

Την **Τετάρτη 6 Ιουνίου του 2012**, θα δοθεί η ευκαιρία στους Ερασιτέχνες και Επαγγελματίες Αστρονόμους, αλλά και στους φίλους της Αστρονομίας, να παρακολουθήσουν ένα σπάνιο αστρονομικό φαινόμενο. Η μαύρη σιλουέτα του Πλανήτη **Αφροδίτη (Venus)** θα πραγματοποιήσει **Διάβαση (Transit)** κατά μήκος του Ηλιακού Δίσκου, που θα διαρκέσει $6\frac{1}{2}$ περίπου ώρες και θα είναι ορατή στο 75% της Υδρογείου.

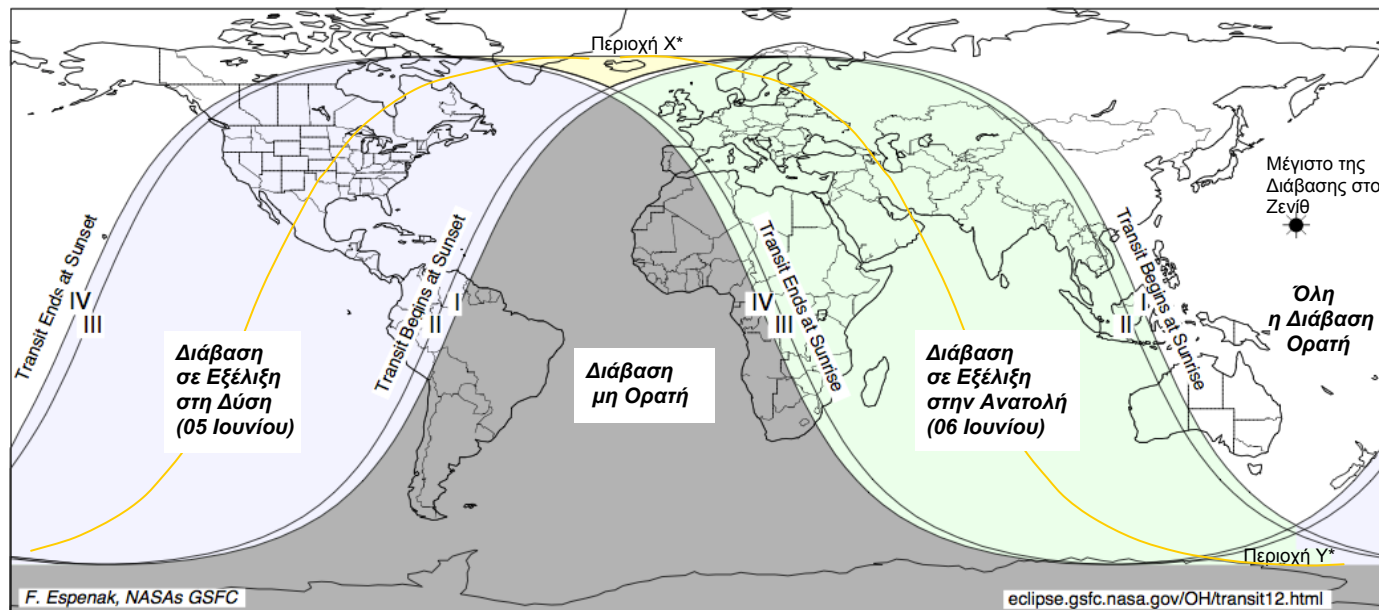
Η Διάβαση είναι παρόμοιο φαινόμενο με την Έκλειψη (Απόκρυψη) του Ηλίου από τη Σελήνη. Σε αντίθεση όμως με τη Σελήνη που κατά την Έκλειψη μπορεί να καλύψει όλο το Δίσκο του Ήλιου, η Αφροδίτη παρόλο που είναι 4 φορές μεγαλύτερη από τη Σελήνη, λόγω του ότι βρίσκεται πολύ μακρύτερα από τη Γη, μόλις που διακρίνεται σαν μια μικρή κουκίδα πάνω στο Δίσκο του Ήλιου να τον διασχίζει πάρα πολύ αργά.

Εννοείται ότι η Διάβαση θα είναι ορατή μόνο στις περιοχές της Γης που ο Ήλιος θα βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα κατά την εξέλιξη της. Επομένως, αφού η Διάβαση θα διαρκέσει $6\frac{1}{2}$ περίπου ώρες (το $\frac{1}{4}$ του 24ώρου περίπου), στο $\frac{1}{4}$ της Υδρογείου θα είναι ορατή όλη η Διάβαση, στο $\frac{1}{4}$ θα είναι ορατό μόνο το πρώτο μέρος της, στο $\frac{1}{4}$ το τελευταίο μέρος της και στο υπόλοιπο τμήμα της Υδρογείου η Διάβαση δε θα γίνει αντιληπτή. Συγκεκριμένα:

- ÷ Οι προνομιούχες περιοχές από τις οποίες μπορεί να παρατηρηθεί όλη η διάρκεια της Διάβασης είναι η Αλάσκα, ο Βόρειος Καναδάς, ο Δυτικός Ειρηνικός, η Βόρεια Ασία, η Άπω Ανατολή, η Ανατολική και Κεντρική Αυστραλία.
- ÷ Την έναρξη του φαινομένου και μέρος αυτού μέχρι τη δύση του Ήλιου θα μπορέσουν να παρατηρήσουν όσοι βρίσκονται στη Βόρειο και Κεντρική Αμερική, στη Βόρειο Λατινική Αμερική και στον Ανατολικό Ειρηνικό.
- ÷ Επίσης, μετά την ανατολή του Ήλιου την εξέλιξη του φαινομένου και το τέλος του θα μπορέσουν να παρατηρήσουν όσοι βρίσκονται στην Κεντρική Ασία, στην Ευρώπη (επομένως και στην Ελλάδα) και στην Ανατολική Αφρική.
- ÷ Τέλος, αδικημένες θα μείνουν αυτήν τη φορά η Δυτική Αφρική, η Ανατολική Λατινική Αμερική και η Νότια Λατινική Αμερική.



Η Αφροδίτη μπρος από το Δίσκο του Ήλιου μια ώρα περίπου μετά τη 2^η Επαφή, στις 06:56UT, κατά τη Διάβαση της 8^{ης} Ιουνίου του 2004, σε φωτογραφία του Δημήτρη Κολοβού.



Όσοι θα έχουν την ατυχία να χάσουν το φαινόμενο για οποιοδήποτε λόγο (π.χ υπάρχει συννεφιά ή βρίσκονται σε περιοχές που η Διάβαση δεν θα είναι ορατή), θα πρέπει να περιμένουν 105.5 χρόνια, αφού η επόμενη Διάβαση προβλέπεται να συμβεί στις 11 Δεκεμβρίου του 2117.

Η Διάβαση της 6^{ης} Ιουνίου 2012 είναι η 2^η αυτού του αιώνα και είναι η συζυγής της Διάβασης που παρατηρήθηκε στις 8 Ιουνίου του 2004, καθώς οι Διαβάσεις της Αφροδίτης που απέχουν μεταξύ τους 8 έτη αποτελούν μέλη ενός ζεύγους. Ας σημειωθεί ότι οι Διαβάσεις του ίδιου ζεύγους συμβαίνουν τον ίδιο μήνα και στις ίδιες περίπου μέρες του μήνα. Κατά την τρέχουσα περίοδο της Ιστορίας της Γης συμβαίνουν τον Ιούνιο ή το Δεκέμβριο. Επίσης, οι Εποχές των Διαβάσεων (αποτελούνται από ένα ζεύγος) απέχουν περισσότερο από έναν περίπου αιώνα.

Ο Παγκόσμιος Χάρτης χωρισμένος στις περιοχές από τις οποίες θα είναι ορατή όλη, ένα μέρος ή κανένα μέρος της Διάβασης της Αφροδίτης στις 05/06 Ιουνίου του 2012.

Στην Περιοχή X* είναι ορατή τόσο η έναρξη όσο και η λήξη της Διάβασης, αλλά γύρω στο Μέγιστο της Διάβασης μεσολαβεί η δύση του Ήλιου και μετά από λίγο ακολουθεί η ανατολή του.

Στην Περιοχή Y* δεν είναι ορατή η έναρξη και η λήξη της Διάβασης. Ο Ήλιος ανατέλλει για μια μικρή περίοδο γύρω στο Μέγιστο της Διάβασης, αλλά πολύ σύντομα δύει.

Η χρονοσειρά των Διαβάσεων παρουσιάζει κύκλο 243 ετών, μέσα στον οποίο οι διαδοχικές Διαβάσεις απέχουν κατά: 8 έτη, 121.5 έτη, 8 έτη, 105.5 έτη κ.ο.κ.

Η πρώτη παρατήρηση Διάβασης της Αφροδίτης έγινε το 1639 και από τότε έχουν συμβεί μόνον 5 Διαβάσεις. Παρά τη σπανιότητά τους, οι Διαβάσεις της Αφροδίτης έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην Ιστορία της Αστρονομίας και επέφεραν κατά το παρελθόν μεγάλες κινητοποιήσεις ακόμη και σε εθνικό επίπεδο των τότε εξελιγμένων κρατών. Για την παρατήρηση των Διαβάσεων του 1761, 1769, 1874 και του 1882, πολλές κυβερνήσεις δαπάνησαν μεγάλα χρηματικά ποσά και οργάνωσαν επιστημονικές αποστολές στα πέρατα της Γης, ώστε οι Αστρονόμοι να μπορέσουν να τις παρατηρήσουν από διαφορετικούς τόπους και να λάβουν τις κατάλληλες μετρήσεις. Η αιτία του τόσο μεγάλου ενδιαφέροντος προς αυτό το φαινόμενο, οφείλεται στο ότι μια Διάβαση της Αφροδίτης, προσέφερε μια μοναδική ευκαιρία να υπολογιστεί με κάποια καλή ακρίβεια η απόσταση της Γης από την Αφροδίτη σε χιλιόμετρα (km) και από αυτήν την απόσταση να υπολογιστεί η απόσταση Γης-Ήλιου και στη συνέχεια το μήκος της **Αστρονομικής Μονάδας (AU - Astronomical Unit)**, που οριζόταν ως το μήκος του Μεγάλου Ημιάξονα της Τροχιάς της Γης (δηλαδή, η Ακτίνα από το Κέντρο της Ελλειπτικής Τροχιάς της).

Η περιγραφή του φαινομένου

Η Διάβαση παρουσιάζει φάσεις ανάλογες με αυτές που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια των Ηλιακών Εκλείψεων από τη Σελήνη. Οι φάσεις διακρίνονται από τις **Επαφές (Contact)** του **Χείλους (Limp)** της Αφροδίτης με το Χείλος του Ήλιου καθώς και από τις αποστάσεις των κέντρων αυτών των δύο ουρανίων σωμάτων. Συγκεκριμένα:

1^η Επαφή (Contact I): Έναρξη του φαινομένου. Η Αφροδίτη πραγματοποιεί **Είσοδο (Ingress)** καθώς εφάπτεται εξωτερικά στο Δίσκο του Ήλιου. Δεν είναι όμως ακόμη ορατή, άρα είναι δύσκολο να εντοπιστεί το σημείο της Επαφής και να μετρηθεί η ακριβής χρονική στιγμή του συμβάντος. Από υπολογισμούς προκύπτει ότι στη συγκεκριμένη Διάβαση η Αφροδίτη θα βρεθεί στο **Εξωτερικό της Εισόδου (Ingress Exterior)** στο βορειοανατολικό Χείλος του Ήλιου, στις 41^ο ανατολικά από το Βορρά του (κατά σύμβαση οι γωνίες μετρούνται κατά την αντίθετη φορά της κίνησης των δεικτών το ρολογιού).

2^η Επαφή (Contact II): Ο Δίσκος της Αφροδίτης έχει ολοκληρώσει την Είσοδό του στον Ηλιακό Δίσκο. Οι δίσκοι εφάπτονται εσωτερικά. Δυστυχώς, και σε αυτήν την περίπτωση η ακριβής χρονική στιγμή της Επαφής δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί! Ο λόγος είναι η ασάφεια που προκαλεί το φαινόμενο της **Μαύρης Σταγόνας (Black Drop)**. Θα περίμενε κανείς να διακρίνει ένα σημείο Επαφής, το **Εσωτερικό της Εισόδου (Ingress Interior)**, αλλά το Χείλος της Αφροδίτης πλαταίνει και επιμηκύνεται με αποτέλεσμα να παρατηρείται εκτενέστερη επαφή και παραμόρφωση του Δίσκου της Αφροδίτης. Στη συγκεκριμένη Διάβαση ο χρόνος από την 1^η μέχρι τη 2^η Επαφή είναι περίπου 18min. Στη συνέχεια και κατά τη διάρκεια των επόμενων ωρών, η Αφροδίτη διασχίζει το Δίσκο του Ήλιου αργά αργά με ταχύτητα 4'/h και με κλίση προς τα Νότια.

Μέγιστο της Διάβασης (Greatest Transit): Το κέντρο του Δίσκου της Αφροδίτης βρίσκεται στο μέσο της διαδρομής της τόσο σε μήκος όσο και σε διάρκεια. Καθώς η Αφροδίτη κινείται πάνω σε χορδή τόξου του Ηλιακού Δίσκου, το σημείο αυτό, ως μέσο της χορδής, απέχει τη μικρότερη απόσταση από το κέντρο του Ηλιακού Δίσκου. Η απόσταση αυτή ονομάζεται **Ελάχιστος Διαχωρισμός (Minimum Separation)** και η διεύθυνσή της ως προς το Κέντρο του Ηλιακού Δίσκου μετρούμενη από το Βορρά του ονομάζεται **Γωνία Θέσης (Position Angle)**. Στη συγκεκριμένη Διάβαση ο χρόνος από την 1^η Επαφή μέχρι το Μέγιστο της Διάβασης είναι περίπου 3h και 20min, ο Ελάχιστος Διαχωρισμός είναι 554.4" και η Γωνία Θέσης είναι 345.4^ο.

3^η Επαφή (Contact III): Η αρχή της **Εξόδου (Egress)**. Ο Δίσκος της Αφροδίτης έχει βρεθεί στο άλλο άκρο της χορδής της διαδρομής της και εφάπτεται εσωτερικά στο Δίσκο του Ήλιου στο βορειοδυτικό Χείλος του. Λίγο πριν το **Εσωτερικό της Εξόδου (Egress Interior)** εμφανίζεται πάλι το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας που δυσχεραίνει για άλλη μια φορά τη διάκριση της στιγμής που συμβαίνει η επαφή και ο Πλανήτης αρχίζει να εγκαταλείπει τον Ήλιο.

4^η Επαφή (Contact IV): Ο Δίσκος της Αφροδίτης έχει ολοκληρώσει την έξοδό του και εφάπτεται εξωτερικά στο Δίσκο του Ήλιου. Η Αφροδίτη έχει χαθεί από τα μάτια των παρατηρητών. Στη συγκεκριμένη Διάβαση η Αφροδίτη θα βρεθεί στο **Εξωτερικό της Εξόδου (Egress Exterior)** στο βορειοδυτικό Χείλος του Ήλιου, στις 289^ο. Από την 1^η μέχρι την 4^η Επαφή θα έχει μεσολαβήσει χρονικό διάστημα 6h και 40min.



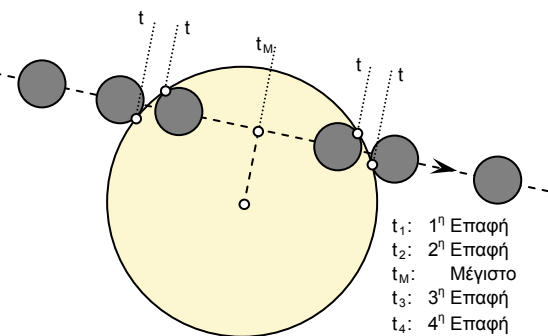
Από το 1976, για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας η Αστρονομική Μονάδα ορίζεται κάπως διαφορετικά. Ορίζεται ως η **Ακτίνα Νευτώνειας Τροχιάς Χωρίς Παρέλξεις** ενός Απειροελάχιστης Μάζας Σωματιδίου, που κινείται γύρω από τον Ήλιο με Γωνιακή Ταχύτητα 0.017 202 098 95 rad/ημέρα. Σήμερα θεωρούμε:

$$1AU = 149,597,870.7 \text{ km}$$

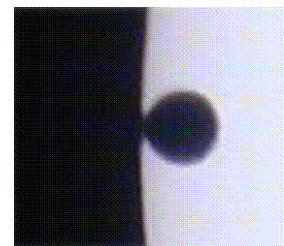
τιμή που υπολογίστηκε με την ανάκλαση ραδιοκυμάτων σε ένα πλήθος σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος (π.χ. Αστεροειδείς). Για τα σώματα αυτά είχαν εκτιμηθεί με μεγάλη ακρίβεια οι αποστάσεις σε ΑΥ και έγιναν μετρήσεις του χρόνου που χρειάζεται να φτάσει σε αυτά και να επιστρέψει στη Γη ένα ραδιοκύμα, που είναι γνωστό ότι μεταδίδεται με ταχύτητα 299,792 km/sec.



Αν γίνει παρατήρηση χρησιμοποιώντας φίλτρο Γραμμών Υδρογόνου (H α) μπορούμε να δούμε την Αφροδίτη πριν ή κατά την Επαφή, είτε μπροστά από τη Χρωμόσφαιρα του Ήλιου είτε μπροστά από μια Προεξοχή (Prominence).



Οι 4 Επαφές και το Μέγιστο κατά τη διάρκεια μιας Διάβασης. Μόνον οι στιγμές των 2 Εσωτερικών Επαφών θα ήταν δυνατόν να χρονομετρηθούν από παρατηρητή, χωρίς τη βοήθεια κλίμακας.



Το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας από φωτογραφία της Διάβασης της 8^{ης} Ιουνίου του 2004



Στις 6 Ιουνίου 2012, τη στιγμή που αρχίζει η Διάβαση, στην Αθήνα η ώρα θα είναι 01:05:07 (+3 ώρες **UT**, **Universal Time**). Καθώς αυτήν την ώρα ο Ήλιος θα βρίσκεται πολύ κάτω από τον Ορίζοντα, η έναρξη (1^η Επαφή) καθώς και μεγάλο τμήμα της Διάβασης δεν θα είναι ορατά.

Όταν στις 06:07:27 ανατείλει ο Ήλιος, το φαινόμενο θα βρίσκεται σε εξέλιξη. Η Αφροδίτη θα έχει να διανύσει το 25% της Φαινόμενης Διαδρομής της μέχρι τις 07:55:34, που θα περατωθεί η Διάβασή της. Το **Ύψος (Altitude)** του Ήλιου από τον Ορίζοντα σε όλη αυτή τη διάρκεια θα είναι μικρότερο των 20°. Η επιλογή λοιπόν του σημείου παρατήρησης πρέπει να ερευνηθεί προσεκτικά, καθώς οι ορεινοί όγκοι στα Ανατολικά της Αθήνας καλύπτουν σημαντικό τόξο του ουρανού από τον Ορίζοντα. Επίσης, οι πιθανότητες νέφωσης, ιδιαίτερα το πρωί, αυτό το μήνα είναι υπολογίσιμες και μάλιστα της τάξης του 30%. Αυτή η δυσκολία φυσικά δεν πρέπει να αποτελέσει εκ των προτέρων αποτρεπτικό παράγοντα για παρατήρηση, λόγω της μοναδικότητας του φαινομένου.

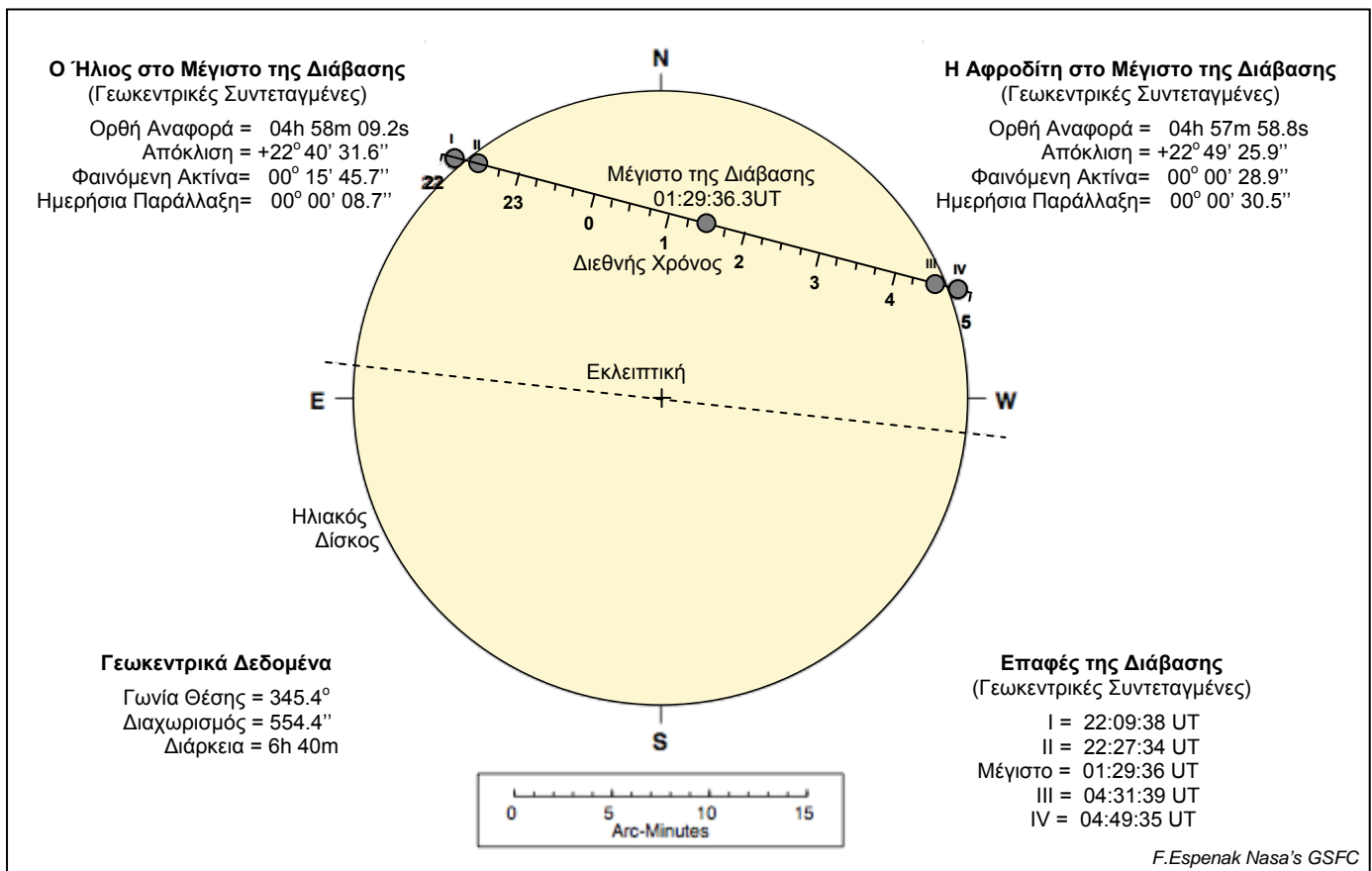


Πιθανότητα Συννεφιάς

	Ωρα	Ύψος	Αζιμούθιο	Γωνία Θέσης	Διαχωρισμός
1 ^η Επαφή	01:05:07	-29.2°	174.9°	41.1°	974.9"
2 ^η Επαφή	01:22:52	-29.4°	179.6°	39.6°	917.1"
Μέγιστο	04:31:20	-15.2°	224.1°	346.3°	534.8"
3 ^η Επαφή	07:38:02	16.3°	253.6°	291.4°	917.0"
4 ^η Επαφή	07:55:30	19.6°	256.0°	289.0°	974.8"

Οι τιμές των χαρακτηριστικών Παραμέτρων των Επαφών, όπως υπολογίζονται για την Αθήνα στις 06 Ιουνίου 2012.

Για **Υποθετικό Παρατηρητή στο κέντρο της Γης (Imaginary Geocentric Observer)** η Διάβαση θα αρχίσει στις 22:09:38UT της 5^{ης} Ιουνίου και τελειώνει στις 04:49:35UT της 6^{ης} Ιουνίου. Οι παρατηρούμενοι χρόνοι UT από Παρατηρητές στην επιφάνεια της Γης θα διαφέρουν κατά $\pm 7\text{min}$ λόγω της **Παράλλαξης (Parallax)**, καθώς ο Δίσκος της Αφροδίτης που έχει **Φαινόμενη Γωνιώδη Διάμετρο (Apparent Angular Diameter 58"**, (στο εξής ο όρος θα αναφέρεται για συντομία σαν Γωνιώδης Διάμετρος) μπορεί να παρουσιάσει μετατόπιση ακόμη και 30" μεταξύ του Γεωκεντρικού Παρατηρητή και των Παρατηρητών στην επιφάνεια της Γης.



Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η κίνηση της Αφροδίτης πάνω στον Ηλιακό Δίσκο στις (05)06/05/2012. Στην κλίμακα κατά μήκος της κίνησής της αναφέρεται ο χρόνος UT σε κάθε σημείο της Διάβασής της. Ο Ουράνιος Βορράς βρίσκεται επάνω. Οι συντεταγμένες του Ήλιου και της Αφροδίτης, καθώς και ο χρόνος στα σημεία των Επαφών και στο Μέγιστο της Διάβασης αναφέρονται σε Γεωκεντρική Παρατήρηση (παρατήρηση υποθετικού παρατηρητή στο Κέντρο της Γης).

Φαινόμενα πριν και κατά τη Διάβαση της Αφροδίτης

Υπερέκταση Απολήξεων του Μηνίσκου

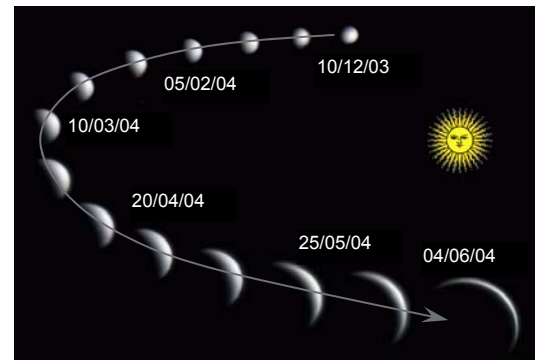
Η Αφροδίτη είναι Πλανήτης στον οποίο διακρίνονται **Φάσεις (Phase)**, ίδιες με τις Φάσεις της Σελήνης. Η τροχιά της βρίσκεται στο εσωτερικό της τροχιάς της Γης και κατά συνέπεια, με βάση τον 3^ο Νόμο του Kepler, περιφέρεται ταχύτερα από τη Γη. Όταν βρίσκεται σχεδόν στη μεγαλύτερη απόστασή της από τη Γη, δηλαδή στην αντιδιαμετρική σχεδόν θέση ως προς τη Γη (με κέντρο τον Ήλιο), φαίνεται πολύ χαμηλά στον Ορίζοντα είτε το πρωί στον ανατολικό ουρανό λίγο πριν την ανατολή του Ήλιου (**Αυγερινός** για το λαό ή **Εωσφόρος** για τους αρχαίους) είτε αργά το απόγευμα στο δυτικό ουρανό αμέσως, μετά τη δύση του Ήλιου (**Αποσπερίτης** για το λαό ή **Έσπερος** για τους αρχαίους). Καθώς η Αφροδίτη σε αυτή τη θέση έχει στραμμένο προς τη Γη το **Φωτιζόμενο Ημισφαίριό** της, φαίνεται ως ένας **Πλήρης Δίσκος (Full Disk)**. Σιγά σιγά όμως με την πάροδο των ημερών, καθώς κινείται επί της τροχιάς της ταχύτερα από ό,τι κινείται η Γη, αρχίζει να την πλησιάζει και φαίνεται σαν να της στρέφει σιγά σιγά το **Σκοτεινό Ημισφαίριό** της κρύβοντας ταυτόχρονα το Φωτιζόμενο. Σύμφωνα με το σχήμα λοιπόν, μέχρι να αποκτήσει τη μορφή **Ημικυκλίου (Semi-Disk)**, η **Γωνιώδης Απόστασή (Angular Distance)** της από τον Ήλιο αυξάνεται (το απόγευμα με τη δύση του Ήλιου τη βλέπουμε όλο και ψηλότερα στον Ουρανό) με παράλληλη αύξηση της Γωνιώδους Διαμέτρου της. Κατά τις επόμενες ημέρες καθώς πλησιάζει όλο και περισσότερο προς τη Γη, η μορφή της από Ημικύκλιο αρχίζει να μεταμορφώνεται σε **Μηνίσκο (Crescent)**, ο οποίος στενεύει όλο και περισσότερο ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η Γωνιώδης Απόστασή της από τον Ήλιο, οπότε το απόγευμα με τη δύση του Ήλιου τη βλέπουμε όλο και χαμηλότερα στον Ουρανό.

Ενώ σύμφωνα με τη Γεωμετρική Οπτική τα άκρα του Μηνίσκου (στην περίπτωση της Αφροδίτης αναφέρονται και ως **Κέρατα - Horns**) έπρεπε να βρίσκονται αντιδιαμετρικά το ένα από το άλλο, αρχίζουν να επεκτείνονται αμυδρά και πέραν της Ημιπεριφέρειας της Αφροδίτης, σε βαθμό μάλιστα που κάποια στιγμή το σχήμα της μπορεί να αποκτήσει τη μορφή πλήρους δακτυλίου. Αυτό το φαινόμενο δημιουργείται από τις Ηλιακές Ακτίνες που **Διαχέονται** στην Ατμόσφαιρα του Πλανήτη καθώς **σκεδάζονται** σε αυτήν. Αυτό το φαινόμενο αποτελεί και μια πρώτη ένδειξη της ύπαρξης Ατμόσφαιρας στην Αφροδίτη. Η παρατήρηση της **Υπερέκτασης των Απολήξεων του Μηνίσκου (Cusp Extension)** γίνεται πάρα πολύ δύσκολα, καθώς απαιτεί, όχι μόνον την ύπαρξη και τη χρήση εξειδικευμένων φίλτρων, γνωστών ως **UVenus filter**, που επιτρέπουν τη διέλευση σε μη ορατή περιοχή στο υπεριώδες μεταξύ 325nm και 381nm, οπότε απαιτείται η χρήση CCD, αλλά και διότι η Αφροδίτη βρίσκεται πολύ κοντά στον Ορίζοντα στο λαμπρό **Λυκόφως** (κατά τη δύση του Ήλιου) ή **Λυκαυγές** (με την ανατολή του Ήλιου) και χρειάζεται εξαιρετική προσοχή, ώστε να αποφευχθεί η από σύμπτωση θέαση του Ηλίου, ο οποίος βρίσκεται στο ίδιο **Οπτικό Πεδίο (Field of View)**. Αυτό πραγματοποιείται τοποθετώντας προεκτάσεις στον Οπτικό Σωλήνα του Τηλεσκοπίου ή πετάσματα.

Το Φωτοστέφανο

Όταν η Αφροδίτη βρίσκεται κοντά στο Χείλος του Ήλιου, είτε το Ανατολικό κατά την Έξοδο της είτε το Δυτικό κατά την Έξοδο της, παρατηρείται ένα μοναδικό φαινόμενο γύρω από αυτήν. Εμφανίζεται ένα λεπτό φωτεινό τόξο κατά πολύ πιο έντονο από την Υπερέκταση του Μηνίσκου που παρατηρείται όταν η Αφροδίτη πλησιάζει στη Συζυγία, ακόμη κι αν η Συζυγία συνεπάγεται Διάβαση. Αυτό το φωτεινό τόξο ονομάζεται **Φωτοστέφανο (Aureole)** και διακρίνεται τόσο στο σκοτεινό (από το φίλτρο) υπόβαθρο του Ουρανού όσο και στην Ηλιακή Φωτόσφαιρα. Το Φωτοστέφανο δημιουργείται από Ηλιακές Ακτίνες, όπως και η Υπερέκταση του Μηνίσκου, αλλά και κατά κύριο λόγο οφείλεται στη **Διάθλαση (Refraction)** τους μέσα στην Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και λιγότερο στη διάχυσή τους μέσα σε αυτήν. Το Φωτοστέφανο είναι 10-100 φορές πιο αμυδρό από τον Ήλιο και η Λαμπρότητά του εξαρτάται από την πυκνότητα και τη θερμοκρασία της Ατμόσφαιρας και των Ατμοσφαιρικών Στρωμάτων πάνω από την κορυφή των νεφών της Αφροδίτης. Μετά την 4^η Επαφή καθώς η Αφροδίτη απομακρύνεται από τον Ήλιο το Φωτοστέφανο εξαφανίζεται και η Αφροδίτη λάμπει ξανά από το φως που διαχέεται από τα διασκορπισμένα σταγονίδια που βρίσκονται πάνω από τα παχιά νέφη της.

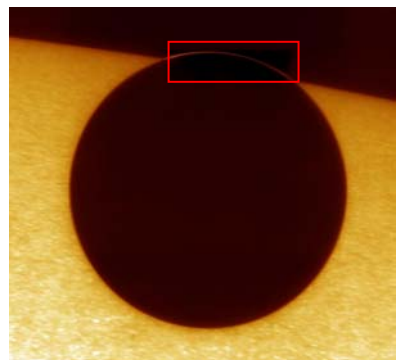
Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρήθηκε μόνο στην τελευταία Διάβαση αλλά το αναφέρουν παρατηρητές παλαιότερων Διαβάσεων. Το έχουν μάλιστα αποτυπώσει σε σχέδια με διαφορετική ένταση ως προς τη Λαμπρότητα και ως προς τη μορφή. Για πρώτη φορά όμως αποτυπώθηκε φωτογραφικά στη Διάβαση του 2004. Αντίθετα από το ανεπιθύμητο φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας, το Φωτοστέφανο μπορεί να γίνει ορατό μόνον με καλό τηλεσκόπιο και με πολύ καλές συνθήκες.



Οι Φάσεις της Αφροδίτης πριν από τη Διάβασή της μπρος από τον Ήλιο το 2004. Στις αρχές Ιανουαρίου σύμφωνα με το σχήμα είχε τη μορφή Πλήρους Δίσκου, γύρω στο Μάρτιο έλαβε τη μορφή Ημικυκλίου και στη συνέχεια μετασχηματιζόταν σε όλο και στενότερο Μηνίσκο. Η Γη βρίσκεται προς την πλευρά του παρατηρητή. Ο παρατηρητής για λόγους παραστατικότητας είναι τοποθετημένος κάπως υψηλότερα.



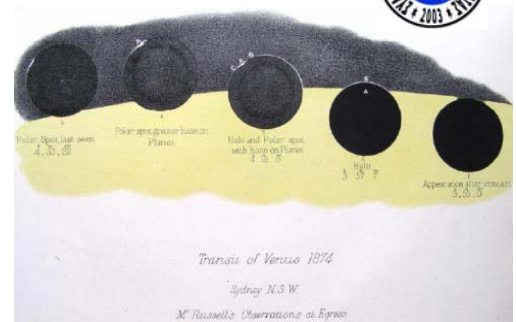
Η Αφροδίτη κοντά στη συζυγία στις 6 Ιουνίου του 2004, 38 ώρες πριν την έναρξη της Διάβασης, με τον Ήλιο στις 2.75° δυτικότερα. Διακρίνεται ο ατμοσφαιρικός δακτύλιος της Αφροδίτης σε ένα τόξο 250° γύρω από το Χείλος της. Αν και το φόντο παρουσιάζεται μαύρο, η φωτογραφία έχει τραβηχτεί τη μέρα.



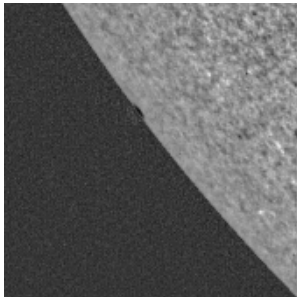
Η Αφροδίτη κατά την Έξοδο στη Διάβαση της 8^{ης} Ιουνίου του 2004 όπως φωτογραφήθηκε από το Σουηδικό Ηλιακό Τηλεσκόπιο στη La Palma με φόντο την παραγμένη επιφάνεια του Ήλιου. Η περιοχή που περιβάλλει το Φωτοστέφανο έχει τονιστεί 9 φορές, ώστε να γίνει περισσότερο διακριτό. Γύρω από το Χείλος του Δίσκου της Αφροδίτης διακρίνεται συρρίκνωση του υπόβαθρου του Ήλιου. Αυτή η παραμόρφωση φαίνεται σαν ελαφρά Άλως.

Πρώτος ο Lomonosov, που παρατήρησε τη Διάβαση του 1761 από το Petersburg, απέδωσε το φαινόμενο στη διάθλαση των ακτίνων του Ήλιου και συμπέρανε ότι μόνον η διαδοχική διάθλαση των ακτίνων μέσα σε Ατμόσφαιρα μπορεί να εξηγήσει την εμφάνιση του φωτεινού δακτυλιδιού γύρω από την Αφροδίτη.

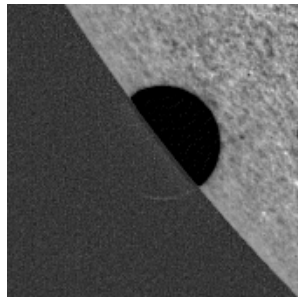
Για τη μελέτη του Φωτοστέφανου έχουν κατασκευαστεί ειδικοί **Στεμματογράφοι (Coronagraph)** που θα παρατηρούν σε διαφορετικό μήκος κύματος ο καθένας. Οι Στεμματογράφοι θα διασκορπιστούν σε διάφορες τοποθεσίες στη Γη (στην Ευρώπη, στην Άπω Ανατολή, τη Δυτική Ακτή των ΗΠΑ και την Αυστραλία) προκειμένου να ληφθούν ταυτόχρονα μετρήσεις θερμοκρασιών και να μελετηθεί χωρικά το Φωτοστέφανο σε όλο το μήκος της καμπύλης του από πόλο σε πόλο. Οι παρατηρήσεις θα συγκριθούν με τα δεδομένα άλλων επίγειων αστεροσκοπειών καθώς και του δορυφόρου Venus Express που περιφέρεται από το 2006 γύρω από την Αφροδίτη, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα αν κάποιες ταχείες μεταβολές που καταγράφονται από το δορυφόρο εξαρτώνται από το χρόνο ή από το Πλάτος του οποίο βρίσκεται.



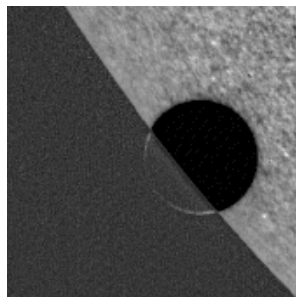
Λεπτομέρεια σχεδίου του Αστρονόμου Henry Russell με στιγμιότυπα του Δίσκου της Αφροδίτης κατά την Εισόδου της στον Ηλιακό Δίσκο στη Διάβαση της 9^{ης} Δεκεμβρίου του 1874, όπως την παρατήρησε στο Sydney.



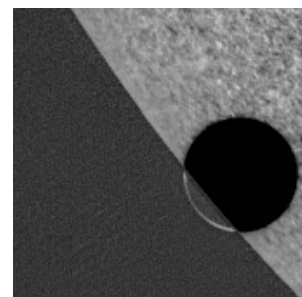
05:06:28 UT



05:20:10 UT



05:27:27 UT



05:33:09 UT

Φωτογραφίες της Εισόδου της Αφροδίτης, που τράβηξε το Διαστημικό Τηλεσκόπιο TRACE μετά από ειδική επεξεργασία με την οποία αφού απομακρύνθηκε το υπόβαθρο της ακτινοβολίας του Ήλιου, τονίστηκαν οι διαφορές της κόκκωσης. Η διάθλαση του φωτός στην Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης διακρίνεται ήδη από το 2^ο στιγμιότυπο. Το Φωτοστέφανο τονίζεται όλο και περισσότερο καθώς ο Πλανήτης εισέρχεται στο Δίσκο του Ήλιου.

