03-08T11:37.6	78.9	0.50 (D)	-	320-380	1029	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-09T11:39.7	79.4	0.50 (D)	-	320-380	804	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-10T17:04.0	79.9	0.35 (S)	-	320-380	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-03-11T16:55.0	80.5	0.35 (S)	-	320-380	300	Emmanuel Kardasis	Greece
2020-03-13T11:31.3	81.6	0.50 (D)	-	320-380	569	Tiziano Olivetti	Thailand
2020-03-14T16:32.2	82.1	0.25 (M)	-	320-380	500	Christian Viladrich	France
2020-03-15T15:10.0	82.7	0.40 (D)	-	350-410	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine
2020-03-16T15:00.0	83.3	0.40 (D)	-	350-410	180	Yaroslav Naryzhniy	Ukraine

Notes: (N) Newtonian Telescope, (S) Schmidt Cassegrain Telescope, (D) Dall-Kirkham Telescope, (K) Klevtsov Cassegrain Telescope.

Οι εικόνες από ερασιτεχνικές παρατηρήσεις έγιναν μέσω της τεχνικής *τυχερής απεικόνισης (lucky imaging)*, όπου χιλιάδες εικόνες αποτυπώνονται σε λίγα λεπτά με γρήγορες πλανητικές κάμερες οι οποίες στη συνέχεια αθροίζονται (*stacked*) για να έχουμε ένα αποτέλεσμα με καλύτερη ανάλυση (έως και τέσσερις φορές καλύτερο σε κακές συνθήκες ορατότητας) [20,21]. Λογισμικό όπως το Autostakkert (<http://www.autostakkert.com>, πρόσβαση στις 10 Φεβρουαρίου 2021) ή Registax (<http://astronomie.be/registax>, πρόσβαση στις 10 Φεβρουαρίου 2021) [22] χρησιμοποιήθηκαν ακολουθώντας αυτήν τη στρατηγική: (α) επιλογή εικόνων υψηλότερης ποιότητας, (β) ευθυγράμμιση, (γ) άθροιση (*stacking*) και (δ) επεξεργασία

της τελικής εικόνας για μια πιο ευκρινή εκδοχή [23]. Οι παρατηρήσεις έγιναν με ευαίσθητες κάμερες CMOS (π.χ., ZWO290 mm) σε τηλεσκόπια με διάμετρο ~0,2–0,5 m. Στην περίπτωση των NIR εικόνων, τα νέφη της Αφροδίτης παρουσιάζουν χαμηλότερη αντίθεση από ότι στις εικόνες UV και απαιτείται μια διαφορετική επεξεργασία αυτών των εικόνων [6].

Το πρώτο βήμα της ανάλυσης ήταν να καθοριστεί σωστά ο προσανατολισμός κάθε εικόνας (βορράς-νότος), η προσαρμογή του χείλους και η φάση του πλανήτη σε συνθετικό περίγραμμα (υπολογισμένο με την εφημερίδα του λογισμικού). Για αυτό, και για περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων, χρησιμοποιήσαμε το δωρεάν λογισμικό WinJupos (<http://www.grischa-hahn.homepage.tonline.de>, πρόσβαση στις 10 Φεβρουαρίου 2021) [24]. Χρησιμοποιήσαμε επίσης αυτό το λογισμικό για να μετρήσουμε τις κινήσεις των νεφών (θέση γεωγραφικού πλάτους-μήκους, μέγεθος και ταχύτητα ανέμου). Η φάση και εφημερίδα του πλανήτη υπολογίζονταν αυτόματα από το λογισμικό. Δύο περίοδοι περιστροφών εφαρμόζονται στο WinJupos για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών μηκών του πλανήτη: το Σύστημα 1 (S1) που αντιπροσωπεύει την περιστροφή της επιφάνειας με περίοδο ~243 ημερών, και το Σύστημα 2 (S2) με περίοδο 4,2 ημερών, που αντιστοιχεί στα υπερπεριστρεφόμενα άνω νέφη στις UV εικόνες [2]. Για τη δημιουργία χαρτών των μεσαίων νεφών της φωτεινής πλευράς με NIR εικόνες, χρησιμοποιήσαμε έναν πιο αργό ρυθμό περιστροφής με περίοδο σχεδόν 5 ημερών (υπολογισμένη από την μέση ισημερινή ταχύτητα των επανεφανίσεων NA, βλέπε Πίνακα 2). Οι ταχύτητες NA μετρήθηκαν κάθε φορά στο μέτωπο του κύματος (άκρο μπροστά από το κύμα) σε ζεύγη εικόνων (με διαφορά χρόνου που κυμαίνονται από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες).

Οι περισσότερες από τις κινήσεις του νέφους μετρήθηκαν κοντά στον ισημερινό, όπου συνήθως βρίσκεται η NA και επίσης επειδή εκεί η ανάλυση των εικόνων προσεγγίζει την καλύτερη δυνατή που επιτυγχάνεται με επίγεια τηλεσκόπια (βλ. Πίνακα 1). Χρησιμοποιώντας ως σφάλμα τις τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) από τις μετρήσεις, συγκρίναμε τις εικόνες αυτές που προέρχονται από τη βέλτιστη προσαρμογή τους με αυτές που λήφθηκαν αλλάζοντας ελαφρά τις παραμέτρους που επηρεάζουν τον προσανατολισμό και τον σωστό εντοπισμό του χείλους του δίσκου, προσαρμόζοντάς τες στις μεγαλύτερες και χαμηλότερες αποδεκτές τιμές (με οπτική εξέταση). Βρήκαμε ότι η εφαρμογή του χείλους (με σφάλμα 2-3 pixel) ήταν αυτή που έδινε το μεγαλύτερο σφάλμα σε σχέση με τον προσανατολισμό. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις, το σφάλμα ήταν πάντα μικρότερο από αυτό που προέρχεται από την ανάλυση της εικόνας.

Η εκτίμηση του σφάλματος της ταχύτητας έγινε με δύο μεθόδους. Στην πρώτη προσέγγιση, χρησιμοποιήσαμε τη θεωρητική ανάλυση κάθε τηλεσκοπίου για να υπολογίσουμε το πιθανό σφάλμα ( $\delta v = \delta x / \Delta t$ , όπου  $\delta x$  αντιστοιχεί στη θεωρητική αναμενόμενη ανάλυση εικόνας σύμφωνα με τη διάμετρο του τηλεσκοπίου, μετρημένη σε μέτρα, και  $\Delta t$  είναι η χρονική απόσταση μεταξύ των ζευγών των εικόνων). Τα ζεύγη εικόνων που απέχουν χρονικά μεταξύ τους ~2–8 ώρες μας επιτρέπουν να μετράμε τις ταχύτητες του ανέμου με σφάλματα γύρω στα ~10–40 m · s<sup>-1</sup>. Τα ζεύγη εικόνων που απέχουν χρονικά μεταξύ τους ~ 5–10 ημέρες παρέχουν μικρότερα σφάλματα της τάξης ~1 m · s<sup>-1</sup>, λόγω της μεγάλης διαφοράς ώρας. Αξίζει εδώ να σημειωθεί, ότι αυτές οι εκτιμήσεις σφάλματος αποτελούν το μικρότερο δυνατόν όπως προκύπτει από το γεγονός ότι θεωρούμε ιδανικές τις συνθήκες παρατήρησης (οπότε αν είναι χειρότερες το σφάλμα θα μεγαλώσει). Ωστόσο, με τη μέθοδο *τυχερής απεικόνισης* και των τεχνικών επεξεργασίας εικόνων, το σφάλμα μπορεί να μικραίνει όλο και περισσότερο. Στη δεύτερη προσέγγιση μετρήσαμε την ταχύτητα του ανέμου σε διάφορες ζώνες γεωγραφικών πλατών με εύρος 5–12,5°. Η τυπική απόκλιση αυτών των μετρήσεων σε κάθε ζώνη έχει ως αποτέλεσμα σφάλματα

$\sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  για  $\Delta t \sim 5\text{--}10$  ημέρες και  $\sim 5\text{--}25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  για  $\Delta t \sim 2\text{--}8$  ώρες, αντίστοιχα. Δεδομένης της ομοιότητας μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, επιλέξαμε να αναφέρουμε τις εκτιμήσεις σφαλμάτων που προέρχονται από τη δεύτερη μέθοδο (δηλαδή τη στατιστική προσέγγιση). Αν και αυτή η προσέγγιση εξαρτάται από τον προσδιορισμό της NA με «οπτική εξέταση», λαμβάνει υπόψη της την ποιότητα των επιλεγμένων εικόνων (από τη στιγμή που οι μετρήσεις γίνονται πάνω στις παρατηρήσεις).

Πίνακας 2. Σύνοψη των ιδιοτήτων των επανεμφανίσεων νεφικής ασυνέχειας (NA) όπως προκύπτουν από αυτήν την εργασία. Οι δύο πρώτες στήλες παρουσιάζουν το ζεύγος των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις του ανέμου κοντά στον ισημερινό. Για κάθε ανίχνευση, δείχνουμε τον προσανατολισμό (στήλη 3), το μέγιστο εύρος Αφροδιτογραφικού πλάτους (στήλη 4), το μέγιστο μήκος (στήλη 5), το πλάτος στον ισημερινό (στήλη 6), τη προκύπτουσα περίοδος περιστροφής (στήλη 7) και τη ταχύτητα ζώνης (στήλη 8).