Μερικοί παρατηρητές στο παρελθόν έχουν αναφέρει ότι παρατήρησαν ανωμαλίες στο Χείλος του Πλανήτη, φωτεινές περιοχές μέσα στο δίσκο της Αφροδίτης ή ακόμη και Άλλω (Halo) πολύ παχύτερη από το Φωτοστέφανο όταν ο Πλανήτης βρισκόταν ολόκληρος στο εσωτερικό του Ηλιακού Δίσκου. Αυτά τα φαινόμενα είναι σίγουρο ότι οφείλονται σε προβλήματα του όλου οπτικού συστήματος είτε από το χρησιμοποιούμενο Τηλεσκόπιο είτε από το μάτι και δεν προέρχονται από τον Πλανήτη. Για παράδειγμα κατά την πρώτη παρατήρηση της Διάβασης του Ερμή αναφέρθηκε ότι παρατηρήθηκε ένα λαμπερό σημείο περίπου στο κέντρο του Πλανήτη, το οποίο και ερμηνεύτηκε αρχικά σαν ηφαίστειο! Δεν ήταν όμως τίποτε άλλο από ένα σφάλμα κλασικού φαινομένου **Περίθλασης (Diffraction)** που οφειλόταν στο **Διάφραγμα (Aperture)** που είχε χρησιμοποιηθεί. Απομακρύνοντας το Διάφραγμα το «ηφαίστειο» εξαφανίστηκε. Στο εργαστήριο μπορεί να προσομοιωθεί εύκολα ένα τέτοιο φαινόμενο.

Gutta Nigra (Μαύρη Σταγόνα)

Κατά τον 18^ο αιώνα ο **Edmund Halley** (1656-1742) πρότεινε μια μέθοδο υπολογισμού της απόστασης Γης-Ήλιου με μετρήσεις κατά τη Διάβαση της Αφροδίτης. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την ακριβή μέτρηση της διάρκειας της Διάβασης σε κάθε τόπο παρατήρησης, ώστε να υπολογιστεί με ακρίβεια το μήκος της κάθε χορδής, στην οποία φαίνεται να κινείται η Αφροδίτη από το συγκεκριμένο τόπο. Η απαιτούμενη ακρίβεια είναι της τάξης του 1s με 2s. Δυστυχώς όμως, η ακριβής χρονική στιγμή τόσο της 2^{ης} όσο και της 3^{ης} επαφής δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια λόγω του περιβάλλοντος φαινομένου της Μαύρης Σταγόνας (Black Drop), που εμφανίζεται όταν τα Χείλη του Ήλιου και της Αφροδίτης βρεθούν πολύ κοντά. Λίγο πριν τη 2^η Επαφή, καθώς ο Δίσκος της Αφροδίτης κινείται προς το εσωτερικό του Ηλιακού Δίσκου, αντί να αποστασθεί από το Χείλος του Ήλιου, αρχίζει να «στάζει» και η μαύρη του σιλουέτα αφήνει ένα ίχνος. Αυτό το ίχνος παραμένει μέχρι που το ηλιακό φως να περικυκλώσει τον Πλανήτη, οπότε σχεδόν απότομα το μαύρο ίχνος εξαφανίζεται και ο Δίσκος της Αφροδίτης γίνεται και πάλι κυκλικός. Επίσης, λίγο πριν την 3^η Επαφή συμβαίνει το ίδιο ακριβώς αλλά συμμετρικά, δηλαδή ενώ ο Πλανήτης φαίνεται κυκλικός, το μαύρο Χείλος του προεκτείνεται και «βρέχει» το Χείλος του Ήλιου.

Ήδη από την πρώτη οργανωμένη παρατήρηση της Διάβασης το 1761, ο Bergmann ανέφερε ότι η Μαύρη Σταγόνα, προκάλεσε αβεβαιότητα προσδιορισμού της στιγμής της 2^{ης} Επαφής της τάξης των 30s με 60s. Το ίδιο πρόβλημα είχε και κατά την 3^η Επαφή. Αυτή η αβεβαιότητα επιδρά φυσικά στην εκτίμηση της Παράλλαξης και κατ' επέκταση στον προσδιορισμό της Αστρονομικής Μονάδας.



Φωτογραφία που λήφθηκε κατά την 3^η Επαφή της Διάβασης της 8^{ης} Ιουνίου του 2004 από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο για τη μελέτη του φαινομένου της Μαύρης Σταγόνας από ερευνητική ομάδα του Williams College, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα (Jay Pasachoff, David Butts, Joseph Gange-stad, Γιάννης Σειραδάκης και Γιώργος Ασημέλλης).

Το φαινόμενο το ανέφερε και ο **Charles Green** (1735–1771) και το επιβεβαίωσε ο **Captain James Cook** (1728-1779) που τον συνόδευε. Στη Διάβαση του 1874 περιγράφηκε με ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια και επιχείρησε να το φωτογραφήσει ο **Pierre-César Jules Janssen** (1824-1907) στιγμιότυπο προς στιγμιότυπο, χρησιμοποιώντας μια **Φωτογραφική Μηχανή Revolver**, που ήταν μια μηχανή που μπρος από το φακό της περιστρεφόταν ένας δίσκος με επιφάνειες **Δαγκεροτυπίας**.

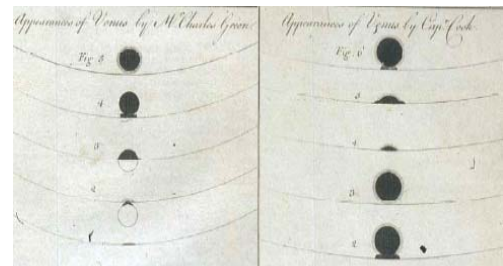
Αρχικά το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας θεωρήθηκε ότι μπορεί να οφείλεται σε Αστιγματικό σφάλμα του οφθαλμού των Παρατηρητών ή και σφάλματα φακών των Οπτικών Οργάνων. Επίσης, αποδόθηκε στην ύπαρξη Ατμόσφαιρας στην Αφροδίτη.

Η έρευνα όμως απέδειξε ότι αυτό το οπτικό φαινόμενο είναι πιο πολύπλοκο, καθώς προέρχεται από το συγκερασμό πολύ περισσότερων παραγόντων. Κατά την οφθαλμική παρατήρηση όσοι έχουν Αστιγματισμό ίσως δουν το φαινόμενο εντονότερα, αλλά δεν είναι δυνατόν να ήταν όλοι οι Αστρονόμοι του παρελθόντος που το ανέφεραν Αστιγματικοί. Επίσης, η Μαύρη Σταγόνα απεικονίζεται και σε φωτογραφίες. Τέλος, παρατηρήθηκε και στις πρόσφατες Διαβάσεις του Ερμή το 1999 και το 2003 (οι Διαβάσεις του Ερμή συμβαίνουν πολύ συχνότερα, 13 με 14 στο πλήθος τον αιώνα), και ο Ερμής είναι πλανήτης χωρίς ατμόσφαιρα. Η Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης συμβάλλει, μεν όπως θα δούμε πιο κάτω, αλλά όχι στο βαθμό που της αποδόθηκε.

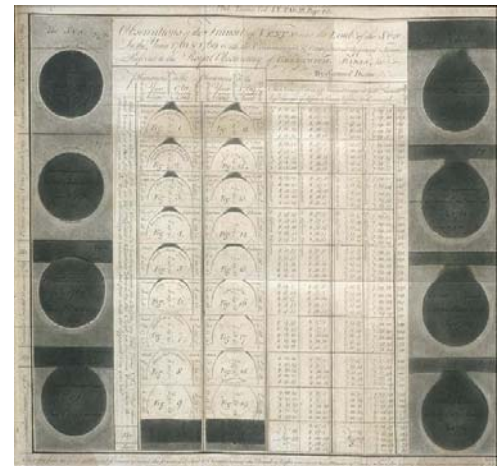
Τα σφάλματα που εισάγουν τα Οπτικά Όργανα λόγω Γεωμετρίας ή λόγω της κυματικής φύσης του φωτός, έχουν επίσης, σημαντική συμμετοχή σε αυτό το φαινόμενο. Καταρχάς η **Σφαιρική Αποπλάνηση** που ως σφάλμα προκαλεί τη μη συγκέντρωση των ακτίνων στο ίδιο σημείο, ώστε να σχηματιστεί μη ευκρινές είδωλο, στα παλαιότερα Τηλεσκόπια ήταν σημαντικός παράγοντας, όμως δεν είναι στα σημερινά (τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό). Επίσης η Περίθλαση που δημιουργείται από χαμηλή **Διακριτική Ικανότητα (Resolution)** του Τηλεσκοπίου (ή **όριο του Dawes**) είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες πρόκλησης αυτού του φαινομένου. Καθώς όμως η Διακριτική Ικανότητα εξαρτάται από το **Αριθμητικό Ανοιγμα (Numerical Aperture)** του Τηλεσκοπίου, χρησιμοποιώντας Τηλεσκόπια με μεγάλη διάμετρο **Αντικειμενικού Συστήματος** μικραίνει η περιοχή Περίθλασης και το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας περιορίζεται.

Όπως ανακάλυψε ο **Jérôme De Lalande** (1732-1807), αμέσως μετά από τη Διάβαση του 1769, σημαντικό ρόλο παίζει το **Seeing** της Γήινης Ατμόσφαιρας. Έχει παρατηρηθεί ότι στις φωτογραφίες των πολύ λαμπρών αστερών, π.χ. του Σείριου, το είδωλό τους λαμπρίζει, οπότε ο Αστéρας, αν και θα έπρεπε να φαίνεται σαν σημειακή πηγή, μεγεθύνεται, σε τέτοιο βαθμό μάλιστα, που να επικαλύπτει και γειτονικούς του αστέρες. Ο **Λαμπρισμός (Irradiation)** προέρχεται από τη σκέδαση του φωτός στον συνεχώς στροβιλιζόμενο αέρα της Γήινης Ατμόσφαιρας. Ο αέρας ανά περιοχές ανάλογα με το βαθμό **Στροβυλισμού (Turbulence)** του, απορροφά και στη συνέχεια επανεκπέμπει το διερχόμενο φως, διαθλώντας (κάμπτοντας) τις ακτίνες του. Το αποτέλεσμα είναι οι σημειακές πηγές να μετατρέπονται σε δίσκους ανάλογα με το βαθμό ηρεμίας ή αναταραχής της Γήινης Ατμόσφαιρας. Επιπλέον, το ποσοστό αυτής της αύξησης εξαρτάται από την **Αντίθεση (Contrast)** της Φαινόμενης Λαμπρότητας του ουράνιου σώματος και της σκοτεινότητας του υπόβαθρου, καθώς επίσης και από το χρόνο συσσώρευσης φωτονίων στον οπτικό δέκτη. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά Αντίθεσης τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της φαινόμενης διάστασης και αυτό πάντοτε με το κριτήριο ότι το φως υπερκαλύπτει μια σκοτεινή περιοχή (Με την ευκαιρία ας σημειωθεί ότι η φαινόμενη μεγέθυνση ειδικά του Ήλιου και της Σελήνης αναφέρεται σε Εφημερίδες και Almanacs προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη στον ακριβή υπολογισμό των Ηλιακών Εκλείψεων). Φυσικά, όπως αυξάνεται η Γωνιώδης Διάμετρος του υπέρλαμπρου Ήλιου με τη διάχυση του φωτός του στο σκοτεινό Ουράνο, το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και σε βάρος της σκοτεινής περιοχής του Δίσκου της Αφροδίτης. Να λοιπόν και ένας λόγος που αιτιολογεί γιατί δεν έχει παρατηρηθεί ακόμη Διάβαση Αστεροειδούς μπρος από τον Ήλιο, καθώς ο Αστεροειδής είναι τόσο μικρός που η σιλουέτα του υπερκαλύπτεται από το Λαμπρισμό. Επομένως, το Χείλος του Ηλιακού Δίσκου φαίνεται να βρίσκεται σε μεγαλύτερη Γωνιώδη Απόσταση από το κέντρο του Πλανήτη από ότι στην πραγματικότητα και επιπλέον η Γωνιώδης Ακτίνα του Πλανήτη φαίνεται μικρότερη. Επομένως, στην αρχή τουλάχιστον του φαινομένου, στην περιοχή της Μαύρης Σταγόνας δεν υπάρχει Ήλιος, ώστε ο Λαμπρισμός του να επεκταθεί σε σκοτεινή περιοχή, αλλά αντίθετα υπάρχει σκοτεινός Πλανήτης, που αποκαλύπτεται!

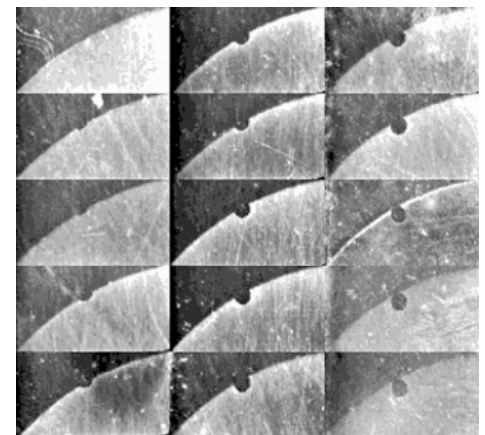
Όμως και ο Ήλιος συμβάλλει με το δικό του τρόπο στην παραγωγή του φαινομένου της Μαύρης Σταγόνας. Αν ο δίσκος του είχε ομοιόμορφη Φαινόμενη Λαμπρότητα και η Αφροδίτη δεν είχε Ατμόσφαιρα, το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας θα ήταν σχεδόν στιγμιαίο. Αυτό δεν ισχύει, καθώς ο Δίσκος του Ήλιου παρουσιάζει από το κέντρο προς το Χείλος βαθμιδωτή αμαύρωση. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **Αμαύρωση Χείλους (Solar Limb Darkening)** και οφείλεται στη διαφορά πάχους της Ατμόσφαιρας του Ήλιου, που παρεμβάλλεται μεταξύ των σημείων εκπομπής του



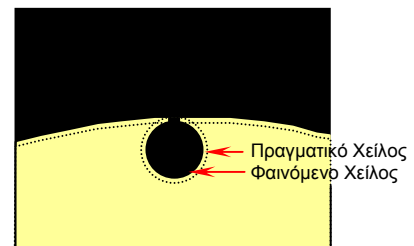
Σχέδιο της Εισόδου (Ingerss) της Αφροδίτης στη Διάβαση του 1769 από τον Charles Green (αριστερά) και από τον Captain Cook (δεξιά).



Στα δεξιά, λεπτομερή σχέδια του φαινομένου της Μαύρης Σταγόνας από τον Samuel Dunn του Royal Greenwich Observatory. Παρατηρούμε ότι γύρω από την Αφροδίτη έχει σχεδιάσει και Άλλω.



Διαδοχικά στιγμιότυπα της Εισόδου της Διάβασης του 1874 που ελήφθησαν με τη μέθοδο της Δαγκεροτυπίας από το Revolver του Janssen. Το 2000 αμφισβητήθηκε η γνησιότητα της λήψης. Ίσως αποτελούν δοκιμαστική λήψη από προσομοίωση.



Το Πραγματικό Χείλος του Πλανήτη είναι μεγαλύτερο από το Φαινόμενο Χείλος και το Πραγματικό Χείλος του Ήλιου είναι μικρότερο από το Φαινόμενο Χείλος.

Δίσκου του και του Παρατηρητή. Αν για παράδειγμα πάρουμε ένα σημείο στο κέντρο του Ηλιακού Δίσκου, οι φωτεινές δέσμες που φεύγουν από αυτό και φτάνουν στο μάτι του Παρατηρητή (ή του οργάνου) είναι κάθετες στο δίσκο και θα διανύσουν κάθετα την Ατμόσφαιρα του Ήλιου. Λαμβάνοντας ακτινικά από το κέντρο του Ήλιου άλλα σημεία εκπομπής, οι φωτεινές δέσμες που προέρχονται από αυτά και φτάνουν στο μάτι του Παρατηρητή δεν διασχίζουν κάθετα την Ατμόσφαιρα του Ήλιου, επομένως διανύουν μεγαλύτερη της κάθετης διαδρομή μέσα στην Ατμόσφαιρά του. Όσο μάλιστα απομακρυνόμαστε ακτινικά από το κέντρο, τόσο μεγαλύτερη διαδρομή μέσα στην Ατμόσφαιρα του Ήλιου έχουν να διανύσουν οι φωτεινές δέσμες, με αποτέλεσμα να υφίστανται και μεγαλύτερη απορρόφηση και η Φαινόμενη Λαμπρότητα να γίνεται όλο και μικρότερη. Άρα, λόγω της ανισότροπης Φαινόμενης Λαμπρότητας προς το Χείλος του Ήλιου, ο Λαμπρισμός ελαττώνεται, η φαινόμενη μείωση του Χείλους της Αφροδίτης περιορίζεται ανάλογα και η Φαινόμενη Ακτίνα του σκοτεινού Δίσκου της γίνεται μεγαλύτερη κοντά στο Χείλος του Ήλιου. Τέλος, η Άλως του Ανακλώμενου φωτός που διέρχεται από την Ατμόσφαιρα του Πλανήτη και φτάνει στον Παρατηρητή προκαλεί ακόμη μεγαλύτερη ασάφεια στα όρια του δίσκου του.

Σήμερα, έχοντας τη δυνατότητα παρατηρήσεων και από το Διάστημα, μπορούμε να διαπιστώσουμε κατά πόσο μετέχει και η Γήινη Ατμόσφαιρα στο φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας.

Όλοι λοιπόν οι παραπάνω παράγοντες συμμετέχουν στο φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας, ο καθένας με τη βαρύτητά του.

Στην τελευταία διάβαση του 2004, παρατηρητές από όλο τον κόσμο ανέφεραν ότι δεν παρατήρησαν το φαινόμενο ή ότι το φαινόμενο δεν ήταν και τόσο έντονο όσο το ανέμεναν, προϋδασμένοι από τις αναφορές των παρατηρητών των προηγούμενων αιώνων. Τα καλύτερα τηλεσκόπια που διαθέτουμε σήμερα σε σύγκριση με αυτά των 3^{ου} έως 5^{ου} που χρησιμοποιούσαν οι παρατηρητές την εποχή του Captain Cook, τα οποία σίγουρα παρουσίαζαν Σφάλματα Σφαιρικότητας και των 5^{ου} έως 8^{ου} που χρησιμοποιούσαν οι παρατηρητές του 19^{ου} αιώνα, προσφέρουν καθαρότερες εικόνες μειώνοντας και το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας. Τέλος, οι ψηφιακές μέθοδοι **Προσαρμοστικής Οπτικής (Adaptive Optics)** που μπορούμε να εφαρμόσουμε σε μια εικόνα σήμερα ελαχιστοποιούν τις ασάφειες και μπορούμε να λάβουμε εικόνες πολύ καλής ευκρίνειας.

Η παρατήρηση της Αφροδίτης έξω από την Ηλιακή Φωτόσφαιρα

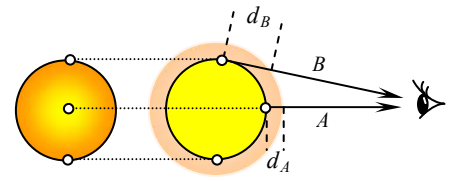
Το Λευκό Φως που παρατηρούμε από τον Ήλιο προέρχεται κατά κύριο λόγο από την ακτινοβολία της **Φωτόσφαιράς (Photosphere)** του, δηλαδή του επιφανειακού στρώματος του Ήλιου που φτάνει μέχρι την επιφάνειά του και γι' αυτό είναι δυνατή η παρατήρηση της Διάβασης λίγο μετά την 1^η Επαφή και λίγο πριν την 4^η Επαφή. Πάνω όμως από τη Φωτόσφαιρα υπάρχει η Ατμόσφαιρα του Ήλιου που εκπέμπει σε συγκεκριμένες περιοχές του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος και στην οποία συμβαίνουν και διάφορα φαινόμενα που προέρχονται από την επιφάνειά του.

Χρησιμοποιώντας **Φίλτρο Γραμμής Ηα του Υδρογόνου (H-a filter)** που επιτρέπει διέλευση του ορατού φωτός μόνο στο κόκκινο σε μια στενή περιοχή γύρω από τα 656.3nm, ο Δίσκος της Αφροδίτης θα γίνει ορατός πριν την 1^η Επαφή και μετά την 4^η Επαφή αντίστοιχα είτε εξαιτίας της προβολής του επί της **Χρωμόσφαιρας (Chromosphere)**, δηλαδή της κατώτερης στοιβάδας της Ατμόσφαιρας του Ήλιου που εκτείνεται έως 2,500km πάνω από την επιφάνειά του και εκπέμπει ένα μικρό τμήμα της ακτινοβολίας της σε αυτό το οπτικό παράθυρο, είτε επί μιας **Προεξοχής (Prominence)** που είναι Πλάσμα, το οποίο συμπυκνώνεται και σταθεροποιείται σε περιοχές που ξεκινούν από τη Φωτόσφαιρα και φτάνουν ακόμη και σε ύψος 500,000km.

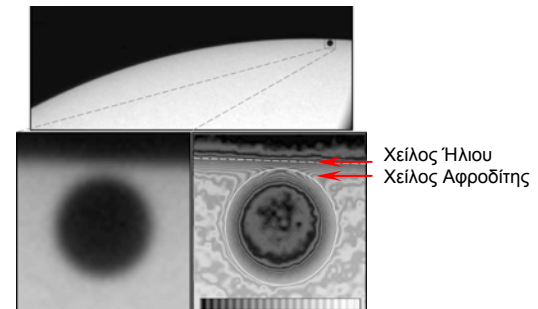
Ακόμη, καθώς η περιοχή του **Στέμματος (Corona)**, δηλαδή του πάνω από τη Χρωμόσφαιρα στρώματος της Ατμόσφαιρας του Ήλιου, εκτείνεται αρκετές Ηλιακές Ακτίνες πάνω από την επιφάνειά του και εκπέμπει και αυτό σε περιοχές του ορατού, χρησιμοποιώντας Στεματογράφους μπορούμε να παρακολουθήσουμε την Αφροδίτη πριν φτάσει στο Δίσκο του Ήλιου ή αφού τον έχει εγκαταλείψει.

Το Κέντρο Περιβάλλοντος Διαστήματος **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)** που διαχειρίζεται τους δορυφόρους του **GOES (Geostationary Satellite system)** χρησιμοποίησε τη συσκευή ανίχνευσης Ακτίνων X **SXI (Solar X-ray Imager)** κατά τη διάρκεια της Διάβασης του 2004 για να εξετάσει τα χαρακτηριστικά του οργάνου. Καθώς οι Ακτίνες X παράγονται από το Στέμμα του Ήλιου, του οποίου η θερμοκρασία είναι 2MK, η μαύρη σιλουέτα της Αφροδίτης φάνηκε να διαγράφει το φόντο του Στέμματος 1 ώρα περίπου πριν από την 1^η Επαφή και συνέχισε να φαίνεται ακόμη και 1 ώρα περίπου μετά την 4^η Επαφή.

Στη Διάβαση του 2012, πιθανώς το NOAA να ξαναχρησιμοποιήσει κάποιες από τις συσκευές που διαθέτει για να μελετήσει την Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης.



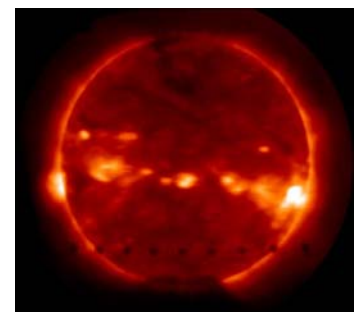
Η φωτεινή δέσμη B διανύει μεγαλύτερη διαδρομή από τη φωτεινή δέσμη A μέσα στην Ατμόσφαιρα του Ήλιου ($d_A < d_B$). Αριστερά η Αμαύρωση Χείλους, όπως τη βλέπει ο Παρατηρητής.



Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της Αμαύρωσης Χείλους στο φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας, ελήφθησαν φωτογραφίες από το TRACE (επομένως εξαλείφθηκε ο παράγοντας του Λαμπρισμού) μιας Διάβασης του Ερμή (άρα και της Ατμόσφαιρας της Αφροδίτης). Στη δεξιά μεγεθυμένη εικόνα διακρίνονται Ισόφωτες Καμπύλες.



Λήψη φωτογραφίας με φίλτρο H-a κατά την Είσοδο της Διάβασης του 2004, από τον Βούλγαρη Αριστείδη. Στον Ήλιο διακρίνεται μια προεξοχή.



Το μονοπάτι της Αφροδίτης, όπως προκύπτει από την υπέρθεση διαδοχικών φωτογραφιών που ελήφθησαν το 2004 σε διάστημα 9 ωρών από το Solar X-ray Imager του δορυφόρου GOES-12. Η παρατήρηση από δορυφόρους GOES είναι μοναδική καθώς από αυτούς κατάγράφεται στην περιοχή των Ακτίνων X η Εξωτερική Ατμόσφαιρα του Ήλιου, κάτι που δεν είναι δυνατό να γίνει από τη Γη καθώς αυτή η ακτινοβολία απορροφάται από τη Γήινη Ατμόσφαιρα.

Η παρατήρηση της Διάβασης

Η παρατήρηση της Διάβασης της Αφροδίτης συνεπάγεται απευθείας παρατήρηση του Ήλιου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να λαμβάνονται και τα αντίστοιχα μέτρα ασφαλείας για την προστασία της όρασής μας, που συνεπάγονται τη μείωση της έντασης του φωτός του Ήλιου τουλάχιστον κατά 100.000 φορές. Ας μην ξεχνάμε ότι μεγάλοι Αστρονόμοι του παρελθόντος όπως ο Galileo και ο Newton υπέφεραν από τα μάτια τους και έχασαν μέρος της όρασής τους προσπαθώντας να αενίσουν έστω και για λίγα δευτερόλεπτα τον Ήλιο. Ο εξοπλισμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται σε μια Έκλειψη Ηλίου και δεν απαιτείται να είναι και ιδιαίτερα ακριβός.

Θεωρητικά, καθώς η Γωνιώδης Διάμετρος της Αφροδίτης είναι περίπου 1' της μοίρας είναι δυνατόν κάποιος να δει την Αφροδίτη σαν μια μικρή κουκίδα στον Ηλιακό Δίσκο και υπάρχουν αναφορές ότι στο παρελθόν κάποιοι το κατάφεραν (με ανάκλαση του Ήλιου από καθρέπτη πάνω σε ένα λευκό πέτασμα). Όμως, ΜΕ ΤΙΠΟΤΕ μην καταφύγετε σε πρακτικές λύσεις καπνισμένων τζαμιών, εμφανισμένων φιλμ κ.ά., διότι δεν απορροφούν τις μη ορατές περιοχές του Φάσματος του Ήλιου και υπάρχει κίνδυνος μόνιμης βλάβης στα μάτια (ή και τύφλωσης). Επίσης, η παρατήρηση ακόμη και με ειδικά γυαλιά Έκλειψης Ηλίου φτιαγμένα από μεμβράνη Mylar ή άλλο κατάλληλο υλικό που απορροφά τόσο τις ορατές όσο και τις υπέρυθρες και υπεριώδεις βλαβερές ακτίνες, δε νομίζουμε ότι θα μπορούσε να ικανοποιήσει κάποιον λόγω του μικρού μεγέθους του Δίσκου της Αφροδίτης.

Καθώς ο Πλανήτης έχει Γωνιώδη Διάμετρο ίση με το 1/32 της Γωνιώδους Διαμέτρου του Ήλιου, η παρατήρηση του φαινομένου μπορεί να γίνει αρκετά καλά με τη μεγέθυνση που δίνουν τα συνηθισμένα Κιάλια (7x50, 8x40, 10x50) ή τα μικρά Τηλεσκόπια (μεγέθυνσης 7 με 10 φορές). Ας σημειωθεί ότι στην πλειοψηφία τα Τηλεσκόπια που χρησιμοποιήθηκαν στις αποστολές για την παρατήρηση των Διαβάσεων μέχρι και τον 19^ο αιώνα είχαν Διάμετρο Αντικειμενικού από 3" έως 8" και τα περισσότερα από αυτά ήταν Διοπτρικά Διαμέτρου Αντικειμενικού 5" και 6".

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για οφθαλμική παρατήρηση είναι:

- ÷ Άμεσα, με Απευθείας Παρατήρηση κοιτώντας μέσα από το Προσοφθάλμιο. Εννοείται ότι αυτή η μέθοδος απαιτεί να καλυφθεί πρώτα όλο το **Αντικειμενικό Σύστημα** με **Φίλτρο Μεμβράνης Mylar** ή για πολύ καλύτερη ποιότητα παρατήρησης με **Φίλτρο Μεμβράνης Baader Astrosolar**. Προσοχή!!! ΠΟΤΕ ΔΕΝ πρέπει να τοποθετηθεί το φίλτρο στον Προσοφθάλμιο, το φίλτρο θα καεί ακαριαία από τον εστιασμένο Ήλιο και θα καεί στην κυριολεξία και το μάτι που θα παρατηρεί πίσω από αυτό.
- ÷ Έμμεσα, με **Προβολή μέσω του Προσοφθάλμιου (Eyepiece Projection)**. Σε κατάλληλη απόσταση πίσω από το Προσοφθάλμιο Σύστημα τοποθετείται ένα λευκό πέτασμα, πάνω στο οποίο προβάλλεται το είδωλο του Ηλιακού Δίσκου, με διάμετρο 10cm περίπου. Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά ασφαλής και κατάλληλη για ομαδική παρατήρηση, αλλά καθώς η Διάβαση διαρκεί περισσότερο από 6 ώρες, το προσοφθάλμιο μπορεί να υπερθερμανθεί και να υποστεί βλάβη. Μετά από κάποια ώρα πρέπει να ελέγχεται η θερμοκρασία του και αν κρίνεται να αντικαθίσταται από άλλο εφεδρικό. Ο Προσοφθάλμιος του Τηλεσκόπιου χρησιμοποιείται σαν φακός Προβολικού (Projector). Για να γίνει πιο έντονη η εικόνα σκιάζουμε το πέτασμα με ένα κάλυμμα, ώστε να αποφύγουμε τον άμεσο ή τον έμμεσο φωτισμό του από τον Ήλιο. Επειδή σε αυτήν την περίπτωση δε χρησιμοποιείται φίλτρο χρειάζεται προσοχή, διότι από άγνοια μπορεί να επιχειρήσει κάποιος να δει απευθείας από τον Προσοφθάλμιο.

Σε μια παρατήρηση που γίνεται με σύστημα, επιβάλλεται να γίνουν κάποιες βασικές καταγραφές. Συγκεκριμένα, πρέπει να καταγραφούν:

- το Όνομα του Παρατηρητή,
- το Γεωγραφικό Μήκος και το Γεωγραφικό Πλάτος με ακρίβεια 1' της μοίρας,
- το Όργανο και τα χαρακτηριστικά του, π.χ. γυμνό μάτι, Κιάλια (Τύπος, Μεγέθυνση και Άνοιγμα), Τηλεσκόπιο (Τύπος, Εστιακή Απόσταση, Εστιακός Λόγος),
- τα Φίλτρα και η Μέθοδος Προβολής (αν χρησιμοποιείται),
- η Ατμοσφαιρική Διαύγεια σε κλίμακα από 0 έως 5 (5 άριστη και 0 χειρίστη),
- η χρονική στιγμή παρατήρησης της κάθε Επαφής σε UT (ειδικά της 2^{ης} και 3^{ης}) αν είναι δυνατόν με ακρίβεια δευτερολέπτου (UT = Ώρα Ελλάδος – 3ώρες),
- οι συντεταγμένες Εισόδου και Εξόδου από τον Ηλιακό Δίσκο, στην περίπτωση που υπάρχει η ικανότητα να προσδιοριστούν,
- τα χαρακτηριστικά των φαινομένων της Διάβασης, Φωτοστέφανο, Μαύρη Σταγόνα και οποιοδήποτε άλλο ασυνήθιστο φαινόμενο κριθεί αναγκαίο.

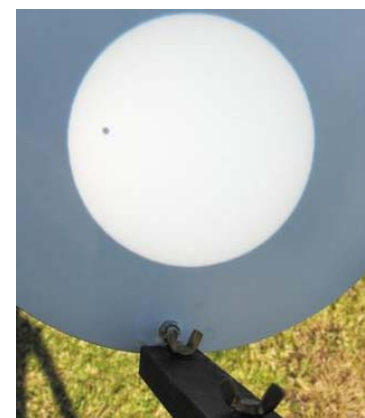


Προσθήκη μεμβράνης στον Αντικειμενικό Διοπτρικού Τηλεσκόπιου. Η μεμβράνη δε χρειάζεται να είναι τεταμένη, καλύτερα μάλιστα να της δοθεί και κάποια μικρή κλίση ως προς τον οπτικό άξονα του Τηλεσκόπιου για να μην είναι κάθετη σε αυτόν, ώστε να μη δημιουργούνται εσωτερικές ανακλάσεις μέσα στο φίλτρο, που μειώνουν την ποιότητα του ειδώλου.

Προσοχή! Ο Ερευνητής δεν χρειάζεται να τοποθετηθεί, και αν βρίσκεται ήδη πάνω στο Τηλεσκόπιο επιβάλλεται να έχει καλυφθεί ο Αντικειμενικός του με το καπάκι του, ώστε να μη γίνει κατά λάθος παρατήρηση μέσα από αυτόν.



Προβολή μέσω Προσοφθάλμιου. Στο πιο πάνω σύστημα χρησιμοποιείται ένας απλός τρίποδας χωρίς οδηγηση παρακολούθησης του Ήλιου. Κατά διαστήματα χρειάζεται διόρθωση, ώστε το είδωλο του Ήλιου να επαναφέρεται μέσα στο πέτασμα.



Η προβολή της Διάβασης του 2004 σε πέτασμα πίσω από τον Προσοφθάλμιο.

Για να γίνει εφικτή η μελέτη του φαινομένου από την πρώτη στιγμή, πρέπει να ταξιδέψουμε στα ανατολικά, καθώς δε θα είναι ορατή η Διάβαση σε όλη τη διάρκειά της από την Ελλάδα. Όσοι βρεθούν σε μια περιοχή που να είναι δυνατή η παρακολούθηση όλου του φαινομένου, πρέπει να έχουν εντοπίσει έγκαιρα το σημείο του Ηλιακού Δίσκου στο οποίο πρόκειται να συμβεί η 1^η Επαφή, καθώς κατά τα πρώτα λεπτά είναι πολύ δύσκολο να γίνει αντιληπτός ο Δίσκος της Αφροδίτης.

Ο προσανατολισμός του Ηλιακού Δίσκου στα Διαγράμματα μιας Διάβασης είναι πάντα με το Βορρά του προς τα πάνω, δηλαδή όταν ο Ήλιος βρίσκεται στον Τοπικό Μεσημβρινό ενός τόπου στο Βόρειο Ημισφαίριο, άρα μπορεί να είναι διαφορετικός ως προς τον Ορίζοντα κατά την παρατήρηση. Ο προσανατολισμός εξαρτάται από το αν κάποιος βρίσκεται στο Βόρειο ή στο Νότιο Ημισφαίριο, πόσο απέχει ο Ήλιος από τον Τοπικό Μεσημβρινό, αν το Όργανο παρατήρησης αντιστρέφει ή και δημιουργεί κατοπτρισμό του ειδώλου, αν χρησιμοποιείται Διαγώνιο Πρίσμα (Diagonal Prism), αν γίνεται Προβολή μέσω Προσοφθάλμιου.

Αν η παρατήρηση γίνεται με Τηλεσκόπιο για να βρούμε τον προσανατολισμό του Ήλιου μέσα σε αυτό, λίγο πριν αρχίσει η Διάβαση τοποθετούμε κατάλληλο Προσοφθάλμιο για να καλύψουμε Οπτικό Πεδίο τουλάχιστον 0.7° και να έχουμε όλο τον Ηλιακό Δίσκο (που έχει Φαινόμενη Διάμετρο περίπου 0.5°) μέσα στο Οπτικό Πεδίο. Αν η βάση στήριξης έχει Αστροστάτη, απενεργοποιούμε την οδήγηση, οπότε ο Ηλιακός Δίσκος αρχίζει να ολισθαίνει λόγω της φαινόμενης κίνησης του Ήλιου προς τα δυτικά. Το σημείο στο οποίο ο Ηλιακός Δίσκος ακουμπήσει το χείλος του Οπτικού Πεδίου είναι η θέση της Ουράνιας Δύσης (Celestial West), ενώ το αντιδιαμετρικό του η Ουράνια Ανατολή (Celestial East), επομένως ο Ουράνιος Βορράς θα βρίσκεται στο μέσο αυτού του τόξου. Σύμφωνα με το Διάγραμμα της Διάβασης η Αφροδίτη θα εισέλθει στον Ηλιακό Δίσκο από την Ουράνια Ανατολή.

Φωτογράφιση

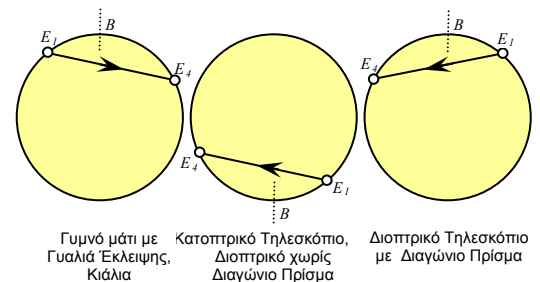
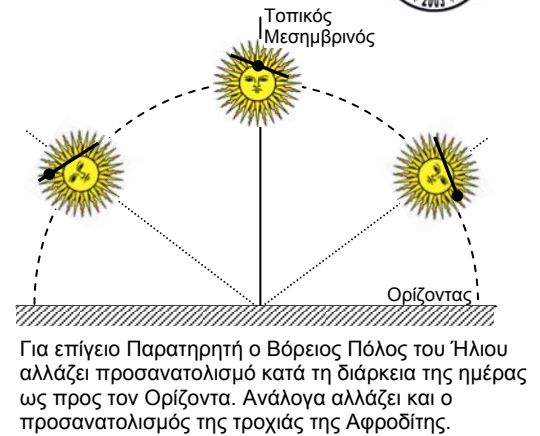
Με μια Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή μπορούν να ληφθούν στιγμιότυπα του φαινομένου. Όποια και αν είναι η τεχνική φωτογράφισης που θα εφαρμοστεί, πρέπει να χρησιμοποιηθεί Ηλιακό Φίλτρο στον Αντικειμενικό της διάταξης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- ÷ Προσαρμογή Τηλεφακού στη Φωτογραφική Μηχανή και τοποθέτησή της σε μια βάση. Η Φωτογραφική Μηχανή μπορεί να στηριχτεί ακόμη και σε ένα απλό τρίποδο χωρίς Αστροστάτη, καθώς ακόμη και με το Ηλιακό Φίλτρο η εικόνα του Ήλιου είναι αρκετά λαμπρή, ο απαιτούμενος χρόνος έκθεσης πολύ μικρός και αφού ο Ήλιος δεν κινείται και τόσο γρήγορα η εικόνα δε βγαίνει κουνημένη.
- ÷ Τοποθέτηση της Φωτογραφικής Μηχανής στο Προσοφθάλμιο Σύστημα ενός Τηλεσκοπίου. Έτσι, είναι δυνατή και η εκμετάλλευση του Αστροστάτη για την παρακολούθηση του Ήλιου στο στερέωμα, καθώς η Διάβαση θα διαρκέσει 6 περίπου ώρες, αλλά και η μεγέθυνση που προσφέρει το Τηλεσκόπιο. Η εστίαση της Μηχανής ρυθμίζεται στο άπειρο και χρησιμοποιώντας το αναλογικό ζουμ πετυχαίνουμε μεγαλύτερες μεγεθύνσεις (το ψηφιακό ζουμ μειώνει τη Διακριτική Ικανότητα). Η προσαρμογή στο Τηλεσκόπιο είναι δυνατόν να γίνει είτε χωρίς να αφαιρεθεί ο φακός της Μηχανής και ο Προσοφθάλμιος του Τηλεσκοπίου, δηλαδή **Αφεστιακή Φωτογράφιση (Afocal Photography)** είτε με αφαίρεση του φακού της Μηχανής και του Προσοφθάλμιου και απευθείας εστίαση στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια της Μηχανής τεχνική γνωστή ως **Φωτογράφιση Πρωτεύουσας Εστίας (Primary Focus Photography)**.

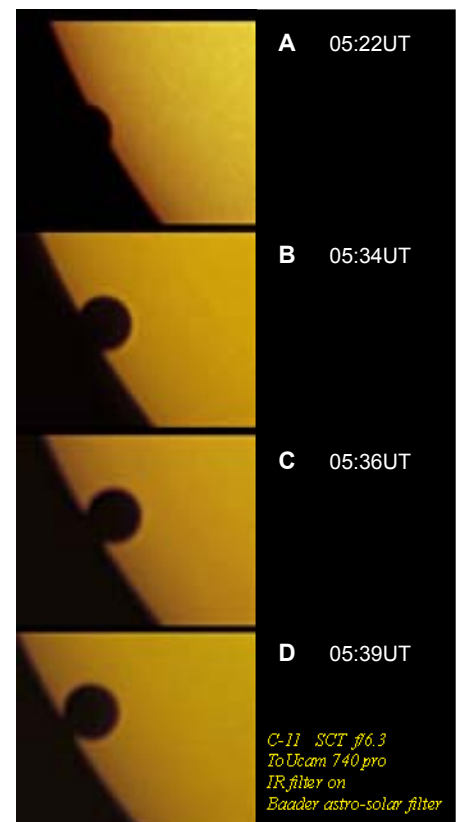
Η διάρκεια της έκθεσης μπορεί να βρεθεί επί τόπου. Για τη λήψη του Φωτοστέφανου θα χρειαστεί μεγαλύτερη έκθεση. Στις Ψηφιακές Φωτογραφίες που θα ληφθούν μπορεί να γίνει επεξεργασία για να τονιστούν οι αντιθέσεις ακόμη και σε μια περιοχή τους, π.χ. να τονιστεί μόνο η περιοχή του Φωτοστέφανου.

Βιντεοσκόπηση - Webcam

Η Βιντεοσκόπηση προσφέρει συνεχή κάλυψη της εξέλιξης του φαινομένου σε μία τυπική ροή της τάξεως των 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο ή και περισσότερο. Συνιστάται να χρησιμοποιηθεί μια μικροκάμερα για το Internet (**Webcam**) με αποσπώμενο φακό, καθώς με κατάλληλο σύστημα, αφού αφαιρεθεί ο Προσοφθάλμιος, μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα κοντά στην Εστία του Τηλεσκοπίου, και να συνδεθεί σε Θύρα USB υπολογιστή για απευθείας αποθήκευση της λήψης σε αρχείο, με απώτερο σκοπό την Ψηφιακή Επεξεργασία του. Οι πιο προχωρημένοι ερασιτέχνες χρησιμοποιούν κάμερες ειδικά σχεδιασμένες για πλανητική παρατήρηση. Η διάμετρος του Ηλιακού Δίσκου στην Εστία ενός Διοπτρικού Τηλεσκοπίου είναι 9.5mm περίπου για κάθε μέτρο Εστιακής Απόστασης και οι διαστάσεις του οπτικά ευαίσθητου τοπί της Webcam είναι 3x4mm, που σημαίνει ότι για Τηλεσκόπιο Εστιακής Απόστασης 1m, στη Webcam



Η Διάβαση του 2012 όπως θα παρατηρηθεί από διαφορετικούς τύπους Οργάνων.



Φωτογραφίες που ελήφθησαν από το Δημήτρη Κολοβό στο Ήλιο (Α) λίγο μετά την 1^η Επαφή και (C), (D) κατά τη 2^η Επαφή της Διάβασης της Αφροδίτης το 2004. Διακρίνεται πώς εξελίχθηκε το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας μεταξύ 05:36UT και 05:39UT.



αποτυπώνεται το 1/3 του Ηλιακού Δίσκου, που σημαίνει λήψη με αρκετά καλή ακρίβεια. Οι Webcam μπορούν να πάρουν φωτογραφίες με πολύ μικρούς χρόνους έκθεσης της τάξης του 1/100s και ουσιαστικά να παγώσουν τις διαταραχές της Ατμόσφαιρας. Με τη χρήση ειδικού Λογισμικού, μπορούμε να **Στοιβάξουμε (Stacking)** πολλές εικόνες και να πάρουμε μια πολύ καλύπτρης ποιότητας εικόνα με καλό **Λόγο Σήματος προς Θόρυβο (Signal to Noise Ratio - SNR)**. Καθώς η Αφροδίτη κινείται σε σχέση με τον Ήλιο περίπου με ταχύτητα 1" της μοίρας ανά 20s ώρας δεν πρέπει να συνδυάζονται εικόνες που απέχουν περισσότερο από κάποια δευτερόλεπτα.

Καταγραφή με CCD

Η καταγραφή της Διάβασης με CCD (**Charge Coupled Device - Συσκευή Σύζευξης Φορτίου**) επιτρέπει όχι μόνο τη γεωμετρική μελέτη και την παρατήρηση των φαινομένων της Διάβασης, αλλά και τη Φωτομέτρηση της περιοχής του Φωτοστέφανου και της περιοχής της Μαύρης Σταγόνας, που βοηθά ακόμη περισσότερο στη μελέτη αυτών των φαινομένων. Σε συνδυασμό μάλιστα με φίλτρα μπορεί να βοηθήσει στην αποτύπωση του ίχνους της Ατμόσφαιρας της Αφροδίτης.

Καθώς όμως τα φωτοστοιχεία μιας συσκευής CCD δεν είναι πανομοιότυπα ως προς την ευαισθησία, παρουσιάζουν διαφορετικό επίπεδο θορύβου κ.ά. και επιπλέον υπεισέρχονται και εξωγενείς παράγοντες αλλοίωσης της Λαμπρότητας, π.χ. βαθμιδωτή εξασθένιση της εικόνας από το κέντρο προς τα άκρα, η οποία προέρχεται από το Τηλεσκόπιο, σκόνες στα εξαρτήματα του Τηλεσκοπίου και τη CCD κ.ά. πρέπει να προηγούνται επίτινες διαδικασίες προς ψηφιακή αποτύπωση των ατελειών, με σκοπό την ψηφιακή τους αφαίρεση από τις τελικές εικόνες. Πριν τη λήψη εικόνων με CCD προηγείται η λήψη μερικών εικόνων ομοιόμορφα φωτισμένου υπόβαθρου (**Flat Frames**) π.χ. σε ένα λευκό T-shirt και σκοτεινού υπόβαθρου (**Dark Frames**) π.χ. με μαύρο καπάκι τοποθετημένο στον Αντικειμενικό και μετά από επεξεργασία η δημιουργία ενός δισδιάστατου ίχνους για τα εικονοστοιχεία της CCD που θα αφαιρείται από κάθε κανονική εικόνα.

Άλλο μειονέκτημα που αφορά ειδικά τις μονόχρωμες συσκευές CCD (που υπερτερούν των έγχρωμων καθώς έχουν 3πλάσια Διακριτική Ικανότητα) είναι ότι παίρνουν ασπρόμαυρες εικόνες και για την σύνθεση έγχρωμων εικόνων πρέπει να γίνει χρήση σε διαδοχή 3 φίλτρων διαφορετικών χρωμάτων κάτι που πλην της δυσκολίας χειρισμού συνεπάγεται και ότι μπορεί να χαθούν πολύ μικρής διάρκειας φαινόμενα ειδικά κατά την Είσοδο και την Έξοδο του Πλανήτη κατά την εναλλαγή των φίλτρων.

Επεξεργασία φωτογραφικού υλικού

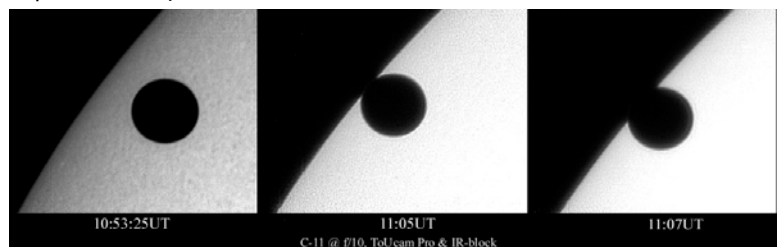
Στις συνήθεις τεχνικές επεξεργασίας των Ψηφιακών Εικόνων, που προέρχονται από οποιαδήποτε από τις πιο πάνω συσκευές συμπεριλαμβάνεται η **Ενδυνάμωση της Αντίθεσης (Contrast Stretching)** και της **Οξύτητας (Sharpening)** του ειδώλου. Με αυτές τις τεχνικές αναδεικνύονται οι οριακές διαφορές, που δύσκολα ή καθόλου διακρίνει απευθείας το μάτι. Αυτές οι διαδικασίες όμως πρέπει να γίνονται προσεκτικά, διότι τα χρησιμοποιούμενα Ψηφιακά Φίλτρα Λογισμικού μπορεί να δημιουργήσουν και **Ψευδή Χαρακτηριστικά (Artefacts)**, όπως δακτυλίους γύρω από το περιγράμματα της Αφροδίτης ή φωτισμένες περιοχές στο εσωτερικό της, καθώς επιδρούν σε μια περιοχή της εικόνας και όχι μόνο σε μεμονωμένα σημεία.

Στο ψηφιακό αποτέλεσμα πρέπει να αποτυπώνεται η χρονική στιγμή λήψης σε χρόνο UT, ο Χρόνος Έκθεσης, η Ρύθμιση του Κλείστρου (Shutter Setting) και το Τελικό Εστιακό Μήκος (Effective focal length) του οπτικού συστήματος. Επίσης, καλό είναι να καταγράφεται και ο προσανατολισμός του ειδώλου της εικόνας. Κατά τυποποίηση, χρησιμοποιείται ο προσανατολισμός του Ήλιου όπως φαίνεται μέσα από ένα Διοπτρικό Τηλεσκόπιο χωρίς Διαγώνιο Πρίσμα, με τον Νότο στο επάνω μέρος της εικόνας, τον Βορρά αντίστοιχα στο κάτω μέρος και την Ανατολή δεξιά.

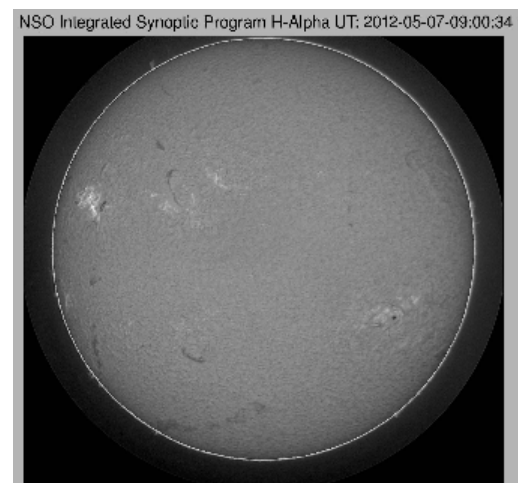
Όσοι δεν έχουν την ευκαιρία να κάνουν παρατήρηση εκ του φυσικού ή έχουν την ατυχία να έχει συνεφειά ή θέλουν να παρακολουθήσουν από την αρχή τη Διάβαση αλλά δεν έχει ανατείλει ακόμη ο Ήλιος, έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν από τον ιστοτόπο: <http://gong.nso.edu> όλη τη Διάβαση όπως θα καταγράφεται από Τηλεσκόπιο του **Global Oscillation Network Group (GONG)**, που βρίσκεται στο **Mauna Loa 19°32'10"N, 155°34'34"W** της Hawaii. Ο ιστοτόπος ενημερώνεται ανά 1' της ώρας με εικόνα του Ήλιου που λαμβάνεται στο Φίλτρο Γραμμής Ha, επεξεργασμένη χωρίς Ψευδή Χαρακτηριστικά της CCD και με ρύθμιση της Λαμπρότητας, ώστε να υπάρχει ομοιομορφία μεταξύ των διαδοχικών εικόνων. Ο προσανατολισμός των εικόνων είναι ο ίδιος με αυτόν που έχει ο Ήλιος στον Ουρανό.



Η φωτογραφία της Αφροδίτης όπως ακριβώς λήφθηκε χωρίς να αναστραφεί (ο Νότος βρίσκεται στο πάνω μέρος και η Ανατολή στα δεξιά), κατά τη Διάβαση του 2004, από τους Fred Ley και Ιάκωβο Στέλλα. Πάνω αριστερά έχει αποτυπωθεί ο προσανατολισμός του Ήλιου, ενώ αναφέρονται και τα χαρακτηριστικά του Συστήματος Λήψης.



Φωτογραφίες της Διάβασης της 8^{ης} Ιουνίου 2004 από τον Πέτρο Γεωργόπουλο στο Παρατηρητήριο Εύδοξος στο βουνό Αίνας της Κεφαλλονιάς. Και αυτές οι φωτογραφίες δεν έχουν αναστραφεί και διατηρήθηκε ο προσανατολισμός τους όπως ελήφθησαν από το Τηλεσκόπιο.



Το GONG διαθέτει 6 Τηλεσκόπια διασπαρμένα στη Γη, που παρακολουθούν συνεχώς τον ήλιο και ενημερώνουν τον ιστοτόπο του ανά 1' της ώρας.



Όσοι τελικά δεν καταφέρουν να δουν τη Διάβαση της Αφροδίτης και θέλουν να παρατηρήσουν εκ του φυσικού τη μαγεία μιας Διάβασης, πρέπει να περιμένουν μέχρι τις 9/5/2016, που μεταξύ 11:12UT και 18:39UT θα πραγματοποιήσει Διάβαση ο Πλανήτης Ερμής.

Οι Διαβάσεις της Αφροδίτης στην Ιστορία

Το 1627, ο Kepler δημοσίευσε τους **Rudolphine Tables** για τις πλανητικές κινήσεις. Από αυτούς μπόρεσε να κάνει μια λεπτομερή και αρκετά ακριβή πρόβλεψη των μελλοντικών θέσεων και των συζυγιών των πλανητών. Προς έκπληξή του διαπίστωσε ότι τόσο ο Ερμής όσο και η Αφροδίτη θα πραγματοποιούσαν Διάβαση μπρος από το Δίσκο του Ήλιου στο τέλος του 1631. Ο Kepler πέθανε το 1630 και δεν πρόφτασε να παρακολουθήσει κάποιο από αυτά τα φαινόμενα. Αυτός που πέτυχε να είναι ο πρώτος μάρτυρας παρατήρησης Διάβασης ήταν ο Γάλλος Αστρονόμος **Pierre Gassendi** (1592-1655), που κατάφερε να παρατηρήσει τη Διάβαση του Ερμή στις 7 Νοεμβρίου του 1631 από το Παρίσι. Όμως ακριβώς ένα μήνα μετά, στις 7 Δεκεμβρίου, δεν κατάφερε να παρατηρήσει τη Διάβαση της Αφροδίτης. Σύμφωνα με σύγχρονους υπολογισμούς, ούτως ή άλλως, δεν ήταν ορατή από το Παρίσι καθώς η 4^η Επαφή της θα γινόταν κατά την ανατολή του Ήλιου στην Κεντρική Ευρώπη.

Κατά τις προβλέψεις του Kepler, η επόμενη Διάβαση που αποτελούσε το δεύτερο μέλος του ζεύγους της Διάβασης του 1631 θα χανόταν για πολύ λίγο, καθώς από εσφαλμένο υπολογισμό ο Kepler είχε προβλέψει ότι η Αφροδίτη θα διερχόταν νοτιότερα του Ηλιακού Δίσκου και κατά συνέπεια η επόμενη Διάβαση θα συνέβαινε έναν αιώνα μετά. Παρόλα αυτά, ο πολλά υποσχόμενος Βρετανός Αστρονόμος **Jeremiah Horrocks**, (1618-1641) μετά από παρατηρήσεις της θέσης της Αφροδίτης, απέδειξε ότι η Διάβαση θα συνέβαινε στις 15:00 της 24^{ης} Νοεμβρίου (4 Δεκεμβρίου κατά το Γρηγοριανό Ημερολόγιο) του 1639. Αυτός όμως ο υπολογισμός ολοκληρώθηκε μόλις ένα μήνα πριν από το φαινόμενο, οπότε δεν του έμεινε πολύς χρόνος για να το διαδώσει. Έτσι, μόνον ο Horrocks στο Much Hoole κοντά στο Preston και ένας φίλος του Μαθηματικός και Αστρονόμος ο **William Crabtree** (1610-1644) στο Broughton κοντά στο Manchester υπήρξαν οι μόνοι μάρτυρες του φαινομένου. Ο Horrocks πρόβαλε την εικόνα του Ήλιου από ένα τηλεσκόπιο πάνω σε ένα λευκό χαρτί (Ηλιοσκόπιο) και καθώς στις 15:15 τα σύννεφα καθάρισαν μπρος από τον Ήλιο για μισή ώρα μέχρι να δύσει, παρατήρησε τη μαύρη κουκίδα της Αφροδίτης να κινείται πάνω στο δίσκο του. Από την παρατήρηση που έκανε σε αυτό το μικρό χρονικό διάστημα, υπολόγισε ακριβώς τη θέση του Αναβιβάζοντα Συνδέσμου της τροχιάς της Αφροδίτης, κατάφερε να εκτιμήσει κατά προσέγγιση ότι η Γωνιώδης Διάμετρος της είναι 1' της μοίρας, έβγαλε το συμπέρασμα ότι η Ηλιακή Παράλλαξη δεν είναι μεγαλύτερη των 14" του λεπτού της μοίρας και τέλος, συμπέρανε ότι η απόσταση Γης-Ήλιου αντιστοιχεί σε 14,700R_⊕, δηλαδή 94,000,000km.

Το 1663 ο Σκώτος Μαθηματικός **James** (1638-1675) στο έργο του **Optica Promota** πρότεινε να παρατηρηθούν και να χρονομετρηθούν οι Διαβάσεις του Πλανήτη Ερμή από μακρινά μεταξύ τους σημεία πάνω στη Γη, ώστε να υπολογιστεί η Παράλλαξή του και κατά συνέπεια η Αστρονομική Μονάδα.

Αυτή η πρόταση έγινε γνωστή στο νεαρό τότε Αστρονόμο Edmund Halley. Ενώ βρισκόταν στο νησί Saint-Hélène στο Νότιο Ατλαντικό για να συμπληρώσει τον κατάλογο των αστερών του Νότιου Ημισφαιρίου, στις 7 Νοεμβρίου του 1677, του δόθηκε η ευκαιρία και έκανε παρατήρηση της Διάβασης του Ερμή. Απογοητεύτηκε όμως όταν διαπίστωσε ότι υπήρχε μόνο μια ακόμη παρατήρηση και δεν ήταν ικανοποιημένος από την εκτίμηση της Παράλλαξης του Ήλιου σε 45" καθώς τη θεώρησε (και όχι άδικα) εκτός πραγματικότητας. Το 1678 πρότεινε λοιπόν ότι πιο ακριβείς υπολογισμοί θα μπορούσαν να γίνουν κάνοντας μετρήσεις των Διαβάσεων της Αφροδίτης, αφού αυτός ο Πλανήτης έχει μεγαλύτερη Γωνιώδη Διάμετρο, που μπορεί μετρηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς βρίσκεται πιο κοντά στη Γη από τον Ερμή και κατά συνέπεια παρουσιάζει και μεγαλύτερη Παράλλαξη. Υποστήριξε μάλιστα μια πολύ πρωτότυπη μέθοδο, που εκτός από τη βασική απαίτηση οι τόποι να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη διαφορά Γεωγραφικού Πλάτους, απαιτούσε να βρίσκονται σε παραπλήσιο Γεωγραφικό Μήκος, ώστε να μην αλλάζει η προοπτική της πρότυπης απόστασης με το χρόνο, και προκειμένου να μειωθούν τα σφάλματα των Γωνιομετρικών Οργάνων υποδείκνυε έναν τρόπο διόρθωσης των γωνιών με συντελεστές που προέκυπταν από τη χρονομέτρηση της διάρκειας της Διάβασης σε κάθε Παρατηρητήριο. Από αυτήν τη μέθοδο ο Halley υπολόγιζε ότι θα μπορούσε να εκτιμήσει την Παράλλαξη με μια ακρίβεια της τάξης του 2%, αν θα ήταν δυνατόν να μετρηθεί η χρονική στιγμή των Επαφών με ακρίβεια 2s της ώρας. Η επόμενη όμως Διάβαση της Αφροδίτης προβλεπόταν να γίνει το 1761. Φυσικά ο Halley λόγω ηλικίας δεν θα την πρόφτανε, οπότε προέτρεψε την επόμενη γενιά να οργανώσει και να χρηματοδοτήσει αυτές τις αποστολές.

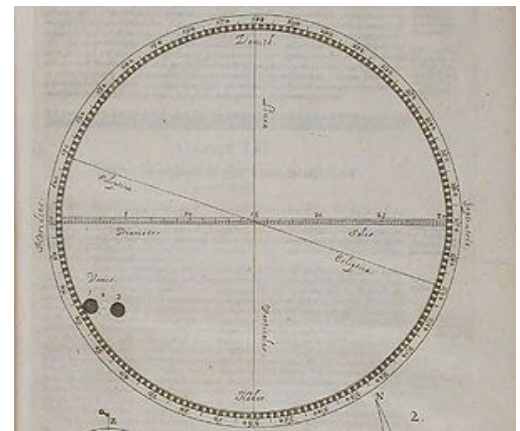
Όμως για την παρατήρηση των Διαβάσεων του 1761 και 1769, εκτός από το πρόβλημα του μακρινού και επικίνδυνου ταξιδιού οι Αστρονόμοι είχαν να αντιμετωπίσουν και το πρόβλημα των αντιπαραθέσεων μεταξύ των κρατών. Εκείνη την περίοδο διεξαγόταν ο 7ετής Πόλεμος μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας, που είχε επεκταθεί και στις αποικίες τους και στη θάλασσα. Όμως, παρά τη σφοδρότητα των εχθροπραξιών και την έχθρα μεταξύ των εμπολέμων, έγιναν και από τις δύο αντιμαχόμενες



Ο Jeremiah Horrocks υπήρξε λαμπρό μυαλό. Ήταν ο πρώτος που απέδειξε ότι η Σελήνη κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τη Γη και ξεκίνησε να εξετάζει μαθηματικά τις ιδιότητες της Δύναμης της Βαρύτητας. Ο Isaac Newton στο έργο του Principia αναγνωρίζει το έργο του Horrocks σχετικά με τις θεωρίες για τη Σελήνη. Δυστυχώς τόσο ο Horrocks όσο και ο Crabtree πέθαναν νέοι πριν δείξουν τις δυνατότητές τους.



Ο William Crabtree ενώ παρατηρεί τη Διάβαση της Αφροδίτης το 1639.



Σχέδιο της παρατήρησης της Διάβασης της Αφροδίτης την 4^η Δεκεμβρίου του 1639 από τον Jeremiah Horrocks. Το έργο του Horrocks με τίτλο **Venus in sole visa** δημοσιεύτηκε το 1662 από τον Johannes.



Ο Edmund Halley είναι περισσότερο γνωστός στον κόσμο από τον Κομήτη στον οποίο δόθηκε το όνομά του, καθώς το 1705 υπολόγισε την περίοδό του.

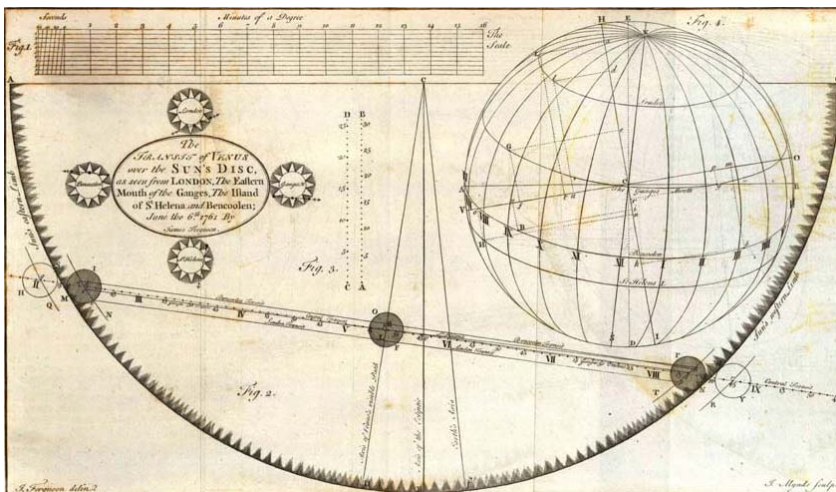
πλευρές δεκτές οι επιστολές με την περιγραφή της αποστολής των Αστρονόμων, ώστε να τους προσφερθούν άδειες διέλευσης και διευκολύνσεις για την εκπλήρωση του σκοπού τους. Η θεά του Έρωτα συνέβαλε στην πρώτη στην Ιστορία συνεργασία επιστημόνων αντιμαχομένων κρατών για το καλό της Ανθρωπότητας. Χαρακτηριστικά, ο Βρετανικό Ναυαρχείο επέτρεψε ασφαλή διέλευση του Alexandre Guy Pingré και η Γαλλική Κυβέρνηση διέταξε όλες τις μονάδες της να μην παρενοχλήσουν τον Captain James Cook κατά το ταξίδι του προς την Ταϊτή.

Το 1761 βρήκε την επιστημονική κοινότητα σε κινητοποίηση. Οργανώθηκαν αποστολές σε πολλά διαφορετικά σημεία της Γης, ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και υπολογισμοί σύμφωνα με την πρόταση του Halley. Στην προσπάθεια να παρατηρηθεί η πρώτη Διάβαση του ζεύγους, 160 Αστρονόμοι και εξερευνητές από τη Γαλλία, τη Βρετανία, την Αυστρία και τη Δανία ταξίδεψαν σε 62 προορισμούς τόσο στην Ευρώπη όσο και στα πέρατα της Γης. Από τους Γάλλους Αστρονόμους ο γνωστός για τη μέτρηση της απόστασης Γης-Σελήνης Jérôme De Lalande έμεινε στο Παρίσι, ο εγγονός του Domenico Cassini ο **César Cassini** (1714-1784) πήγε στη Βιέννη, ο **Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche** (1722-1769) ταξίδεψε στην πρωτεύουσα της Σιβηρίας το Tobolsk, ο **Guillaume Le Gentil** (1725-1792) βρέθηκε στο νησί Mauritius (αντί για το Pondichéry στην Ινδία που ήταν ο αρχικός προορισμός του, καθώς το βρήκε υπό Αγγλική αντί υπό Γαλλική κατοχή όταν έφτασε), ο **Alexandre Guy Pingré** (1711-1796) ταξίδεψε στο νησί Rodriguez στα βόρεια της Μαγαδασκάρης. Ο πρώτος Αμερικανός Αστρονόμος ο **John Winthrop** (1714-1779) κατάφερε να κάνει παρατήρηση από το St John's του Newfoundland στον Καναδά, ο Βρετανός Αστρονόμος διάδοχος του Halley **James Bradley** (1693-1762) μαζί με τον **Charles Mason** (1728-1786) και τον **Jeremiah Dixon** (1733-1779) βρέθηκαν στο Cape of Good Hope (Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας) (αντί για τη Bencoolen στη Sumatra που ήταν ο αρχικός προορισμός τους καθώς την είχαν καταλάβει οι Γάλλοι!), ο παθιασμένος με την Αστρονομία Γερμανοδανός Πάστορας **Johan Maurits Mohr** (1716-1775) ταξίδεψε στη Batavia της Τσακάρτα. Ας σημειωθεί ότι κάποιοι από αυτούς τους τόπους, όπως η Batavia, η Bencoolen και το Pondichéry είχαν υποδειχθεί από το 1716 ως περιοχές κατάλληλες για παρατήρηση από τον Halley.

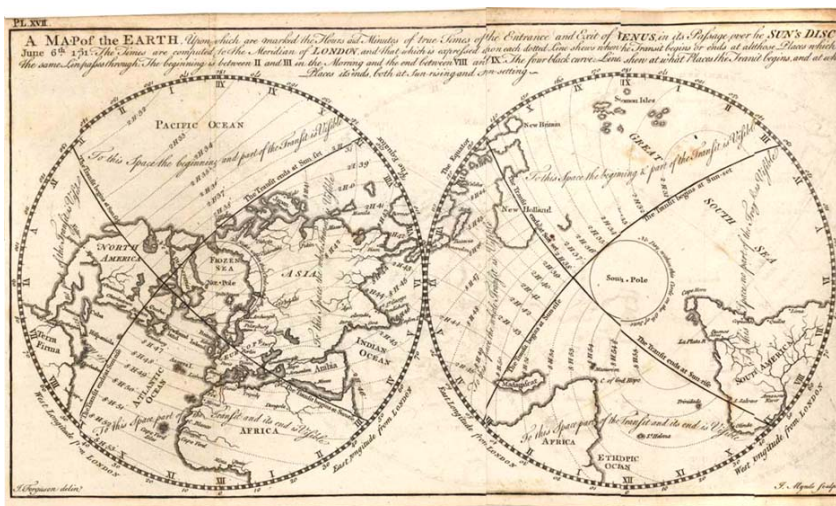
Μια κωμικοτραγική Ιστορία που έγινε όπερα!

Ο Guillaume Le Gentil υπήρξε το άκρο άνω της ατυχίας και η πιο τραγική μορφή Αστρονόμου, σε τέτοιο βαθμό μάλιστα που η ζωή του να γίνει και όπερα, από το συνθέτη Victor Davies σε λιμπρέτο του Maureen Hunter.

Το 1760 ταξιδεύοντας προς το Pondichéry στην Ινδία, με σκοπό να παρακολουθήσει τη Διάβαση του 1761, η πόλη καταλήφθηκε από τους Άγγλους και το πλοίο του αναγκάστηκε να βάλει πλώρη προς το νησί Mauritius. Στις 6 Ιουνίου όμως δεν μπόρεσε να κάνει παρατήρηση, παρόλο που ο ουρανός ήταν καθαρός, αφού βρισκόταν ακόμη στο πλοίο έχοντας ακόμη μόλις μια μέρα ταξίδι! Αφού είχε διανύσει τόσο μεγάλη απόσταση αποφάσισε να περιμένει την επόμενη Διάβαση, αντί να επιστρέψει στη Γαλλία. Κατευθύνθηκε προς τη Manila στις Φιλιππίνες, αλλά συνάντησε εχθρική στάση από τις Ισπανικές αρχές. Αποφάσισε να πάει στον τελικό προορισμό του το Pondichéry που είχε επιστρέψει στους Γάλλους. Έφτασε ένα χρόνο πριν τη Διάβαση και οργάνωσε το παρατηρητήριο του. Όμως παρόλο που όλες τις άλλες μέρες ο ουρανός ήταν καθαρός, κατά την ημέρα της Διάβασης συννεφίασε! Η κακοτυχία του τον κατέθλιψε, αλλά επανήλθε και ξεκίνησε να επιστρέψει στη Γαλλία. Έπαθε όμως δυσεντερία και επιπλέον το πλοίο του έπεσε σε καταιγίδα και εγκαταλήφθηκε σε ένα νησί, από όπου τον παρέλαβε ένα Ισπανικό πλοίο. Φτάνοντας τελικά στη Γαλλία το 1771 (11 χρόνια μετά την αναχώρησή του) ανακάλυψε ότι είχε θεωρηθεί νομικά νεκρός, είχε διαγραφεί από την Ακαδημία Επιστημών, η γυναίκα του είχε ξαναπαντρευτεί και οι συγγενείς του είχαν λεηλατήσει την περιουσία του. Μετά από μακρές αντιδικίες επενέβει ο βασιλιάς και ξαναπήρε τη θέση του στην Ακαδημία και την περιουσία του (happy end).



Σχέδιο του James Ferguson στο βιβλίο του Astronomy Explained Upon Sir Isaak Newton's Principles για τη Διάβαση της Αφροδίτης το 1761, όπως την παρατήρησαν από το Λονδίνο.



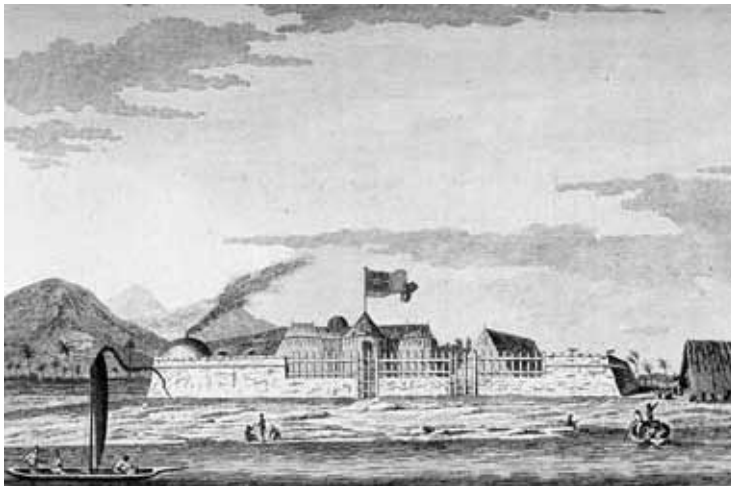
Χάρτης του James Ferguson στον οποίο έχουν σχεδιαστεί οι καμπύλες (έντονα χιασά τόξα) που οριοθετούν τις περιοχές ανάλογα με το ποσοστό θέασης της Διάβασης της Αφροδίτης το 1761. Οι υπόλοιπες καμπύλες που τις τέμνουν κάθετα, περνούν πάνω από τόπους στους οποίους η Είσοδος ή η Έξοδος της Διάβασης παρατηρήθηκε ακριβώς την ίδια χρονική στιγμή. Παρατηρήστε πόσο παραμορφωμένη είναι η ακτογραμμή των ηπείρων. Αυτό οφείλεται στη μη σωστή γνώση του Γεωγραφικού Μήκους εκείνη την εποχή. Ήταν και αυτός ένας βασικός παράγοντας εισαγωγής σφάλματος στον υπολογισμό της απόστασης Γης-Ήλιου.

Παρά την οργάνωση, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις μετρήσεις των παρατηρήσεων του 1671 ήταν μάλλον απογοητευτικά. Οι τιμές που βρέθηκαν για την Παράλλαξη του Ήλιου (που είναι συνάρτηση της απόστασης Γης-Ήλιου) ποίκιλαν από 8.5'' μέχρι 10.5'' του λεπτού της μοίρας. Κύρια αιτία των αποκλίσεων ήταν η εσφαλμένη γνώση του Γεωγραφικού Μήκους των σημείων παρατήρησης (το ρολόι του John Harrison για τον ακριβή προσδιορισμό του Γεωγραφικού Μήκους βρισκόταν ακόμη σε φάση ελέγχου) και κυρίως, το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας.

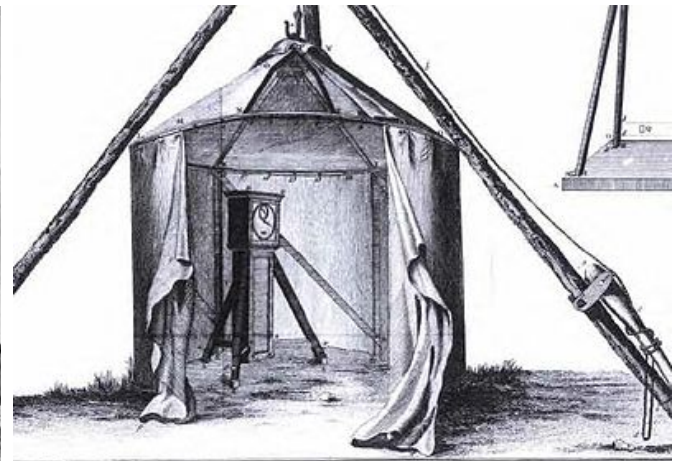
Το 1769, για τη δεύτερη Διάβαση του ζεύγους, οργανώθηκαν 151 επαγγελματικές παρατηρήσεις από 77 τόπους. Οι Βρετανοί Αστρονόμοι **Joseph Wales** (1734-1798) και **Joseph Dymond** ταξίδεψαν στο Fort Churchill του Hudson Bay του Καναδά, οι Jeremiah Dixon και **William Bayly** (1737-1810) στο νησί Hammerfest στη Νορβηγία και ο Charles Green μαζί με τον Captain James Cook στην περιοχή που είναι πλέον γνωστή ως Point Venus στην Tahiti (η οποία είχε ανακαλυφθεί μόλις πριν από 2 χρόνια). Την οργάνωση των Γαλλικών αποστολών την ανέλαβε ο Lalande. Τα σημεία παρατήρησης τα επέλεξε ο Pingré. Ο Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche στάλθηκε στο San José del Cabo της Καλιφόρνια (όπου άφησε τα κόκαλά του πεθαίνοντας από επιδημία κίτρινου πυρετού), ενώ ο Guillaume Le Gentil είχε καταφέρει τελικά να βρεθεί στο Pondichéry στην Ινδία, αφού είχε παραχωρηθεί πάλι στους Γάλλους. Και από τα άλλα έθνη υπήρξαν συμμετοχές. Σε διάφορες τοποθεσίες στη Ρωσία ταξίδεψαν ο Γερμανός **Christian Mayer** (1719-1783) και ο διάσημος Ελβετός Μαθηματικός **Leonard Euler** (1707-1783). Ο Ρώσος Πολυμαθής **Mikhail Lomonosov** (1711-1765) παρατήρησε τη Διάβαση από το Petersburg.



Καταγραφή της 1^{ης} και 2^{ης} Επαφής της Διάβασης της Αφροδίτης στις 3 Ιουνίου του 1769 στο Ημερολόγιο του Captain James Cook. Στο σχέδιό του φαίνεται να τονίζεται το φαινόμενο της Μαύρης Σταγόνας.



Το οχυρωμένο Αστεροσκοπείο του Captain James Cook στο Point of Venus στην Ταϊτή.

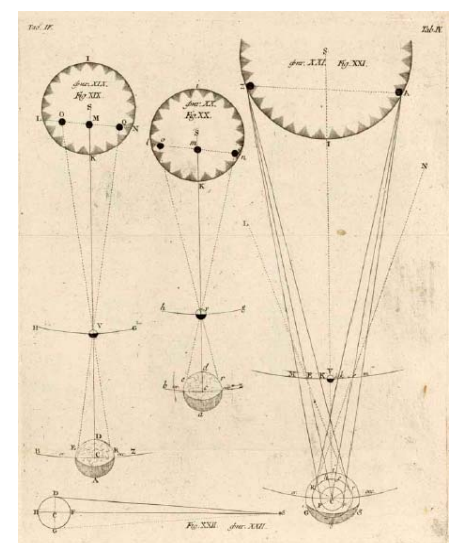


Κινητό Παρατηρητήριο που χρησιμοποιήθηκε από τον Captain Cook. Διακρίνεται ένα ρολόι μέτρησης Αστρικού Χρόνου.

Σε κάποιες περιοχές έγινε ακριβής μέτρηση του Γεωγραφικού Μήκους με τη μέθοδο της Έκλειψης Σελήνης που συνέβει λίγες μέρες μετά στις 18 Ιουνίου και σε άλλους με τη μέθοδο της Σεληνιακής Απόστασης από γνωστό Αστέρη. Αυτή τη φορά οι τιμές της Ηλιακής Παράλλαξης κυμαίνονταν μεταξύ 8.43'' και 8.80''. Από τη λεπτομερή επεξεργασία των μετρήσεων ο διευθυντής του Αστεροσκοπείου του Βερολίνου **Johann Encke** (1791 - 1865) υπολόγισε τελικά την Παράλλαξη του Ήλιου σε 8.57'', κάτι που αντιστοιχεί σε 153,340,000km.

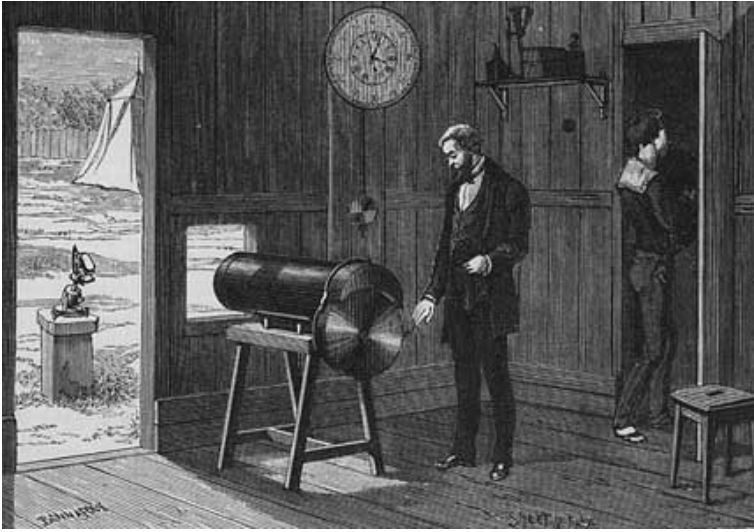
Μετά από έναν αιώνα, το 1874, είχε προηγηθεί σημαντική τεχνολογική εξέλιξη. Συγκεκριμένα, είχε βελτιωθεί σημαντικά η ακρίβεια των ρολογιών και είχε γίνει πλήρης και λεπτομερής χαρτογράφηση της Υδρογείου. Το Γεωγραφικό Μήκος κάθε τόπου ήταν επακριβώς γνωστό και το σημαντικότερο, είχε εφευρεθεί τεχνική να παγώνει τα γεγονότα, η **Φωτογραφία**. Η Φωτογραφία απλοποίησε πολύ τη διαδικασία της παρατήρησης και εξάλειψε τα σφάλματα του ανθρώπινου παράγοντα. Με μια πολύ πρωτότυπη κατασκευή ο Γάλλος Αστρονόμος Pierre-César Jules Janssen επιχείρησε να φωτογραφήσει φάσεις της Διάβασης στιγμιότυπο προς στιγμιότυπο. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποίησε μια Φωτογραφική Μηχανή Revolver.