Date and Time (UT) <sup>1</sup> (1st obs.) (YYYY-MM-DDThh:mm)	Date and Time (UT) <sup>1</sup> (2nd obs.) (YYYY-MM-DDThh:mm)	Orientation <sup>2</sup> (Degrees)	Max. Latitude Range (Degrees)	Max. Length <sup>3</sup> (10 <sup>3</sup> km)	Width at Equator <sup>4</sup> (10 <sup>3</sup> km)	Rotation Period (Terrestrial Days)	Zonal Speed <sup>5</sup> (m · s <sup>-1</sup> )
2019-11-23T08:14 *	2019-11-23T15:51	124	20° N-9° S	3.3	0.6	4.1 ± 0.9	105 ± 19
2019-11-23T15:51	2019-12-03T15:20 *	97	26° N-28° S	5.7	0.6	5.06 ± 0.01	84.9 ± 0.1
2019-12-03T15:20	2019-12-08T15:29 *	39	14° N-17° S	5.1	1.1	5.06 ± 0.01	84.9 ± 0.1
2019-12-18T08:09 *	2019-12-18T15:23	77	27° N-28° S	5.9	0.6	4.2 ± 0.2	104 ± 5
2020-01-11T11:34 *	2020-01-11T14:51	137	12° N-14° S	3.7	0.5	4.3 ± 0.8	100 ± 16
2020-02-01T11:27	2020-02-01T15:51 *	39	19° N-25° S	6.5	0.6	4.0 ± 0.4	108 ± 9
2020-02-16T07:55 *	-	84	13° N-25° S	4.0	0.3	-	-
2020-02-24T17:27	2020-02-24T18:36 *	85	28° N-28° S	6.1	0.5	3.5 ± 0.9	125 ± 26
2020-02-24T18:36	2020-02-28T17:41 *	66	15° N-13° S	3.3	0.6	4.18 ± 0.02	103.4 ± 0.5
2020-02-28T17:41	2020-03-11T16:45 *	100	25° N-30° S	5.9	0.5	6.00 ± 0.01	71.6 ± 0.1
2020-03-11T16:45	2020-03-16T15:00 *	95	23° N-36° S	6.3	0.7	5.14 ± 0.02	83.9 ± 0.3
2020-03-16T15:00	2020-03-21T17:35 *	88	27° N-32° S	6.3	0.5	5.10 ± 0.01	84.5 ± 0.2
2020-03-21T11:34	2020-03-21T17:35	-	-	-	-	5.09 ± 0.08	84.7 ± 1.3
2020-03-21T17:35	2020-03-26T15:20 *	94	13° N-33° S	5.0	0.4	5.10 ± 0.02	84.6 ± 0.4
2020-03-26T15:20	2020-03-31T17:04 *	99	20° N-29° S	5.2	1.0	5.15 ± 0.03	83.6 ± 0.5
2020-03-31T17:04	2020-04-05T16:40 *	90	31° N-25° S	6.0	0.5	4.91 ± 0.03	87.8 ± 0.5
2020-04-05T16:40	2020-04-10T16:12 *	93	31° N-29° S	6.5	0.6	5.09 ± 0.01	84.7 ± 0.2
2020-04-10T16:12	2020-04-20T11:32 *	80	10° N-20° S	3.3	0.3	5.05 ± 0.01	85.4 ± 0.1
AVERAGE		88	20.8° N-21.5° S	5.2	0.6	4.8 ± 0.2	92.1 ± 4.6

Notes: <sup>1</sup> We note with an \* the observations from which the properties of CD event were measured. <sup>2</sup> Degrees relative to equator (scale 0-180°) right to left. <sup>3</sup> North-south direction, error of  $\pm 0.2 \times 10^3$  km. <sup>4</sup> East-west direction, error of  $\pm 0.2 \times 10^3$  km. <sup>5</sup> Near equator, i.e., within 5° N-5° S.

Η θέση και η κλίση της NA μετρήθηκε επίσης στο μέτωπο του κύματος. Οι κλίσεις μετρήθηκαν ξεκινώντας από τον ισημερινό (0-180°). Οι χάρτες δημιουργήθηκαν με ισορθογώνια (equirectangular) χαρτογραφική προβολή η οποία απλά εμφανίζει τη σχετική θέση μεγάλων σχηματισμών. Τα κενά αντιστοιχούν σε περιοχές όπου δεν έγιναν παρατηρήσεις ή όπου η ανάλυση ήταν πολύ κακή. Αφροδιτογραφικά πλάτη μεγαλύτερα από 60° επίσης αποκλείστηκαν λόγω χαμηλής ευκρίνειας και σοβαρής παραμόρφωσης κοντά στην πολική περιοχή, κάτι το οποίο θεωρείται αναμενόμενο σε αυτής της μορφής της προβολής.

## 2.2. Εικόνες της Αφροδίτης που λήφθηκαν με την διαστημοσυσκευή Akatsuki της JAXA

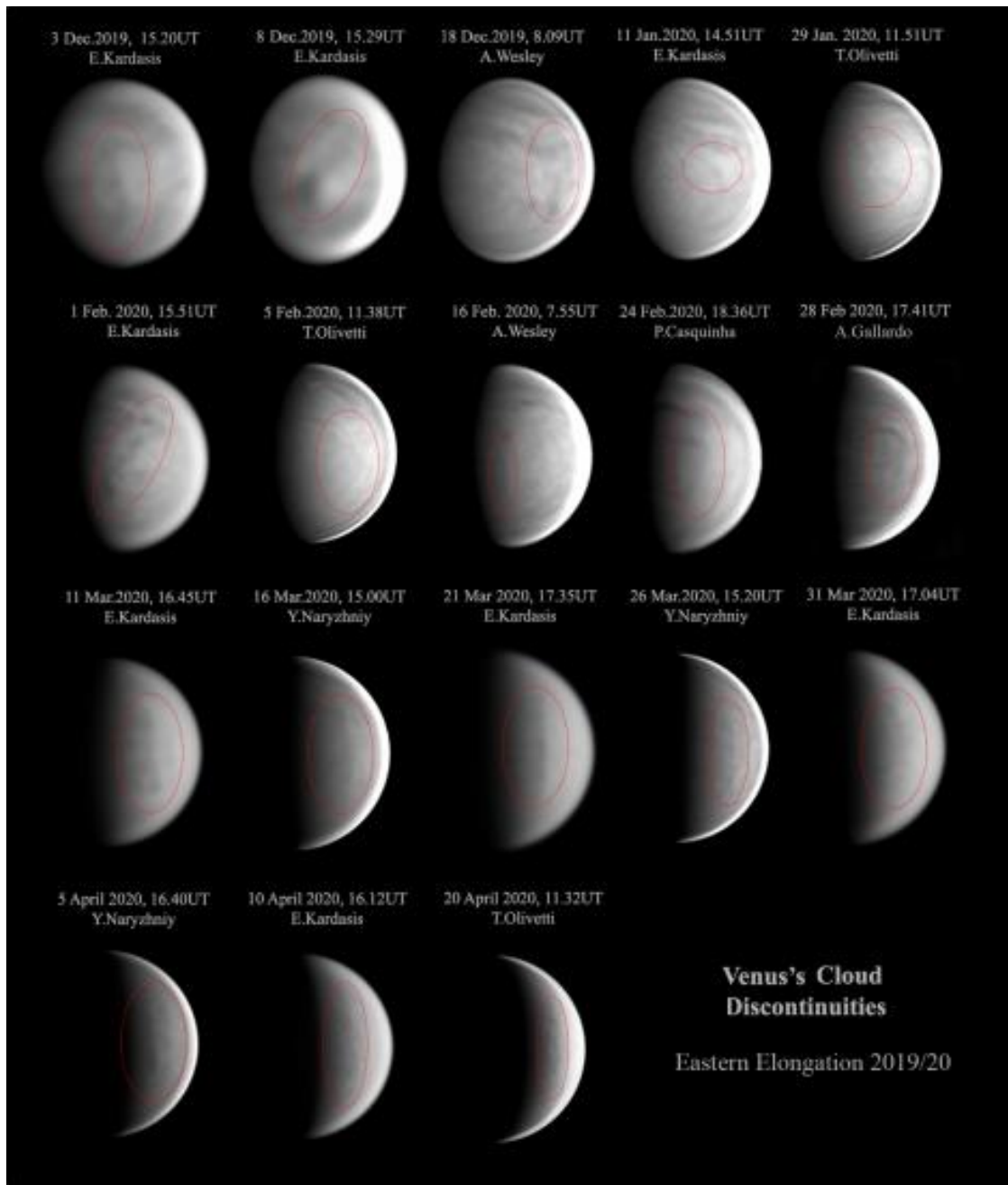
Οι ερασιτεχνικές παρατηρήσεις τον Μάρτιο του 2020 συγκρίθηκαν με σχεδόν ταυτόχρονες παρατηρήσεις από το Akatsuki [17,25]. Αυτό μας έδωσε την ευκαιρία να ελέγξουμε αν η NA μπορεί να παρατηρηθεί σε άλλα στρώματα νεφών και εάν υπάρχει οποιαδήποτε αλληλεπίδραση με άλλα πλανητικής κλίμακας κύματα στα ανώτερα νέφη. Τέτοια φαινόμενα περιλαμβάνουν το χαρακτηριστικό Y σχηματισμό, ένα σκοτεινό σχηματισμό νεφών που παρατηρείται για δεκαετίες σε εικόνες UV που μοιάζει με ένα οριζόντια προσανατολισμένο Y γράμμα ορατό κάθε ~4 ημέρες [11,26] και τα σταθερά κύματα βαρύτητας (Gravity waves) σε σχήμα τόξου [27,28]. Αυτά τα φαινόμενα στα ανώτερα νέφη παρατηρούνται σε εικόνες που λήφθηκαν από την

κάμερα μακρών υπερύθρων κυμάτων (LIR) [29] και την συσκευή απεικόνισης υπεριώδους (UVI) [30]) επί του Akatsuki. Το όργανο LIR χαρτογραφεί τη θερμική ακτινοβολία των άνω νεφών εντός ύψους ~60–75 χλμ. [31] στη φασματική ζώνη των 8–12 μm, τόσο στην φωτεινή όσο και στην νυχτερινή πλευρά της Αφροδίτης, ενώ η κάμερα UVI καταγράφει την ανακλαστικότητα (albedo) των κορυφών των νεφών στα ~70 χλμ. [10,30] χρησιμοποιώντας φίλτρα κεντραρισμένα στα 283 και 365 nm. Πέντε εκδηλώσεις της ΝΑ κατά τη διάρκεια του Μαρτίου (11 Μαρτίου 2020, 16 Μαρτίου 2020, 21 Μαρτίου 2020, 26 Μαρτίου 2020 και 31 Μαρτίου 2020) μελετήθηκαν σε συνδυασμό με εικόνες από τον Akatsuki, που κάλυψε τις τροχιές 142–144 της αποστολής [32–35]. Τον Μάρτιο του 2020, η γωνιακή φάση της Αφροδίτης, όπως παρατηρήθηκε από το Akatsuki, κυμαινόταν μεταξύ 30° και 160°, ενώ η ανάλυση των UVI και LIR εικόνων σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη κυμαίνονταν στα 12–90 και 40–360 χλμ./pixel αντίστοιχα. Οι εικόνες UVI διορθώθηκαν φωτομετρικά, δηλ. διορθώθηκε το φαινόμενο του σκοτεινιάσματος του χείλους (limb-darkening) [36] όπου τα χείλη του πλανητικού δίσκου εμφανίζονται υποφωτισμένα. Και οι δύο εικόνες UVI και LIR υποβλήθηκαν σε επεξεργασία και προβλήθηκαν όπως περιγράφεται από τον Gonçalves et al. [37]. Ένα ειδικό λογισμικό γραμμένο σε IDL χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και λήψη μετρήσεων στις εικόνες του Akatsuki [38].