Οι Βρετανοί υπό τη διεύθυνση του Αστρονόμου που καθιέρωσε ως πρώτο μεσημβρινό το Μεσημβρινό Greenwich, του **George Airy** (1801-1892), οργάνωσαν 6 αποστολές που στάλθηκαν στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου, στο νησί Rodrigues, στο Christchurch της Νέας Ζηλανδίας, στα νησιά Sandwich και στα απομονωμένα νησιά του Νότιου Ινδικού Kerguelen. Στα νησιά Kerguelen βρέθηκαν ακόμη μια αποστολή Γερμανών και μια Αμερικανών. Συνολικά οι Αμερικανοί οργάνωσαν 8 αποστολές υπό τη διεύθυνση του Καναδοαμερικανού Αστρονόμου **Simon Newcomb** (1835-1909).



Αυτό το σχέδιο του Christian Mayer από την εργασία Expositio de transitu veneris ante discum solis Petersburg 1769 παρουσιάζει πώς φαίνεται η θέση της Αφροδίτης από διάφορους τόπους πάνω στη Γη.

Οι Γάλλοι οργάνωσαν 3 αποστολές στο Βόρειο και 3 αποστολές στο Νότιο Ημισφαίριο. Ταξίδεψαν στο Peking στην Κίνα, στη Saigon στην Ινδοκίνα, στο Nagasaki στην Ιαπωνία, στο νησί Saint-Paul, στη New Caledonia στη Νουμέα. Στη Ρωσία το φαινόμενο καλύφθηκε από 24 σταθμούς που κατανεμήθηκαν από την Ιαπωνία μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα.



Η Φωτογραφική Μηχανή Revolver του Janssen σε διαδικασία λήψης στο Nagasaki κατά τη Διάβαση της 9^{ης} Δεκεμβρίου του 1874. Μπορούσε να πραγματοποιήσει 48 εκθέσεις σε 72s.



Ο δίσκος με τις Δαγκεροτυπίες που ετοποθετείτο στο εσωτερικό του Φωτογραφικού Revolver. Διακρίνονται λήψεις κατά τη φάση της Εισόδου (Ingress).



Ο Γερμανικός σταθμός στο Betsy Cove στο νησί Kerguelen. Στα αριστερά μεταλλικό παρατηρητήριο για το Διαθλαστικό Τηλεσκόπιο που ελάμβανε φωτογραφίες, στο κέντρο οι χώροι ενδιαίτησης και στα δεξιά δύο μεταλλικοί θόλοι για Τηλεσκόπια.



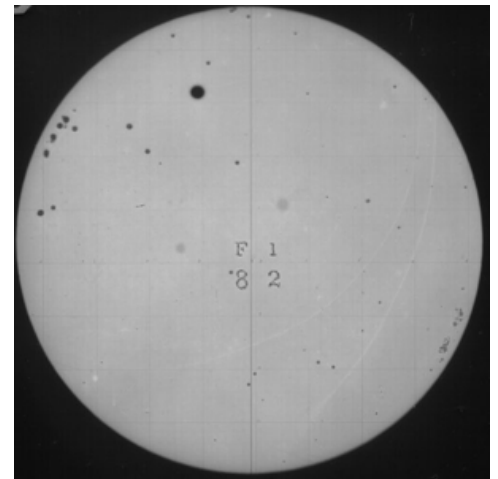
Το Παρατηρητήριο που στήθηκε στο νησί Saint-Paul για τη Διάβαση του 1874. Οι δύο θόλοι καλύπτουν 8" Ισημερινά Τηλεσκόπια. Η παράγκα στο βάθος αριστερά είναι το εμφανιστήριο των φωτογραφιών και στα δεξιά η παράγκα με το Αλταζιμουθιακό.

Οι φωτογραφίες που ελήφθησαν ήταν πάρα πολλές. Η επεξεργασία τους όμως έδειξε ότι πολύ λίγες ήταν αξιοποιήσιμες. Το βασικό πρόβλημα ήταν ότι δεν ήταν ακριβής η απεικόνιση της κλίμακας επάνω τους και αρκετές δεν είχαν το σωστό προσανατολισμό προς τον Ήλιο. Αξιοσημείωτο είναι (αν και εκτός του θέματος της Διάβασης) ότι στις 31 Δεκεμβρίου έγινε και η πρώτη Φασματοσκοπική Ανάλυση της Αφροδίτης, χωρίς όμως να προκύψει κάτι το ενδιαφέρον.

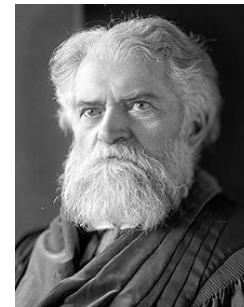
Η Διάβαση του 1882 ήταν πλήρως ορατή σε όλη σχεδόν την Αμερικανική Ήπειρο. Οργανώθηκαν αποστολές στην Αϊτή, στο Μεξικό, τη Φλώριδα, στη Χιλή, στην Παταγωνία. Βρισκόμαστε πλέον σε μια εποχή που τα Μαθηματικά, η Φυσική, η Τεχνολογία και οι μέθοδοι Ανάλυσης Δεδομένων είχαν προχωρήσει πολύ. Ο Ολοκληρωτικός και Διαφορικός Λογισμός ήταν ένα κοινότυπο εργαλείο, η Αναλυτική Γεωμετρία και η Διανυσματική Ανάλυση είχαν ξεπεράσει κατά πολύ τις δυνατότητες της Κλασικής Γεωμετρίας και τις Τριγωνομετρίας, η Αριθμητική Ανάλυση προσέφερε ισχυρά εργαλεία επεξεργασίας των μετρήσεων. Επίσης, είχαν εξελιχθεί τα οπτικά συστήματα των Τηλεσκοπίων, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα και τα φαινόμενα της

Περίθλασης, ανάλυσης του Φάσματος και γενικά της Κυματικής φύσης του φωτός είχαν μελετηθεί. Οι Αστρονόμοι στο Αστεροσκοπείο Harvard προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν Φασματοσκοπική Ανάλυση για να βρουν τη σύσταση της Ατμόσφαιρας του Πλανήτη. Δεν κατάφεραν να παρατηρήσουν κάτι το αξιοσημείωτο. Θα έπρεπε να περάσουν αρκετά χρόνια να τελειοποιηθούν οι συσκευές αυτές και να ανακαλυφθεί το 1934 ότι στην Ατμόσφαιρά της υπάρχει CO₂. Επίσης, στη διάρκεια αυτής της Διάβασης εξετάστηκε με μεγάλη προσοχή μήπως ο Πλανήτης είχε κάποιο Δορυφόρο.

Ο τύπος έδωσε μεγάλη έκταση στο θέμα της Διάβασης (έγραψαν γι' αυτό μέχρι και οι New York Times) και το κοινό ακολούθησε δείχνοντας τεράστιο ενδιαφέρον. Καπνισμένα γυαλιά και ερασιτεχνικά τηλεσκόπια έγιναν ανάρπαστα και όσοι δεν είχαν προμηθευτεί τέτοιο εξοπλισμό, πλήρωσαν 10¢ για μια παρατήρηση. Η Διάβαση υπήρξε ακόμη και αντικείμενο καλλιτεχνικής έμπνευσης. Το 1882, παραγγέλθηκε στο μουσικό John Philip Sousa (1854-1932) να γράψει ένα μουσικό κομμάτι με τον τίτλο Venus Transit March.



Πλακίδιο μιας από τις 1700 Δαγκεροτυπίες που τράβηξαν οι Αμερικανικές αποστολές κατά τη Διάβαση του 1882. Σε πλακίδιο υπήρχε τυπωμένη αριθμηση και μικρομετρική κλίμακα. Τις μετρήσεις τις λάμβαναν δύο διαφορετικά άτομα από 2 φορές



Τον Simon Newcomb τον απασχόλησε και ο τρόπος μέτρησης της ταχύτητας του φωτός με καλύτερη ακρίβεια προκειμένου να τη χρησιμοποιήσει στον υπολογισμό άλλων αστρονομικών μεγεθών. Σε αυτό το θέμα υπήρξε μέντορας του Φυσικού Albert Michelson.

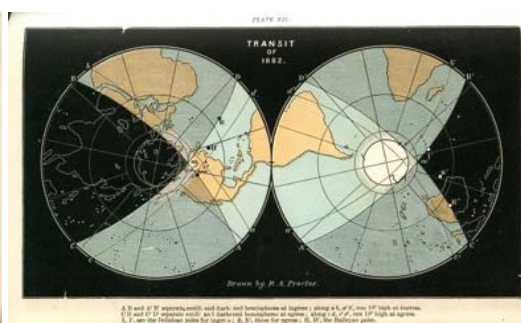
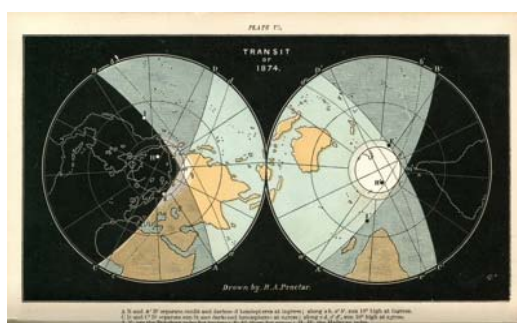


Ο Johann Schmidt από τον καθαρό ουρανό της Αθήνας σχεδίασε τον καλύτερο χάρτη της Σελήνης της εποχής του, ανακάλυψε τον Nona Cygni και ασχολήθηκε με τη Σεισμολογία και την Μετεωρολογία.

Ποιος ξέρει πόσες οφθαλμικές βλάβες προκλήθηκαν από τον τρόπο παρατήρησης που προβλήθηκε από τις εφημερίδες με καπνισμένο γυαλί. ΠΟΤΕ μα ΠΟΤΕ ΔΕΝ κοιτάμε τον Ήλιο με τα μάτια, ούτε και με καπνισμένο γυαλί, ΜΟΝΟΝ μέσα από ειδικά φίλτρα που κόβουν όλες τις ακτινοβολίες και ειδικά την Υπεριώδη.

Στην Ελλάδα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο στο Λόφο των Νυμφών στην Αθήνα, (37°58'24".N, 23°43'05".E), ο Διευθυντής **Johann Friedrich Julius Schmidt** (1825 - 1884) παρατήρησε την έναρξη του φαινομένου κατά τη δύση του Ήλιου (για 20min περίπου) χρησιμοποιώντας ένα 5 ποδιών Διαθλαστικό Τηλεσκόπιο και ένα 2 ποδιών Ηλιακό Τηλεσκόπιο. Επίσης από το θόλο έκανε παρατηρήσεις και ο **Δημήτρης Κοκκίδης** με ένα 6 ποδιών Διαθλαστικό Τηλεσκόπιο.

Οι παρατηρήσεις των Διαβάσεων το 1874 και το 1882 έδωσαν την ευκαιρία να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο οι εκτιμήσεις για την Αστρονομική Μονάδα. Ο Newcomb συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις των τεσσάρων τελευταίων Διαβάσεων υπολόγισε την τιμή της Αστρονομικής Μονάδας σε 149,590,000 km (±310.000 km). Διαπιστώθηκε όμως, ότι η μέθοδος αυτή δεν θα μπορούσε να προσφέρει κάτι καλύτερο στην ακριβή τιμή της Αστρονομικής Μονάδας και εκτός αυτού η Ανθρωπότητα θα έπρεπε να περιμένει άλλα 121.5 χρόνια για να επαναλάβει τις μετρήσεις.



Χάρτες ορατότητας του ζεύγους των Διαβάσεων της 9^{ης} Δεκεμβρίου 1874 και της 6^{ης} Δεκεμβρίου του 1882 από σχέδια του Richard Proctor στο βιβλίο του Transit of Venus.

Ανίχνευση Εξωπλανητών με τη Μέθοδο της Διάβασης

Μέχρι το 1882 κύριος στόχος των παρατηρήσεων μιας Διάβασης ήταν η χρονομέτρησή της με απώτερο σκοπό τη μέτρηση της ΑΥ με τη Μέθοδο Gregory-Halley, τον υπολογισμό των απόλυτων διαστάσεων του Ηλιακού μας Συστήματος και κατ' επέκταση των Αστρικών Αποστάσεων. Σε λιγότερο από έναν αιώνα, είχε βρεθεί άλλη πολύ πιο ακριβής μέθοδος και σήμερα δε χρησιμοποιείται πλέον η Παραλλακτική Μέθοδος για τον υπολογισμό της ΑΥ. Σύγχρονες τεχνικές που βασίζονται στην Τηλεμετρία σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος με Radar δίνουν τιμές της ΑΥ εξαιρετικής ακρίβειας, της τάξης των ± 30 m, και γι' αυτό η Διάβαση της Αφροδίτης στην εποχή μας θα μπορούσε να θεωρηθεί δευτερεύουσας σημασίας αστρονομικό φαινόμενο, που η παρατήρησή του καλύπτει ιστορικούς, εκπαιδευτικούς ή λαϊκής περιέργειας σκοπούς. Αντίθετα όμως, το ενδιαφέρον για αυτό το τόσο σπάνιο αστρονομικό φαινόμενο έχει αναθερμανθεί, καθώς προσφέρει τη μοναδική ευκαιρία να εκτελεστούν σημαντικά πειράματα στο εργαστήριο, που μας προσφέρει το Ηλιακό μας Σύστημα, από τα οποία θα μπορούσαν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τους **Εξωπλανήτες (Exoplanets)**, δηλαδή τους Πλανήτες που περιφέρονται γύρω από άλλους Αστέρες. Μετά την παρατήρηση της πρώτης Διάβασης Πλανήτη σε άλλο Αστέρα από τους **Henry, Marcy, Butler**, και **Vogt** το 1999, η Διάβαση της Αφροδίτης τραβά ξανά το ενδιαφέρον, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και τον έλεγχο νέων τεχνικών και μεθόδων ανακάλυψης και ανάλυσης των χαρακτηριστικών Πλανητών στα γειτονικά μας Αστέρια που έχουν μέγεθος και φυσικά χαρακτηριστικά παρόμοια με της Γης.

Όταν ένας Εξωπλανήτης διέρχεται μπρος από ένα Αστέρα σε σχέση με τη Γη, δηλαδή πραγματοποιεί Διάβαση, λόγω της «Εκλειψης» παρατηρείται από τη Γη μια πολύ μικρή μεταβολή της Φαινόμενης Λαμπρότητας του Αστέρα, της τάξης του $1/10.000$ (100 μέρη στο εκατομμύριο, ppm) που διαρκεί 1 με 16 ώρες. Αυτή η μεταβολή είναι περιοδική, αφού ο Πλανήτης ακολουθώντας τους νόμους της Ουράνιας Μηχανικής έχει και σταθερή Περίοδο περιφοράς. Επομένως, τα 3 αυτά επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά μεταβολής του παρατηρούμενου οπτικού σήματος (το ποσοστό μείωσης της Φαινόμενης Λαμπρότητας, η Διάρκεια μείωσης και η Περίοδος επανάληψης), θεωρώντας ότι προέρχονται από την ίδια αιτία (ίσως Πλανήτη), την ταυτοποιούν και αποτελούν μια μέθοδο ανακάλυψης **Υποψηφίων Εξωπλανητών (Candidate Exoplanets)**. Στη συνέχεια, για να εξακριβωθεί ότι πράγματι πρόκειται για Πλανήτη και όχι άλλο αίτιο, δεν απομένει παρά η συστηματική παρακολούθηση ή και η παρατήρησή του με άλλες μεθόδους και τέλος η εύρεση των χαρακτηριστικών του Πλανήτη. Από την Περίοδο περιφοράς, με τη βοήθεια του $3^{\text{ου}}$ νόμου του Kepler, μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της τροχιάς και η μάζα του Αστέρα. Από την ελάττωση της Φαινόμενης Λαμπρότητας και το Φαινόμενο Μέγεθος του Αστέρα μπορεί να βρεθεί το μέγεθος του Πλανήτη. Τέλος, από το μέγεθος της τροχιάς του Πλανήτη και τη θερμοκρασία του Αστέρα μπορεί να υπολογιστεί η θερμοκρασία του Πλανήτη και από αυτήν να εξαχθεί το συμπέρασμα κατά πόσο ο Πλανήτης είναι κατοικήσιμος από μορφές ζωής παρόμοιες με αυτές που συναντάμε στη Γη.

Μεταβολή της Φαινόμενης Λαμπρότητας

Όταν ένα σκοτεινό σώμα, όπως ένας Πλανήτης περάσει μπρος από το Δίσκο ενός φωτεινού σώματος, όπως ενός Αστέρα, μειώνεται ο φωτισμός από τον Αστέρα καθώς ένα τμήμα της επιφάνειάς του Πλανήτη εμποδίζει ένα τμήμα της επιφάνειας του αστέρα να φωτίσει προς το μέρος του Παρατηρητή. Καθώς οι μορφές των Δίσκων τόσο του Πλανήτη όσο και του Ήλιου είναι σχεδόν κυκλικές, το ποσοστό μείωσης της έντασης του ηλιακού φωτός είναι ανάλογο του **Παράγοντα Πλήρωσης (Filling Factor)**, που ορίζεται ως ο λόγος των Φαινόμενων Εμβαδών τους, δηλαδή:

$$f = \frac{\pi \cdot R_{\varphi\varphi}^2}{\pi \cdot R_{\varphi\odot}^2} \times 100\% = \left(\frac{R_{\varphi\varphi}}{R_{\varphi\odot}} \right)^2 \times 100\% \quad (1)$$

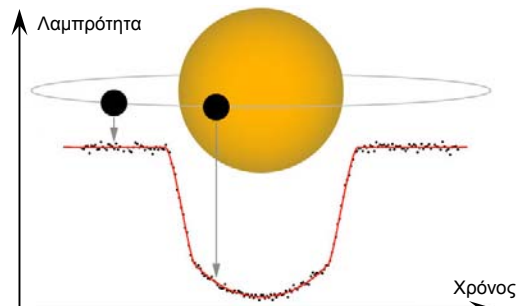
Άρα, το ποσοστό μείωσης εξαρτάται μόνο από το λόγο των Φαινόμενων Ακτίνων τους. Στην κλίμακα του Ηλιακού μας Συστήματος, καθώς τηρούνται οι αναλογίες των Φαινόμενων Ακτίνων με τις Φαινόμενες Γωνιώδεις Ακτίνες, για την περίπτωση της Διάβασης της Αφροδίτης του 2004, που οι Φαινόμενες Γωνιώδεις Ακτίνες του Ήλιου και Αφροδίτης ήταν $15'45.4''=945.4''$ και $28.9''$ αντίστοιχα, η μείωση της έντασης ήταν:

$$f = \left(\frac{28.9}{945.4} \right)^2 \times 100\% = 0.093\% \approx 0.1\%$$

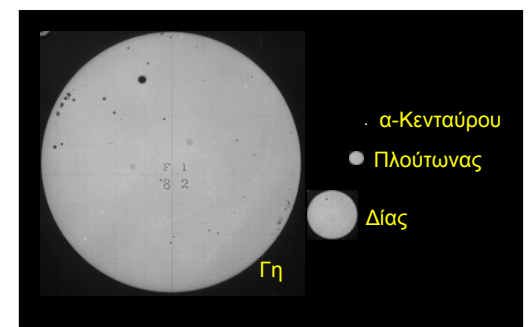
Αν λοιπόν η Φαινόμενη Λαμπρότητα του Ήλιου είναι $1,368 \text{ W/m}^2$ στη Γη κατά τη Διάβαση θα πέσει κατά 1.3 W/m^2 , δηλαδή στα $1,367 \text{ W/m}^2$.

We cannot doubt that when the transits of 2004 and 2012 are approaching, astronomers will look back with interest on the operations conducted during the present 'transit-season'; and although in those times in all probability the determination of the sun's distance by other methods—by studying the moon's motions, by measuring the flight of light, by estimating the planets' weight from their mutual perturbations, and so on, will far surpass in accuracy those now obtained by such methods, yet we may reasonably believe that great weight will even then be attached to the determinations obtained during the approaching transits. I think the astronomers of the first years of the twenty-first century, looking back over the long transitless period which will then have passed, will understand the anxiety of astronomers in our own

Το 1883 στο βιβλίο του Transit of Venus, ο Richard Procter φαίνεται να είναι διορατικός ως προς τον τρόπο που θα έχουν υπολογίσει οι επιστήμονες του 21^{ου} αιώνα την απόσταση του Ήλιου. Υπαινίσσεται σαφώς ότι ένας τέτοιος υπολογισμός ίσως γίνει με τη βοήθεια της ταχύτητας του φωτός.



Η Φαινόμενη Λαμπρότητα ενός Αστέρα παρατηρούμενη από τη Γη ως προς το χρόνο αποτελεί ένα σήμα που κάποια μεταβολή του μπορεί να προέρχεται από τη Διάβαση ενός Πλανήτη.



Η φωτογραφία του Ηλιακού Δίσκου στη Διάβαση του 1882, όπως τραβήχτηκε από τη Γη, σε σύγκριση με το μέγεθός της αν είχε τραβηχτεί από το Δία, τον Πλούτωνα, τον α-Κενταύρου.

Στη περίπτωση όμως Διάβασης Εξωπλανήτη μπρος από Αστέρα, που η απόσταση του Αστέρα από τη Γη διαφέρει απειροελάχιστα από την απόσταση του Πλανήτη από τη Γη, στον ορισμό του Παράγοντα Πλήρωσης αντικαθίστανται οι Φαινόμενες Ακτίνες με τις Πραγματικές Ακτίνες των σωμάτων, οπότε η Αφροδίτη ($R_{\odot} \sim 6.000km$) παρατηρούμενη ως Εξωπλανήτη από ένα άλλο ηλιακό σύστημα, θα προκαλούσε μεταβολή της Φαινόμενης Λαμπρότητας του Ήλιου ($R_{\odot} \sim 695.500km$) της τάξης του 0.01% .

Αν λοιπόν η Φαινόμενη Λαμπρότητα ενός Αστέρα μειωθεί για κάποιες ώρες κατά ένα μικρό ποσοστό και αυτό επαναληφθεί άλλες 2 φορές σε ίσα χρονικά διαστήματα (για να βεβαιωθούμε ότι πρόκειται για Υποψήφιο Εξωπλανήτη) από το ποσοστό μείωσης είναι δυνατόν να εξαχθεί αντίστροφα το μέγεθος του Υποψήφιου Εξωπλανήτη. Αυτό επιτεύχθηκε για πρώτη φορά το 1999, όταν επιβεβαιώθηκε (είχε ανακαλυφθεί ήδη με φαινόμενο Doppler) ότι ένας Εξωπλανήτης του μεγέθους του Δία ($\sim 1.42R_A$) περιφερόταν γύρω από τον Αστέρα **HD 209458**.

Στην περίπτωση του Αστέρα **KIC 005972334** παρατηρήθηκαν 3 μειώσεις της Φαινόμενης Λαμπρότητας, οι οποίες απέχουν ανά δύο ίσα χρονικά διαστήματα κατά $995-980=980-965=15d$. Αυτή η νομοτελειακή διαφορά εγείρει σαφώς την υπόνοια ότι οι μειώσεις της Φαινόμενης Λαμπρότητας πρέπει να αντιστοιχούν σε Διαβάσεις ενός Υποψήφιου Εξωπλανήτη μπρος από τον Αστέρα. Η μείωση της Φαινόμενης Λαμπρότητας αντιστοιχεί σε $204-201.2=2.8$ μονάδες, δηλαδή $2.8/204=0.0137$. Αν ο Αστέρας είναι του μεγέθους του Ήλιου, ο Υποψήφιος Εξωπλανήτης θα έχει ακτίνα:

$$0.0137 = \left(\frac{R_{\Pi}}{R_A} \right)^2 \Rightarrow \frac{R_{\Pi}}{R_A} = 0.117 \Rightarrow$$

$$R_{\Pi} = 0.117R_A = 0.117 \times 695,500km \cong 81,400km$$

δηλαδή θα είναι μεγαλύτερος και από το Δία.

Μεταβολές του Φάσματος

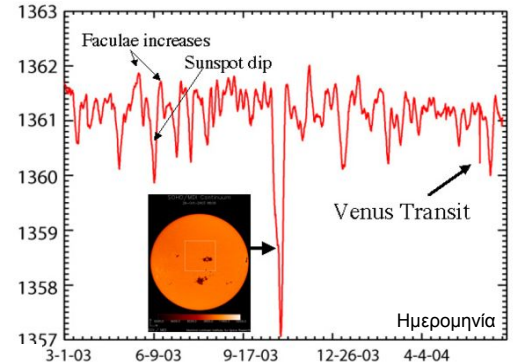
Κατά την περιστροφή του Ήλιου, λόγω του φαινομένου Doppler, στο Ανατολικό Ημισφαίριο του και ειδικά στο Χείλος του έχουμε μετάθεση του Φάσματος στο Κυανό (κίνηση προς τη Γη, ολίσθηση Φασματικών Γραμμών προς μικρότερα μήκη κύματος) και στο Δυτικό Ημισφαίριο και ειδικά στο Χείλος του έχουμε μετάθεση στο Ερυθρό (απομάκρυνση από τη Γη, ολίσθηση Φασματικών Γραμμών προς μεγαλύτερα μήκη κύματος). Έτσι καθώς η Αφροδίτη κινείται κατά μήκος του Δίσκου, προκαλεί τη μείωση της έντασης σε διαφορετικές περιοχές του Ηλιακού Φάσματος. Παρατηρώντας λοιπόν τη μείωση της έντασης σε διαφορετικές περιοχές του Φάσματος ενός Αστέρα από έναν Εξωπλανήτη του μπορούμε να αποφανθούμε αν η φορά περιφοράς του Εξωπλανήτη είναι ίδια με την φορά περιστροφής του Αστέρα ή όχι.

Η Ατμόσφαιρα του Πλανήτη

Το επόμενο βήμα μελέτης του Υποψήφιου Εξωπλανήτη είναι να ανιχνευτεί η ύπαρξη Ατμόσφαιρας σε αυτόν και στην περίπτωση που βρεθεί Ατμόσφαιρα να αναλυθεί η σύστασή της. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να γίνει με την παρατήρηση της μεταβολής της Έντασης του Φάσματος στα διάφορα μήκη κύματος κατά τη διάρκεια της Διάβασης. Σύμφωνα με το **Νόμο του Kirchhoff** αν ένα άτομο ή μόριο εκπέμπει κάποια μήκη κύματος σε μια θερμοκρασία, τα απορροφά σε μικρότερες θερμοκρασίες (**Νόμος της Αντιστροφής των Φασματικών Γραμμών**).

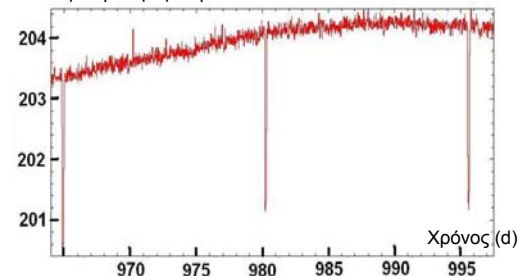
Για παράδειγμα, το Νάτριο (Na) εκπέμπει (και συνεπώς απορροφά) πορτοκαλοκίτρινη ακτινοβολία, επίσης το Κάλιο (K) εκπέμπει (και συνεπώς απορροφά) ροζ-λila ακτινοβολία. Στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης υπάρχουν αυτά τα στοιχεία ως υπολείμματα των Μετεωριτών που καίγονται καθώς εισέρχονται σε αυτήν, αυτά τα στοιχεία όμως δεν έχουν παρατηρηθεί στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης. Αν υπάρχει Na ή K στην ατμόσφαιρα του Πλανήτη, κατά τη Διάβασή του θα παρατηρηθεί απορρόφηση ενός ποσοστού του αντίστοιχου χρώματος από το φως που εκπέμπει ο Αστέρας. Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε σε Πλανήτη του Αστέρα HD 209458, αλλά η ποσότητα του Na που παρατηρήθηκε ήταν μικρότερη από την αναμενόμενη από τα μοντέλα των Πλανητικών Ατμοσφαιρών. Αυτό μπορεί είτε να αποτελεί μια ενδιαφέρουσα ανακάλυψη είτε να υποδεικνύει το εσφαλμένο των μοντέλων που έχουμε συνθέσει. Είναι λοιπόν καλύτερο να γίνει πρώτα έλεγχος αυτών των μοντέλων σε μια γνωστή ατμόσφαιρα. Έτσι, κατά τη Διάβαση της Αφροδίτης που η Ατμόσφαιρά της φωτίζεται έντονα από τον Ήλιο είναι μια καλή ευκαιρία για την ανίχνευση μικρών ποσοτήτων Na ή K ή ακόμη και να μελετηθεί πώς φαίνεται μια Ατμόσφαιρα του τύπου της Αφροδίτης σε μια Διάβαση.

Φαινόμενη Λαμπρότητα

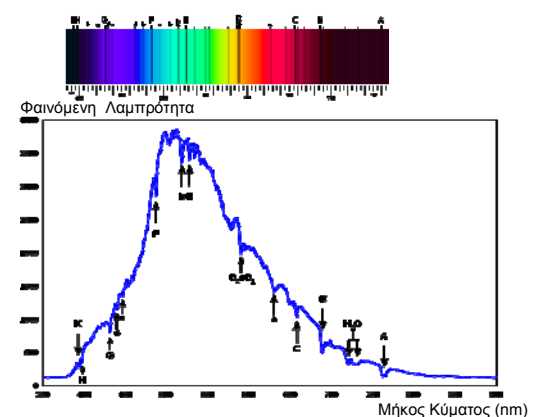


Γράφημα στο οποίο φαίνεται η μείωση της Φαινόμενης Λαμπρότητας του Ήλιου κατά την εμφάνιση **Ηλιακών Κηλίδων (Sunspot)** καθώς και η αύξησή που παρατηρείται πλησίον αυτών των μειώσεων από **Φωτοσφαιρικούς Πυρσούς (Faculae)**. Η Διάβαση της Αφροδίτης το 2004 προκάλεσε μείωση της Λαμπρότητας αντίστοιχη της μείωσης από μια Ηλιακή Κηλίδα, η διάρκεια όμως αυτής της μείωσης ήταν μικρότερη καθώς η διάρκεια περιστροφής του Ήλιου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη (μια κηλίδα έχει 60 περίπου φορές μεγαλύτερο χρόνο διάβασης).

Φαινόμενη Λαμπρότητα



Ο Αστέρας KIC 005972334 έχει Φαινόμενο Μέγεθος 14.99, απέχει 300ly και έχει θερμοκρασία 5,495K που είναι πολύ κοντά στο Ήλιο (5,773K). Κατά τη Φωτομέτρηση ως προς το χρόνο παρατηρήθηκαν διακυμάνσεις της Λαμπρότητας του Αστέρα, που υποδηλώνουν τη Διάβαση Υποψήφιων Εξωπλανητών.



Απορρόφηση των γραμμών Φάσματος του Διάχυτου Ηλιακού φωτός από την ατμόσφαιρα. Διακρίνονται οι Γραμμές Fraunhofer.

Η μη ομοιόμορφη μεταβολή της Έντασης των Φασματικών Γραμμών μπορεί να υποδείξει τη φορά περιφοράς του Εξωπλανήτη.

Από τη μεταβολή του φάσματος στις Φασματικές Γραμμές κάποιων στοιχείων μπορεί να ανιχνευτεί η ύπαρξή τους στην Ατμόσφαιρα του Πλανήτη.

Γνωρίζουμε ότι η Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης αποτελείται κατά 97% από CO₂ και αυτό μπορεί να μας βοηθήσει να βελτιώσουμε τα μοντέλα μας και να βεβαιωθούμε ότι είναι σωστές οι μεταβολές του Φάσματος που περιμένουμε, ώστε να ταυτοποιήσουμε την Ατμόσφαιρα σε μια αντίστοιχη παρατήρηση ενός Εξωπλανήτη.

Αν κατά τη Διάβαση είναι νύχτα, αντί για τον Ήλιο Φωτομετρήστε το Φεγγάρι

Στην Αριζόνα, η Διάβαση της Αφροδίτης του 2004 δεν ήταν ορατή, καθώς ο Ήλιος δεν είχε ανατείλει κατά την έκβασή της. Αυτό όμως δεν εμπόδισε τους ερευνητές του Πανεπιστημίου της Αριζόνα να τη μελετήσουν καθώς πραγματοποίησαν έναν έμμεσο τρόπο παρατήρησης. Μέτρησαν τη μεταβολή της Έντασης του ανακλώμενου από την επιφάνεια της Σελήνης φωτός του Ήλιου, καθώς και τις μεταβολές του φάσματός του κατά την ωρη διάρκεια της Διάβασης. Μια τέτοια μέτρηση είναι καλύτερη για την εξέταση του μοντέλου των Πλανητών που η Ατμόσφαιρά τους έχει παρόμοια σύσταση με τη σύσταση της Ατμόσφαιρας της Αφροδίτης, καθώς δεν περιέχει χωρικές (spatial) διαφοροποιήσεις, όπως μια απευθείας παρατήρηση και επομένως προσομοιάζει περισσότερο με αυτές που θα ληφθούν από τη Διάβαση ενός Εξωπλανήτη.

Για τη Διάβαση του 2012 έχει αποφασιστεί να επαναληφθεί το πιο πάνω πείραμα με τη συμμετοχή του Hubble. Το Hubble θα στραφεί στη Σελήνη με σκοπό να παρατηρήσει τη βύθιση της Φαινόμενης Λαμπρότητας στα διάφορα μήκη κύματος. Απώτερος στόχος είναι να διαπιστωθεί αν μπορεί να αναλυθεί από τα λαμβανόμενα σήματα η Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης. Έτσι από τη μελέτη μιας γνωστής Ατμόσφαιρας, ανάλογα με τη μορφή των σημάτων που θα ληφθούν στο μέλλον από Εξωπλανήτες, θα μπορούν να αναλυθούν και οι Ατμόσφαιρες αυτών των Εξωπλανητών. Αντίστοιχο πείραμα έχει προγραμματιστεί να γίνει και με μια Ολική Έκλειψη Σελήνης από τη Γη, με σκοπό να ληφθεί και να μελετηθεί η μεταβολή του Φάσματος του Ήλιου από την Ατμόσφαιρα της Γης και να αποτυπωθεί ως χαρακτηριστικό ίχνος, ώστε να συγκριθεί με την Ατμόσφαιρα Εξωπλανητών.

Διαστημικό Παρατηρητήριο Kepler

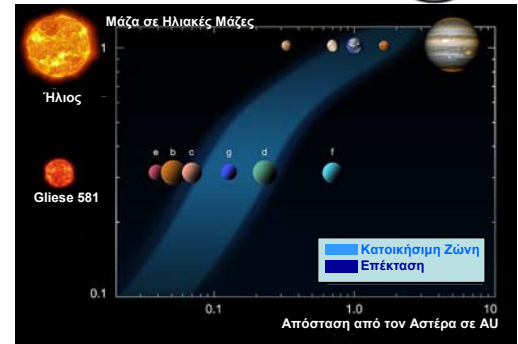
Στις 6 Μαρτίου του 2009 η NASA έθεσε σε Ηλιοκεντρική Τροχιά το Διαστημικό Παρατηρητήριο Kepler, το πρώτο που έχει ως πρωτεύουσα αποστολή την ανακάλυψη και τη μελέτη **Γαιωδών** (δηλαδή Βραχώδους επιφάνειας - όχι Αέριων) Εξωπλανητών με $R < 2.5R_{\oplus}$ στην **Κατοικήσιμη Ζώνη (habitable zone)**, δηλαδή στη ζώνη που μπορεί να υπάρξει νερό σε υγρή μορφή στους Πλανήτες.

Ο αρχικός χρόνος διάρκειας της Αποστολής είχε οριστεί στα 3.5 χρόνια και λόγω των εντυπωσιακών μέχρι σήμερα αποτελεσμάτων εγκρίθηκε στις 11/4/2012 η παράταση της αποστολής του για άλλα 3 χρόνια. Ο λόγος που αρχικά επιλέχθηκε αυτή η χρονική διάρκεια της αποστολής, οφείλεται στο ότι στην περίπτωση που οι Πλανήτες βρίσκονται στην Κατοικήσιμη Ζώνη Αστέρων παρόμοιου με τον Ήλιο, οι περίοδοί τους πρέπει να είναι της τάξης του 1 έτους περίπου. Προκειμένου όμως να διαπιστωθεί ότι πράγματι μια μεταβολή σήματος αποτελεί Διάβαση Πλανήτη απαιτείται να παρατηρηθούν 3 τουλάχιστον Διαβάσεις. Στην περίπτωση μάλιστα που η αποστολή διαρκέσει περισσότερο, εκτός του ότι θα ανακαλύψει περισσότερους Γαιώδεις Πλανήτες, είναι δυνατόν να ανιχνεύσει μικρότερους και πιο απομακρυσμένους από τον Αστέρα.

Το Kepler είναι ένα τηλεσκόπιο με Διάφραγμα Διαμέτρου 0.95m που στο Εστιακό του Επίπεδο διαθέτει ένα υπερευαίσθητο Φωτόμετρο. Το Φωτόμετρο καταγράφει κάθε 15 min τη Φαινόμενη Λαμπρότητα 156.000 αστερών στους Αστερισμούς του **Κύκνου (Cygnus)** και **Λύρας (Lyra)** σε συγκεκριμένο **Πεδίο Οράσεως (Field of View - FOV)**. Ο λόγος που επιλέχθηκε να εξεταστεί ένα τόσο μεγάλο πλήθος Αστερών βασίζεται στο ότι για να παρατηρηθεί Διάβαση Εξωπλανήτη, το επίπεδο της τροχιάς του πρέπει να ευθυγραμμιστεί κατ' ακμή προς εμάς. Η πιθανότητα για μια τέτοια ευθυγράμμιση είναι ίση με τη Διάμετρο του Αστέρων προς τη Διάμετρο της Τροχιάς του Πλανήτη. Στην περίπτωση Αστέρων του μεγέθους του Ήλιου και Πλανήτη που η τροχιά του έχει το μέγεθος της Τροχιάς της Γης, έχουμε πιθανότητα της τάξης του:

$$p = \frac{R_{\odot}}{r_{\oplus}} = \frac{2 \times 700,000 \text{ km}}{2 \times 150,000,000 \text{ km}} \times 100\% = 0.47\% \quad (2)$$

Με παρόμοιο υπολογισμό για **Υπεργαίεις (SuperEarth)** που κινούνται σε πολύ κλειστές τροχιές της τάξης των 2 ημερών, η πιθανότητα ανέρχεται στο 10%. Λόγω του ότι λοιπόν η πιθανότητα είναι πολύ μικρή, επιβάλλεται να εξεταστούν πάρα πολλοί Αστέρες, ακόμη κι αν υποτεθεί ότι οι Γήινες μορφές και τροχιές Πλανητών είναι κάτι το κοινό για ένα ηλιακό σύστημα. Αν οι πλανήτες αυτοί είναι κάτι το κοινό στα ηλιακά συστήματα, θα βρεθούν αρκετοί σε ένα δείγμα 156.000 ηλιακών συστημάτων, ενώ αν δεν είναι, δεν θα βρεθεί κανένας ή θα βρεθούν πολύ λίγοι.



Ο Κόκκινος Νάνος Gliese 581 βρίσκεται στον Αστερισμό του Ζυγού (είναι γνωστός και ως α Centauri B) σε απόσταση 20ly από τη Γη, είναι φασματικού τύπου M3V και διαθέτει τουλάχιστον 6 Εξωπλανήτες, e, b, c, g, d, f, που περιφέρονται γύρω από αυτόν σε απόσταση μικρότερη από 1AU. Ο ένας από αυτούς, ο g, βρίσκεται στο μέσον της Κατοικήσιμης Ζώνης και θεωρείται ο πιο πιθανός Υποψήφιος για την ύπαρξη ζωής. Στον c ($R \sim 1.5R_{\oplus}$) που βρίσκεται στα όρια της Ζώνης και κοντινότερα στον Αστέρα, οι συνθήκες μοιάζουν με αυτές της Αφροδίτης καθώς πιστεύεται ότι βρίσκεται σε κατάσταση Ανεξέλεγκτου Φαινομένου του Θερμοκηπίου. Τέλος, ο d βρίσκεται και αυτός στα όρια της Ζώνης αλλά μακρύτερα από τον Αστέρα και οι συνθήκες μοιάζουν με αυτές του Άρη. Στις 9 Οκτωβρίου του 2008 εκπέμφθηκε προς τον Εξωπλανήτη c ένα μεγάλου ισχύος ραδιοκύμα με ψηφιακό μήνυμα.



Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Kepler. Στο πάνω μέρος του διακρίνεται το Ηλιακό Σκίαστρο. Εκτός από την ανακάλυψη Εξωπλανητών στην Κατοικήσιμη Ζώνη το Kepler έχει ως αποστολή και τη μελέτη των ταχέων ταλαντώσεων των Αστερών που διαθέτουν Πλανητικό Σύστημα προκειμένου να υπολογιστεί η ηλικία τους, η ακτίνα τους και η χημική τους σύσταση.



Η συστοιχία CCD του Φωτόμετρου του Kepler. Τα 21 διπλά στοιχεία χρησιμοποιούνται για Φωτομέτρηση ενώ τα 4 διαγώνια για ευθυγράμμιση.

Η περιοχή που παρατηρείται είναι μια περιοχή του Ουρανού που χαρακτηρίζεται από ζώνες του **Γαλαξία (Milky Way)** με μεγάλο συνωστισμό αστέρων, που μεταξύ τους υπάρχουν χιλιάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά με τον Ήλιο, τόσο ως προς τη θερμοκρασία (κίτρινα) όσο και ως προς την ηλικία, κάτι που αποτελεί προοπτική για την εύρεση ενός ή περισσότερων πλανητών.

Οι αστέρες που παρακολουθούνται έχουν μέγεθος μεταξύ 9 και 16. Το Οπτικό Πεδίο του τηλεσκοπίου καλύπτει 105° (τετραγωνικές μοίρες - που αντιστοιχούν σε διάμετρο 12°) έκταση που καλύπτει η παλάμη μας στον Ουρανό με το μπράτσο μας τεντωμένο. Σε αντίθεση με τα συνήθη Τηλεσκόπια που έχουν FOV λιγότερο από 1° , το Kepler έχει τόσο μεγάλο FOV, διότι πρέπει να παρακολουθεί συνεχώς ένα τόσο μεγάλο πλήθος αστέρων ατενίζοντας συνεχώς στην ίδια περιοχή και καταγράφοντας ταυτόχρονα τη Λαμπρότητά τους, σε όλη τη διάρκεια της αποστολής. Το αισθητήριο του Φωτόμετρου συντίθενται από 42 CCD των 2200×1024 pixels σε 4 κανάλια με **Πλάτος Διέλευσης Φάσματος (Spectral BandPass) 430-890 nm**. Τα CCD διαβά-ζονται κάθε 6s για να μην προκληθεί κόρος. Μόνον οι πληροφορίες από Αστέρες $m_v \leq 14$ καταγράφονται. Οι CCD δε χρησιμοποιούνται για τη λήψη φωτογραφιών. Τα είδωλα σκόπια έχουν αφεστιαστεί προκειμένου να βελτιωθεί η Φωτομετρική Ακρίβεια. Τα δεδομένα ολοκληρώνονται (integrated) για χρονικό διάστημα 30min. Οι καταγραφές της Φαινόμενης Λαμπρότητας αναλύονται για την ανίχνευση περιοδικών μεταβολών, που προέρχονται από την Διάβαση Εξωπλανητών, οι οποίοι περιφέ-ρονται γύρω από αυτούς τους αστέρες.

Η Διάμετρος του τηλεσκοπίου είναι τόσο μεγάλη, ώστε να μειώνεται ο θόρυβος καταμέτρησης των φωτονίων από το Φωτόμετρο, που είναι τόσο ευαίσθητο, που μπορεί να ανιχνεύσει μεταβολή Φαινόμενης Λαμπρότητας μερικών δεκάκις χιλιοστών ακόμη και των αμυδρότερων άστρων, 20 rpm για έναν Κλάσης G2V Αστέρη (ίδιας Κλάσης με τον Ήλιο) Μεγέθους $m_v = 12$ σε 6.5 ώρες λαμβάνοντας υπόψη ότι η Μετα-βλητότητα ενός αστέρα είναι 10rpm κάτι που αντιστοιχεί σε Διάβαση πλανήτη του μεγέθους της Γης μπρος από το Δίσκο του Αστέρη, με δοσμένο το ότι το 75% των Αστέρων που έχουν ηλικία μεγαλύτερη των 10 δις-ετών είναι λιγότερο Μεταβλητά από τον Ήλιο στη διάρκεια μιας Διάβασης (Η Κεντρική Διάβαση της Γης μπρος από τον Ήλιο διαρκεί 13h).

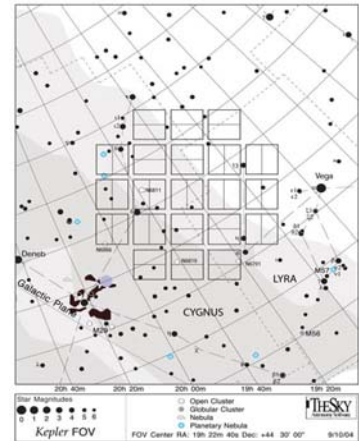
Στις 12 Μαΐου του 2011 επιβεβαιώθηκε η ανακάλυψη του πρώτου Πλανήτη στην Κατοικήσιμη Ζώνη ενός Αστέρη παρόμοιου με τον Ήλιο. Ο Πλανήτης ονομάστηκε **Kepler-22b** είναι 2.4 φορές μεγαλύτερος από τη Γη, βρίσκεται στο μέσο της Κατοική-σιμης ζώνης και η Περίοδος περιφοράς του είναι 290 μέρες. Ακόμη δεν έχει διαπι-στωθεί αν η επιφάνειά του είναι Αέρια, Βραχώδης ή Υγρή. Ο Αστέρης που τον φι-λοξενεί, ο **KIC 10593626**, έχει Φαινόμενο Μέγεθος 11, ανήκει στη Φασματική Κλάση G5, (στην κλάση G2V ανήκει ο Ήλιος μας), αν και είναι Αστέρης λίγο μικρότερος ($0.97M_\odot$ και $0.98R_\odot$) και ψυχρότερος.

Μέχρι τις 28 Φεβρουαρίου του 2012, οι μετρήσεις των σημάτων του Kepler έχουν προσφέρει ενδείξεις για περισσότερους από 2,321 Υποψήφιους Εξωπλανήτες, που περιφέρονται γύρω από 1,790 Αστέρες. Οι 246 από τους Υποψήφιους έχουν το μέγε-θος της Γης και 676 είναι Υπεργαίες, 46 περιφέρονται στην Κατοικήσιμη Ζώνη του Αστέρη που τους φιλοξενεί και 10 από τους τελευταίους έχουν μέγεθος περίπου όσο και η Γη. Για τους Υποψήφιους απαιτούνται και άλλες παρατηρήσεις για να διαπι-στωθεί κατά πόσο οι μεταβολές των σημάτων προέρχονται πράγματι από Πλανήτες. Το Kepler χρειάζεται τουλάχιστον 3 Διαβάσεις για να επιβεβαιώσει αν το σήμα που λαμβάνει από Υποψήφιο Εξωπλανήτη αντιστοιχεί πράγματι σε Εξωπλανήτη. Επίσης, υποβοηθείται και από επίγειες παρατηρήσεις (π.χ. από το Keck I) κατά την περίοδο που οι αστερισμοί αυτοί είναι ορατοί από τη Γη (Άνοιξη με Φθινόπωρο)

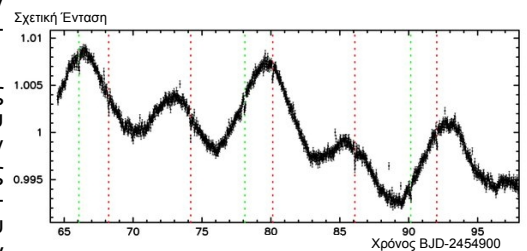
Φωτομετρία και Ερασιτέχνες Αστρονόμοι

Παρόλο που η ανακάλυψη ενός Εξωπλανήτη με τη Φωτομετρική μέθοδο απαιτεί τον πιο εξελιγμένο επαγγελματικό εξοπλισμό, η παρατήρηση της Διάβασης ενός γνω-στού Εξωπλανήτη είναι αρκετά ευκολότερη, αρκεί κάποιος να γνωρίζει πού και πότε θα κοιτάξει χρησιμοποιώντας εξοπλισμό που μπορεί να βρει στο εμπόριο. Για παράδειγμα το Μάιο του 2001 χιλιάδες Ερασιτεχνών Αστρονόμων ανά τον κόσμο έστρεψαν τα Τηλεσκόπιά τους προς τον γειτονικό Κόκκινο Νάνο Gliese 876 στον οποίο είχε ανακαλυφθεί το Ιούνιο του 1998 και το Μάιο του 2001 ότι περιφέρονται 2 Πλανήτες (σήμερα γνωρίζουμε ότι περιφέρονται 4). Καθώς ο Αστέρης είναι μικρός και οι Πλανήτες πολύ μεγάλοι παρατηρήθηκε από τους Ερασιτέχνες Αστρονόμους μείωση της Φαινόμενης Λαμπρότητας του Αστέρη κατά τη Διάβαση του μεγαλύτερου από τους Πλανήτες μπρος από αυτόν.

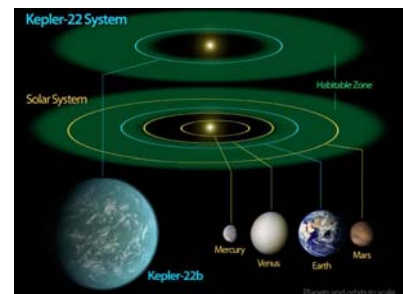
Τα μεγέθη κάποιων Υποψήφιων Εξωπλανητών που έχει ανακαλύψει το Kepler και η μέχρι τις 28 Φεβρουαρίου 2012 κατανομή τους σε σχέση με το μέγεθος της Γης.



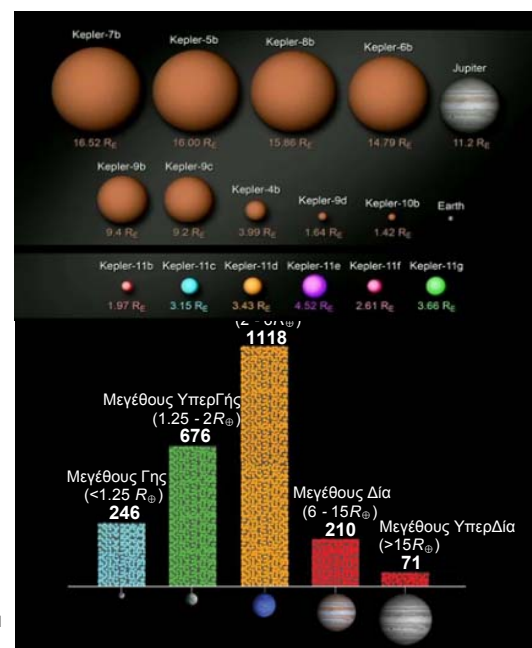
Η περιοχή του Ουρανού μεταξύ Κύκνου και Λύρας που καλύπτουν τα CCD του Kepler.



Φωτομετρική Καμπύλη του KIC 10593626 με σημειωμένες τις Διαβάσεις δύο Υποψήφιων Πλανητών. Με πράσινες και κόκκινες εστιγμένες σημειώνονται οι Περίοδοι τους.



Σύγκριση της Κατοικήσιμης Ζώνης του Kepler 22 και του Ήλιου.



Η Τροχιά της Αφροδίτης

Όλοι οι Πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος κινούνται σε κλειστές τροχιές γύρω από τον Ήλιο. Αυτό που σήμερα είναι αναμφίβολα αληθές και διαπιστωμένο, αποτέλεσε θέμα διαμάχης στην εποχή της Επιστημονικής Αναγέννησης. Το ανέσυρε από τη λήθη αιώνων και το επαναδιατύπωσε ως υπόθεση ο Πολωνός Αστρονόμος **Nicolaus Copernicus** (1473-1543) προκειμένου να εξηγήσει την προβολή της κίνησης των Πλανητών στην Ουράνια Σφαίρα. Ο Copernicus βασίστηκε στις θεωρίες του αρχαίου Έλληνα Μαθηματικού και Αστρονόμου **Αρίσταρχου του Σάμιου** (310;πΧ-230;πΧ) και στο έργο του **De Revolutionibus Orbium Coelestium** έκανε την περιγραφή του **Ηλιοκεντρικού Συστήματος** (ή **Αριστάρχειου-Copernican Συστήματος**) στο οποίο η Γη συμμετέχει ως Πλανήτης (και όχι κέντρο του Κόσμου).

Ξεκινώντας από τον Ήλιο, η σειρά με την οποία συναντώνται οι Πλανήτες, είναι: **Ερμής (Mercury)**, **Αφροδίτη (Venus)**, **Γη (Earth)**, **Αρης (Mars)**, **Δίας (Jupiter)**, **Κρόνος (Saturn)**, **Ουρανός (Uranus)** και **Ποσειδώνας (Neptune)**. Σύμφωνα με κατηγοριοποίηση που θέτει ως κριτήριο, τη θέση των Πλανητών ως προς τη Γη, η Αφροδίτη, όπως και ο Ερμής χαρακτηρίζονται ως **Κατώτεροι (Inferior) Πλανήτες**, ενώ οι υπόλοιποι χαρακτηρίζονται ως **Ανώτεροι (Superior) Πλανήτες**. Φυσικά αυτή η κατηγοριοποίηση δεν πρέπει να συγχέεται με την κατηγοριοποίηση που θέτει ως κριτήριο τη θέση των Πλανητών ως προς τη Ζώνη των **Αστεροειδών**, σύμφωνα με την οποία οι Πλανήτες που βρίσκονται στο εσωτερικό αυτής της ζώνης χαρακτηρίζονται ως **Εσωτερικοί (Inner) Πλανήτες** (ή **Γήινοι** αφού επισπροσθέτως παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όμοια με αυτά της Γης) και οι Πλανήτες που βρίσκονται έξω από αυτή τη ζώνη χαρακτηρίζονται ως **Εξωτερικοί (Outer) Πλανήτες** (ή **Αέριοι** ή **Γίγαντες** ή **Δίοιοι** αφού επισπροσθέτως παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όμοια με αυτά του Δία). Επομένως η Αφροδίτη και η Γη είναι Εσωτερικοί Πλανήτες (όπως και η Αρης) αλλά είναι και Κατώτεροι.

Με βάση το απλό μοντέλο του Copernicus φαίνεται εύκολα ότι οι Κατώτεροι Πλανήτες πραγματοποιούν Διαβάσεις μπρος από τον Ήλιο, καθώς διέρχονται μεταξύ της Γης και του Ήλιου. Όμως οι Διαβάσεις δεν είναι τόσο τακτικές και αυτό οφείλεται στο ότι το μοντέλο του Ηλιακού Συστήματος είναι κάπως πιο πολύπλοκο.

Η φορά περιφοράς των Πλανητών γύρω από τον Ήλιο, καθώς παρατηρούμε το Ηλιακό Σύστημα από το Βόρειο Πόλο της Ουράνιας Σφαίρας, είναι Αντίθετη της Φοράς που Περιστρέφονται οι Δείκτες του Ρολογιού (**Counter-Clockwise**) και χαρακτηρίζεται ως **Ορθή (Direct ή Prograde)**. Κατά την κίνησή τους οι Πλανήτες λαμβάνουν κάποιες σχετικές μεταξύ τους χαρακτηριστικές θέσεις, στις οποίες έχουν δοθεί ιδιαίτερες ονομασίες. Συγκεκριμένα, αν δύο Πλανήτες, π.χ. η Αφροδίτη και η Γη:

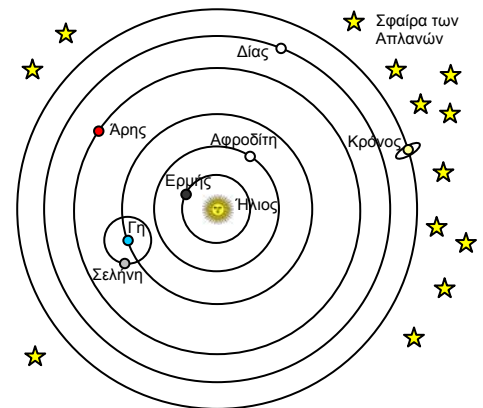
- ÷ βρεθούν στην ίδια διεύθυνση με τον Ήλιο, λέμε ότι οι Πλανήτες βρίσκονται σε **Συζυγία**. Ειδικά στην περίπτωση που ο Πλανήτης με τη μικρότερη ακτίνα τροχιάς π.χ. η Αφροδίτη, βρίσκεται μεταξύ του Ήλιου και του άλλου Πλανήτη, π.χ. της Γης, η Συζυγία ονομάζεται **Κατώτερη Σύνοδος (Inferior Conjunction)**, ενώ ειδικά στην περίπτωση που ο Ήλιος βρίσκεται μεταξύ των δύο Πλανητών, π.χ. της Γης και της Αφροδίτης, η Συζυγία ονομάζεται **Ανώτερη Σύνοδος (Superior Conjunction)**.
- ÷ βρεθούν σε θέση, ώστε το τρίγωνο με κορυφές τους δύο Πλανήτες και τον Ήλιο, να είναι ορθογώνιο στην κορυφή που βρίσκεται ο ένας Πλανήτης (φυσικά ο Πλανήτης με τη μικρότερη ακτίνα τροχιάς, π.χ. η Αφροδίτη), ο Πλανήτης αυτός λέμε ότι βρίσκεται σε **Τετραγωνισμό (Quadrature)**.

Αν λάβουμε τη Γη ως Πλανήτη αναφοράς (αφού από αυτήν παρατηρούμε), καθώς η Αφροδίτη αλλάζει θέσεις κινούμενη επί της τροχιάς της, φαίνεται είτε να πλησιάζει προς τον Ήλιο είτε να απομακρύνεται από αυτόν. Η απόσταση αυτή μετρούμενη στην Ουράνια Σφαίρα ως γωνία, είναι η Γωνιώδης Απόσταση από τον Ήλιο, και ειδικά για τους Πλανήτες ονομάζεται **Αποχή (Elongation)**.

Η Αποχή λαμβάνει την τιμή μηδέν, όταν η Αφροδίτη βρίσκεται σε Συζυγία με τη Γη, ενώ λαμβάνει τη μεγαλύτερή της τιμή, **Μέγιστη Αποχή (Greatest Elongation)**, όταν βρίσκεται σε Τετραγωνισμό. Όταν ένας Κατώτερος Πλανήτης (η Αφροδίτη ή ο Ερμής) γίνεται ορατός με τη δύση του Ήλιου είναι σε **Ανατολική Αποχή (Eastern Elongation)**, καθώς βρίσκεται ανατολικά του Ήλιου, ενώ όταν ο Κατώτερος Πλανήτης είναι ορατός πριν την ανατολή του Ήλιου είναι σε **Δυτική Αποχή (Western Elongation)** καθώς βρίσκεται δυτικά του Ήλιου.

Η τιμή της Μέγιστης Αποχής για την Αφροδίτη είναι μεταξύ 45° και 47° (για τον Ερμή είναι μεταξύ 18° και 28°), και σχεδόν ισαπέχει από τη Γη και τον Ήλιο. Και μόνο από αυτήν την τιμή, μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση της Αφροδίτης από τον Ήλιο, σε αποστάσεις Ήλιου-Γης (AU), όπως έκαναν τον 17° αιώνα, αφού:

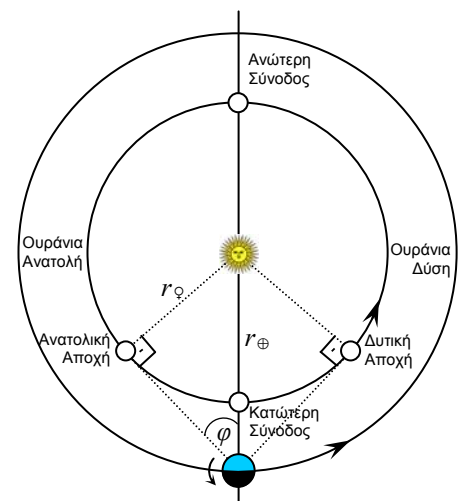
$$\sin \varphi = \frac{r_{\odot}}{r_{\oplus}} \Rightarrow r_{\odot} = r_{\oplus} \sin \varphi \Rightarrow r_{\odot} = 1AU \cdot \sin(45^{\circ} \approx 47^{\circ}) = 0.71AU \approx 0.73AU \quad (3)$$



Στο Ηλιοκεντρικό Σύστημα τόσο η Γη όσο και οι άλλοι Πλανήτες κινούνται σε Κυκλικές Τροχιές γύρω από τον Ήλιο.



Ο όρος **Διάβαση** είναι γενικός. Όταν σε κάποια διεύθυνση δημιουργηθεί διάταξη 3 σωμάτων Α-Β-Γ, παρατηρητής από το σώμα Α παρατηρεί **Διάβαση** του σώματος Β μπρος από σώμα Γ. Στις 22/11/2065 θα παρατηρηθεί από τη Γη **Διάβαση της Αφροδίτης** μπρος από το Δία. Οι Δορυφόροι του Δία (ειδικά η Ιώ) παρατηρούνται από τη Γη πραγματοποιούν εκατοντάδες Διαβάσεις μπρος από το Δία. Στις 12 Ιανουαρίου 2032 από την Αφροδίτη θα παρατηρηθεί **Διάβαση της Γης** μπρος από τον Κρόνο (Saturn).



Χαρακτηριστικές σχετικές θέσεις Γης και Αφροδίτης. Σημειώνεται η Ουράνια Ανατολή και η Ουράνια Δύση.



Κατά τη Μέγιστη Αποχή η Αφροδίτη απέχει από τη Γη όσο σχεδόν απέχει και από τον Ήλιο

Οι τροχίες των Πλανητών είναι μεν **Επίπεδες**, η μορφή τους όμως είναι **Έλλειψη** (όχι Κύκλος όπως για αιώνες υπέθεταν) και οι κινήσεις τους φαίνεται να υπακούουν στους νόμους που διετύπωσε ο Γερμανός Αστρονόμος **Johannes Kepler** (1571-1630) μετά από μακρά ανάλυση και μαθηματικούς υπολογισμούς επί των σχολαστικών παρατηρήσεων των θέσεων των Πλανητών, που είχε καταγράψει ο Δανός Αστρονόμος **Tycho Brahe** (1546-1601). Οι Νόμοι του Kepler είναι:

1^{ος}: **Ο Νόμος των Ελλείψεων** (1605). Η Τροχιά κάθε Πλανήτη είναι Έλλειψη, που στη μια **Εστία** της F βρίσκεται ο Ήλιος, στην άλλη Εστία F' δεν υπάρχει τίποτε, όπως δεν υπάρχει τίποτε και στο **Κέντρο** C της Έλλειψης.

2^{ος}: **Ο Νόμος των ίσων Εμβαδών** (1609). Ο Πλανήτης δεν κινείται ισοταχώς επί της τροχιάς του. Η **Επιβατική Ακτίνα** (η ακτίνα που συνδέει τον Πλανήτη με τον Ήλιο) σαρώνει ίσα εμβαδά σε ίσα χρονικά διαστήματα.

Αυτό έχει ως συνέπεια, η ταχύτητα ενός Πλανήτη να είναι μεγαλύτερη όταν βρίσκεται κοντά στον Ήλιο, από ό,τι όταν βρίσκεται μακριά από αυτόν.

3^{ος}: **Ο Αρμονικός Νόμος** (1618). Το τετράγωνο της Περιόδου Περιφοράς P γύρω από τον Ήλιο είναι ανάλογο του κύβου του Μεγάλου Ημιάξονα a , συμβολικά:

$$P^2 \propto a^3 \quad (4)$$

Καθώς η σταθερά της αναλογίας είναι η ίδια για όλους τους Πλανήτες, εφαρμόζοντας το Νόμο για έναν Πλανήτη και τη Γη και απαλείφοντας τη σταθερά της αναλογίας, προκύπτει η ισότητα :

$$\frac{P_{\text{Πλανήτη}}^2}{a_{\text{Πλανήτη}}^3} = \frac{P_{\text{Γη}}^2}{a_{\text{Γη}}^3} \quad (5)$$

Από αυτήν τη σχέση φαίνεται ότι οι κοντινότεροι στον Ήλιο Πλανήτες κινούνται γρηγορότερα από τους απομακρυσμένους από αυτόν. Όμως το σημαντικότερο είναι ότι με γνωστές τις Περιόδους περιφοράς των Πλανητών:

αρκεί να μετρηθεί η απόσταση ενός Πλανήτη στο Ηλιακό μας Σύστημα και από αυτήν να εξαχθούν όλες οι αποστάσεις των υπολοίπων Πλανητών.

Κάποια χρόνια μετά (1669) αποδείχθηκε και θεωρητικά ότι οι πιο πάνω Νόμοι είναι απόρροια του Νόμου της **Παγκόσμιας Έλξης** που διετύπωσε ο Βρετανός Φυσικός **Isaac Newton** (1642-1727). Σύμφωνα με αυτόν το Νόμο, το αίτιο που αναγκάζει έναν Πλανήτη να διαγράφει τέτοιας μορφής τροχιά είναι η **Βαρύτητα (Gravity)** που δημιουργεί η μάζα του Ήλιου. Ο Ήλιος λόγω της μάζας του δημιουργεί Βαρυτικό Πεδίο γύρω από αυτόν και ασκεί στον Πλανήτη Ελκτική Δύναμη (όπως και ο Πλανήτης ασκεί ίση δύναμη στον Ήλιο), η οποία συγκρατεί τον Πλανήτη και τον αναγκάζει να περιφέρεται γύρω από αυτόν.

Κινούμενος ένας Πλανήτης επί της Ελλειπτικής Τροχιάς του, η Απόστασή του από τον Ήλιο συνεχώς μεταβάλλεται και παίρνει τη μικρότερη τιμή της $r_{\text{Π}}$ στο σημείο A που ονομάζεται **Περιήλιο (Perihelion)** και τη μεγαλύτερη της τιμή $r_{\text{Α}}$ στο σημείο A' που ονομάζεται **Αφήλιο (Aphelion)**, σημεία στα οποία ο Μεγάλος Άξονας τέμνει την Έλλειψη. Γενικώς, η Απόσταση του Πλανήτη από τον Ήλιο r ως συνάρτηση της **Αληθούς Ανωμαλίας (True Anomaly)** δηλαδή της γωνίας θ , που σχηματίζεται από το **Διάνυσμα Θέσης (Position Vector)** του Πλανήτη και από το Μεγάλο Ημιάξονα της Έλλειψης, με $\theta=0$ στο Περιήλιο, μπορεί να υπολογιστεί τριγωνομετρικά εφαρμόζοντας το Νόμο των Συνημιτόνων στο τρίγωνο $F\Pi F'$, ως προς της $\angle F$. Συγκεκριμένα:

$$r'^2 = r^2 + (2c)^2 + 2r(2c)\cos(180^\circ + \theta) \Rightarrow r'^2 = r^2 + 4c^2 + 4rc \cdot \cos \theta$$

Επίσης, από τον ορισμό της Έλλειψης, το άθροισμα των Αποστάσεων από τις Εστίες:

$$r' + r = \text{σταθερό} = 2a \Rightarrow r' = 2a - r \Rightarrow r'^2 = (2a - r)^2 \Rightarrow r'^2 = 4a^2 - 2(2a)r + r^2$$

οπότε εξισώνοντας τα 2^α μέλη των δύο τελευταίων σχέσεων:

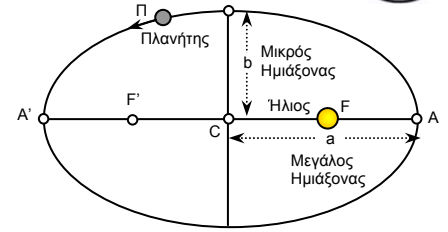
$$4a^2 - 4ar + r^2 = r^2 + 4c^2 + 4rc \cdot \cos \theta \Rightarrow a^2 - c^2 = ar + rc \cdot \cos \theta \Rightarrow a^2 - c^2 = r(a + c \cdot \cos \theta) \Rightarrow$$

$$r = \frac{a^2 - c^2}{a + c \cdot \cos \theta} \Rightarrow r = \frac{a(1 - \frac{c^2}{a^2})}{1 + \frac{c}{a} \cdot \cos \theta} \quad (6)$$

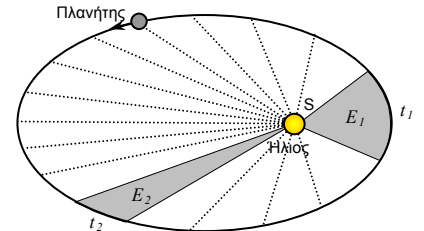
Ο λόγος της Απόστασης της Εστίας από το Κέντρο c προς το Μεγάλο Ημιάξονα a :

$$\varepsilon = \frac{c}{a} \quad (7)$$

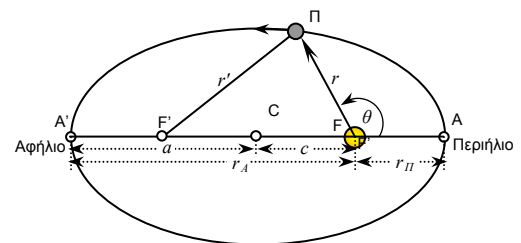
ορίζεται ως **Εκκεντρότητα (Eccentricity)** της Έλλειψης.



Νόμος των Ελλείψεων. Η Τροχιά κάθε Πλανήτη είναι Έλλειψη, στη μια Εστία της οποίας βρίσκεται ο Ήλιος.



Νόμος των Ίσων Εμβαδών. Αν στη χρονική διάρκεια t_1 σαρώνεται το εμβαδόν E_1 και στη χρονική διάρκεια t_2 σαρώνεται το εμβαδόν $E_2 = E_1$, τότε και $t_1 = t_2$ ή αλλιώς: η **Εμβαδική Ταχύτητα** είναι σταθερή (η Γραμμική και η Γωνιακή Ταχύτητα δεν είναι σταθερές)



Η θέση ενός Πλανήτη επί της τροχιάς του προσδιορίζεται από την Αληθή Ανωμαλία και το μέτρο του Διανύσματος Θέσης του.



Αντικαθιστώντας την τελευταία σχέση στην προτελευταία, λαμβάνουμε:

$$r(\theta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos\theta} \quad (8)$$

Η Εκκεντρότητα της Έλλειψης, αποτελεί ένα δείκτη με τον οποίο συγκρίνεται η μορφή της Έλλειψης με τον Κύκλο, παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, με την τιμή 0 για Έλλειψη που έχει εκφυλιστεί σε Κύκλο (οι Εστίες της Έλλειψης συμπίπτουν με το Κέντρο της) και την τιμή 1, για Έλλειψη τόσο πλατυσμένη, ώστε να έχει εκφυλιστεί σε ευθύγραμμο τμήμα (η Εστία F συμπίπτει με το σημείο A και η Εστία F' συμπίπτει με το σημείο A').

Η τροχιά της Αφροδίτης μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν κυκλική. Οι Εστίες F και F' της τροχιάς της βρίσκονται πολύ κοντά στο Κέντρο της C και η Εκκεντρότητα της είναι η μικρότερη όλων των Πλανητών του Ηλιακού Συστήματος, με τιμή μόλις 0.00677. Επίσης, και η Τροχιά της Γης, που η Εκκεντρότητά της είναι 0.0167 μπορεί να θεωρηθεί μερικές φορές σε πρώτη προσέγγιση κυκλική, ώστε να απλοποιηθεί το μοντέλο της σχετικής κίνησης αυτών των δύο Πλανητών.

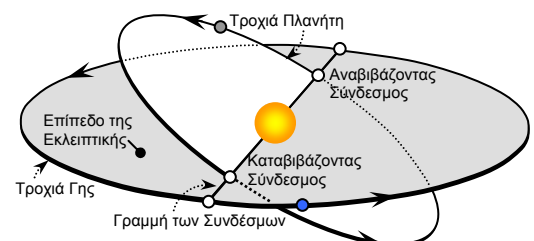
Τα **Τροχιακά Επίπεδα (Orbital Planes)** των Πλανητών δεν συμπίπτουν. Σχηματίζουν μικρές κλίσεις ως προς το Τροχιακό Επίπεδο της Γης, το οποίο ονομάζεται **Εκλειπτικό Επίπεδο (Ecliptic Plane)** ή **Επίπεδο της Εκλειπτικής** καθώς τέμνει την Ουράνια Σφαίρα σε μέγιστο κύκλο που ονομάζεται **Εκλειπτική (Ecliptic)**. Οι προβολές λοιπόν ενός Πλανήτη πάνω στην Ουράνια Σφαίρα, δε βρίσκονται κατά κανόνα επί της Εκλειπτικής, παρά μόνον αν ο Πλανήτης βρεθεί πάνω στο επίπεδο της. Το επίπεδο της Τροχιάς ενός Πλανήτη τέμνει νοητά ο Επίπεδο της Εκλειπτικής σε δύο σημεία που ονομάζονται **Σύνδεσμοι (Nodes)**. Ο Σύνδεσμος στον οποίο ο Πλανήτης ανέρχεται από το Νότιο Ημισφαίριο της Εκλειπτικής στο Βόρειο, ονομάζεται **Αναβιβάζοντας Σύνδεσμος (Ascending Node)** και ο Σύνδεσμος στον οποίο ο Πλανήτης κατέρχεται από το Βόρειο Ημισφαίριο της Εκλειπτικής στο Νότιο, ονομάζεται **Καταβιβάζοντας Σύνδεσμος (Descending Node)**. Η Γραμμή που διέρχεται από τους Σύνδεσμους ονομάζεται **Γραμμή των Συνδέσμων (Node Line)**.

Ως Σύστημα Αναφοράς για την περιγραφή των Τροχιών των Πλανητών λαμβάνεται σύστημα που περιλαμβάνει το Εκλειπτικό Επίπεδο, με πρωτεύοντα Άξονα τη διεύθυνση προς το **Εαρινό Ισημερινό Σημείο** φ , που ορίζεται ως το σημείο στο οποίο προβάλλεται ο Ήλιος επί της Εκλειπτικής καθώς παρατηρείται από τη Γη, κατά τη στιγμή της **Εαρινής Ισημερίας (Vernal Equinox)**. Ο προσανατολισμός μιας Έλλειψης στο χώρο, και κατά συνέπεια της Τροχιάς ενός Πλανήτη, εξαρτάται από τον προσανατολισμό του Μεγάλου Ημιάξονα της και μόνο, που διευθύνεται π.χ. στο Περιήλιο, επομένως μπορεί να περιγραφεί στον 3διάστατο χώρο από 3 παραμέτρους, που είναι οι γωνίες:

- ÷ η **Κλίση του Τροχιακού Επιπέδου (Inclination)** i , προς το Εκλειπτικό Επίπεδο, που για την Αφροδίτη είναι περίπου 3.4° .
- ÷ το **Μήκος του Αναβιβάζοντα Συνδέσμου (Longitude of Ascending Node)** Ω , η γωνία της Γραμμής των Συνδέσμων στον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο με τον Άξονα του Σημείου φ . Κατά την παρούσα περίοδο για την Αφροδίτη η γωνία είναι 76.79° , με συνέπεια η Γραμμή των Συνδέσμων της να τέμνει την τροχιά της Γης στα σημεία που αντιστοιχούν στις αρχές Ιουνίου και Δεκεμβρίου αντίστοιχα. Έτσι εξηγείται γιατί παρατηρούνται Διαβάσεις μόνον κατ' αυτούς τους μήνες.
- ÷ το **Περιήλιο Όρισμα (Argument of Perihelion)** ω , η γωνία του Μεγάλου Άξονα στο Περιήλιο με τη Γραμμή των Συνδέσμων, που για την Αφροδίτη είναι 54.95° .



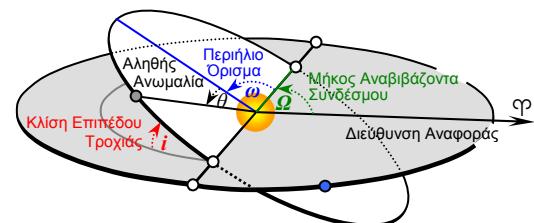
Το Εκλειπτικό Επίπεδο πήρε αυτήν την ονομασία, διότι όταν ένα σώμα βρεθεί πάνω του και ταυτόχρονα είναι σε ευθυγράμμιση με τον Ήλιο και τη Γη, συμβαίνει Έκλειψη.



Οι Τροχίες των Πλανητών δεν βρίσκονται επί του ίδιου επιπέδου. Αν και οι τροχίες θεωρούνται κυκλικές, για λόγους προοπτικής σχεδιάστηκαν σαν ελλείψεις.



Εκ του ορισμού φαίνεται ότι ο Ήλιος προβάλλεται πάντα επί της Εκλειπτικής.

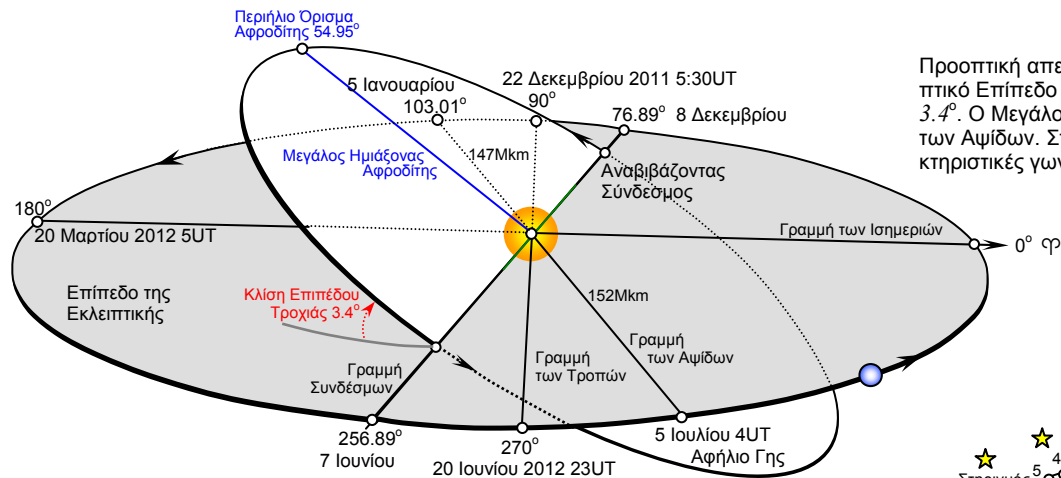


Ως επίπεδο αναφοράς χρησιμοποιείται το επίπεδο της τροχιάς της Γης.

	Αφροδίτη	Γη
Μεγάλος Ημιάξονας a	108,208,930km 0.7233321AU	149,598,261km 1.0000026AU
Περιήλιο $r_H = a(1-e)$	107,476,259km 0.71843270AU	147,098,290km 0.9832913AU
Αφήλιο $r_A = a(1+e)$	108,942,109km 0.72823128AU	152,098,232km 1.0167139AU
Εκκεντρότητα e	0.00677323	0.01671123
Μέση Τροχιακή (Αστρική) Περίοδος P_T	0.615197y 224.70069d	1.000017421y 365.25636d
Συνοδική Περίοδος ως προς τη Γη	583.9214d	
Μέση Ταχύτητα v	35.02km/s	29.78Km/s
Κλίση του Άξονα Περιστροφής (Λόξωση)	177.3° (Ανάδρομη Περιστροφή)	23.44°
Περίοδος Περιστροφής	243.0185d	23h 56m
Κλίση του Τροχιακού Επιπέδου i	3.395°	Εξορισμού 0°
Μήκος Αναβιβάζοντα Συνδέσμου (Longitude of Ascending Node) Ω	76.792°	-11.261°
Περιήλιο Όρισμα (Argument of Perihelion) ω	54.954°	103.101°

Τα τροχιακά στοιχεία της Αφροδίτης και Γης για το 2012

Συνδυάζοντας όλα τα πιο πάνω στοιχεία προκύπτει σχήμα με τη σχετική θέση των Ελλειπτικών Τροχιών της Γης και της Αφροδίτης, από το οποίο μπορεί να γίνει η μελέτη της κίνησης της Αφροδίτης στην Ουράνια Σφαίρα και να ερμηνευτεί γεωμετρικά το φαινόμενο της Διάβασης στην παρούσα περίοδο της Ιστορίας της Γης.

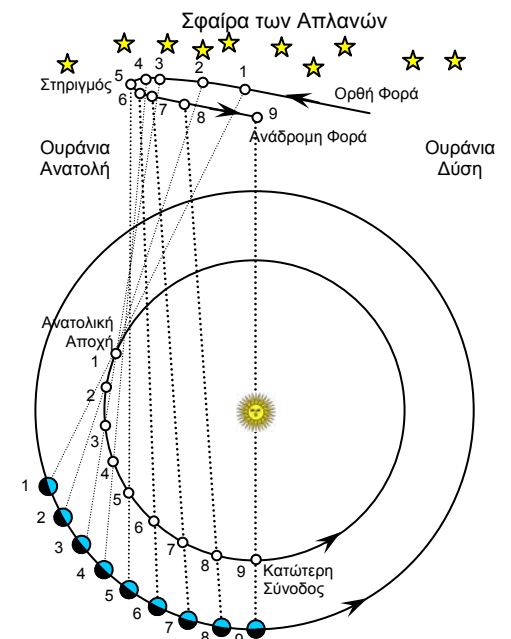


Προοπτική απεικόνιση της Τροχιάς της Γης στο Εκλειπτικό Επίπεδο και της Αφροδίτης σε επίπεδο Κλίσης 3.4° . Ο Μεγάλος Ημιάξονας της Γης είναι η Γραμμή των Αψίδων. Στο σχήμα έχουν υπερτονιστεί οι χαρακτηριστικές γωνίες προκειμένου να γίνουν εμφανείς.