### **3. Αποτελέσματα και συζήτηση**

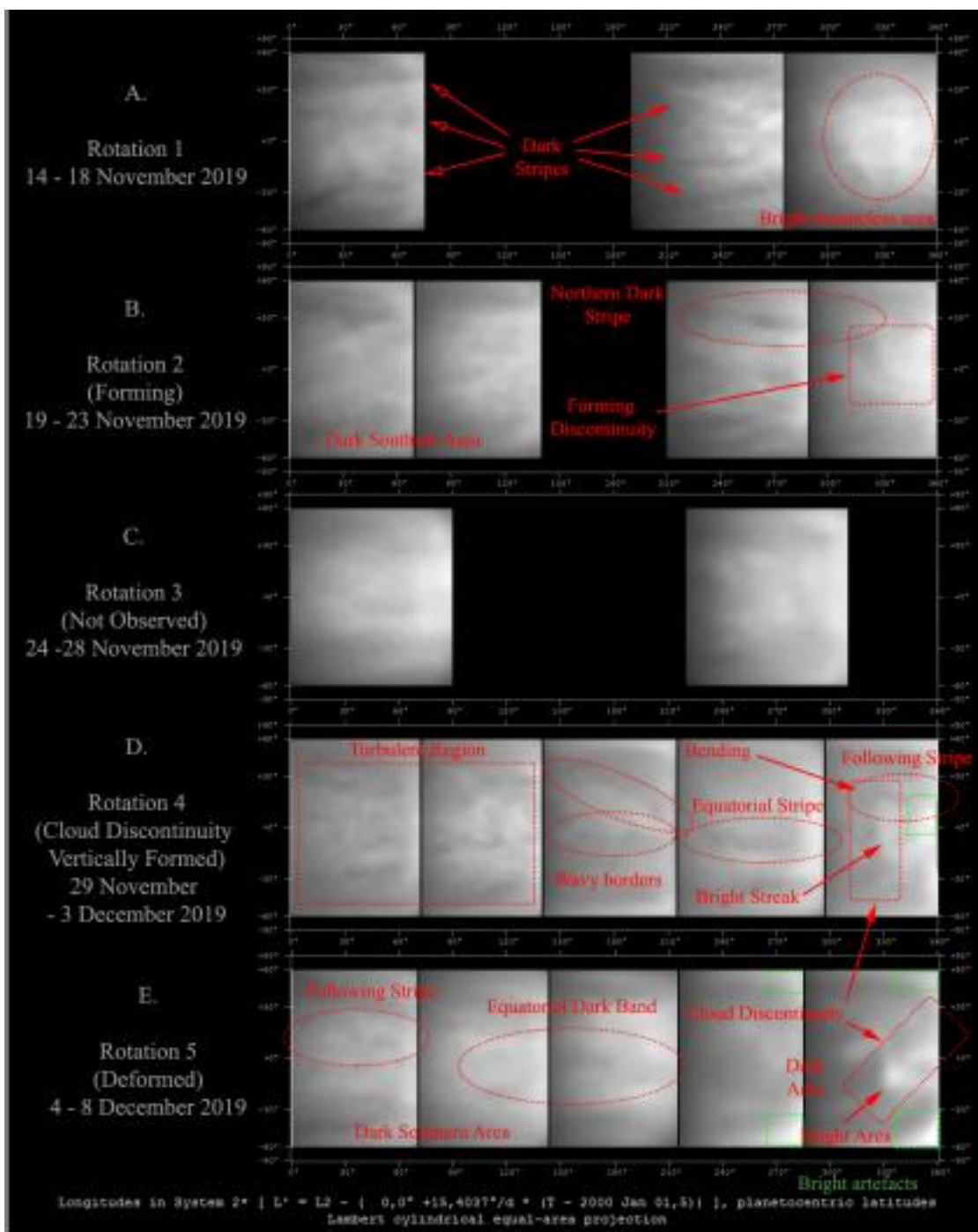
Τρία χρόνια μετά την τελευταία της ανίχνευση στα μεσαία νέφη της φωτεινής πλευράς της Αφροδίτης, τον Δεκέμβριο του 2016 [9], η ΝΑ παρατηρήθηκε ξανά τον Νοέμβριο-Δεκέμβριο του 2019 (βλ. Σχήματα 1 και 2). Δυστυχώς, από τα μέσα Δεκεμβρίου 2019 έως τις αρχές Μαρτίου 2020, έχουμε κενά στις παρατηρήσεις που εμπόδιζε τη συνεχή παρακολούθηση αυτών των νέων γεγονότων της ΝΑ. Από τον Μάρτιο του 2020, η παρουσία μιας ΝΑ έγινε πιο ορατή, η οποία εκδηλώθηκε ως ένα μακρόστενο κατακόρυφο σκοτεινό χαρακτηριστικό κάποιες φορές ακολουθούμενο από μια πιο φωτεινή ράβδωση (βλ. Εικόνα 1). Ο μεγαλύτερος αριθμός παρατηρήσεων μας έδωσε τη δυνατότητα να παρακολουθούμε με περισσότερη λεπτομέρεια αυτό το φαινόμενο μέχρι τα μέσα Απριλίου, όπου η ΝΑ φαινόταν να εξαφανίζεται.





Εικόνα 1. Παρατηρήσεις της ΝΑ, που πραγματοποιήθηκαν κατά την ανατολική αποχή της Αφροδίτης το 2019/2020, παρουσιάζοντας διαφορετικές μορφολογίες. Οι λεπτομέρειες των παρατηρήσεων προβάλλονται στον Πίνακα 1.





Εικόνα 2. Χρονικές συνθέσεις των μεσαίων νεφών (NIR ~900–1000 nm) της Αφροδίτης που δείχνουν μεγάλα ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά όταν παρατηρείται η νεφική ασυνέχεια (NA). Αυτά τα χαρακτηριστικά μεγάλης κλίμακας σημειώνονται με κόκκινα οβάλ. Ισορθογώνιες (Equiangular) προβολές (60° Β έως 60° Ν) τοποθετημένες από αριστερά προς τα δεξιά με αυξανόμενες ημερομηνίες: (Α) 14–18 Νοεμβρίου 2019 (Α. Wesley, Ε. Kardasis), (Β) 19–23 Νοεμβρίου 2019 (Α. Wesley, Ε. Kardasis), (C) 24–28 Νοεμβρίου 2019 (Α. Wesley, Ε. Kardasis), (D) 29 Νοεμβρίου –3 Δεκεμβρίου 2019 (Α. Wesley, Ε. Kardasis, Ν. MacNeill), (Ε) 4–8 Δεκεμβρίου 2019 (Α. Wesley, Ε. Kardasis). Οι λεπτομέρειες των παρατηρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

### **3.1. ΝΑ κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου 2019**

Η πρώτη σαφής εκδήλωση της ΝΑ εμφανίστηκε στα τέλη Νοεμβρίου 2019 (Εικόνες 1 και 2). Στις 18 Νοεμβρίου 2019, η Αφροδίτη δεν εμφάνισε κανένα χαρακτηριστικό στην περιοχή που αναμενόταν να παρατηρήσουμε την ΝΑ. Υπάρχουν τρεις σκούρες λωρίδες ή ζώνες (Βόρεια, Ισημερινή, Νότια) στην αναφερόμενη περιοχή. Στις 23 Νοεμβρίου 2019, η ΝΑ εμφανίζεται ως επέκταση της Βόρειας Σκοτεινής Λωρίδας, η οποία είχε αναφερθεί στο παρελθόν ως νέφος παρατηρούμενο συχνά πριν από την άφιξη της ασυνέχειας στα μεσαία νέφη της φωτεινής πλευράς της Αφροδίτης κατά τη διάρκεια του έτους 2016 [9] (βλ. Εικόνα 1β). Στις 3 Δεκεμβρίου 2019, η ΝΑ παρατηρείται μεταξύ  $26^\circ$  Β και  $28^\circ$  Ν, καμπτόμενη στο βόρειο άκρο της και προς τα ανατολικά να εκτείνεται στα  $\sim 5700$  χλμ. ως μια οριζόντια απότομη σκοτεινή λωρίδα παρόμοια με αυτές που αναφέρθηκαν από τον Peralta et al. [39] στα χαμηλότερα νέφη της μη φωτιζόμενης πλευράς της Αφροδίτης.

Στα δυτικά της ΝΑ, σχηματίστηκε επίσης μια ισημερινή λωρίδα. Στην κεντρική εικόνα της Εικόνας 2D, Παρατηρείται μία φωτεινή ισημερινή περιοχή, που περιβάλλεται βόρεια και νότια με κυματιστά όρια.

Εκμεταλλευόμενοι τη μικρότερη γωνία φάσης για τις προηγούμενες παρατηρήσεις, μελετήσαμε τη μορφολογία και την ανάπτυξη της ΝΑ κατά τη διάρκεια πολλών περιστροφών μέσα από χάρτες (βλ. Εικόνα 2) παρόμοιους με αυτούς που δημιούργησε ο Peralta et al. [9] για τα χαμηλότερα νέφη της νυχτερινής πλευράς. Λόγω της δυσκολίας στην ακριβή μέτρηση της μέσης ροής των μεσαίων νεφών με εικόνες ερασιτεχνών, συνδυάστηκαν οι προβολές των εικόνων NIR, μετά τη μετατόπισή τους σύμφωνα με τη μέση ταχύτητα της ΝΑ (περίοδος περίπου 5 ημερών, βλέπε Peralta et al. [9]) στον ισημερινό. Κατά την τελευταία περιστροφή (Εικόνα 2E), η ΝΑ άλλαξε κλίση (ξεκινώντας με κλίση  $124^\circ$  σε σχέση με τις παράλληλους, στη συνέχεια  $97^\circ$  και τέλος  $39^\circ$ ) και μια φωτεινή περιοχή ακολουθεί την ΝΑ στα νότια του ισημερινού. Η ΝΑ μετακινήθηκε προς τα δυτικά με μέση ισημερινή ζώνη ταχύτητας  $-94,7 \pm 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , με προκύπτουσα περίοδο  $4,6 \pm 0,3$  ημέρες.

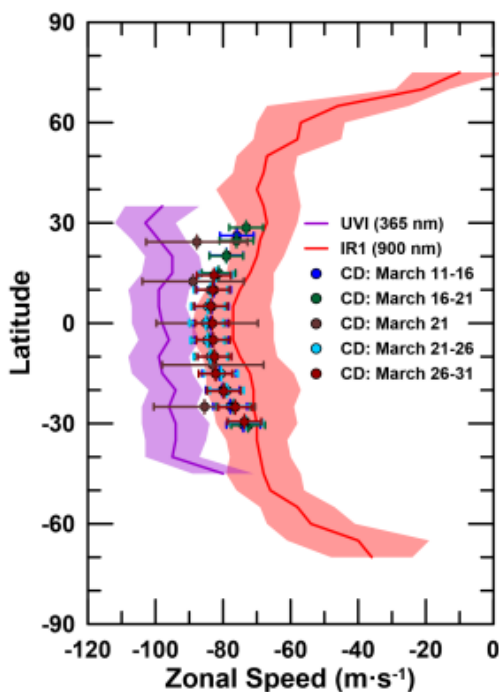
### **3.2. ΝΑ κατά την περίοδο Ιανουαρίου – Απριλίου 2020**

Από τον Νοέμβριο–Δεκέμβριο 2019 έως Μάρτιο 2020, η αυξανόμενη γωνία φάσης και η έλλειψη παρατηρήσεων εμπόδισε την παρακολούθηση της ΝΑ, αν και μερικές εικόνες δείχνουν την παρουσία της (βλ. Εικόνα 1). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ΝΑ υπέστη αισθητές μορφολογικές αλλαγές μετά από κάθε πλήρη περιστροφή, κάτι που συνάδει με τις παρατηρήσεις του Akatsuki/IR1 κατά το έτος 2016 [9]. Μεταξύ Ιανουαρίου 2020 και Απριλίου 2020, η ΝΑ παρατηρούνταν πάντα μεταξύ  $31^\circ$  Β και  $36^\circ$  Ν, με μήκος εντός  $3300$ – $6500$  χλμ. και κλίση σε σχέση με τους παράλληλους που κυμαίνονται  $39$ – $137^\circ$ . Η μέση ταχύτητά του ήταν  $-91 \pm 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  με περίοδο  $4,8 \pm 0,2$  ημέρες.

Στις 11 Μαρτίου 2020, οι παρατηρήσεις μας έδειξαν μια εντατικοποίηση της ΝΑ, καθώς ήταν εμφανής ως μια μακρά σκοτεινή απότομη ασυνέχεια ακολουθούμενη από μια φωτεινότερη νεφελώδη περιοχή, με ελάχιστες παραμορφώσεις στο σχήμα και το μέγεθός της κατά τις 11, 16 και 21 Μαρτίου 2020. Παρόμοιο συμβάν αναφέρθηκε επίσης τον Αύγουστο του 2016 [9]. Συνδυάζοντας εικόνες από πολλούς επίγειους παρατηρητές, μπορέσαμε να παρακολουθήσουμε τη ΝΑ μέχρι τις 25 Απριλίου 2020 και υπολογίσαμε την περίοδο περιστροφής της σε περίπου 5 ημέρες.

Από τις 26 Μαρτίου 2020 και μετά, φαίνεται να έχει συρρικνωθεί, διαλυθεί εν μέρει και εμφάνισε πολύ χαμηλότερη αντίθεση τις επόμενες εβδομάδες. Σε γενικές γραμμές, η ΝΑ εκτεινόταν μεταξύ  $31^\circ$  Β και  $36^\circ$  Ν, με μήκος 3300–6500 χλμ.. Τη σκοτεινή ράβδωση μερικές φορές ακολουθούσε μία φωτεινή. Το μέσο πλάτος της ΝΑ στον ισημερινό ήταν ~600 χλμ., με χαμηλότερη τιμή ~300 χλμ. (κοντά στη μέγιστη ανάλυση των εικόνων) και έως ~1100 χλμ. Η εμφάνισεις Μαρτίου-Απριλίου παρουσίασαν ορισμένες σταθερές ιδιότητες όπως η κλίση (σχεδόν κατακόρυφη σε σχέση με τον ισημερινό,  $80-100^\circ$ ) και η ταχύτητα ( $-83,6$  έως  $-87,8$   $m \cdot s^{-1}$ , με μέσο όρο  $84,9 \pm 0,4$   $m \cdot s^{-1}$  και περίοδο  $5,08 \pm 0,03$  ημέρες.).

Το Σχήμα 3 παρουσιάζει τις ζωνικές ταχύτητες της ΝΑ κατά τα συμβάντα στις 11, 16, 21, 26 και 31 Μαρτίου 2020 που εμφανίστηκαν στις εικόνες της Αφροδίτης που λήφθηκαν από επίγειους παρατηρητές (βλ. Εικόνα 1). Αυτές οι ταχύτητες ζωνών συγκρίνονται με τους ανέμους ζωνών που μετρήθηκαν από εικόνες 365 nm, οι οποίες λήφθηκαν από τον Akatsuki/UVI κατά τις ίδιες ημερομηνίες με τα συμβάντα ΝΑ κατά τις 11, 16, 21 και 26 Μαρτίου 2020. Στην περίπτωση των ανέμων στα μεσαία νέφη, είναι αδύνατος ο εντοπισμός αξιόπιστων άλλων NIR σχηματισμών εικόνες λόγω της χαμηλής αντίθεσης η οποία θα οδηγούσε σε εκτίμηση της ταχύτητας κίνησης των μεσαίων νεφών του υποβάθρου. Αντ' αυτού εμφανίζεται στο γράφημα το προφίλ των ανέμων που λήφθηκε από τον Akatsuki/IR1 το 2016 [6]. Οι ταχύτητες της ΝΑ είναι συνεπείς με την ερμηνεία ότι πρόκειται για ένα κύμα τύπου Kelvin [9], με ταχύτητες φάσης μεγαλύτερες από τους ανέμους υποβάθρου στα μεσαία νέφη που παρατηρούνται στα 900 nm από τις εικόνες του Akatsuki/IR1. Αντιθέτως, οι ταχύτητες φάσης της ΝΑ είναι πιο αργές από τους ανέμους που μετρήθηκαν στις εικόνες UVI 365 nm που ανιχνεύουν την κορυφή των άνω νεφών, υποστηρίζοντας το επιχείρημα ότι η ΝΑ δεν μπορεί να παρατηρηθεί στην κορυφή των νεφών επειδή διαχέεται κατά την κατακόρυφη διάδοσή της [9].

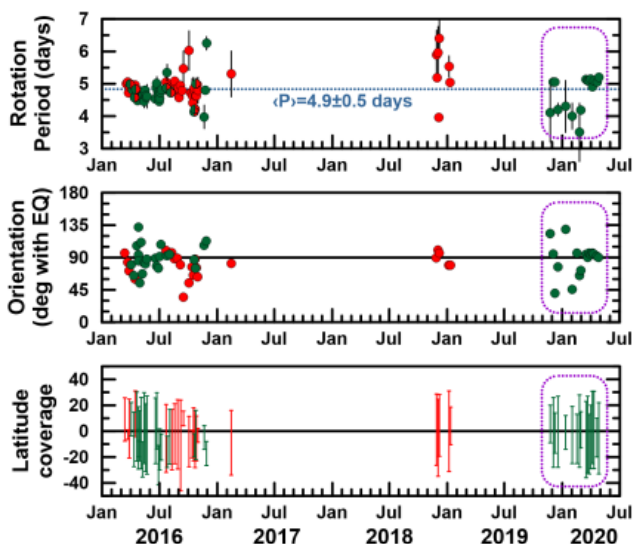


Εικόνα 3. Οι ζωνικές ταχύτητες της νεφικής ασυνέχειας (ΝΑ) κατά τον Μάρτιο του 2020 (κουκκίδες) σε σύγκριση με τον μέσο όρο κατά ζώνη προφίλ (zonal profile) του ανέμου των ζωνών για την κορυφή των άνω νεφών στα ~70 χλμ. (ιώδης γραμμή) και των μεσαίων νεφών σε απόσταση 50–55 χλμ. [6] (κόκκινη γραμμή). Οι ταχύτητες της ασυνέχειας και οι άνεμοι στις κορυφές των νεφών λήφθηκαν από επίγειες εικόνες

κοντά στο υπέρυθρο και εικόνες του Akatsuki/UVI 365 nm αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις που ταιριάζουν με τα συμβάντα της NA: 11, 16, 21, 26 και 31 Μαρτίου 2020. Για τους ανέμους στα μεσαία νέφη, εξετάσαμε το προφίλ που λήφθηκε από τον Peralta et al. [6] κατά τη διάρκεια του 2016. Ως αποτέλεσμα της κακής σε ποιότητα ανάλυσης σε μεγαλύτερα Αφροδιτογραφικά πλάτη, τα διανύσματα ταχύτητας είχαν μεγαλύτερα σφάλματα (της τάξης των  $\pm 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  για  $\Delta t \sim 6 \text{ h}$  και  $\pm 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  για  $\Delta t \sim 5$  γήινες ημέρες (TD)).