Παρατηρώντας έναν Πλανήτη στην Ουράνια Σφαίρα, η τροχιά του σε σχέση με τους Απλανείς φαίνεται διαφορετική από αυτήν που δίνεται στα πιο πάνω σχήματα. Ο Παρατηρητής δεν είναι εξωτερικός (κάπου στο Διάστημα), αλλά βρίσκεται πάνω στη Γη και την ακολουθεί στην τροχιά της.

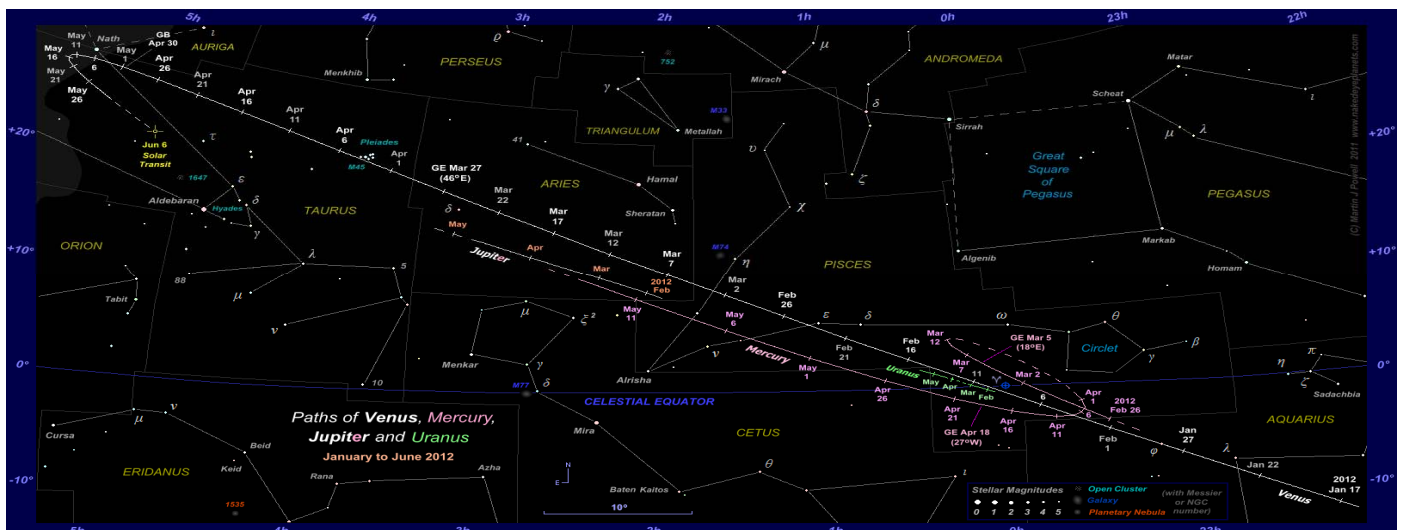
Έτσι, αν υποθέσουμε ότι κάποια στιγμή η Αφροδίτη βρίσκεται κοντά στην Ανώτερη Σύνοδο, η κατεύθυνσή της είναι αντίθετη της κατεύθυνσης της Γης και η προβολή της στην Ουράνια Σφαίρα κινείται προς την Ουράνια Ανατολή. Καθώς η κατεύθυνσή της είναι Αντίθετη της Φοράς των Δεικτών του Ρολογιού, η κίνηση χαρακτηρίζεται ως **Ορθή (Prograde)**. Όμως, η Αφροδίτη κινείται γρηγορότερα από τη Γη, κάποια στιγμή την πλησιάζει και στην Κατώτερη Σύνοδο την προσπερνά. Σε αυτό το διάστημα η προβολή της στην Ουράνια Σφαίρα κινείται προς την Ουράνια Δύση. Καθώς η κατεύθυνσή της είναι Κατά τη Φορά των Δεικτών του Ρολογιού, η κίνηση χαρακτηρίζεται ως **Ανάδρομη (Retrograde)**. Το σημείο στο οποίο αλλάξει η κίνηση από Ορθή σε Ανάδρομη ονομάζεται **Σημείο Στηριγμού (Stationery Point)**.

Στις 27 Μαρτίου του 2012 η Αφροδίτη βρέθηκε σε θέση Μέγιστης Αποχής. Από αυτό το σημείο και μετά, κατά τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, φαίνεται να επιβραδύνεται ως προς τους Απλανείς και στις 16 Μαΐου θα βρεθεί σε Σημείο Στηριγμού. Στη συνέχεια η κίνησή της θα γίνει Ανάδρομη, χαμηλότερα από την Ορθή καθώς κατέρχεται στον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο. Σε όλο αυτό το διάστημα, θα λάμπει στο δυτικό Ουρανό και θα πλησιάζει κάθε μέρα τον Ήλιο όλο και περισσότερο. Παρατηρώντας την Αφροδίτη με τηλεσκόπιο, η μορφή της από ημικύκλιο θα στενεύει συνεχώς στο κέντρο της και θα παίρνει τη μορφή όλο και πιο στενού μηνίσκου, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τη Σελήνη. Προς το τέλος Μαΐου, η Αφροδίτη θα πλησιάζει στην Κατώτερη Σύνοδο θα φαίνεται πολύ χαμηλά στο δυτικό Ουρανό, με δυσκολία θα διακρίνεται και τέλος θα χαθεί. Θα εμφανιστεί ξανά στις 6 Ιουνίου πραγματοποιώντας Διάβαση μπρος από τον Ήλιο.



Διαδοχικές θέσεις Γης και Αφροδίτης και οι αντίστοιχες προβολές της Αφροδίτης στην Ουράνια Σφαίρα. Διακρίνουμε την αλλαγή της κλίσης του Διανύσματος Θέσης.

Χάρτης του Ουρανού στην περιοχή που κινείται η Αφροδίτη μεταξύ Ιανουαρίου και Ιουνίου του 2012.



Συνθήκες Διάβασης

Ο λόγος που οι Διαβάσεις της Αφροδίτης συμβαίνουν σπάνια, είναι ότι απαιτείται να γίνει σχεδόν πλήρης ευθυγράμμιση Γης-Αφροδίτης-Ήλιου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα δύο συνθήκες:

÷ Κατώτερη Σύνοδος Γης-Αφροδίτης-Ήλιου

÷ Η Αφροδίτη να βρίσκεται επί της Εκλειπτικής (**Εκλειπτικό Πλάτος Αφροδίτης** 0°)

Γεωμετρικά, οι συνθήκες αυτές ικανοποιούνται ταυτόχρονα, όταν τα κέντρα των σωμάτων στη σειρά Γη-Αφροδίτη-Ήλιος βρίσκονται στη Γραμμή των Συνδέσμων.

Καθώς όμως τα τρία αυτά σώματα (και ειδικά ο Ήλιος) δεν έχουν απειροελάχιστες διαστάσεις σε σχέση με τις αποστάσεις τους, οι Διαβάσεις δεν προκύπτουν μόνον κατά την πλήρη ευθυγράμμιση, αλλά και όταν η Γη με την Αφροδίτη βρίσκονται στην περιοχή της τροχιάς τους κοντά στη Γραμμή των Συνδέσμων. Αυτός είναι και ο λόγος που στην τρέχουσα περίοδο της Ιστορίας της Γης οι Διαβάσεις της Αφροδίτης συμβαίνουν ή γύρω στις 8 Δεκεμβρίου (όταν η Γη παραλλάσσει τον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο) ή γύρω στις 7 Ιουνίου (όταν η Γη παραλλάσσει τον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο).

Ο χρόνος που μεσολαβεί από Κατώτερη Σύνοδος σε Κατώτερη Σύνοδος είναι ίσος με τη **Συνοδική Περίοδο (Synodic Period)** της Αφροδίτης $P_{\oplus\odot}$. Αν ω_\oplus η Μέση Γωνιακή Ταχύτητα της Γης και ω_\odot η Μέση Γωνιακή Ταχύτητα της Αφροδίτης, αφού είναι ομόρροπες και μεγαλύτερη είναι η Ταχύτητα της Αφροδίτης, η Μέση Συνοδική Γωνιακή Ταχύτητα της Αφροδίτης δίνεται από:

$$\omega_{\oplus\odot} = \omega_\odot - \omega_\oplus \Rightarrow \frac{2\pi}{P_{\oplus\odot}} = \frac{2\pi}{P_\odot} - \frac{2\pi}{P_\oplus} \Rightarrow \frac{1}{P_{\oplus\odot}} = \frac{1}{P_\odot} - \frac{1}{P_\oplus} \Rightarrow$$

$$P_{\oplus\odot} = \frac{P_\oplus \cdot P_\odot}{P_\oplus - P_\odot} \quad (9)$$

Από τη σχέση αυτή θέτοντας: $P_\oplus = 365.256d$ και $P_\odot = 224.701d$ υπολογίζουμε ότι η Συνοδική Περίοδος είναι: $P_{\oplus\odot} = 583.92d \cong 584d$

Αν η τροχιά της Αφροδίτης βρισκόταν στο ίδιο επίπεδο με την τροχιά της Γης, δηλαδή επί του Εκλειπτικού Επιπέδου, τότε σε κάθε Κατώτερη Σύνοδος, δηλαδή κάθε $\cong 584d$ θα παρατηρούσαμε Διάβαση. Καθώς μια Κατώτερη Σύνοδος μπορεί να συμβεί με την Αφροδίτη σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς της, το αν θα παρατηρηθεί Διάβαση εξαρτάται από το Εκλειπτικό Πλάτος β του Πλανήτη τη συγκεκριμένη στιγμή (ή ταυτόσημα από τη Γωνιώδη Απόστασή του από τον Ήλιο). Αν το Εκλειπτικό Πλάτος της Αφροδίτης κατά την Κατώτερη Σύνοδος είναι μικρότερο από τη Γωνιώδη Ακτίνα του Ήλιου R_\odot , η Αφροδίτη θα βρεθεί μέσα στο Δίσκο του και θα παρατηρηθεί Διάβαση. Αυτό γίνεται, όπως αναφέρθηκε, όταν η Κατώτερη Σύνοδος συμβαίνει στην περιοχή της Γραμμής των Συνδέσμων.

Ανάλογα με την τιμή του Εκλειπτικού Πλάτους της Αφροδίτης μπορεί να προκύψει **Κεντρική Διάβαση (Central Transit)** αν $\beta = 0^\circ$, **Μη Κεντρική Διάβαση (Non Central Transit)** αν $0^\circ < \beta < R_\odot$, **Μερική Διάβαση (Partial Transit)** αν $\beta \approx R_\odot$ ή να χαθεί η Διάβαση αν $\beta > R_\odot$ καθώς ο Πλανήτης θα διέλθει βορειότερα ή νοτιότερα του Ηλιακού Δίσκου.

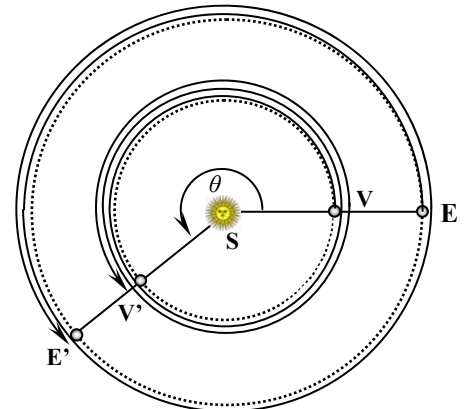
Για να γίνει ο υπολογισμός του Μέτρου του Τόξου (σε μοίρες), που ορίζει το εύρος της **Ζώνης των Διαβάσεων**, γύρω από το σημείο τομής της Γραμμής των Συνδέσμων με την τροχιά της Γης, μέσα στην οποία πρέπει να βρίσκεται η Γη (και η Αφροδίτη) κατά την Κατώτερη Σύνοδος για να παρατηρηθεί Διάβαση, χρειάζεται να γίνει αναγωγή σε Ηλιοκεντρικές Συντεταγμένες. Αρχικά υπολογίζουμε το Εκλειπτικό Πλάτος b της Αφροδίτης, όπως μετρείται από το κέντρο του Ήλιου. Από το Νόμο των Ημιτόνων στο τρίγωνο EVS:

$$\frac{r_{\oplus\odot}}{\sin b} = \frac{r_\odot}{\sin \beta}$$

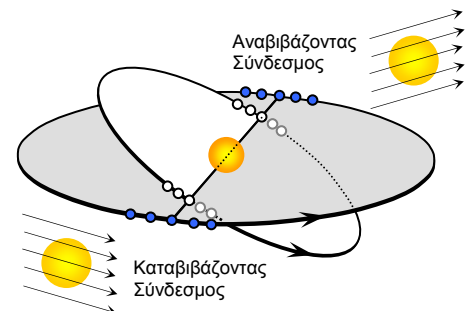
Για να παρατηρηθεί Διάβαση πρέπει $\beta < 0.26^\circ$, δηλαδή πολύ μικρό, οπότε και το b ακόμη μικρότερο, καθώς η αντίστοιχη απέναντι πλευρά του $r_{\oplus\odot} < r_\odot$. Αφού για πολύ μικρές γωνίες μπορούμε να αντικαταστήσουμε τα Ημίτονα με τις γωνίες σε Ακτίνα καθώς διαφέρουν από το 7ο δεκαδικό ψηφίο και μετά:

$$\frac{r_{\oplus\odot}}{b} = \frac{r_\odot}{\beta} \Rightarrow b = \frac{r_{\oplus\odot}}{r_\odot} \beta \Rightarrow b \approx \frac{r_\oplus - r_\odot}{r_\odot} \beta \Rightarrow b \approx \left(\frac{r_\oplus}{r_\odot} - 1 \right) \beta \quad (10)$$

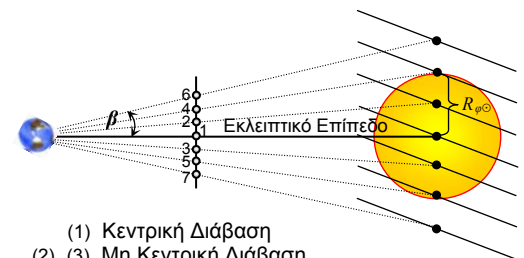
Στη Διάβαση του Ιουνίου του 2004: $r_\oplus = 1.0151AU$, $r_\odot = 0.7262AU$ και $\beta = 0.2627^\circ$, οπότε $b = 0.105^\circ$



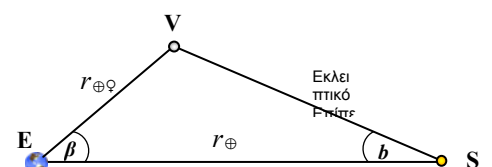
Από Κατώτερη Σύνοδος EVS σε Κατώτερη Σύνοδος E'V'S μεσολαβούν 584 ημέρες και η Γη έχει διαγράψει 1.6 τροχιές, ενώ η Αφροδίτη 2.6 τροχιές.



Σχετικές θέσεις Γης και Αφροδίτης στην περιοχή του Αναβιβάζοντα και του Καταβιβάζοντα Σύνδεσμου που μπορούν κατά την Κατώτερη Σύνοδος να εμφανίσουν Διάβαση.



- (1) Κεντρική Διάβαση
- (2), (3) Μη Κεντρική Διάβαση
- (4), (5) Μερική Διάβαση
- (6), (7) Χαμένη Διάβαση



Προσοχή! Οπτικά το σχήμα είναι παραμορφωμένο καθώς σκοπός του είναι να αναδείξει τις γεωμετρικές σχέσεις. Οι γωνίες είναι πολύ μικρές και οι πλευρές EV και VS, βρίσκονται σχεδόν επί της πλευράς SE και η κουκίδα S είναι το κέντρο του Ήλιου και όχι ο Δίσκος του.

Υποθέτουμε τώρα ότι μια Κατώτερη Σύνοδος που συνεπάγεται Διάβαση συμβαίνει μετά τον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο. Όταν η Αφροδίτη διερχόταν από τον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο στο σημείο V_0 , η Γη ήδη βρισκόταν μετά τη Γραμμή των Συνδέσμων στο σημείο E_0 . Όταν τελικά η Αφροδίτη στο σημείο V_2 πρόφτασε τη Γη, ενώ βρισκόταν στο σημείο E_2 , προέκυψε Σύνοδος με Διάβαση.

Στο Σφαιρικό Τρίγωνο $V_0V_2V_2'$ εφαρμόζουμε τον τύπο των Τεσσάρων Διαδοχικών Στοιχείων για τα στοιχεία ($V_0 = i$, l , $V_2 = 90^\circ$, b), όπου l το Εκλειπτικό Μήκος της Αφροδίτης (και της Γης) με σημείο αναφοράς το Σύνδεσμό της κατά την Κατώτερη Σύνοδο, οπότε:

$$\begin{aligned} \cos i \cdot \cos 90^\circ &= \sin l \cdot \cot b - \sin 90^\circ \cdot \cot i \Rightarrow \\ 0 &= \sin l \cdot \cot b - \cot i \Rightarrow \cot i = \sin l \cdot \cot b \Rightarrow \sin l = \frac{\cot i}{\cot b} \Rightarrow \\ \sin l &= \frac{\tan b}{\tan i} \Rightarrow l = \sin^{-1} \left(\frac{\tan 0.105^\circ}{\tan 3.395^\circ} \right) \Rightarrow l \approx 1.770^\circ \end{aligned}$$

Ακολουθώντας το ίδιο σκεπτικό, Διάβαση μπορεί να συμβεί και συμμετρικά πριν από τη Γραμμή των Συνδέσμων. Το τόξο επομένως στο οποίο μπορεί να βρεθεί η Αφροδίτη για να παρατηρηθεί Διάβαση έχει Μέτρο $1.77^\circ \times 2 = 3.54^\circ$. Με την υπόθεση ότι η Γη κινείται ισοταχώς σε όλη την τροχιά της, κάθε μέρα διανύει τόξο μέτρου $360^\circ/365.256d = 0.986^\circ/d$, επομένως είναι δυνατόν να συμβεί Διάβαση σε χρονικό Παράθυρο (Window) $3.6d$. Ακριβέστεροι υπολογισμοί, που λαμβάνουν υπόψη τους ότι η Γη δεν κινείται ισοταχώς, αλλά με μικρότερη ταχύτητα τον Ιούνιο και με μεγαλύτερη το Δεκέμβριο, δίνουν για τον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο τον Ιούνιο ότι μπορεί να προκύψει Διάβαση αν η Γη βρίσκεται σε χρονικό διάστημα μικρότερο των $44\frac{1}{2}h$ από τη Γραμμή των Συνδέσμων, δηλαδή Παράθυρο $89h = 3.7d = 3d\ 16\frac{1}{2}h$ και αντίστοιχα για το Δεκέμβριο κάπως μικρότερο Παράθυρο ίσο με $3.5d = 3d\ 11h$.

Η Επανάληψη των Διαβάσεων

Η χρονοσειρά των Διαβάσεων είναι επαναληπτική και μια Διάβαση μπορεί να προβλεφθεί με μια σχετική ακρίβεια ακόμη και εμπειρικά. Το διάστημα μεταξύ διαδοχικών Διαβάσεων είναι:

8 έτη, 121.5 έτη, 8 έτη, 105.5 έτη κ.ο.κ. η ακολουθία επαναλαμβάνεται,

δηλαδή, οι Διαβάσεις παρουσιάζουν Περίοδο επανάληψης:

$$8 + 121.5 + 8 + 105.5 = 243 \text{ ετών}$$

Από την ανακάλυψη του Τηλεσκοπίου οι χρονιές που έχουν συμβεί Διαβάσεις είναι:

1631, 1639, 1761, 1769, 1874, 1882, 2004, 2012

Κάθε 243 χρόνια επαναλαμβάνονται 4 Διαβάσεις, δύο Διαβάσεις στον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο το Δεκέμβριο (σε διάστημα 8 χρόνων), ακολουθεί ένα μακρύ διάστημα 121.5 ετών και γίνονται δύο Διαβάσεις στον αντίθετο Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο τον Ιούνιο (πάλι σε διάστημα 8 χρόνων). Η επόμενη επανάληψη γίνεται από διάστημα 105.5 ετών πάλι στον αντίθετο Σύνδεσμο κ.ο.κ. Επομένως με βάση τον κύκλο των 243 ετών, έχουμε αντιστοιχία των Διαβάσεων 2004 -1761 και των Διαβάσεων 2012 - 1769.

Η επανάληψη των Διαβάσεων οφείλεται στο γεγονός ότι ο λόγος των Τροχιακών Περιόδων (Αστρικών) Γης και Αφροδίτης είναι πολύ κοντά στο λόγο των ακεραίων $243/395$. Επομένως, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι Πλανήτες βρίσκονται σε μια μορφή **Τροχιακού Συντονισμού (Orbital Resonance)**.

Πράγματι, αν σε κάποια χρονική στιγμή είχε προκύψει Διάβαση, εννοείται μέσα σε κάποια Ζώνη των Διαβάσεων, θα περάσουν:

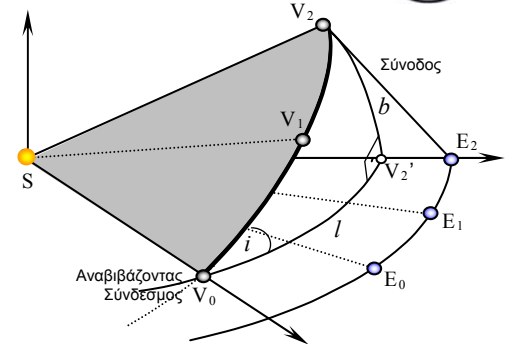
$$\begin{aligned} 243 \text{ Αστρικές Περίοδοι Περιφοράς της Γης, που αντιστοιχούν σε:} \\ 365.25636d \times 243 = \mathbf{88,757.3d} \end{aligned}$$

και αντίστοιχα:

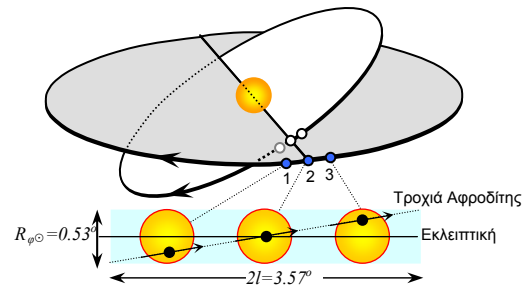
$$\begin{aligned} 395 \text{ Αστρικές Περίοδοι Περιφοράς της Αφροδίτης, που αντιστοιχούν σε:} \\ 224.70069d \times 395 = \mathbf{88,756.8d} \end{aligned}$$

δηλαδή χρονική διαφορά μόλις $0.5d$, πολύ μικρή για να μη βρίσκεται η Αφροδίτη και η Γη μέσα στη Ζώνη των Διαβάσεων του ίδιου Συνδέσμου. Φυσικά μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα των 88,757 ημερών θα έχουν σημειωθεί:

$$88757.3d/583.92d = 152 \text{ Κατώτερες Σύνοδοι}$$

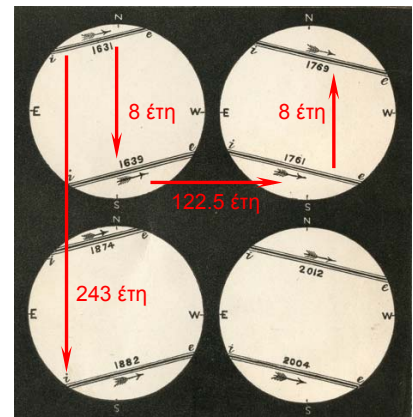


Η Γη έχει περάσει τη Γραμμή των Συνδέσμων όταν φτάνει σε αυτήν η Αφροδίτη. Καθώς η Αφροδίτη κινείται γρηγορότερα θα φτάσει τη Γη στο σημείο E_2

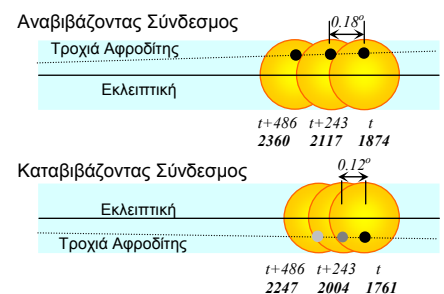


Ενδεικτικές θέσεις Γης και Αφροδίτης σε Σύνοδο:

(1) Πριν, (2) Επί και (3) Μετά τον Αναβιβάζοντα Σύνδεσμο.



Σχέδιο του Richard Procter το 1883 με τα μονοπάτια της Αφροδίτης πάνω στο Δίσκο του Ήλιου σχεδιασμένα ανά ζεύγη Διαβάσεων, από την 1^η Διάβαση του Δεκεμβρίου του 1631 που προέβλεψε ο Kepler μέχρι την τελευταία του 21^{ου} αιώνα τον Ιούνιο του 2012. Στα αριστερά οι Διαβάσεις στους Αναβιβάζοντες Συνδέσμους το μήνα Δεκέμβριο και στα δεξιά οι Διαβάσεις στους Καταβιβάζοντες Συνδέσμους το μήνα Ιούνιο.



Η Αφροδίτη φτάνει κάθε φορά νωρίτερα στα ραντεβού της, οπότε και οι Σύνοδοι παρουσιάζουν ολίσθηση κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού.



Εννοείται ότι καθώς υπάρχει αυτή η μικρή διαφορά μεταξύ των Αστρικών Περιόδων της Γης και των Αστρικών Περιόδων της Αφροδίτης, οι Διαβάσεις δεν είναι πανομοιότυπες. Κάθε φορά που είναι να συναντηθεί η Γη με την Αφροδίτη μέσα στη Ζώνη Διαβάσεων, η Αφροδίτη φτάνει νωρίτερα στο ραντεβού της με αποτέλεσμα η Διάβαση να πραγματοποιείται όλο και νωρίτερα με αποτέλεσμα να προβάλλεται στο Δίσκο του Ήλιου διαφορετικό σημείο της τροχιάς της που απέχει διαφορετική απόσταση από την Εκλειπτική.

Με παρόμοιο συλλογισμό μπορούμε να δούμε γιατί οι Διαβάσεις εμφανίζονται και σε ζεύγη που απέχουν 8 έτη. Ο λόγος των Τροχιακών Περιόδων της Γης και της Αφροδίτης είναι περίπου ίσος και με το λόγο των ακεραίων 8/13. Αν σε κάποια χρονική στιγμή είχε προκύψει Διάβαση και περάσουν:

8 Αστρικές Περίοδοι Περιφοράς της Γης, που αντιστοιχούν σε:
 $365.25636d \times 8 = 2922.05d$

13 Αστρικές Περίοδοι Περιφοράς της Αφροδίτης, που αντιστοιχούν σε:
 $224.70069d \times 13 = 2921.11d$

η Αφροδίτη φτάνει νωρίτερα στο 8ετές ραντεβού της και σε πρώτη προσέγγιση, πραγματοποιεί Σύνοδο 0.94d=23h νωρίτερα από το σημείο της προηγούμενης Διάβασης, κάτι που εκτός από το γεγονός της Διάβασης, αιτιολογεί και γιατί οι Διαβάσεις της που απέχουν 8 έτη, συμβαίνουν πάντα τον ίδιο μήνα (Δεκέμβριο ή Ιούνιο). Όμως στην πραγματικότητα η διαφορά είναι τέτοια που δεν είναι δυνατόν να προκύψει και 3^η κατά σειρά Κατώτερη Σύνοδος μετά από 8 χρόνια μέσα στη Ζώνη των Διαβάσεων.

Για παράδειγμα, η Διάβαση που έλαβε χώρα στις 8 Ιουνίου 2004, καθώς και αυτή που θα συμβεί στις 6 Ιουνίου του 2012, αποτελούν ζεύγος, όπως ζεύγος αποτελούν και οι μελλοντικές Διαβάσεις της 11^{ης} Δεκεμβρίου του 2117 και της 8^{ης} Δεκεμβρίου του 2125.

- ÷ Το **2004**, η Γη έφτασε στο Μήκος του Καταβιβάζοντα Συνδέσμου της Αφροδίτης στις 7 Ιουνίου στις 03:10:30 UT. Η Αφροδίτη πέρασε τον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο 11.75h αργότερα από τη Γη. Χρειάστηκε άλλες 17.5 ώρες για να φτάσει τη Γη. Σύνολο 29h μετά από την πάροδο της Γης από το Σύνδεσμο. Η Σύνοδος έγινε μέσα στη Ζώνη των Διαβάσεων.
- ÷ Το **2012**, η Αφροδίτη θα φτάσει στον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο στις 6 Ιουνίου στις 16:55:40 UT. Η Γη θα φτάσει στο Μήκος του Συνδέσμου 10.5h αργότερα, στις 7 Ιουνίου στις 03:28:30 UT. Η Αφροδίτη θα περάσει τη Γη στις 6 Ιουνίου 01:29:28 UT (Μέσο της Διάβασης) 26h πριν αυτή φτάσει στο Σύνδεσμο. Η Διάβαση θα πραγματοποιηθεί 55h νωρίτερα από τη συζυγή της του 2004.
- ÷ Το **2020**, η Αφροδίτη θα φτάσει στον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο στις 5 Ιουνίου στις 19:00 UT. Η Κατώτερη Σύνοδος θα είχε συμβεί 2 μέρες νωρίτερα. Πολύ νωρίς για να παρατηρηθεί Διάβαση.

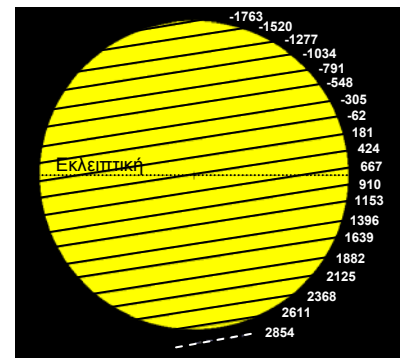
Μερικές φορές η μια από τις Διαβάσεις ενός ζεύγους μπορεί να μη συμβεί. Αν το 1^ο μέλος του ζεύγους είναι σχεδόν Κεντρική Διάβαση, η Κατώτερη Σύνοδος μετά από 8 χρόνια, μπορεί να συμβεί πολύ νωρίς και εκτός της Ζώνης των Διαβάσεων του αντίστοιχου Συνδέσμου. Έτσι, χάθηκε η Διάβαση του 1404, (το 2^ο μέλος του ζεύγους 1396/1404), και για πολύ λίγο θα μπορούσε να χαθεί και η Διάβαση του 2854 (το 2^ο μέλος του ζεύγους 2846/2854), καθώς από τον Ισημερινό της Γης η Αφροδίτη θα χάσει τον Ήλιο, αν και θα πραγματοποιήσει Μερική Διάβαση ακουμπώντας για πολύ λίγο το Χείλος του Δίσκου του Ήλιου για κάποιες περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου. Ακόμη θα χαθεί και η Διάβαση του 3097 (το 2^ο μέλος του ζεύγους 3089/3097). Η συχνότητα με την οποία χάνονται οι Διαβάσεις του Δεκεμβρίου είναι μεγαλύτερη καθώς το χρονικό Παράθυρο για αυτό το μήνα είναι μικρότερο του Ιουνίου.

Στο διάστημα των 8 Γήινων ετών που ισούται σχεδόν με το διάστημα 13 Αφροδιτιών (ή καλύτερα Κυθηριαίων) ετών, έχουν σημειωθεί:

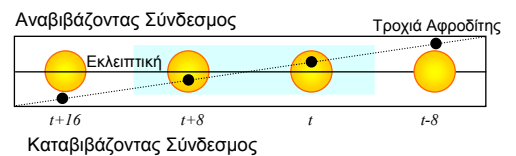
$2922.05d/583.92d = 5$ Κατώτερες Σύνοδοι

Οι Κατώτερες Σύνοδοι κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα στις τροχιές των σωμάτων. Μια Σύνοδος απέχει από την επόμενη της κατά 216^ο περίπου. Ο κύκλος όμως δεν κλείνει πλήρως και η 6^η Σύνοδος δεν συμπίπτει με την 1^η. Η υστέρηση αθροίζεται συνεχώς και οι Σύνοδοι οπισθοδρομούν κατά τη Φορά των Δεικτών του Ρολογιού.

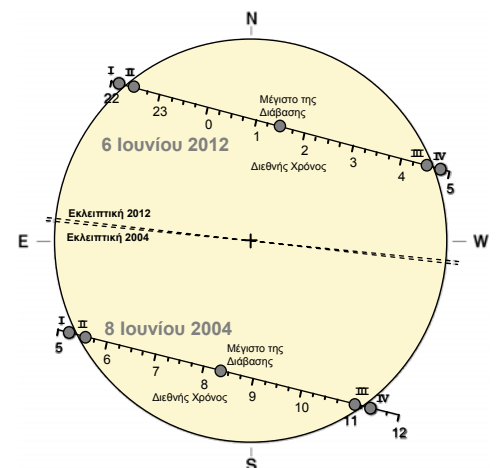
Με την πάροδο του χρόνου, η Γραμμή των Συνδέσμων της Αφροδίτης περιστρέφεται, οι Σύνδεσμοι της μετατοπίζονται σε σχέση με την τροχιά της Γης και κατά συνέπεια αλλάζουν και οι ημερομηνίες που η Γη παραλλάσει τους Συνδέσμους. Αυτό γίνεται εμφανές και από την ολίσθηση των ημερομηνιών των Διαβάσεων στη σχετική Εφημερίδα. Πριν από 5,000 χρόνια οι Σύνδεσμοι αντιστοιχούσαν στις 21 Μαΐου και στις 19 Νοεμβρίου, μετά από 1,500 χρόνια οι Σύνδεσμοι θα αντιστοιχούν στις 21 Ιουνίου και στις 21 Δεκεμβρίου (κατά τα Ηλιοστάσια) και μετά από 80,000 περίπου χρόνια θα επιστρέψουν στις σημερινές ημερομηνίες.



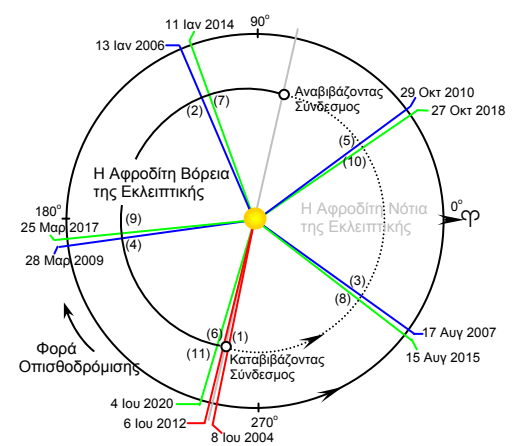
Διαχρονική απεικόνιση των μονοπατιών των Διαβάσεων των 2^{ων} μελών των ζευγών του Αναβιβάζοντα Συνδέσμου του Δεκεμβρίου.



Δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν 3 διαδοχικές Διαβάσεις που να απέχουν 8 χρόνια.



Η Διάβαση του 2004 διέσχισε το Νότιο Ημισφαίριο του Ηλιακού Δίσκου, ενώ η Διάβαση του 2012 τον διασχίζει στο Βόρειο Ημισφαίριο. Πρόκειται για συζυγείς Διαβάσεις Καταβιβάζοντα Συνδέσμου.



Οι ημερομηνίες και οι θέσεις της Κατώτερης Συνόδου από τη Διάβαση του 2004 μέχρι τη Διάβαση του 2020



Εφημερίδα Διαβάσεων της Αφροδίτης: 1 - 4,000 μ.Χ.

		Στιγμές Επαφών (UT- Universal Time)					Ήλιος		Διάβαση	
Ημερομηνία		I hh:mm	II hh:mm	Μέγιστο hh:mm	III hh:mm	IV hh:mm	Διαχωρισμός "	RA hh	Dec °	GST hh
0060	May 23	23:20	23:34	03:23	07:11	07:25	87.4	3.817	20.25	15.939
0181	Nov 22	19:36	19:52	23:39	03:27	03:42	114.3	15.895	-20.48	4.064
0303	May 24	03:27	03:42	07:28	11:13	11:28	157.7	3.977	20.71	16.089
0424	Nov 22	19:01	19:17	23:05	02:54	03:10	9.6	16.033	-20.86	4.201
0546	May 24	07:35	07:50	11:31	15:13	15:28	232.3	4.138	21.13	16.239
0554	May 22	03:42	-	04:51	-	06:00	933.6	3.990	20.72	16.093
0667	Nov 23	18:20	18:36	22:24	02:11	02:27	99.2	16.172	-21.21	4.338
0789	May 24	11:33	11:48	15:24	19:00	19:15	307.6	4.300	21.52	16.389
0797	May 22	06:41	07:18	08:32	09:45	10:23	866.6	4.151	21.14	16.243
0910	Nov 23	17:28	17:44	21:28	01:11	01:27	207.9	16.312	-21.53	4.475
1032	May 24	15:18	15:34	19:03	22:32	22:48	373.4	4.463	21.87	16.539
1040	May 22	10:02	10:29	12:23	14:18	14:45	791.8	4.314	21.52	16.393
1153	Nov 23	16:45	17:01	20:38	00:15	00:31	307.6	16.454	-21.83	4.613
1275	May 25	19:00	19:17	22:37	01:57	02:14	444.9	4.627	22.18	16.689
1283	May 23	13:04	13:27	15:44	18:01	18:25	733.6	4.477	21.87	16.542
1396	Nov 23	15:43	16:00	19:25	22:49	23:06	424.3	16.595	-22.10	4.750
1518	May 26	22:28	22:45	01:56	05:06	05:24	505.3	4.791	22.45	16.838
1526	May 23	16:13	16:34	19:11	21:48	22:08	666.7	4.640	22.18	16.692
1631	Dec 07	03:51	04:59	05:19	05:40	06:47	939.3	16.912	-22.64	5.045
1639	Dec 04	14:57	15:15	18:25	21:36	21:54	523.6	16.738	-22.34	4.888
1761	Jun 06	02:02	02:20	05:19	08:18	08:37	570.4	4.957	22.69	16.988
1769	Jun 03	19:15	19:34	22:25	01:16	01:35	609.3	4.805	22.44	16.842
1874	Dec 09	01:49	02:19	04:07	05:56	06:26	829.9	17.056	-22.82	5.182
1882	Dec 06	13:57	14:17	17:06	19:55	20:15	637.3	16.881	-22.56	5.025
2004	Jun 08	05:13	05:33	08:20	11:07	11:26	626.9	5.121	22.89	17.137
2012	Jun 06	22:09	22:27	01:29	04:32	04:49	554.4	4.969	22.68	16.991
2117	Dec 11	23:58	00:21	02:48	05:15	05:38	723.6	17.201	-22.97	5.320
2125	Dec 08	13:15	13:38	16:01	18:24	18:48	736.4	17.026	-22.74	5.163
2247	Jun 11	08:42	09:03	11:33	14:04	14:25	691.3	5.289	23.05	17.287
2255	Jun 09	01:08	01:25	04:38	07:51	08:08	491.9	5.135	22.87	17.141
2360	Dec 13	22:32	22:52	01:44	04:35	04:56	625.7	17.348	-23.09	5.458
2368	Dec 10	12:29	13:00	14:45	16:31	17:01	836.4	17.172	-22.90	5.301
2490	Jun 12	11:39	12:02	14:17	16:32	16:55	741.1	5.454	23.17	17.436
2498	Jun 10	03:48	04:05	07:25	10:45	11:02	442.7	5.301	23.02	17.290
2603	Dec 16	20:43	21:02	00:13	03:25	03:43	517.1	17.494	-23.18	5.596
2611	Dec 13	12:04	13:07	13:34	14:01	15:04	934.8	17.319	-23.03	5.440
2733	Jun 15	15:02	15:30	17:18	19:06	19:34	808.3	5.623	23.24	17.587
2741	Jun 13	06:33	06:49	10:17	13:44	14:00	385.6	5.468	23.14	17.440
2846	Dec 16	19:30	19:47	23:11	02:35	02:52	432.1	17.643	-23.24	5.735
2854	Dec 14	-	-	12:19	-	-	1026.7	17.466	-23.12	5.578
2976	Jun 16	17:45	18:19	19:44	21:10	21:44	850.5	5.791	23.28	17.735
2984	Jun 14	09:01	09:16	12:49	16:22	16:37	336.3	5.634	23.21	17.589
3089	Dec 18	17:39	17:55	21:31	01:06	01:23	320.6	17.790	-23.27	5.873
3219	Jun 19	20:50	21:46	22:19	22:52	23:49	908.1	5.957	23.28	17.885
3227	Jun 17	11:21	11:37	15:13	18:50	19:05	293.4	5.801	23.25	17.738
3332	Dec 20	16:16	16:32	20:14	23:56	00:12	235.5	17.939	-23.26	6.012
3462	Jun 22	23:29	-	00:27	-	01:26	948.1	6.123	23.24	18.034
3470	Jun 19	13:31	13:46	17:26	21:07	21:22	247.9	5.967	23.25	17.887
3575	Dec 23	14:29	14:44	18:32	22:19	22:34	131.5	18.087	-23.23	6.150
3705	Jun 24	-	-	02:32	-	-	989.3	6.289	23.16	18.182
3713	Jun 21	15:25	15:40	19:22	23:05	23:20	215.2	6.133	23.21	18.036
3818	Dec 25	12:57	13:12	17:01	20:50	21:05	41.1	18.237	-23.16	6.290
3956	Jun 23	17:22	17:37	21:21	01:06	01:21	175.2	6.300	23.13	18.184

PASSAGES DE VÉNUS, etc. 461

Table des passages de Vénus sur le Soleil pour deux mille ans.