### 3.3. Μακροπρόθεσμη εξέλιξη

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει την περίοδο περιστροφής, τον προσανατολισμό και την κάλυψη του Αφροδιτογραφικού πλάτους της ασυνέχειας κατά τα έτη 2016-2020 από εικόνες της Αφροδίτης που λήφθηκαν από την διαστημοσυσκευή Akatsuki [9], επίγειες παρατηρήσεις από το υπέρυθρο τηλεσκόπιο IRTF της NASA [9] και τα ερασιτεχνικά τηλεσκόπια (σε αυτή την εργασία). Όσον αφορά την περίοδο περιστροφής της NA, υπολογίσαμε μια περίοδο  $4,8 \pm 0,2$  ημέρες, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ζωνική ταχύτητα ( $92,1 \pm 4,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) από 17 NA γεγονότα που τεκμηριώνονται σε αυτήν την εργασία (βλ. Πίνακα 2), ενώ η μέση περίοδος περιστροφής σε σχέση με τα πλήρη δεδομένα από το 2016 έως το 2020 μπορεί να επικαιροποιηθεί σε  $4,9 \pm 0,5$  ημέρες, όπως εκτιμάται από τον Peralta et al. [9]. Η ασυνέχεια παρουσίασε αξιοσημείωτες διακυμάνσεις στον προσανατολισμό της μεταξύ του Νοεμβρίου 2019 και Φεβρουαρίου 2020, με προφανή τάση διατήρησης προσανατολισμού κάθετα στον ισημερινό από τον Μάρτιο έως τον Απρίλιο του 2020. Δεδομένου ότι τα κύματα βαρύτητας υπόκεινται σε διάθλαση καθώς διαδίδονται, λόγω της διαφορετικής δομής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας του υποβάθρου και των ανέμων [40], αυτές οι αλλαγές στον προσανατολισμό της ασυνέχειας να μπορούν ίσως να αποδοθούν σε μια ελαφρά ατμοσφαιρική διάθλαση, της οποίας τα στοιχεία θα έπρεπε να διερευνηθούν σε μελλοντικές εργασίες. Τέλος, τα συμβάντα NA που αναφέρονται σε αυτή την εργασία επιβεβαιώνουν την ημισφαιρική ασυμμετρία της ασυνέχειας που αναφέρθηκε προηγουμένως από τον Peralta et al. [9].



Εικόνα 4. Η μακροπρόθεσμη εξέλιξη των ιδιοτήτων της NA. Συνδυασμός των προηγούμενων (2016–2018) με τις παρούσες μετρήσεις (2019–2020) (σημειώνονται με μωβ περίγραμμα). Εμφανίζονται η περίοδος περιστροφής, ο προσανατολισμός και η κάλυψη Αφροδιτογραφικού πλάτους της διαταραχής κατά την περίοδο 2016-2020.

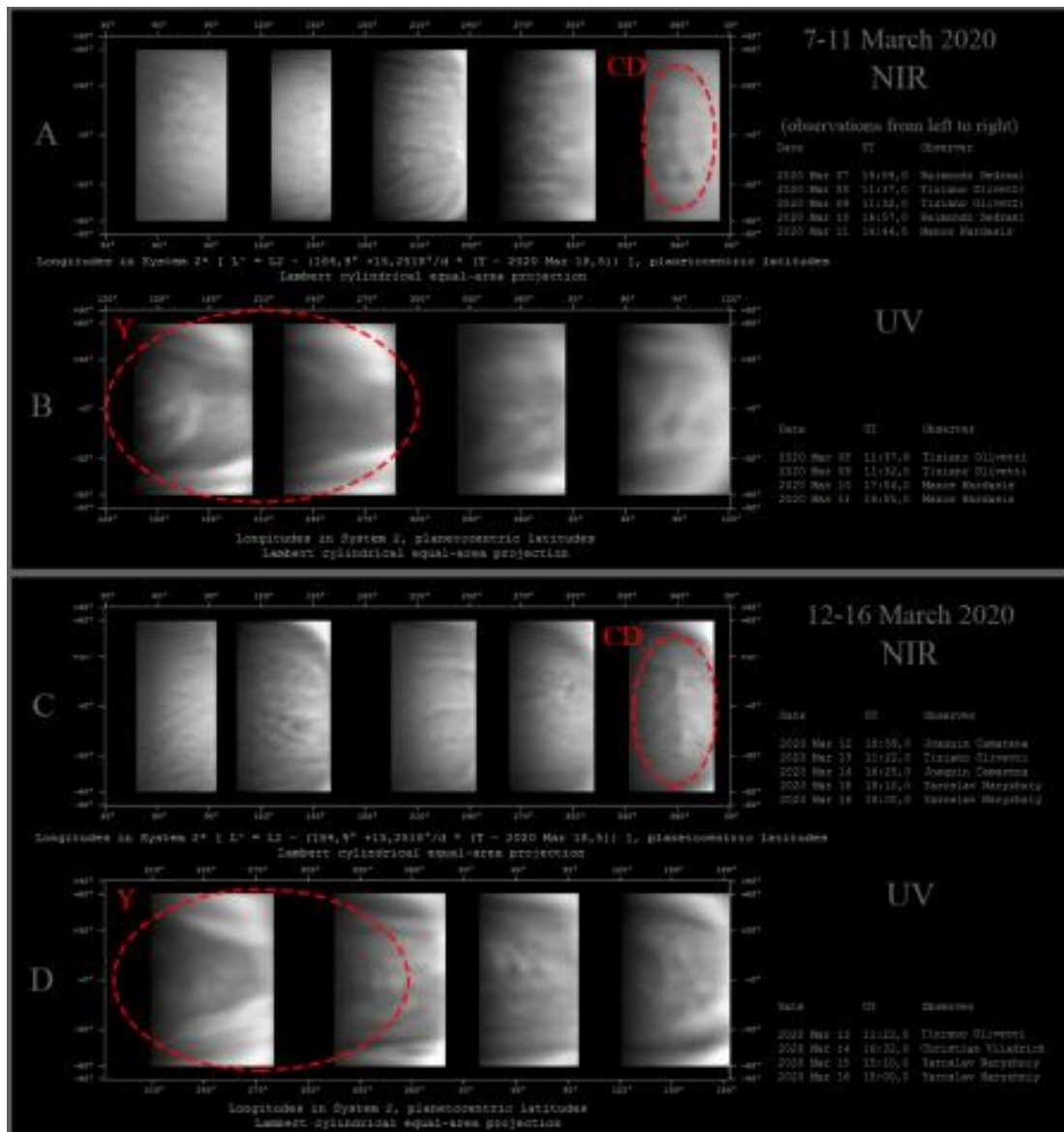
Οι περίοδοι μετρήθηκαν από τη θέση της διαταραχής στον ισημερινό σε εικόνες με χρονική διαφορά ωρών έως και αρκετών ημερών. Όταν η ΝΑ δεν τέμνει τον ισημερινό, θεωρήσαμε το Αφροδιτογραφικό μήκος της το πλησιέστερο στον ισημερινό. Η μέση περίοδος εμφανίζεται με μπλε διακεκομμένη γραμμή. Τα δεδομένα της φωτεινής και νυχτερινής πλευράς εμφανίζονται με πράσινο και κόκκινο, αντίστοιχα.

### **3.4. Οι κορυφές των νεφών κατά τη διάρκεια των ΝΑ γεγονότων του Μαρτίου 2020**

Ο χαρακτηριστικός Υ-σηματισμός είναι το πιο αξιοσημείωτο μοτίβο πλανητικής κλίμακας, το οποίο μπορεί να εντοπιστεί στις υπεριώδεις εικόνες που ανιχνεύουν την κορυφή των άνω νεφών, στην φωτεινή πλευρά της Αφροδίτης [41-44]. Κάποια από τα χαρακτηριστικά του ομοιάζουν με αυτά της νεφικής ασυνέχειας των χαμηλότερων νεφών: το χαρακτηριστικό Υ είναι ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο που υπόκειται σε κύκλους δημιουργίας και κατάρρευσης [43], εκδηλώνεται γύρω από τον ισημερινό, διαδίδεται ταχύτερα από τη μέση ζωνική ροή [44] και έχει στο παρελθόν ερμηνευτεί ως ένα κύμα τύπου Κέλβιν [11]. Από την άλλη, το χαρακτηριστικό Υ τείνει να έχει περίοδο περιστροφής περίπου 4 ημερών [26] (γενικά πιο γρήγορο από την ασυνέχεια, βλέπε Εικόνα 4), μπορεί να επεκταθεί σε μεγαλύτερα Αφροδιτογραφικά πλάτη [11,43] και δεν έχει ποτέ αναφερθεί σε παρατηρήσεις με υψόμετρο κάτω από την κορυφή των νεφών [6,45], που συνάδει με την ιδέα ότι το χαρακτηριστικό Υ μπορεί να είναι παγιδευμένο κατακόρυφα [11].

Οι εικόνες 5 και 6 παρουσιάζουν μια σύγκριση μεταξύ της μορφολογίας των ανώτερων νεφών (εικόνες UV) με τα μεσαία νέφη (εικόνες NIR) κατά τη διάρκεια ορισμένων από τις εμφανίσεις ΝΑ που συνέβησαν τον Μάρτιο του 2020. Ο κύκλος της ασυνέχειας στα μεσαία νέφη της φωτεινής πλευράς έρχεται να συγκριθεί με αυτόν του χαρακτηριστικού Υ στις κορυφές των νεφών στο Σχήμα 5, χρησιμοποιώντας εικόνες NIR και UV που έγιναν από επίγειους παρατηρητές και χρονικές συνθέσεις παρόμοιες με αυτές που δημοσιεύτηκαν από τον Sánchez-Lavega et al. [19]. Κατά τη σύγκριση των κύκλων 7–11 Μαρτίου και 12–16 Μαρτίου 2020, παρατηρούμε ότι η θέση της απότομης, κατακόρυφης, με μορφή ράβδου ΝΑ (εμφανής σε εικόνες NIR) δεν φαίνεται να συνδέεται με τη διάδοση του χαρακτηριστικού Υ σε εικόνες UV ή σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο μοτίβο νεφών στον κύκλο του. Οι συνθέσεις εμφανίζουν επίσης μία προφανή υστέρηση φάσης μεταξύ των δύο φαινομένων, υποστηρίζοντας ότι μπορεί να παρατηρούμε ανεξάρτητα κύματα που διαδίδονται σε διαφορετικά κατακόρυφα επίπεδα.