Il y en a trente-cinq, en comptant les cinq qui sont douteux.

Année	Temps moyen de la conjonction	Longitude géocentrique	Milles de rayon du centre de Vénus	Demi-durée pour le centre de Vénus	Plus petite distance géocentrique
910	23 nov. 9 18 38	8 6 33 47	1 0 42 59	3 39 26	18 14 B *
1032	24 mai 6 44 49	2 8 37 45	6 42 20	3 51 29	3 16 A
1040	21 mai 23 15 54	2 6 29 9	23 57 8	...	16 16 B *
1145	25 nov. 20 9 6	8 11 1 30	19 26 30	...	17 7 B *
1153	23 nov. 8 1 33	8 8 32 21	8 28 22	3 31 56	7 22 A
1195	25 mai 10 21 23	2 10 57 7	10 13 28	3 42 52	5 18 A
1283	23 mai 2 53 23	2 8 48 30	3 29 16	4 41 58	14 14 B
1388	25 nov. 18 42 48	8 13 1 3	18 13 29	3 41 22	16 2 B
1396	23 nov. 6 48 22	8 10 31 12	7 17 23	3 23 40	8 24 A
1518	25 mai 13 56 10	2 13 16 22	13 42 39	3 29 28	7 21 A
1526	23 mai 6 26 1	2 11 7 35	6 37 5	2 28 57	12 16 B
1631	6 déc. 17 28 49	8 14 58 50	17 1 43	3 35 5	14 56 B
1639	4 déc. 6 9 40	8 12 32 15	6 39 40	3 17 0	9 0 A
1761	5 juin 17 44 34	2 15 36 31	17 30 10	3 8 0	9 30 A
1769	3 juin 10 7 54	2 13 27 8	10 36 23	2 50 53	10 10 B

Πίνακας που είχε δημοσιεύσει ο Lalande. Έχουν διαγραφεί οι Χαμένες Διαβάσεις του 902, 1145, 1388.

Αποστάσεις και Ταχύτητες Γης και Αφροδίτης κατά τη Διάβαση

Η Απόσταση Πλανήτη-Ήλιου υπολογίζεται από την Αληθή Ανωμαλία με τη σχέση (8):

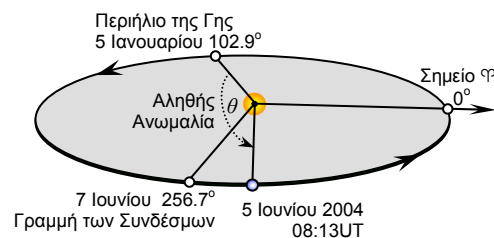
$$r(\theta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos \theta}$$

Για τη Γη, η Εκκεντρότητα $e_{\oplus} = 0.0167112$. Στις 8 Ιουνίου του 2004, 29 ώρες (1.2d) μετά το πέρασμα από τη Γραμμή των Συνδέσμων, η Αληθής Ανωμαλία της Γης μπορεί να υπολογιστεί ως η γωνία Καταβιβάζοντα Συνδέσμου και Σημείου φ (256.7°), ελαττωμένη κατά τη γωνία του Σημείου φ με το Περιήλιο (102.9°) και αυξημένη κατά τη γωνία της θέσης της Γης με τον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο ($1.2d \approx 1.2^\circ$), άρα:

$$\theta_{\oplus} = 256.7^\circ - 102.9^\circ + 1.2^\circ = 155.0^\circ$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο λαμβάνουμε το συντελεστή k , που εκφράζει την απόσταση σε AU:

$$r_{\oplus} = k_{\oplus} \alpha_{\oplus} \quad \text{με} \quad k_{\oplus} = 1.0150949 \quad (11)$$



Το Εκλειπτικό Επίπεδο για τον υπολογισμό της Αληθούς Ανωμαλίας της Γης.



Ομοίως για την Αφροδίτη η Εκκεντρότητα $e_{\varphi} = 0.0067732$. Στις 8 Ιουνίου, 17.5 ώρες (0.7d) μετά από τον Καταβιβάζοντα Σύνδεσμο, απέχει από αυτόν $360^{\circ}/225.7 = 1.1^{\circ}$ και η Αληθής Ανωμαλία μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\theta_{\varphi} = 180^{\circ} - 54.9^{\circ} + 1.1^{\circ} = 126.2^{\circ}$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο λαμβάνουμε:

$$r_{\varphi} = 1.0039703 \alpha_{\varphi}$$

Από τον 3^ο Νόμο του Kepler, σχέση (5):

$$\frac{P_{\varphi}^2}{a_{\varphi}^3} = \frac{P_{\oplus}^2}{a_{\oplus}^3} \Rightarrow \frac{a_{\varphi}}{a_{\oplus}} = \left(\frac{P_{\varphi}}{P_{\oplus}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{224.70069}{365.25636} \right)^{\frac{2}{3}} \Rightarrow$$

$$a_{\varphi} = 0.7233321 a_{\oplus}$$

άρα:

$$r_{\varphi} = 1.0039703 \times 0.7233321 \alpha_{\oplus} = k_{\varphi} \alpha_{\oplus} \quad \text{με} \quad k_{\varphi} = 0.7262039$$

Η Απόσταση Γης-Αφροδίτης είναι:

$$r_{\oplus\varphi} = r_{\oplus} - r_{\varphi}$$

οπότε με απλή αντικατάσταση:

$$r_{\oplus\varphi} = 1.0150949 \alpha_{\oplus} - 0.7262039 \alpha_{\oplus} = k_{\oplus\varphi} \alpha_{\oplus} \quad \text{με} \quad k_{\oplus\varphi} = 0.288891$$

λαμβάνουμε τη σχέση μεταξύ της Απόστασης Γης-Αφροδίτης στις 8 Ιουνίου 2004 και του Μεγάλου Ημιάξονα.

Ο υπολογισμός των ταχυτήτων μπορεί να γίνει από το 2^ο Νόμο του Kepler, σύμφωνα με τον οποίο η Εμβαδική Ταχύτητα ενός Πλανήτη παραμένει σταθερή. Αν E_{\oplus} το Εμβαδόν που περικλείει η Τροχιά της Γης και P_{\oplus} η Περίοδος Περιφοράς της:

$$\frac{E_{\oplus}}{P_{\oplus}} = \text{σταθερή}$$

Στην Έλλειψη $E = \pi a b$, όπου a ο Μεγάλος της Ημιάξονας και b ο Μικρός της Ημιάξονας, οι οποίοι συνδέονται με τη σχέση:

$$b = a \sqrt{1 - e^2}$$

επομένως αντικαθιστώντας μπορούμε να βρούμε την τιμή της σταθερής για τη Γη:

$$\frac{E_{\oplus}}{P_{\oplus}} = \frac{\pi \cdot a_{\oplus}^2 \sqrt{1 - e_{\oplus}^2}}{P_{\oplus}} \quad (16)$$

Αν στο σημείο που βρίσκεται η Γη, η Ακτίνα της Τροχιάς της είναι r_{\oplus} και σε μικρό χρονικό διάστημα Δt διαγράφει μικρή γωνία $\Delta \varphi$, που αντιστοιχεί σε μικρή μετατόπιση της Γης κατά Δs , το Εμβαδόν ΔE_{\oplus} του Τομέα που έχει σαρωθεί υπολογίζεται από το Εμβαδόν του τριγώνου SEE', ως:

$$\Delta E_{\oplus} = \frac{1}{2} \Delta s \cdot r_{\oplus} \quad (17)$$

Όμως:

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta s}{r_{\oplus}} \Rightarrow \Delta s = \Delta \varphi \cdot r_{\oplus}$$

οπότε η (17) γράφεται:

$$\Delta E_{\oplus} = \frac{1}{2} \Delta \varphi \cdot r_{\oplus}^2 \Rightarrow \frac{\Delta E_{\oplus}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \cdot r_{\oplus}^2 \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta E_{\oplus}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \omega_{\oplus} \cdot r_{\oplus}^2 \quad (18)$$

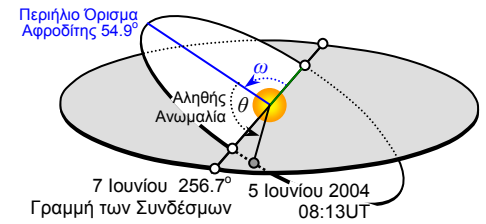
όπου ω_{\oplus} η Γωνιακή Ταχύτητα Περιφοράς της Γης. Εξισώνουμε τις (16) και (18) και εκφράζουμε την Ακτίνα σε ΑΥ οπότε:

$$\frac{1}{2} \omega_{\oplus} \cdot k_{\oplus}^2 a_{\oplus}^2 = \frac{\pi \cdot a_{\oplus}^2 \sqrt{1 - e_{\oplus}^2}}{P_{\oplus}} \Rightarrow \omega_{\oplus} = \frac{2\pi \sqrt{1 - e_{\oplus}^2}}{k_{\oplus}^2 P_{\oplus}} \quad (19)$$

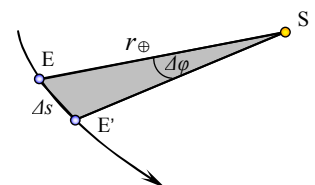
από την οποία αντικαθιστώντας με τιμές λαμβάνουμε $\omega_{\oplus} = 1.93194 \times 10^{-7} \text{ rad/s} = 0.0398''/\text{s}$



Τα Τροχιακά Στοιχεία των Πλανητών αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, επόμενο είναι να υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ των ετών 2012 και 2004.



Η Τροχιά της Αφροδίτης για τον υπολογισμό της Αληθούς Ανωμαλίας της Αφροδίτη.



Το Εμβαδόν του μικρού Τομέα συμπίπτει με το Εμβαδόν του μικρού Τριγώνου αν η γωνία της κορυφής είναι μικρή.

Τέλος, η Γραμμική Ταχύτητα της Γης δίνεται από:

$$v_{\oplus} = \omega_{\oplus} r_{\oplus} \Rightarrow v_{\oplus} = \frac{2\pi\sqrt{1-e_{\oplus}^2}}{k_{\oplus} P_{\oplus}} a_{\oplus} \quad (20)$$

στην οποία αντικαθιστώντας τις τιμές λαμβάνουμε $v_{\oplus} = 29.336 \text{ km/s}$

Ομοίως για την Αφροδίτη:

$$\omega_{\odot} = \frac{2\pi\sqrt{1-e_{\odot}^2}}{k_{\odot} P_{\odot}} \quad (21) \quad \text{και} \quad v_{\odot} = \frac{2\pi\sqrt{1-e_{\odot}^2}}{k_{\odot} P_{\odot}} a_{\oplus} \quad (22)$$

με $\omega_{\odot} = 3.22352 \times 10^{-7} \text{ rad/s} = 0.0665''/\text{s}$ και $v_{\odot} = 32.235 \text{ km/s}$

Η Γη στην Παρασκιά της Αφροδίτης

Έστω Διπλός Κώνος με κορυφή την Αφροδίτη και Γενέτειρα μια ευθεία που διαγράφει το Χείλος του Ηλιακού Δίσκου. Ο Κώνος από την αντίθετη πλευρά του Ήλιου οριοθετεί το χώρο που εκτείνεται η **Παρασκιά (Penumbra)** της Αφροδίτης. Από κάθε σημείο του χώρου της Παρασκιάς, η Αφροδίτη φαίνεται να βρίσκεται στο εσωτερικό του Δίσκου του Ήλιου. Έστω ότι σαν Βάση της Παρασκιάς (στο εξής για συντομία Παρασκιά) θεωρούμε μια τομή του κώνου από επίπεδο κάθετο στον Αξόνα του, το οποίο απέχει από τον Ήλιο απόσταση ίση με την Ακτίνα της Τροχιάς της Γης.

Όταν η Αφροδίτη βρεθεί στην περιοχή Συνδέσμου της και η Παρασκιά τμηθεί από την Τροχιά της Γης, σε κάθε σημείο της τομής παρατηρείται Διάβαση. Καθώς η Αφροδίτη κινείται επί της Τροχιάς της, κινείται ομόρροπα και η Παρασκιά της, η οποία αφού έχει μεγαλύτερη μεγαλύτερη Γωνιακή Ταχύτητα από τη Γωνιακή Ταχύτητα της Γης, θα σαρώνει ένα τμήμα της Τροχιάς της Γης, έως ότου βρεθεί πάνω ή κάτω, εκτός του Εκλειπτικού Επιπέδου.

Στο Σύστημα Αναφοράς της Αφροδίτης, η Αφροδίτη, και κατά συνέπεια η Παρασκιά της, παραμένουν ακίνητες, η Γη θα οπισθοδρομεί μέσα στην Παρασκιά (κινείται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού). Από τις διαδοχικές θέσεις που περνά η Γη μέσα στην Παρασκιά, η Αφροδίτη προβάλλεται στον Ήλιακό Δίσκο ως προς Κέντρο (Κέντρο Συμμετρίας) την Κορυφή του Κώνου της Παρασκιάς. Επομένως, το Μονοπάτι της Αφροδίτης πάνω στον Ήλιο, αποτελεί το συμμετρικό του Μονοπατιού της Γης κατά τη σχετική της κίνηση μέσα στην Παρασκιά.

Από τη γεωμετρία του σχήματος του Δίσκου του Ήλιου με την Παρασκιά μπορούμε να υπολογίσουμε την Ακτίνα της Βάσης της Παρασκιάς στην Τροχιά της Γης. Συγκεκριμένα:

$$R_{\text{Πα}\varphi} = EE'' = EE' + E'E'' \quad (23)$$

Από τα όμοια τρίγωνα $EE'V$ και $SS'V$:

$$\frac{EE'}{SS'} = \frac{EV}{VS} \Rightarrow \frac{EE'}{R_{\odot}} = \frac{r_{\oplus\varphi}}{r_{\varphi}} \Rightarrow EE' = \frac{r_{\oplus\varphi}}{r_{\varphi}} R_{\odot} = \frac{r_{\oplus} - r_{\varphi}}{r_{\varphi}} R_{\odot} \Rightarrow EE' = \left(\frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} - 1\right) R_{\odot} \quad (24)$$

Επίσης, από τα όμοια τρίγωνα $S'VV'$ και $S'EE''$:

$$\frac{E'E''}{VV'} = \frac{S'E'}{S'V} \Rightarrow \frac{E'E''}{R_{\varphi}} = \frac{S'E'}{S'V}$$

και καθώς ο λόγος ομοιότητας ισχύει και για τις άλλες διαστάσεις τους, π.χ. τα ύψη:

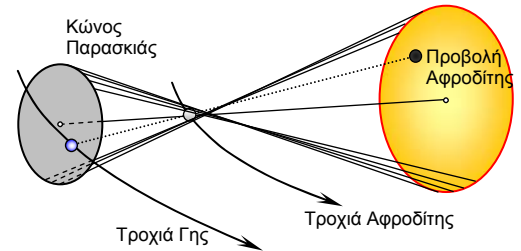
$$\frac{E'E''}{R_{\varphi}} = \frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} \Rightarrow E'E'' = \frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} R_{\varphi} \quad (25)$$

Συνδυάζοντας τις (23), (24) και (25) λαμβάνουμε:

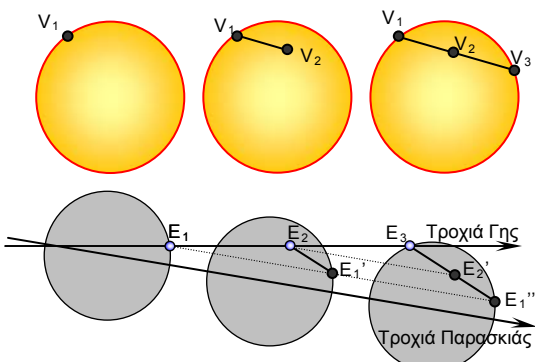
$$R_{\text{Πα}\varphi} = \left(\frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} R_{\odot} - R_{\odot}\right) + \frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} R_{\varphi} = \frac{r_{\oplus}}{r_{\varphi}} (R_{\odot} + R_{\varphi}) - R_{\odot} \Rightarrow$$

$$R_{\text{Πα}\varphi} = \frac{k_{\oplus}}{k_{\varphi}} (R_{\odot} + R_{\varphi}) - R_{\odot} \quad (26)$$

Για $R_{\odot} = 695,500 \text{ km}$ και $R_{\varphi} = 6,050 \text{ km}$ κατά τη Διάβαση του Ιουνίου του 2004, η Παρασκιά είχε Ακτίνα $R_{\text{Πα}\varphi} \cong 285,145 \text{ km}$.

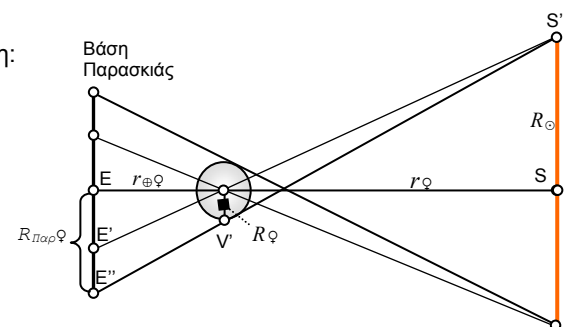


Κατά τη Διάβαση της Αφροδίτης η Γη βρίσκεται στην Παρασκιά της. Η Κορυφή του Κώνου της Παρασκιάς αποτελεί το Κέντρο Συμμετρίας των προβολών του Κέντρου της Αφροδίτης πάνω στον Ηλιακό Δίσκο.



Διαδοχικά Στιγμιότυπα των θέσεων της Παρασκιάς κατά τη Διάβαση, όταν η Γη βρίσκεται στα σημεία E_1 , E_2 και E_3 , ενώ αντίστοιχα το σημείο της 1^{ης} Επαφής πάνω στην Παρασκιά βρίσκεται στα E_1 , E_1' και E_1'' .

Αν φανταστούμε την Παρασκιά ακίνητη (Σύστημα Αναφοράς της Αφροδίτης) η Γη τη διαγράφει από αριστερά προς τα δεξιά κατά το ευθύγραμμο τμήμα $E_1''E_2$ (δηλαδή η Γη φαίνεται να οπισθοδρομεί). Το συμμετρικό του $E_1''E_2$ παρατηρείται από τη Γη πάνω στον Ηλιακό Δίσκο σαν το Μονοπάτι της Διάβασης.



Το μέγεθος της Αφροδίτης επαυξάνει την Ακτίνα της Παρασκιάς της. Λόγω των μεγάλων αποστάσεων $V' \parallel E'E''$



Σε ότι αφορά στη Γωνιακή Ταχύτητα της Παρασκιάς είναι αυτονόητο, ότι θα είναι ίση με τη Γωνιακή Ταχύτητα της Αφροδίτης.

Τέλος, η σχέση μεταξύ της Γραμμικής Ταχύτητας της Γης και της Γραμμικής Ταχύτητας της Βάσης της Παρασκιάς προκύπτει διαιρώντας κατά μέλη τις (19) και (21):

$$\frac{\omega_{\oplus}}{\omega_{\text{Παρ}\varphi}} = \frac{\frac{2\pi\sqrt{1-e_{\oplus}^2}}{k_{\oplus}^2 P_{\oplus}}}{\frac{2\pi\sqrt{1-e_{\varphi}^2}}{k_{\varphi}^2 P_{\varphi}}} \Rightarrow \frac{\frac{v_{\oplus}}{r_{\oplus}}}{\frac{v_{\text{Παρ}\varphi}}{r_{\oplus}}} = \frac{P_{\varphi} k_{\varphi}^2 \sqrt{1-e_{\oplus}^2}}{P_{\oplus} k_{\oplus}^2 \sqrt{1-e_{\varphi}^2}} \Rightarrow v_{\text{Παρ}\varphi} = \frac{P_{\oplus} k_{\oplus}^2 \sqrt{1-e_{\varphi}^2}}{P_{\varphi} k_{\varphi}^2 \sqrt{1-e_{\oplus}^2}} v_{\oplus} \quad (27)$$

από την οποία για τη Διάβαση του Ιουνίου του 2004 λαμβάνουμε την Ταχύτητα της Παρασκιάς σε αναλογία με την ταχύτητα της Γης:

$$v_{\text{Παρ}\varphi} = 1.6438 v_{\oplus} \quad (28)$$

Η Γραμμική Ταχύτητα της Παρασκιάς σε απόλυτο μέγεθος είναι: $v_{\text{Παρ}\varphi} = 48.223 \text{ km/s}$

Η Κλίση του Μονοπατιού της Διάβασης ως προς την Εκλειπτική

Έστω ότι τη στιγμή που η Γη βρίσκεται στο σημείο Ε, την ακουμπά η Παρασκιά της Αφροδίτης (1^η Επαφή). Μετά από χρόνο t , η Γη κινούμενη επί της Τροχιάς της βρίσκεται στο σημείο Α έχοντας διανύσει απόσταση:

$$EA = s_{\oplus} = v_{\oplus} \cdot t$$

Στο ίδιο χρονικό διάστημα t , το Κέντρο της Βάσης της Παρασκιάς κινείται επί του επιπέδου της Τροχιάς της Αφροδίτης, άρα με κλίση $i=3.395^\circ$ ως προς την Τροχιά της Γης, μεταφέροντας σε παράλληλη τροχιά το σημείο που είχε γίνει η Επαφή, στο σημείο Β, σε απόσταση:

$$EB = s_{\text{Παρ}\varphi} = v_{\text{Παρ}\varphi} \cdot t$$

Το ευθύγραμμο τμήμα ΒΑ αποτελεί το συμμετρικό το Μονοπατιού της Αφροδίτης. Αν ΒΚ κάθετος στο ΕΑ, η Κλίση η του Μονοπατιού προς την Εκλειπτική μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\tan \eta = \frac{BK}{AK}$$

Όμως:

$$AK = EB \cdot \sin i$$

$$BK = EK - EA = EB \cdot \cos i - EA$$

Συνδυάζοντας όλες τις παραπάνω σχέσεις, λαμβάνουμε:

$$\tan \eta = \frac{EB \cdot \sin i}{EB \cdot \cos i - EA} = \frac{v_{\text{Παρ}\varphi} t \cdot \sin i}{v_{\text{Παρ}\varphi} t \cdot \cos i - v_{\oplus} \cdot t} = \frac{1.6438 \cdot v_{\oplus} \sin i}{1.6438 \cdot v_{\oplus} \cos i - v_{\oplus}} \Rightarrow$$

$$\eta = \tan^{-1} \left(\frac{1.6438 \cdot \sin 3.395^\circ}{1.6438 \cdot \cos 3.395^\circ - 1} \right) = 8.64^\circ \quad (29)$$

Η Διάρκεια της Διάβασης

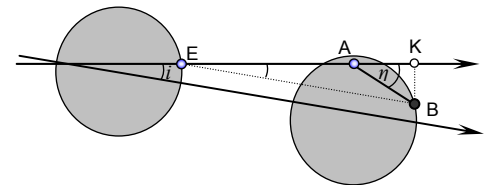
Ακολουθούμε το συλλογισμό που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό της Κλίσης του Μονοπατιού αλλά για Κεντρική Διάβαση της Αφροδίτης, που συνεπάγεται ότι η Γη πραγματοποιεί κίνηση κατά τη διάμετρο της Παρασκιάς. Αφού οι ταχύτητες για μικρό χρονικό διάστημα είναι σταθερές, η αναλογία των μηκών που διανύουν η Γη και η Αφροδίτη σε ίσους χρόνους είναι η ίδια με την αναλογία των ταχυτήτων τους, άρα:

$$s_{\text{Παρ}\varphi} = 1.6438 s_{\oplus}$$

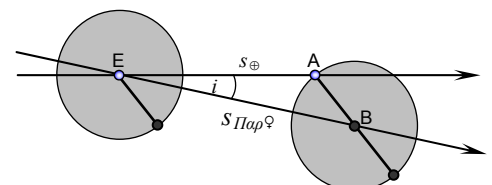
Κατά την Κεντρική Διάβαση η Γη περνά από το Κέντρο της Παρασκιάς, έστω στο Ε και έστω ότι εξέρχεται από το Α. Από το Νόμο των Συνημιτόνων στο τρίγωνο ΕΒΑ:

$$AB^2 = EA^2 + EB^2 - 2EA \cdot EB \cdot \cos i \Rightarrow R_{\text{Παρ}\varphi}^2 = s_{\oplus}^2 + s_{\text{Παρ}\varphi}^2 - 2s_{\oplus} s_{\text{Παρ}\varphi} \cos i \Rightarrow$$

$$R_{\text{Παρ}\varphi}^2 = s_{\oplus}^2 + (1.6438)^2 s_{\oplus}^2 - 2s_{\oplus} \cdot 1.6438 s_{\oplus} \cdot \cos i \Rightarrow R_{\text{Παρ}\varphi} = 0.6438 s_{\oplus}$$



Η Κλίση του Μονοπατιού της Διάβασης στον Ήλιο μπορεί να υπολογιστεί από την Κλίση του συμμετρικού της που είναι το Μονοπάτι της Γης μέσα στην Παρασκιά. Οι Κλίσεις κατά το Δεκέμβριο και τον Ιούνιο δεν είναι ίσες καθώς εξαρτώνται από την ταχύτητα της Γης, της Αφροδίτης και της απόστασης από τον Ήλιο.



Στιγμιότυπα Κεντρικής Διάβασης στα σημεία της Τροχιάς της Γης που συμβαίνουν. Αριστερά η Γη στο Κέντρο της Παρασκιάς και δεξιά η Γη κατά την 4^η Επαφή της Αφροδίτης στο Δίσκο του Ήλιου.

Αν t_{max} το χρονικό διάστημα για το πέρασμα από το ένα άκρο της διαμέτρου στο άλλο, διαιρώντας με t_{max} και τα δύο μέλη της πιο πάνω σχέσης λαμβάνουμε :

$$\frac{2R_{\oplus}}{t_{max}} = \frac{0.6482 \cdot 2s}{t_{max}} \Rightarrow \frac{2R_{\oplus}}{t_{max}} = 0.6482v_{\oplus} \Rightarrow t_{max} = \frac{2R_{\oplus}}{0.6438v_{\oplus}} \quad (30)$$

Αντικαθιστώντας τις μεταβλητές με τις τιμές $R_{\oplus} = 285,145 \text{ km}$ και $v_{\oplus} = 29.336 \text{ km/s}$ βρίσκουμε ότι η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια Διάβασης είναι $t_{max} = 30,196s = 8h23s$.

Η Διάβαση με τη μεγαλύτερη διάρκεια τα τελευταία 2,000 χρόνια συνέβει το Νοέμβριο του 424 και καθώς υπήρχε μικρός Διαχωρισμός (δεν ήταν ακριβώς Κεντρική) είχε διάρκεια $8h10s$.

Γενικά, η διάρκεια των Διαβάσεων μπορεί να υπολογιστεί ως κλάσμα του t_{max} από την επίκεντρη γωνία της $1^{\text{ης}}$ και της $4^{\text{ης}}$ Επαφής τους. Αν η γωνία αυτή είναι 2θ από το τρίγωνο ΚΒΑ:

$$d = R \cdot \sin \theta \Rightarrow 2d = 2R \cdot \sin \theta \Rightarrow \frac{2d}{v} = \frac{2R}{v} \cdot \sin \theta \Rightarrow t = t_{max} \sin \theta \quad (31)$$

Μέτρηση Αστρονομικών Αποστάσεων με Παράλλαξη

Έστω ότι 2 άτομα, τα Α και Β, σκοπεύουν σε ένα δένδρο προς παρατήρηση Π, που έχει για φόντο τα βουνά. Λόγω του ότι τα άτομα βρίσκονται σε διαφορετική θέση έχουν και διαφορετική προοπτική, οπότε το άτομο Α βλέπει το δένδρο να προβάλλεται στο βουνό Α', ενώ το άτομο Β βλέπει το δένδρο να προβάλλεται στο βουνό Β'. Το φαινόμενο εμφάνισης διαφορετικής προοπτικής σε κάθε Παρατηρητή, που οφείλεται στη θέση του, ονομάζεται **Παράλλαξη (Parallax)** και η $\angle \pi$ που σχηματίζεται από τις ευθείες όρασης με κορυφή το δένδρο ονομάζεται **Παραλλακτική Γωνία** ή απλά **Παράλλαξη**.

Αν πίσω από το δένδρο Π, υπήρχε ένα άλλο δένδρο Π', τα σημεία προβολής του στο υπόβαθρο θα ήταν διαφορετικά, έστω τα Α'' και Β'', η μεταξύ τους απόσταση θα ήταν μικρότερη ($A'B' > A''B''$), όπως επίσης μικρότερη θα ήταν και η Παράλλαξη $\angle \pi'$. Δηλαδή, όσο πιο μακριά βρίσκεται το δένδρο τόσο πιο μικρή είναι η Παράλλαξη.

Αν Κ η προβολή του Π στο τμήμα ΑΒ, που συνδέει τους Παρατηρητές, η απόσταση ΠΚ μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο του τριγωνισμού από:

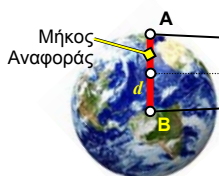
$$\left. \begin{aligned} AK &= K\Pi \cdot \tan \pi_1 \\ BK &= K\Pi \cdot \tan \pi_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow AB = K\Pi \cdot (\tan \pi_1 + \tan \pi_2) \Rightarrow K\Pi = \frac{AB}{\tan \pi_1 + \tan \pi_2} \quad (32)$$

όπου το ΑΒ μπορεί να μετρηθεί ως **Μήκος Αναφοράς (Baseline)** και $\angle \pi_1$, $\angle \pi_2$ μπορούν να μετρηθούν ως συμπληρωματικές των $\angle \alpha$ και $\angle \beta$. Αν το Π βρίσκεται πάρα πολύ μακριά, ώστε $\pi_1, \pi_2 < 1^\circ$ μπορεί να θεωρηθεί ότι $\tan \pi_1 \approx \pi_1$ και $\tan \pi_2 \approx \pi_2$, οπότε η πιο πάνω σχέση μπορεί να γραφτεί:

$$K\Pi = \frac{AB}{\pi_1 + \pi_2} \Rightarrow K\Pi = \frac{AB}{\pi} \quad (33)$$

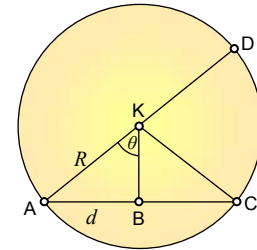
με π_1, π_2, π σε Ακτίνια.

Στην περίπτωση των Πλανητών, το υπόβαθρο είναι η Σφαίρα των Απλανών και για να είναι μετρήσιμη η Παράλλαξη ή ακόμη καλύτερα για να μετρηθεί με τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα, επιλέγονται δύο τόποι που να απέχουν πάρα πολύ μεταξύ τους. Εννοείται φυσικά, πως πάνω στη Γη το μεγαλύτερο Μήκος Αναφοράς είναι $2R_{\oplus}$. Επίσης, η Παράλλαξη μετριέται στην Ουράνια Σφαίρα, όπως μετριέται και η Γωνιώδης Απόσταση μεταξύ των Αστέρων.

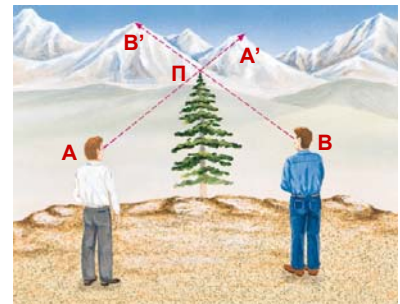


Από τη γεωμετρία του σχήματος φαίνεται ότι:

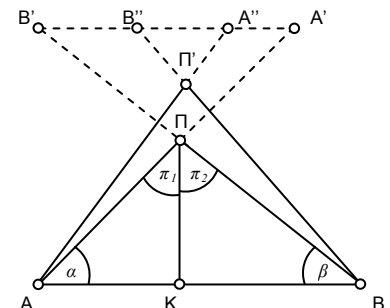
$$\tan \frac{\pi}{2} = \frac{d}{r} \Rightarrow r = \frac{d}{\tan \frac{\pi}{2}}$$



Η ταχύτητα της Αφροδίτης στον Ηλιακό Δίσκο είναι ανεξάρτητη του είδους της Διάβασης που πραγματοποιεί (Κεντρική Διάβαση ΑD, ή Μη Κεντρική ΑC).



Οι Παρατηρητές βλέπουν το δένδρο να καλύπτει διαφορετικό σημείο το φόντου.



Τα σημεία που απέχουν περισσότερο από το Μήκος Αναφοράς ΑΒ, έχουν και μικρότερη Παράλλαξη ως προς το ΑΒ.



Η Παράλλαξη του Πλανήτη μπορεί να μετρηθεί ως το τόξο Α'Β' στην Ουράνια Σφαίρα, όπως μετριέται και κάθε Γωνιώδης Απόσταση μεταξύ των Αστέρων.



Καθώς όμως η Παράλλαξη των Πλανητών παίρνει τιμές μικρότερες από $1'$ της μοίρας, $\tan \pi/2 = \pi/2$ άρα:

$$r = \frac{\frac{d}{\frac{2}{\pi}}}{\frac{2}{\pi}} \Rightarrow r = \frac{d}{\pi_{rad}} \quad \text{ή} \quad r = \frac{d}{\pi''} \times 206,264.8062 \quad (34)$$

σχέση που συμπίπτει με τη σχέση που προέκυψε από τον τριγωνισμό μεγάλων αποστάσεων.

Το 1672, ο Ιταλογάλλος Αστρονόμος **Giovanni Domenico Cassini** (1625-1712) στο Παρίσι και ο συνεργάτης του **Jean Richer** (1630-1696) στο Cayenne της Γαλλικής Γουιάνας στη Νότιο Αμερική, μέτρησαν την Παράλλαξη του Άρη κατά την Αντίθεσή του, δηλαδή όταν ο Πλανήτης βρέθηκε στην κοντινότερή του απόσταση από τη Γη ($0.37AU$), οπότε παρουσίαζε τη μεγαλύτερή του Παράλλαξη. Βρήκαν ότι η Παράλλαξη του είχε την τιμή $25''$, υπολόγισαν την απόσταση Γη-Άρης και από αυτήν, κατέληξαν ότι $1AU=138,000,000km$.

Αν και την εργασία των Cassini και Richer την εκτίμησε ιδιαίτερα το σύνολο της Αστρονομικής Κοινότητας, ο Halley της άσκησε σκληρή κριτική, καθώς θεωρούσε ότι η μέτρηση τους δεν είχε γίνει με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια. Ο Halley γνώριζε την εργασία του Gregory και θεωρούσε ότι η καλύτερη μέτρηση Παράλλαξης μπορούσε να γίνει με την Αφροδίτη, καθώς αυτός είναι ο Πλανήτης που φτάνει κοντύτερα στη Γη ($0.27AU$). Η μόνη δυσκολία ήταν ότι ο Πλανήτης βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση κατά την Κατώτερη Σύνοδο, δηλαδή σε χρονική στιγμή που είναι ημέρα και δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί η σχετική θέση του ως προς τους Απλανείς. Αν όμως ο Πλανήτης πραγματοποιούσε Διάβαση θα ήταν ορατός και θα ήταν δυνατή και η μέτρηση της Παράλλαξής του πάνω στον Ήλιο. Για τον Halley όμως αυτό δεν ήταν πρόβλημα, καθώς είχε την εμπειρία παρατήρησης μιας Διάβασης του Ερμή. Θεωρούσε μάλιστα, ότι η πρόταση του Gregory να γίνει και έμμεση μέτρηση της Παράλλαξης με χρονομέτρηση, θα βοηθούσε στο να διορθωθούν τα σφάλματα της άμεσης μέτρησης των γωνιών, καθώς η μέτρηση του χρόνου γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τη μέτρηση των γωνιών και από τα καλύτερα Γωνιομετρικά Όργανα.

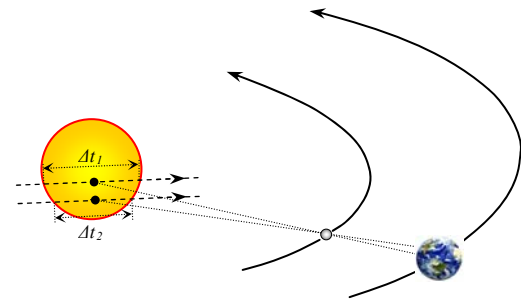


Αν $\pi = 1' = 60''$ τότε:

$$\pi/2 = 30'' = 1.454441043 \times 10^{-4} rad$$

$$\tan \pi/2 = 1.454441054 \times 10^{-4}$$

δηλαδή διαφορά από το 12° ψηφίο και μετά.



Τα μονοπάτια της Αφροδίτης στο Δίσκο του Ήλιου για δύο Παρατηρητές που βρίσκονται σε διαφορετικά Γεωγραφικά Πλάτη πάνω στη Γη. Η Αφροδίτη δεν εισέρχεται στο Δίσκο του Ήλιου, ούτε και τον εγκαταλείπει την ίδια χρονική στιγμή και για τους δύο Παρατηρητές.

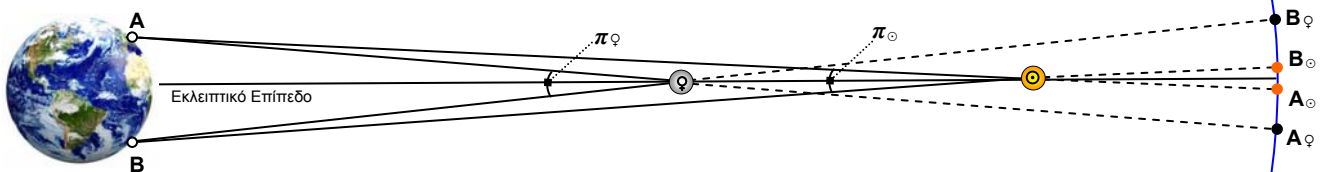
Κατά τον Halley η σύγκριση μεταξύ των χρονικών διαρκειών της Διάβασης που μέτρησε ο κάθε Παρατηρητής μπορεί να μειώσει το σφάλμα μέτρησης των Γωνιών Θέσης των Επαφών, που μετρούνται με Γωνιομετρικά Όργανα.

Σχέση Παρατηρούμενης Παράλλαξης και Πραγματικής Παράλλαξης

Κατά τη Διάβαση, παρατηρείται η προβολή της Αφροδίτης πάνω στον Ηλιακό Δίσκο. Για να υπολογιστεί η Παράλλαξη πρέπει να μετρηθεί από κάθε Παρατηρητή η Γωνιώδης Απόσταση του Δίσκου της Αφροδίτης από ένα προσυμφωνημένο σημείο του Ήλιου, έστω το Κέντρο του. Λαμβάνοντας στη συνέχεια το άθροισμα των Γωνιωδών Αποστάσεων, προκύπτει η **Παρατηρούμενη Παράλλαξη (Observed Parallax)**.

Όμως καθώς ο Ήλιος δε βρίσκεται σε άπειρη απόσταση από τη Γη υφίσταται και αυτός (και κατά συνέπεια και το Κέντρο του) Παράλλαξη στην Ουράνια Σφαίρα (Σφαίρα των Απλανών), κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς καθώς αναμένεται να είναι περίπου το $0.27/0.73 \approx 1/4$ της Παράλλαξης της Αφροδίτης.