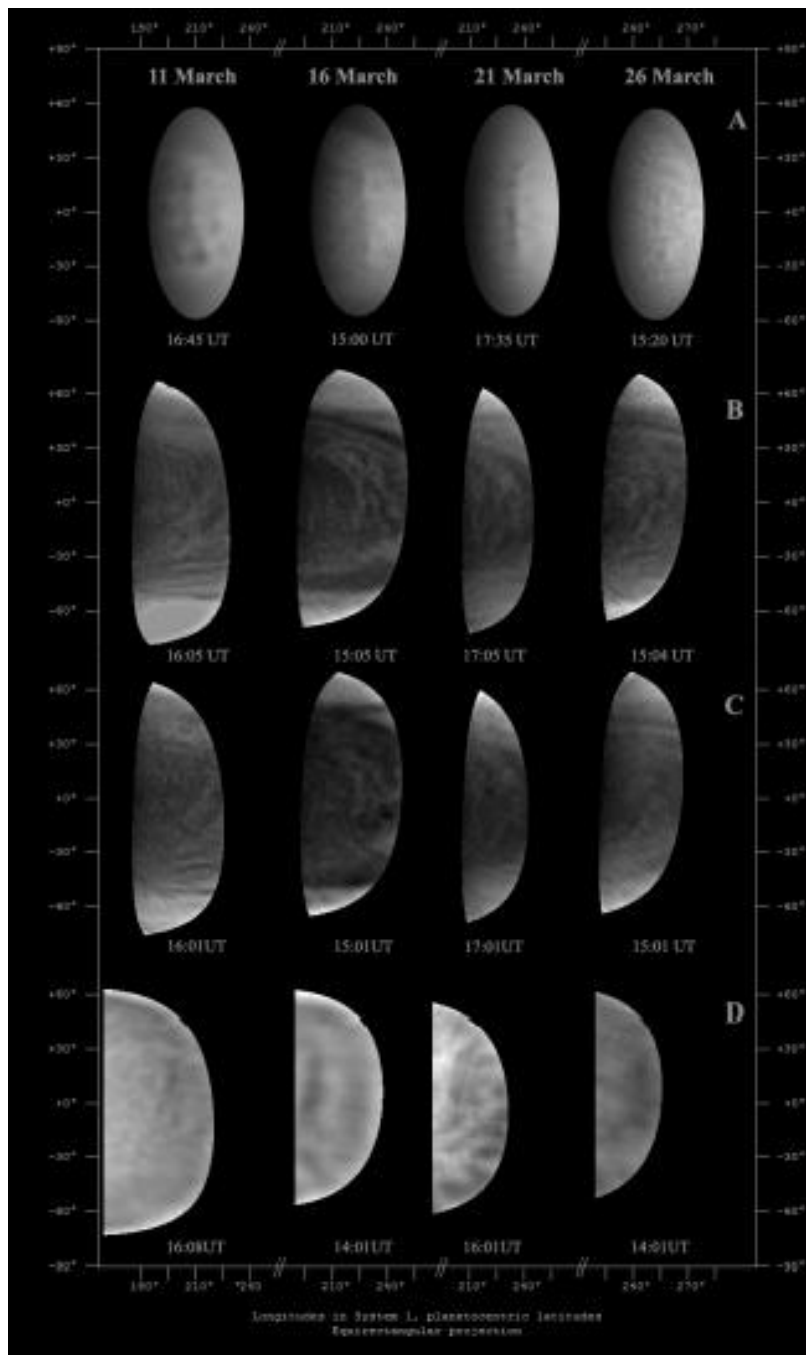




Εικόνα 5. Σύγκριση μεταξύ ταυτόχρονων ερασιτεχνικών χαρτών NIR που δείχνουν τη θέση της NA τις ημέρες που παρατηρήθηκαν σε σχέση με το χαρακτηριστικό σχηματισμό Y (σημειωμένο εντός του κόκκινου οβάλ). Οι χάρτες NIR μεταξύ 7–11 Μαρτίου 2020 (A) και 12–16 Μαρτίου 2020 (C) από ερασιτεχνικές παρατηρήσεις σε σύγκριση με ερασιτεχνικούς χάρτες UV που παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό Y σχηματισμό στις 8 Μαρτίου 2020 έως 11 Μαρτίου 2020 (B) και 13 Μαρτίου 2020 έως 16 Μαρτίου 2020 (D). Οι χάρτες NIR και UV δημιουργήθηκαν παίρνοντας ως εικόνες αναφοράς τις ταυτόχρονες παρατηρήσεις και στα δύο μήκη κύματος όταν παρατηρήθηκε η NA.

Η απεικόνιση της κάμερας Akatsuki/UVI της κορυφής των νεφών παρέχει υψηλότερη ανάλυση για λεπτομερή μελέτη μεμονωμένων χαρακτηριστικών και μοτίβων νέφρων που δεν μπορούν να παρατηρηθούν με επίγεια τηλεσκόπια. Στην πραγματικότητα, η UVI κάμερα επιτρέπει την παρατήρηση της Αφροδίτης με δύο φίλτρα: 283 nm όπου φαίνεται η απορρόφηση του SO<sub>2</sub> και 365 nm για να παρατηρηθεί η απορρόφηση από άγνωστο (μέχρι στιγμής) στοιχείο απορρόφησης [30]. Η εικόνα 6 παρουσιάζει αντιπροσωπευτικά δείγματα των ανώτερων νεφών σε εικόνες που έχουν ληφθεί πολύ κοντά, χρονικά, με τα ερασιτεχνικά δεδομένα NIR και καλύπτει την ακριβή περιοχή των παρατηρήσεων της NA τον Μάρτιο του 2020.

Η αιχμηρή κατακόρυφη μορφή της ΝΑ (Εικόνα 6Α) λόγω παραλλαγών του οπτικού πάχους του μεσαίου νέφους επίσης απουσιάζει σε δεδομένα υψηλής ποιότητας UV (Εικόνα 6Β, Γ), επιβεβαιώνοντας προηγούμενα ευρήματα από τον Peralta et al. [9] και υποστηρίζοντας την ιδέα ότι το κρίσιμο ύψος όπου η ΝΑ διαχέεται θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των μεσαίων και άνω νεφών της κορυφής των νεφών (βλ. Εικόνα 3).



Εικόνα 6. Ταυτόχρονες ομάδες ερασιτεχνικών παρατηρήσεων NIR (~700–1000 nm) όπου η νεφική ασυνέχεια παρατηρείται (Α), ταυτόχρονα με τις λήψεις από την κάμερα Akatsuki/UVI στα 365 nm (Β), με UVI στα 285 nm (C) και με LIR στα 10 μm (Δ) εκεί όπου η νεφική ασυνέχεια φαίνεται να απουσιάζει.



### 3.5. Θερμική εκπομπή από τα ανώτερα νέφη κατά τη διάρκεια των γεγονότων NA τον Μάρτιο του 2020

Μεγάλα ακίνητα κύματα βαρύτητας εμφανίζονται κυρίως πάνω από τέσσερις συγκεκριμένες ορεινές περιοχές με χαμηλά Αφροδιτογραφικά πλάτη, ειδικά όταν αυτές οι περιοχές είναι στο τοπικό απόγευμα [27]. Ο ακριβής μηχανισμός για τη δημιουργία αυτών των στατικών κυμάτων στην κορυφή του νέφους είναι ακόμη ασαφής, αν και υπάρχει μια γενική άποψη ότι πρόκειται για κύματα Lee που προκαλούνται στην επιφάνεια της Αφροδίτης (στάσιμα κύματα στην ατμόσφαιρα, που συμβαίνουν όπου οι άνεμοι συναντούν εμπόδια, όπως ψηλά βουνά: [12,28,46-48]). Αυτά τα πλανητικής κλίμακας κύματα τείνουν να είναι ευθυγραμμισμένα σχεδόν στην κατεύθυνση βορρά-νότου, με ελαφριά καμπυλότητα και παρουσιάζουν ομοιότητες σιλουέτας με την νεφική ασυνέχεια NA.

Τον Μάρτιο του 2020, η κάμερα Akatsuki/LIR εμφανίζει καθαρά ακίνητα κύματα στις εικόνες θερμικής ακτινοβολίας που λήφθηκαν κατά τις 11–16 και 21 Μαρτίου 2020. Τα μέτωπα των κυμάτων βρίσκονταν πάνω από την Alta Regio, σχεδόν ευθυγραμμισμένα με κατεύθυνση βορρά-νότου και εκτείνονται σε αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα.

Δεν ήταν ορατά στις 26 και 31 Μαρτίου 2020. Στην εικόνα 6D, η ασυνέχεια δεν είναι εμφανής στις εικόνες LIR που λαμβάνονται σχεδόν ταυτόχρονα με τα γεγονότα NA, ενώ η εικόνα LIR που έγινε στις 26 Μαρτίου 2020 δεν καλύπτει την περιοχή όπου η NA παρατηρήθηκε στα μεσαία νέφη με επίγειες παρατηρήσεις (Εικόνα 6A). Εφόσον το ανιχνεύσιμο ύψος της LIR εκτείνεται σε απόσταση περίπου 50–60 χλμ. πάνω από την επιφάνεια [31], το φίλτρο LIR μπορεί επίσης να είναι (μερικώς) ευαίσθητο στη θερμική εκπομπή από τα μεσαία νέφη (50,5–56,5 χλμ.). Υπό αυτή την έννοια, η απουσία της NA στις εικόνες LIR μπορεί να παρέχει νέες ενδείξεις για να περιοριστεί καλύτερα το εύρος υψομέτρου της κρίσιμης θέσης \επίπεδου του κύματος Kelvin που ερμηνεύεται ότι είναι υπεύθυνο για την NA.

## 4. Επίλογος

Σε αυτή την εργασία αναφέρουμε την επανεμφάνιση της ισημερινής ασυνέχειας στα μεσαία νέφη της φωτειζόμενης πλευράς της Αφροδίτης [9], που είναι ένα ατμοσφαιρικό κύμα πλανητικής κλίμακας σε σύγκριση με άλλα πλανητικά φαινόμενα όπως το χαρακτηριστικό Y [11] και το γιγάντιο, ακίνητο, σε σχήμα τόξου κύμα βαρύτητας [12]. Μελετήσαμε τη μορφολογία, την εξέλιξη και τις ιδιότητες των περισσότερων σημαντικών γεγονότων στην ανατολική αποχή της Αφροδίτης το 2019/2020, συνδυάζοντας τόσο NIR όσο και UV δεδομένα από επίγειες ερασιτεχνικές παρατηρήσεις και παρατηρήσεις της διαστημοσυσκευής Akatsuki.

Το πιο έντονο συμβάν σημειώθηκε τον Μάρτιο του 2020, το οποίο ήταν ορατό στις εικόνες NIR ως μια σκοτεινή, κάθετη ράβδωση ακολουθούμενη από μια φωτεινή ράβδωση. Γενικά, τα συμβάντα NA εκτείνονται περίπου 20° πάνω και κάτω από τον ισημερινό, εμφανίζοντας ένα μεταβλητό μήκος (3300–6500 χλμ.) με πλάτη στην περιοχή ~300–1100 χλμ. (με μέσο όρο 600 χλμ.). Αν και ο προσανατολισμός εμφανίζει αξιοσημείωτες διακυμάνσεις, είναι κυρίως κάθετος στο ισημερινό επίπεδο. Συνολικά, υπολογίσαμε τη μέση περίοδο περιστροφής από όλα τα συμβάντα NA να είναι ~4,9 ημέρες με μέση ταχύτητα ανέμου ~ 92,1 m · s<sup>-1</sup>, το οποίο είναι συνεπές με τον Peralta et al. [9]. Επιβεβαιώνουμε επίσης ότι η μορφολογία της NA είναι συχνά ημισφαιρικά ασύμμετρα [9].

Γενικά, οι ταχύτητες που λάβαμε είναι υψηλότερες/χαμηλότερες σε σύγκριση με τον μέσο όρο ταχυτήτων ζώνης των μεσαίων/ανώτερων νεφών που εντοπίστηκαν από το Akatsuki το 2016/2020. Σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις της διαστημοσυσκευής, συμπεραίνουμε ότι η ΝΑ είναι ένα φαινόμενο που περιορίζεται στα μεσαία νέφη της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης. Όταν συνδυάζουμε ερασιτεχνικές εικόνες εδάφους με τις απεικονίσεις του Akatsuki σε UV και LIR, δεν βρίσκουμε άμεση σχέση μεταξύ της ΝΑ στη μέση και τα φαινόμενα στα ανώτερα νέφη (όπως το χαρακτηριστικό Υ ή τα κύματα βαρύτητας σε σχήμα τόξου). Επιπροσθέτως, οι εμφανείς υστερήσεις φάσης μεταξύ αυτών των φαινομένων υποδηλώνουν ένα σενάριο με ανεξάρτητα κύματα, που διαδίδονται σε διαφορετικά κατακόρυφα επίπεδα. Τα αποτελέσματά μας περαιτέρω υποστηρίζουν ότι η ΝΑ διαχέεται κατά την κατακόρυφη διάδοσή της, με την κρίσιμη θέση να βρίσκεται μεταξύ των μεσαίων και ανώτερων νεφών.

Με την τρέχουσα εργασία, στοχεύουμε να συμβάλουμε περαιτέρω στον χαρακτηρισμό αυτού του φαινομένου και στην ανάδειξη της σημασίας της συνεισφοράς των ερασιτεχνών αστρονόμων. Οι ερασιτεχνικές παρατηρήσεις μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο ειδικά όταν χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά με επαγγελματικές. Επιπλέον, η συστηματική παρακολούθηση από ερασιτέχνες μπορεί να εμπνεύσει και, φυσικά, να υποστηρίξει συντονισμένες εκστρατείες παρατήρησης, όπως οι επόμενες εκστρατείες παρατηρήσεων σε συντονισμό με το Akatsuki (<http://rvol2.ehu.eus/bc/Venus/>, πρόσβαση στις 15 Φεβρουαρίου 2021) τα κοντινά περάσματα από την Αφροδίτη του PARKER της NASA [49] στις 21 Αυγούστου 2023 και στις 6 Νοεμβρίου 2024. Η συνεργασία επαγγελματιών-ερασιτεχνών αστρονόμων αποτελεί ανεκτίμητη συνεισφορά στην βαθύτερη κατανόηση της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης.

## Ευχαριστίες

Είμαστε ευγνώμονες για την υποστήριξη από όλα τα μέλη της αποστολής Akatsuki. Είμαστε επίσης ευγνώμονες σε πολλούς ερασιτέχνες παρατηρητές που παρατήρησαν εντατικά την Αφροδίτη κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου που εξετάσαμε και μας παρέιχαν δεδομένα για την έρευνα αυτή. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον παρατηρητή Raimondo Sedrani για τη χρήση μερικών από τις παρατηρήσεις του. Ο Ε.Κ. θα ήθελε να εκφράσει τις ιδιαίτερες ευχαριστίες του στον Grisha Hahn, προγραμματιστή-δημιουργό του λογισμικού WinJupos για την παροχή βοήθειας και τις συμβουλές για τη σωστή χρήση του. Συμπληρωματικά, ο Ε.Κ. θα ήθελε να αναγνωριστεί η συνεχής υποστήριξη της συζύγου του, Δήμητρας.

Οι συγγραφείς ευχαριστούν της Ισπανική Αστρονομική Εταιρεία (Spanish Society of Astronomy) για την βράβευση της παρούσας εργασίας με το «Βραβείο Javier Gorosabel για τη συνεργασία Επαγγελματιών-Ερασιτεχνών στην Αστροφυσική» σε ειδική τελετή στις 8 Σεπτεμβρίου 2022 στην Τενερίφη.

## Αναφορές

- [1] Titov, D.V.; Ignatiev, N.I.; McGouldrick, K.; Wilquet, V.; Wilson, C.F. Clouds and Hazes of Venus. *Space Sci. Rev.* 2018, 214, 126.
- [2] Sánchez-Lavega, A.; Lebonnois, S.; Imamura, T.; Read, P.; Luz, D. The Atmospheric Dynamics of Venus. *Space Sci. Rev.* 2017, 212, 1541–1616.

- [3] Wright, W.H. Photographs of Venus made by Infra-red and by Violet Light. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 1927, 39, 220.
- [4] Ross, F.E. Photographs of Venus. *Astrophys. J.* 1928, 68, 57.
- [5] Pérez-Hoyos, S.; Sánchez-Lavega, A.; García-Muñoz, A.; Irwin, P.G.J.; Peralta, J.; Holsclaw, G.; McClintock, W.M.; Sanz-Requena, J.F. Venus Upper Clouds and the UV Absorber From MESSENGER/MASCS Observations. *J. Geophys. Res. (Planets)* 2018, 123, 145–162.
- [6] Peralta, J.; Iwagami, N.; Sánchez-Lavega, A.; Lee, Y.J.; Hueso, R.; Narita, M.; Imamura, T.; Miles, P.; Wesley, A.; Kardasis, E.; et al. Morphology and Dynamics of Venus's Middle Clouds With Akatsuki/IR1. *Geophys. Res. Lett.* 2019, 46, 2399–2407.
- [7] Limaye, S.S.; Watanabe, S.; Yamazaki, A.; Yamada, M.; Satoh, T.; Sato, T.M.; Nakamura, M.; Taguchi, M.; Fukuhara, T.; Imamura, T.; et al. Venus looks different at different wavelengths: Morphology from Akatsuki multispectral images. *Earth Planets Space* 2018, 70, 38.
- [8] McGouldrick, K.; Momary, T.W.; Baines, K.H.; Grinspoon, D.H. Quantification of middle and lower cloud variability and mesoscale dynamics from Venus Express/VIRTIS observations at 1.74  $\mu\text{m}$ . *Icarus* 2012, 217, 615–628. [CrossRef]
- [9] Peralta, J.; Navarro, T.; Vun, C.W.; Sánchez-Lavega, A.; McGouldrick, K.; Horinouchi, T.; Imamura, T.; Hueso, R.; Boyd, J.P.; Schubert, G.; et al. A Long-Lived Sharp Disruption on the Lower Clouds of Venus. *Geophys. Res. Lett.* 2020, 47, e87221.
- [10] Horinouchi, T.; Kouyama, T.; Lee, Y.J.; Murakami, S.Y.; Ogohara, K.; Takagi, M.; Imamura, T.; Nakajima, K.; Peralta, J.; Yamazaki, A.; et al. Mean winds at the cloud top of Venus obtained from two-wavelength UV imaging by Akatsuki. *Earth Planets Space* 2018, 70, 10.
- [11] Peralta, J.; Sánchez-Lavega, A.; López-Valverde, M.A.; Luz, D.; Machado, P. Venus's major cloud feature as an equatorially trapped wave distorted by the wind. *Geophys. Res. Lett.* 2015, 42, 705–711. *Atmosphere* 2022, 13, 348 18 of 19
- [12] Fukuhara, T.; Futaguchi, M.; Hashimoto, G.L.; Horinouchi, T.; Imamura, T.; Iwagami, N.; Kouyama, T.; Murakami, S.Y.; Nakamura, M.; Ogohara, K.; et al. Large stationary gravity wave in the atmosphere of Venus. *Nat. Geosci.* 2017, 10, 85–88.
- [13] Horinouchi, T.; Hayashi, Y.Y.; Watanabe, S.; Yamada, M.; Yamazaki, A.; Kouyama, T.; Taguchi, M.; Fukuhara, T.; Takagi, M.; Ogohara, K.; et al. How waves and turbulence maintain the super-rotation of Venus' atmosphere. *Science* 2020, 368, 405–409.
- [14] McGouldrick, K.; Peralta, J.; Barstow, J.K.; Tsang, C.C.C. Using VIRTIS on Venus Express to Constrain the Properties of the Giant Dark Cloud Observed in Images of Venus by IR2 on Akatsuki. *Planet. Sci. J.* 2021, 2, 153.
- [15] Schubert, G. General circulation and the dynamical state of the Venus atmosphere. In *Venus*; Hunten, D.M., Colin, L., Donahue, T.M., Moroz, V.I., Eds.; University of Arizona Press: Tucson, AZ, USA, 1983; pp. 681–765.
- [16] Iwagami, N.; Sakanoi, T.; Hashimoto, G.L.; Sawai, K.; Ohtsuki, S.; Takagi, S.; Uemizu, K.; Ueno, M.; Kameda, S.; Murakami, S.Y.; et al. Initial products of Akatsuki 1- $\mu\text{m}$  camera. *Earth Planets Space* 2018, 70, 6.
- [17] Nakamura, M.; Imamura, T.; Ishii, N.; Abe, T.; Kawakatsu, Y.; Hirose, C.; Satoh, T.; Suzuki, M.; Ueno, M.; Yamazaki, A.; et al. AKATSUKI returns to Venus. *Earth Planets Space* 2016, 68, 1–10.
- [18] Sato, T. A Brief History of ALPO-Japan. *J. Assoc. Lunar Planet. Obs. Stroll. Astron.* 2018, 60, 20–21.
- [19] Sánchez-Lavega, A.; Peralta, J.; Gomez-Forrellad, J.M.; Hueso, R.; Pérez-Hoyos, S.; Mendikoa, I.; Rojas, J.F.; Horinouchi, T.; Lee, Y.J.; Watanabe, S. Venus Cloud Morphology and Motions from Ground-based Images at the Time of the Akatsuki Orbit Insertion. *Astrophys. J. Lett.* 2016, 833, L7.

[20] Farsiu, S.; Robinson, M.D.; Elad, M.; Milanfar, P. Fast and Robust Multiframe Super Resolution. *IEEE Trans. Image Process.* 2004,13, 1327–1344.

[21] Law, N.M.; Mackay, C.D.; Baldwin, J.E. Lucky imaging: High angular resolution imaging in the visible from the ground. *Astron.Astrophys.* 2006, 446, 739–745.

[22] Berrevoets, C.; DeClerq, B.; George, T.; Makolkin, D.; Maxson, P.; Pilz, B.; Presnyakov, P.; Roel, E.; Weiller, S. RegiStax: Alignment, stacking and processing of images. *arXiv* 2012, *arXiv:1206.001*.

[23] Kardasis, E.; Rogers, J.H.; Orton, G.; Delcroix, M.; Christou, A.; Foulkes, M.; Yanamandra-Fisher, P.; Jacquesson, M.; Maravelias, G. The need for professional-amateur collaboration in studies of Jupiter and Saturn. *J. Br. Astron. Assoc.* 2016, 126, 29–39.

[24] Hahn, G.; Jacquesson, M. WinJUPOS-Database for Object Positions on Planets and the Sun. Available online: <http://jupos.privat.t-online.de> (accessed on 15 February 2021).

[25] Murakami, S.; Yamamoto, Y.; McGouldrick, K.; Hashimoto, G.L.; Yamada, M.; Yamazaki, A.; Sato, T.M.; Hirata, N.; Ohtsuki, S.; Kameda, S.; et al. Venus Climate Orbiter Akatsuki Dataset Collection. In *JAXA Data Archives and Transmission System*; Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency: Tokyo, Japan, 2019.

[26] Imai, M.; Kouyama, T.; Takahashi, Y.; Yamazaki, A.; Watanabe, S.; Yamada, M.; Imamura, T.; Satoh, T.; Nakamura, M.; Murakami, S.Y.; et al. Planetary-Scale Variations in Winds and UV Brightness at the Venusian Cloud Top: Periodicity and Temporal Evolution. *J. Geophys. Res. Planets* 2019, 124, 2635–2659. Available online: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2019JE006065> (accessed on 15 February 2021).

[27] Kouyama, T.; Imamura, T.; Taguchi, M.; Fukuhara, T.; Sato, T.M.; Yamazaki, A.; Futaguchi, M.; Murakami, S.; Hashimoto, G.L.; Ueno, M.; et al. Topographical and Local Time Dependence of Large Stationary Gravity Waves Observed at the Cloud Top of Venus. *Geophys. Res. Lett.* 2017, 44, 12098–12105.

[28] Peralta, J.; Hueso, R.; Sánchez-Lavega, A.; Lee, Y.J.; Muñoz, A.G.; Kouyama, T.; Sagawa, H.; Sato, T.M.; Piccioni, G.; Tellmann, S.; et al. Stationary waves and slowly moving features in the night upper clouds of Venus. *Nat. Astron.* 2017, 1, 0187.

[29] Fukuhara, T.; Taguchi, M.; Imamura, T.; Nakamura, M.; Ueno, M.; Suzuki, M.; Iwagami, N.; Sato, M.; Mitsuyama, K.; Hashimoto, G.L.; et al. LIR: Longwave Infrared Camera onboard the Venus orbiter Akatsuki. *Earth Planets Space* 2011, 63, 1009–1018.

[30] Yamazaki, A.; Yamada, M.; Lee, Y.J.; Watanabe, S.; Horinouchi, T.; Murakami, S.; Kouyama, T.; Ogohara, K.; Imamura, T.; Sato, T.M.; et al. Ultraviolet imager on Venus orbiter Akatsuki and its initial results. *Earth Planets Space* 2018, 70, 23.

[31] Taguchi, M.; Fukuhara, T.; Imamura, T.; Nakamura, M.; Iwagami, N.; Ueno, M.; Suzuki, M.; Hashimoto, G.L.; Mitsuyama, K. Longwave Infrared Camera onboard the Venus Climate Orbiter. *Adv. Space Res.* 2007, 40, 861–868. [CrossRef]

[32] Murakami, S.; Yamada, M.; Yamazaki, A.; McGouldrick, K.; Yamamoto, Y. Venus Climate Orbiter Akatsuki UVI Calibrated Data v1.0; VCO-V-UVI-3-CDR-V1.0, NASA Planetary Data System. 2017. Available online: <https://darts.isas.jaxa.jp/doi/vco/vco-00003.html> (accessed on 15 February 2021).

[33] Murakami, S.; Ogohara, K.; Takagi, M.; Kashimura, H.; Yamada, M.; Kouyama, T.; Horinouchi, T.; Imamura, T. Venus Climate Orbiter Akatsuki UVI Longitude-Latitude Map Data v1.0; JAXA Data Archives and Transmission System. 2018. Available online: <https://darts.isas.jaxa.jp/doi/vco/vco-00016.html> (accessed on 15 February 2021).

- [34] Murakami, S.; Yamada, M.; Yamazaki, A.; McGouldrick, K.; Yamamoto, Y. Venus Climate Orbiter Akatsuki LIR Calibrated Data v1.0; VCO-V-LIR-3-CDR-V1.0, NASA Planetary Data System. 2017. Available online: <https://darts.isas.jaxa.jp/doi/vco/vco-00012.html> (accessed on 15 February 2021).
- [35] Murakami, S.; Ogohara, K.; Takagi, M.; Kashimura, H.; Yamada, M.; Kouyama, T.; Horinouchi, T.; Imamura, T. Venus Climate Orbiter Akatsuki LIR Longitude-Latitude Map Data v1.0; JAXA Data Archives and Transmission System. 2018. Available online: <https://darts.isas.jaxa.jp/doi/vco/vco-00019.html> (accessed on 15 February 2021). *Atmosphere* 2022, 13, 348 19 of 19
- [36] Lee, Y.J.; Yamazaki, A.; Imamura, T.; Yamada, M.; Watanabe, S.; Sato, T.M.; Ogohara, K.; Hashimoto, G.L.; Murakami, S. Scattering Properties of the Venusian Clouds Observed by the UV Imager on board Akatsuki. *Astron. J.* 2017, 154, 44.
- [37] Gonçalves, R.; Machado, P.; Widemann, T.; Peralta, J.; Watanabe, S.; Yamazaki, A.; Satoh, T.; Takagi, M.; Ogohara, K.; Lee, Y.J.; et al. Venus' cloud top wind study: Coordinated Akatsuki/UVI with cloud tracking and TNG/HARPS-N with Doppler velocimetry observations. *Icarus* 2020, 335, 113418.
- [38] Peralta, J.; Muto, K.; Hueso, R.; Horinouchi, T.; Sánchez-Lavega, A.; Murakami, S.Y.; Machado, P.; Young, E.F.; Lee, Y.J.; Kouyama, T.; et al. Nightside Winds at the Lower Clouds of Venus with Akatsuki/IR2: Longitudinal, local time and decadal variations from comparison with previous measurements. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2018, 239, 17.
- [39] Peralta, J.; Sánchez-Lavega, A.; Horinouchi, T.; McGouldrick, K.; Garate-Lopez, I.; Young, E.F.; Bullock, M.A.; Lee, Y.J.; Imamura, T.; Satoh, T.; et al. New cloud morphologies discovered on the Venus's night during Akatsuki. *Icarus* 2019, 333, 177–182.
- [40] Heale, C.J.; Snively, J.B. Gravity wave propagation through a vertically and horizontally inhomogeneous background wind. *J. Geoph. Res.* 2015, 120, 5931–5950.
- [41] Boyer, C.; Camichel, H. Observations photographiques de la planète Vénus. *Ann. D'Astrophysique* 1961, 24, 531.
- [42] Belton, M.J.S.; Smith, G.R.; Schubert, G.; del Genio, A.D. Cloud patterns, waves and convection in the Venus atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 1976, 33, 1394–1417.
- [43] Rossow, W.B.; del Genio, A.D.; Limaye, S.S.; Travis, L.D. Cloud morphology and motions from Pioneer Venus images. *J. Geophys. Res.* 1980, 85, 8107–8128.
- [44] Kouyama, T.; Imamura, T.; Nakamura, M.; Satoh, T.; Futaana, Y. Horizontal structure of planetary-scale waves at the cloud top of Venus deduced from Galileo SSI images with an improved cloud-tracking technique. *Planet. Space Sci.* 2012, 60, 207–216.
- [45] Belton, M.J.S.; Gierasch, P.J.; Smith, M.D.; Helfenstein, P.; Schinder, P.J.; Pollack, J.B.; Rages, K.A.; Morrison, D.; Klaasen, K.P.; Pilcher, C.B. Images from Galileo of the Venus cloud deck. *Science* 1991, 253, 1531–1536.
- [46] Navarro, T.; Schubert, G.; Lebonnois, S. Atmospheric mountain wave generation on Venus and its influence on the solid planet's rotation rate. *Nat. Geosci.* 2018, 11, 487–491.
- [47] Kitahara, T.; Imamura, T.; Sato, T.M.; Yamazaki, A.; Lee, Y.J.; Yamada, M.; Watanabe, S.; Taguchi, M.; Fukuhara, T.; Kouyama, T.; et al. Stationary Features at the Cloud Top of Venus Observed by Ultraviolet Imager Onboard Akatsuki. *J. Geophys. Res. (Planets)* 2019, 124, 1266–1281.
- [48] Lefèvre, M.; Spiga, A.; Lebonnois, S. Mesoscale modeling of Venus' bow-shape waves. *Icarus* 2020, 335, 113376.
- [49] Wood, B.E.; Hess, P.; Lustig-Yaeger, J.; Gallagher, B.; Korwan, D.; Rich, N.; Stenborg, G.; Thernisien, A.; Qadri, S.N.; Santiago, F.; et al. Parker Solar Probe Imaging of the Night Side of Venus. *Geophys. Res. Lett.* 2022, 49, e96302.