Αν A_\odot και B_\odot οι προβολές της Αφροδίτης από τους Παρατηρητές Α και Β αντίστοιχα και A_\odot και B_\odot οι προβολές του Ήλιου από τους Παρατηρητές Α και Β αντίστοιχα



αυτό που μπορεί να μετρήσει ο Παρατηρητής Α είναι το τόξο $A_\odot A_\odot$ και αυτό που μπορεί να μετρήσει ο Παρατηρητής Β είναι το τόξο $B_\odot B_\odot$

Καθώς οι γωνίες των τόξων είναι πολύ μικρές μπορούμε να τις χρησιμοποιούμε σε τύπους σαν να επρόκειτο για μήκη, π.χ. στη σφαίρα του Πλανητάριου, ο Δίσκος του Ήλιου που καταλαμβάνει μια πολύ μικρή περιοχή της έκτασής της, σε πολύ καλή προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί επίπεδος και τα μήκη ανάλογα των γωνιών που τους αντιστοιχούν. Οι κορυφές των γωνιών των τόξων θεωρείται ότι βρίσκονται όλες στο ίδιο σημείο, όπως θεωρείται ότι και όλα τα ουράνια σώματα βρίσκονται στην ίδια επιφάνεια. Αθροίζοντας επομένως τα τόξα που μας δίνει ο κάθε Παρατηρητής από τη δική του προοπτική, λαμβάνουμε την Παρατηρούμενη Παράλλαξη π_{ob} :

$$\pi_{ob} = A_\odot A_\odot + B_\odot B_\odot$$

Οι κουκίδες στα σημεία της θέσης του Ήλιου και της Αφροδίτης αντιστοιχούν στα Κέντρα των σωμάτων.

Το Κέντρο του Ήλιου και η Αφροδίτη στην Ουράνια Σφαίρα

Από διαφορετικές θέσεις πάνω στη Γη, το Κέντρο του Ήλιου προβάλλεται σε διαφορετικά σημεία της Ουράνιας Σφαίρας, καθώς υφίσταται Παράλλαξη. Αν υποθέσουμε ότι οι Παρατηρητές ελάμβαναν φωτογραφίες του Ήλιου και μετά προκειμένου να μετρήσουν την Παράλλαξη, τοποθετούσαν το ένα φιλμ πάνω στο άλλο ευθυγραμμίζοντας τα Κέντρα, η απόσταση των ιχνών της Αφροδίτης θα αντιστοιχούσε στη Μετρούμενη Παράλλαξη.



Η Πραγματική Παράλλαξη της Αφροδίτης αντιστοιχεί φυσικά στο τόξο $A_{\odot}B_{\odot}$, άρα:

$$\pi_{\odot} = A_{\odot}B_{\odot} \Rightarrow \pi_{\odot} = A_{\odot}A_{\oplus} + A_{\oplus}B_{\oplus} + B_{\oplus}B_{\odot} = (A_{\odot}A_{\oplus} + B_{\oplus}B_{\odot}) + A_{\oplus}B_{\oplus} \Rightarrow \pi_{\odot} = \pi_{ob} + \pi_{\oplus} \quad (35)$$

Αντικαθιστώντας στην πιο πάνω σχέση τις Παραλάξεις Αφροδίτης και Ήλιου με το λόγο του Μήκους Αναφοράς προς τη Απόστασή τους από τη Γη, λαμβάνουμε:

$$\frac{d}{r_{\oplus\odot}} = \pi_{ob} + \frac{d}{r_{\oplus}} \Rightarrow r_{\oplus\odot} = \frac{d}{\pi_{ob} + \frac{d}{r_{\oplus}}} \quad (36)$$

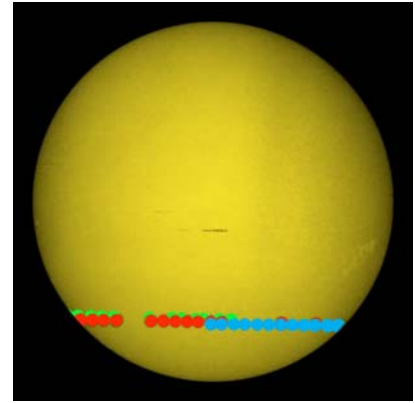
Αντικαθιστώντας τις (11) και (15) στην πιο πάνω σχέση λαμβάνουμε:

$$k_{\oplus\odot}a_{\oplus} = \frac{d}{\pi_{ob} + \frac{d}{k_{\oplus}a_{\oplus}}} \Rightarrow k_{\oplus\odot}a_{\oplus}\pi_{ob} + \frac{k_{\oplus\odot}a_{\oplus}d}{k_{\oplus}a_{\oplus}} = d \Rightarrow k_{\oplus\odot}a_{\oplus}\pi_{ob} = \frac{k_{\oplus} - k_{\oplus\odot}}{k_{\oplus}}d \Rightarrow a_{\oplus} = \left(\frac{k_{\oplus} - k_{\oplus\odot}}{k_{\oplus}}\right) \frac{d}{\pi_{ob}} \quad (37)$$

δηλαδή σχέση από την οποία μπορεί να υπολογιστεί ο Μεγάλος Ημιάξονας της Τροχιάς της Γης από το Μήκος Αναφοράς και την Παρατηρούμενη Παράλλαξη από τα άκρα του. Αντικαθιστώντας τις τιμές των συντελεστών k σε AU, για την 8^η Ιουνίου 2004, λαμβάνουμε:

$$a_{\oplus} = 2.476384 \frac{d}{\pi_{ob}} \quad (38)$$

για άμεση χρήση στους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν.



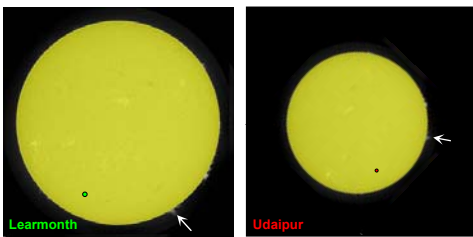
Η διαδρομή της Αφροδίτης στη Διάβαση του 2004 όπως αποτυπώθηκε από τα Ηλιακά Παρατηρητήρια του GONG σε:

- Udaipur της Ινδίας,
- Learmonth της Αυστραλίας,
- El Teide των Καναρίων Νησιών

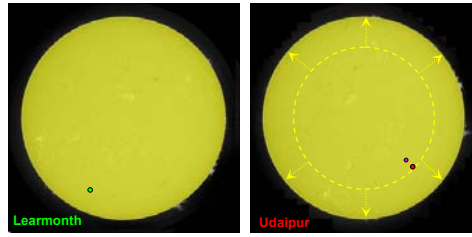
Παρατηρούμε ότι η Παρατηρούμενη Παράλλαξη είναι αρκετά δύσκολο να μετρηθεί καθώς η Γωνιώδης Απόσταση των Κέντρων της Αφροδίτης είναι μικρότερη και από τη Γωνιώδη Διάμετρό της

Η Παρατηρούμενη Παράλλαξη από Υπέρθεση Φωτογραφιών. Υπολογισμός του AU

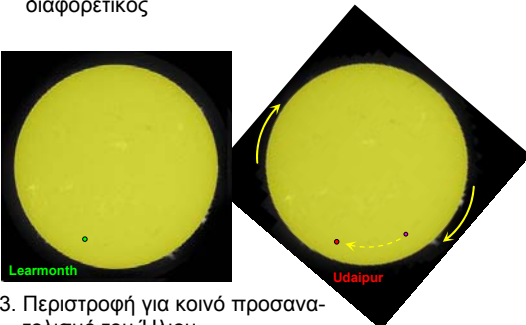
Στις μέρες μας, μπορούμε να πάρουμε φωτογραφίες του Ήλιου από Επίγεια Παρατηρητήρια (π.χ. του Δικτύου του GONG) ή από Διαστημικά Τηλεσκόπια. Αν πάρουμε δύο φωτογραφίες που ελήφθησαν την ίδια χρονική στιγμή από διαφορετικά Παρατηρητήρια και τις υπερθέσουμε ευθυγραμμίζοντας τις όχι μόνο ως προς το Κέντρο του Ήλιου αλλά και ως προς το Βορρά του και συγκρίνοντας τις διαστάσεις του ειδώλου του Ήλιου στη φωτογραφία με τη Γωνιώδη Διάμετρο του Ήλιου ($\sim 31.5''$), αφού μετρήσουμε την απόσταση των ιχνών της Αφροδίτης μπορούμε να υπολογίσουμε την Παρατηρούμενη Παράλλαξη σε '' της μοίρας. Στην περίπτωση μάλιστα, που δεν υπάρχουν ενδείξεις προσανατολισμού του Βορρά του Ήλιου (κάπως δύσκολο στις μέρες μας) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις Ηλιακές Κηλίδες ή άλλους εμφανείς ηλιακούς σχηματισμούς για να πετύχουμε σωστά την υπέρθεση.



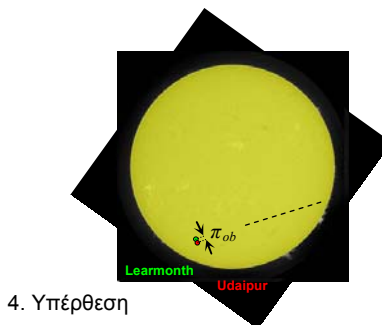
1. Αρχικές Φωτογραφίες. Τόσο το μέγεθος όσο και ο προσανατολισμός (δείτε την Προεξοχή) είναι διαφορετικός



2. Μετατροπή στο ίδιο μέγεθος. Μεγέθυνση ώστε να αποκτήσει ο Ήλιος την ίδια φωτογραφική διάμετρο.



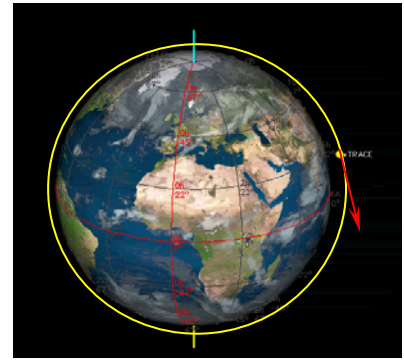
3. Περιστροφή για κοινό προσανατολισμό του Ήλιου.



4. Υπέρθεση

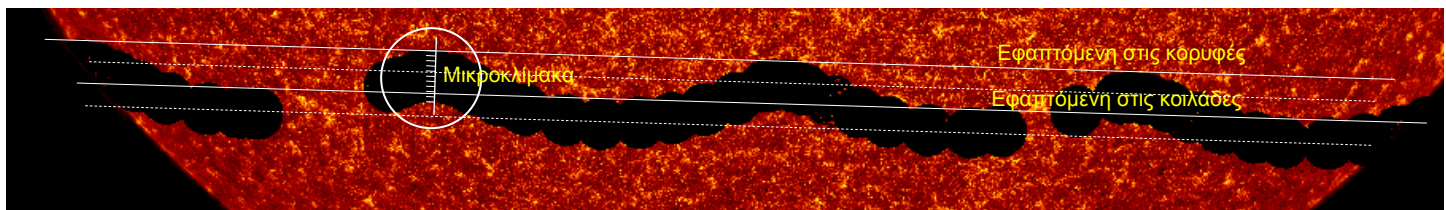
Διαδοχικά στιγμιότυπα μετασχηματισμού δύο φωτογραφιών που ελήφθησαν την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή από διαφορετικούς τόπους Παρατήρησης και η υπέρθεσή τους προκειμένου να μετρηθεί η απόσταση (σε '' της μοίρας) των κέντρων των ειδώλων της Αφροδίτης με σκοπό να εξαχθεί η τιμή της Παρατηρούμενης Παράλλαξης.

Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο **TRACE (Transition Region and Coronal Explorer)** της NASA χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης του Ήλιου. Στις 8 Ιουνίου του 2004 τράβηξε μια σειρά από φωτογραφίες κατά τη διάρκεια της Διάβασης της Αφροδίτης. Οι φωτογραφίες υπερτέθηκαν και προέκυψε εικόνα που παρουσιάζει τα στιγμιότυπα της Διάβασης πάνω στο Δίσκο του Ήλιου σαν ένα μαύρο κυματιστό κορδόνι. Αυτό προέκυψε ως συνέπεια της Παράλλαξης που εισήγαγε η κίνηση του TRACE γύρω από τη Γη. Το TRACE βρισκόταν σε **Πολική Τροχιά (Polar Orbit)**, σε απόσταση $6,698\text{km}$ από το Κέντρο της Γης με Περίοδο Περιφοράς 91min περίπου. Όταν το TRACE βρισκόταν στο Βόρειο Πόλο, η Αφροδίτη προβαλλόταν νοτιότερα στον Ηλιακό Δίσκο και όταν βρισκόταν στο Νότιο Πόλο η Αφροδίτη προβαλλόταν βορειότερα. Επομένως, από αυτήν τη σύνθεση μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση Γης-Αφροδίτης και στη συνέχεια η Αστρονομική Μονάδα.



Το TRACE ήταν σε Πολική Τροχιά και είχε μόνιμα στραμμένο το Τηλεσκόπιό του προς τον Ήλιο (κάθετα στο επίπεδο της τροχιάς του).

Το πάχος του κορδονιού είναι ίσο με τη Γωνιώδη Διάμετρο της Αφροδίτης, που αυτήν την ημέρα ήταν $57.8''$. Αν σχεδιάσουμε 2 παράλληλες γραμμές, που η μια να εφάπτεται στο πάνω μέρος των κορυφών του κύματος και η άλλη στο εσωτερικό των κοιλάδων του (αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των κέντρων των δίσκων των κορυφών του κύματος και των κέντρων των δίσκων στις κοιλάδες του κύματος), η μεταξύ τους απόσταση μπορεί να δώσει την Παρατηρούμενη Παράλλαξη της Αφροδίτης.



Σχεδιάζουμε μια μικροκλίμακα έχοντας ως πρότυπο μήκος τη διάμετρο του Δίσκου της Αφροδίτης. Αν η κλίμακα έχει 10 υποδιαιρέσεις παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ των παράλληλων γραμμών αντιστοιχεί περίπου σε 8.2 υποδιαιρέσεις της κλίμακας. Επομένως, και η Παρατηρούμενη Παράλλαξη π_{ob} που αντιστοιχεί σε 8.2 υποδιαιρέσεις, είναι:

$$\pi_{ob} = 0.82 \times 57.8'' = 47.4'' = 2.2980169 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Επομένως από τη σχέση (38) για Μήκος Αναφοράς $2 \times 6,698\text{km}$ προκύπτει:

$$a_{\oplus} = 2.476384 \frac{2 \times 6,698\text{km}}{2.2980169 \times 10^{-4}} \Rightarrow 1\text{AU} \cong 144,358,000\text{km}$$

που απέχει από την πραγματική τιμή περίπου 3.5% σφάλμα που οφείλεται στον πρόχειρο σχεδιασμό της μετρητικής κλίμακας.

Οι εικόνες έχουν ληφθεί από το κανάλι των 160nm. Τα κενά προέρχονται από χαμένες εικόνες λόγω των αστοχιών μετάδοσής τους στο έδαφος ή των διακοπών για αλλαγή σημείου παρατήρησης. Ας σημειωθεί επίσης, ότι όταν ο δορυφόρος βρίσκεται στο Νότιο Πόλο της Γης επειδή έχει την ίδια φορά με τη φορά κίνησης της Αφροδίτης, η φαινόμενη ταχύτητα της Αφροδίτης είναι μικρότερη και τα διαδοχικά στιγμιότυπά της στις κορυφές είναι πυκνότερα. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει όταν ο Δορυφόρος βρίσκεται στο Βόρειο Πόλο.

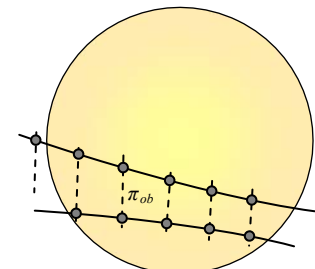
Υπολογισμός του AU από Επίγειες Παρατηρήσεις

Επιλογή των Τόπων Παρατήρησης

Στη Μέθοδο Halley προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια η απόσταση μεταξύ των διαφορετικών Μονοπατιών της Διάβασης που παρατηρεί ο κάθε Παρατηρητής, απαιτείται να γίνει χρονομέτρηση όλης της διάρκειας της, που διαρκεί περίπου $6\frac{1}{2}$ ώρες σε αυτήν την περίοδο της ιστορίας της Γης. Όμως, σε αυτό το χρονικό διάστημα έχουν αλλάξει οι σχετικές θέσεις των Παρατηρητών ως προς την Αφροδίτη καθώς αυτοί πλησιάζουν ή απομακρύνονται από αυτήν, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται αντίστοιχα και η Παράλλαξη και η Γωνιώδης Διάμετρος της Αφροδίτης. Οι παράγοντες που προκαλούν τη μεταβολή της απόστασης των Παρατηρητών από την Αφροδίτη είναι:

- ÷ Η ταχύτερη κίνηση της Αφροδίτης επί της Τροχιάς της. Μεταξύ της στιγμής της Συνόδου (Μέγιστο της Διάβασης) και της στιγμής μιας επαφής η Αφροδίτη έχει πλησιάσει ή απομακρυνθεί από τη Γη.
- ÷ Η περιστροφή της Γης. Στη διάρκεια της Διάβασης η Γη έχει περιστραφεί περίπου κατά το $\frac{1}{4}$ γύρω από τον άξονά της.

Ο 1^{ος} παράγοντας προκαλεί αμελητέα μεταβολή της Παράλλαξης. Από τη στιγμή της Συνόδου μέχρι τη στιγμή μιας Επαφής η Αφροδίτη έχει διαγράψει μεγαλύτερο τόξο κατά $360^\circ / (584\text{d} * 24\text{h}) * (3 + \frac{1}{4}) = 0.083^\circ$ από το τόξο που έχει διαγράψει η Γη. Σε αυτό το τόξο, η απόσταση Γης-Αφροδίτης μειώνεται ή αυξάνεται το πολύ 500km , μήκος που αν συγκριθεί με την απόσταση Γης-Αφροδίτης φαίνεται ότι προκαλεί σφάλμα της τάξης του 0.007%.

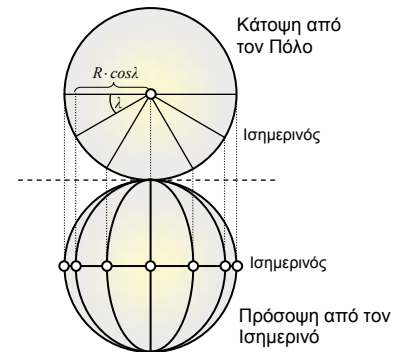


Τα μονοπάτια της Διάβασης για δύο Παρατηρητές που κατά την 1^η Επαφή βρίσκονται στα δυτικά της Γης. Με την περιστροφή της Γης οι Παρατηρητές πλησιάζουν την Αφροδίτη και η Παράλλαξη ελαττώνεται. Στο σχήμα δεν έχουν τηρηθεί οι αναλογίες, προκειμένου να τονιστούν οι διαφορές.

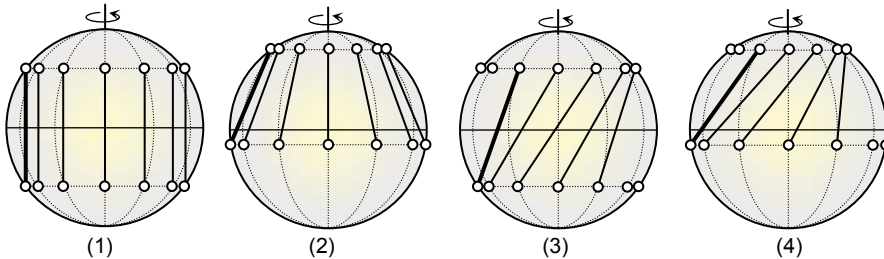
Ο $2^{\text{ος}}$ παράγοντας προκαλεί σφάλμα που οφείλεται σε δύο συνιστώσες. Η μια συνιστώσα που εισάγει και το μεγαλύτερο σφάλμα, είναι η σχετική θέση των Παρατηρητών ως προς τον Ισημερινό. Το θετικό είναι ότι αυτή η συνιστώσα μπορεί να αντισταθμιστεί όχι μόνο με πολύπλοκους υπολογισμούς, αλλά με κατάλληλη επιλογή των Τόπων Παρατήρησης.

Παρατηρώντας τη Γη από το Επίπεδο του Ισημερινού της και από μεγάλη απόσταση, βλέπουμε την προβολή της (Πρόσωση ως προς τον Ισημερινό) σε ένα δίσκο στον οποίο οι Μεσημβρινοί της δεν ισαπέχουν μεταξύ τους στον Ισημερινό, αφού η απόσταση καθενός Μεσημβρινού από τον κεντρικό (που προβάλλεται σαν ευθύγραμμο τμήμα) είναι $s=R \cdot \cos \lambda$, όπου λ η διαφορά του Γεωγραφικού Μήκους τους.

Αν επιλέξουμε ως Τόπους Παρατήρησης, δύο σημεία τα οποία βρίσκονται επί του ίδιου Μεσημβρινού και έχουν συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη και σχεδιάσουμε, κατά τα διαφορετικά στιγμιότυπα περιστροφής της Γης, την προβολή της χορδής που τα συνδέει, θα παρατηρήσουμε ότι οι προβολές, θα έχουν το ίδιο ακριβώς μήκος. Αντίθετα, οι προβολές των χορδών που ορίζουν σημεία τα οποία βρίσκονται στον ίδιο Μεσημβρινό και δεν έχουν συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη, με την περιστροφή της Γης αλλάζουν μήκος. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με άλλους συνδυασμούς σημείων με διαφορετικό Γεωγραφικό Μήκος και συμμετρικό Γεωγραφικό Πλάτος ή με σημεία που έχουν διαφορετικό Γεωγραφικό Μήκος και διαφορετικό Γεωγραφικό Πλάτος. Το ποσοστό της στρέβλωσης μπορεί να είναι και της τάξης του 70% και επηρεάζει ανάλογα και τη μεταβολή της Παράλλαξης κατά τη διάρκεια του φαινομένου.



Οι προβολές των Μεσημβρινών στο επίπεδο δεν ισαπέχουν στον Ισημερινό.



- (1) Συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη, ίδιος Μεσημβρινός,
- (2) Διαφορετικά Γεωγραφικά Πλάτη, ίδιος Μεσημβρινός,
- (3) Συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη, Διαφορετικός Μεσημβρινός,
- (4) Διαφορετικά Γεωγραφικά Πλάτη, Διαφορετικός Μεσημβρινός.

Η Γη σε Πρόσωση στην περίπτωση που το Σημείο Θέαςης βρίσκεται στο άπειρο επί του Ισημερινού Επιπέδου. Έχουν σχεδιαστεί οι προβολές της απόστασης μεταξύ δύο τόπων σε διάφορες χρονικές στιγμές, σε διάστημα 12 ωρών. Η απόσταση των τόπων δεν είναι δυνατόν να μεταβάλλεται, δεν ισχύει όμως το ίδιο και για την προβολή της σε όλες τις περιπτώσεις.

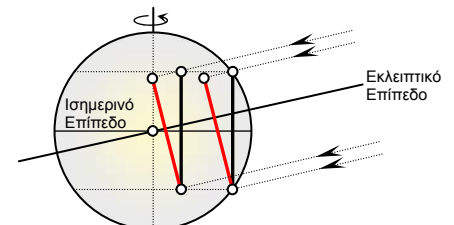
Παρόλο που το **Σημείο Θέαςης (View Point - δηλαδή η Αφροδίτη)** δε βρίσκεται επί του Ισημερινού Επιπέδου, αλλά σχεδόν επί του Εκλειπτικού Επιπέδου, το κριτήριο συμμετρίας των τόπων ως προς τον Ισημερινό είναι το μόνο που εξασφαλίζει τη μη μεταβολή του Μήκους Αναφοράς (και της Παράλλαξης) με την πάροδο του χρόνου.

Όσο διαρκεί η Διάβαση, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, οι χορδές του ημισφαιρίου στα δυτικά πλησιάζουν προς την Αφροδίτη και οι χορδές στα ανατολικά απομακρύνονται. Η μεταβολή της απόστασης των προβολών των χορδών από την Αφροδίτη δεν ξεπερνά το $1+1/2$ της Ακτίνας της Γης και είναι η $2^{\text{η}}$ συνιστώσα που προκαλεί τη μεταβολή της Παράλλαξης. Το προοπτικό μήκος είναι μεγαλύτερο όταν η χορδή βρίσκεται κοντά στο Σημείο Θέαςης, ενώ γίνεται μικρότερο όταν το Σημείο Θέαςης βρίσκεται μακρύτερα. Η συμμετοχή όμως αυτού του παράγοντα, εξαρτάται και από την απόσταση Γης-Αφροδίτης και εισάγει σφάλμα της τάξης του 0.25%, που δε θεωρείται αξιο λόγου.

Τέλος, το ότι το Σημείο Θέαςης (Αφροδίτη) δε βρίσκεται στο Ισημερινό, αλλά στο Εκλειπτικό Επίπεδο, που σημαίνει ότι ο Παρατηρητής του Βόρειου ή του Νότιου Ημισφαιρίου είναι πλησιέστερα στην Αφροδίτη από τον αντίστοιχο στο άλλο Ημισφαίριο, είναι και αυτός ένας παράγοντας που εισάγει κάποιο μικρό αλλά μη σημαντικό ποσοστό σφάλματος.

Άρα, ο μόνος σημαντικός παράγοντας μεταβολής της Παράλλαξης είναι η σχετική θέση των Τόπων Παρατήρησης και προκειμένου να αποφύγουμε τους πολύπλοκους μαθηματικούς μετασχηματισμούς καλό είναι να επιλέγουμε τόπους κατά το δυνατόν επί του ίδιου Μεσημβρινού και με Συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη.

Για την επιλογή των Τόπων Παρατήρησης λαμβάνεται υπόψη και το ότι πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο μακριά, για να δημιουργείται μεγάλη Παράλλαξη, ώστε και η μέτρηση να γίνεται ευκολότερα και το Σφάλμα της Μέτρησης να είναι το μικρότερο δυνατό. Αυτό το κριτήριο μειώνει αισθητά την περιοχή των Μεσημβρινών μεταξύ των οποίων θα επιλεγούν οι Τόποι Παρατήρησης. Οι Διαβάσεις συμβαίνουν κοντά στα Ηλιοστάσια και είτε στο βόρειο Τόπο Παρατήρησης (για τις Διαβάσεις του Δεκεμβρίου) είτε στο νότιο (για τις Διαβάσεις του Ιουνίου), η διάρκεια της ημέρας είναι και πιο μικρή όσο κατευθυνόμαστε προς τους Πόλους, με αποτέλεσμα να μη χωρά στη διάρκεια της όλης η διάρκεια της Διάβασης (παρατηρήστε τον Παγκόσμιο Χάρτη κάλυψης του φαινομένου της Διάβασης, στην πρώτη σελίδα).



Η Γη σε Πλάγια Όψη με το Σημείο Θέαςης στο άπειρο και επί του Εκλειπτικού Επιπέδου. Οι χορδές της Γης που είναι κάθετες στο Ισημερινό Επίπεδο και έχουν ίσα μήκη (μαύρες γραμμές), προβάλλονται σε επίπεδα κάθετα στο Εκλειπτικό Επίπεδο και οι προβολές τους (κόκκινες γραμμές) έχουν όλες το ίδιο μήκος. Η συμμετρία μεταξύ Μικρών Κύκλων και η διατήρηση του ίδιου Μεγάλου Κύκλου πρέπει να τηρείται ως προς το επίπεδο που είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής, δηλαδή το Ισημερινό και όχι ως προς το επίπεδο που βρίσκεται το Σημείο Θέαςης.



Το ιδανικό είναι να επιλέγεται ως Μεσημβρινός των Τόπων Παρατήρησης, ο Μεσημβρινός του Μέγιστου της Διάβασης. Φυσικά, η μορφολογία του αναγλύφου της Γης βάσει το δικό της περιορισμό καθώς δεν υπάρχει παντού στερία για να στηθούν Τηλεσκόπια. Στη Διάβαση του Ιουνίου του 2012, το Μέγιστο της Διάβασης θα συμβεί στο Μεσημβρινό του Nan Madol στη Μικρονησία.

Ένας ακόμη ανασταλτικός παράγοντας στην επιλογή πολύ απομακρυσμένων Τόπων Παρατήρησης είναι και η ελαττούμενη Βαθμίδα Μεταβολής της Παράλλαξης ανά μοίρα Γεωγραφικού Πλάτους, για τους τόπους που απέχουν περισσότερο από το Εκλειπτικό Επίπεδο που βρίσκεται η Αφροδίτη. Για παράδειγμα, τον Ιούνιο που το Νότιο Ημισφαίριο είναι στραμμένο προς τα κάτω, στα νοτιότερα σημεία του η βαθμίδα μεταβολής της Γωνίας Θέσης μιας Επαφής είναι 0.1° ανά 10° μεταβολής του Γεωγραφικού Πλάτους, σε αντίθεση με τα βορειότερα σημεία, που η βαθμίδα μεταβολής είναι 0.1° ανά 3° μεταβολής του Γεωγραφικού Πλάτους. Αυτό συνεπάγεται μεγάλα Σφάλματα Μέτρησης κατά τη μέτρηση των Γωνιών Θέσης των Επαφών. Για παράδειγμα, αν η μέτρηση δεν μπορεί να γίνει με ακρίβεια μεγαλύτερη του 0.1° , παρά την επιλογή Τόπων Παρατήρησης που δημιουργούν μεγάλο Μήκος Αναφοράς, οι υπολογισμοί θα περιέχουν μεγάλα σφάλματα, που θα μετακυλιστούν στην τιμή του ΑΥ.

Έστω ότι λαμβάνοντας υπόψη όλους του πιο πάνω παράγοντες, επιλέξαμε ως Τόπους Παρατήρησης για τη Διάβαση της 8^{th} Ιουνίου του 2004 το Durban στη Νοτιοδυτική Αφρική ($29^\circ 53'S$, $31^\circ 03'E$) και μια περιοχή στα νοτιοδυτικά του Καΐρου της Αιγύπτου ($29^\circ 53'N$, $31^\circ 03'E$), στους οποίους έγιναν οι εξής χρονομετρήσεις Επαφών και μετρήσεις Γωνιών Θέσης:

	Cairo ($29^\circ 52'$, $31^\circ 00'$) +2GMT		Durban ($29^\circ 52'$, $31^\circ 00'$) +2GMT	
	Τοπικός Χρόνος	Γωνία Θέσης	Τοπικός Χρόνος	Γωνία Θέσης
2 ^η Επαφή	07:39:06	120.3°	07:35:46	118.7°
3 ^η Επαφή	13:04:41	213.1°	13:10:12	214.7°
Διαφορά	19,535s	$92.8^\circ = 2 \times 46.4^\circ$	20,066s	$96.0^\circ = 2 \times 48.0^\circ$

Υπολογισμός του Μήκους Αναφοράς

Έστω Τόποι Παρατήρησης C και D, που βρίσκονται επί του αυτού Μεσημβρινού και σε συμμετρικά Γεωγραφικά Πλάτη ($\angle COI = \varphi_C = \varphi_D = \angle DOI$). Σχεδιάζουμε τον Ισημερινό και την τομή του Εκλειπτικού Επιπέδου με τη Γήινη Σφαίρα. Το Ισημερινό Επίπεδο σχηματίζει με το Εκλειπτικό Επίπεδο γωνία $\varepsilon = 23.43^\circ$, και όπως φαίνεται από το σχήμα $\angle EOI = \varepsilon$. Έστω επίσης, K το σημείο τομής της χορδής CD με το ευθύγραμμο τμήμα OE, που βρίσκεται επί του Εκλειπτικού Επιπέδου, και CK', DK'' οι αποστάσεις των C και D αντίστοιχα από την OE.

Αφού το OE ορίζει τη διεύθυνση προς την Αφροδίτη, το Μήκος Αναφοράς d θα ισούται με την προβολή της χορδής CD σε επίπεδο κάθετο στην OE, ή αντίστοιχα:

$$d = CK' + DK'' \quad (39)$$

Όμως $\angle K'CK = \angle EOI = \varepsilon$, αφού έχουν τις πλευρές τους κάθετες και $\angle K''DK = \angle EOI = \varepsilon$ για τον ίδιο ακριβώς λόγο, άρα από τα ορθογώνια τρίγωνα KK'C και KK''D:

$$\begin{aligned} CK' &= KC \cdot \cos \varepsilon \\ DK'' &= KD \cdot \cos \varepsilon \end{aligned} \quad (40)$$

Αντικαθιστώντας τις (40) στην (39) λαμβάνουμε:

$$d = KC \cdot \cos \varepsilon + KD \cdot \cos \varepsilon = CD \cdot \cos \varepsilon = (CA + DA) \cdot \cos \varepsilon \quad (41)$$

όμως από τα ορθογώνια τρίγωνα CAO και DAO:

$$\begin{aligned} CA &= R_\oplus \cdot \sin \varphi_C \\ DA &= R_\oplus \cdot \sin \varphi_D \end{aligned} \quad (42)$$

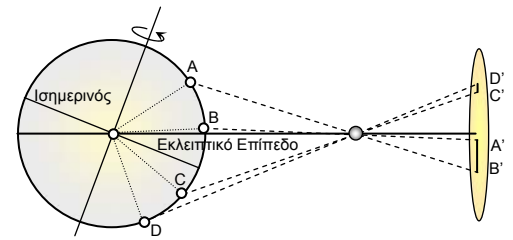
Άρα, αντικαθιστώντας τις (42) στην (41) λαμβάνουμε τελικά:

$$d = R_\oplus \cdot \cos \varepsilon (\sin \varphi_C + \sin \varphi_D) \quad (43)$$

που στη συγκεκριμένη περίπτωση, με $\varphi_C = \varphi_D = 29.867^\circ$ και θεωρώντας τη Μέση Ακτίνα της Γης $R_\oplus = 6,371 \text{ km}$ λαμβάνουμε:

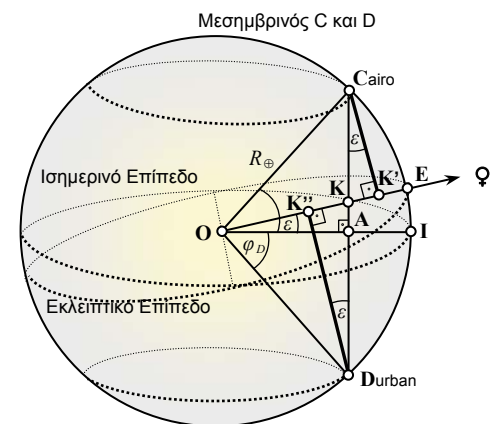
$$\begin{aligned} d &= 2R_\oplus \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \varphi_C = 2 \times 6,371 \text{ km} \times \cos 23.43^\circ \times \sin 29.867^\circ \\ &= 0.913855 \cdot R_\oplus = 5,822.2 \text{ km} \end{aligned} \quad (44)$$

Αν η Γη περιστραφεί, η χορδή CD θα εξακολουθήσει να είναι κάθετη στο Ισημερινό Επίπεδο και θα διατηρήσει και την ίδια κλίση ως προς το Εκλειπτικό Επίπεδο. Το σημείο τομής της χορδής με το Εκλειπτικό Επίπεδο, το K, θα μετατοπιστεί, όμως το Μήκος Αναφοράς δε θα μεταβληθεί, αφού προκύπτει ως η προβολή της χορδής πάνω σε επίπεδο κάθετο στο Εκλειπτικό Επίπεδο στη διεύθυνση Γης-Αφροδίτης. Η μόνη διαφορά στο σχήμα θα είναι ότι ο νέος άξονας Γης-Αφροδίτης δεν θα είναι ο OE αλλά ένας παράλληλος σε αυτόν κάθετος στην τομή του Ισημερινού με το Εκλειπτικό Επίπεδο, ο οποίος θα διέρχεται από το νέο σημείο K.



Η διαφορά των Γεωγραφικών Πλάτων των δύο τόπων στο Νότιο Ημισφαίριο είναι ίση με τη διαφορά των Γεωγραφικών Πλάτων στο Βόρειο Ημισφαίριο. Όμως, οι αντίστοιχες αποστάσεις (γωνίες σε " της μοίρας) των προβολών στον Ήλιο είναι άνισες και μάλιστα η μικρότερη αντιστοιχεί στο Νότιο Ημισφαίριο.

Τα Γεωγραφικά Πλάτη που απέχουν πολύ από το Εκλειπτικό Επίπεδο έχουν μικρή Βαθμίδα Μεταβολής της Παράλλαξης ανά μοίρα Γεωγραφικού Πλάτους.



Απεικόνιση πάνω στη Γήινη Σφαίρα του Μεσημβρινού Επιπέδου πάνω στον οποίο μπορούν να γίνουν οι υπολογισμοί του Μήκους Αναφοράς.

Υπολογισμός Παρατηρούμενης Παράλλαξης

Κατά τη Διάβαση της 8^{ης} Ιουνίου του 2004, ο Ήλιος είχε Γωνιώδη Ακτίνα:

$$R_{\odot} = 15'45.4'' = 945.4''.$$

Επίσης, η Γωνιώδης Ακτίνα της Αφροδίτης μετρήθηκε σε σύγκριση με τον Ήλιο και βρέθηκε:

$$R_{\phi} = 28.9''$$

Όπως, έχουμε εφαρμόσει και σε άλλη περίπτωση, αφού οι γωνίες είναι πολύ μικρές, μπορούν να θεωρηθούν ανάλογες των διαστάσεων στις οποίες αντιστοιχούν και να χρησιμοποιηθούν σαν μήκη. Έτσι μπορούμε να εφαρμόσουμε τα θεωρήματα της Επίπεδης Γεωμετρίας για να εξαχθεί σχέση για την Παρατηρούμενη Παράλλαξη.

Αφού η 1^η Επαφή μπορεί να έχει συμβεί και να μην έχει γίνει αντιληπτή και αφού δεν είναι ευκρινές το πότε ακριβώς η Αφροδίτη εγκαταλείπει τον Ηλιακό Δίσκο κατά την 4^η Επαφή, προτιμάται η 2^η και η 3^η Επαφή για τη μέτρηση των μεγεθών που θα βοηθήσουν στην εξαγωγή της Παρατηρούμενης Παράλλαξης. Έτσι, σύμφωνα με το σχήμα, αντί για Ήλιο ακτίνας R_{\odot} χρησιμοποιούμε "Ήλιο" ακτίνας

$$(R_{\odot} - R_{\phi}) = 916.5''$$

η οποία ορίζει περιφέρεια που διέρχεται από το Κέντρο της Αφροδίτης κατά τη 2^η και 3^η Επαφή. Έτσι, η Παρατηρούμενη Παράλλαξη μπορεί να υπολογιστεί σαν διαφορά μηκών σε " της μοίρας, από τη σχέση:

$$\pi_{ob} = A_C A_D = S A_C - S A_D \quad (45)$$

Όμως από τα ορθογώνια τρίγωνα $S A_C V_C$ και $S A_D V_D$:

$$S A_C = (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \cos \theta_C$$

$$S A_D = (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \cos \theta_D \quad (46)$$

Αρα, αντικαθιστώντας τις (46) στην (45) λαμβάνουμε τελικά:

$$\pi_{ob} = (R_{\odot} - R_{\phi}) (\cos \theta_C - \cos \theta_D) \quad (47)$$

Καθώς το θ είναι το μισό της διαφοράς των Γωνιών Θέσης των Επαφών, αντικαθιστώντας τις τιμές για το Cairo και το Durban αντίστοιχα λαμβάνουμε:

$$\pi_{ob} = 916.5'' (\cos 46.4^\circ - \cos 48.0^\circ) = 18.78'' \quad (48)$$

Αρα, έχοντας τελικά όλους τους συντελεστές, αντικαθιστούμε στη σχέση (38) και βρίσκουμε ως τιμή για την AU:

$$a_{\oplus} = 2.476384 \times \frac{5822.2 \text{ km}}{18.78''} \times 206,264.8062 = 158,356,048 \text{ km} \quad (49)$$

Η τιμή αυτή είναι κατά 5.86% μεγαλύτερη από τη σημερινή αποδεκτή τιμή.

Διόρθωση Γωνίας από τη Χρονομέτρηση

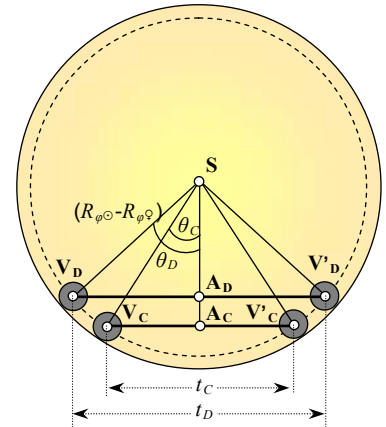
Οι τιμές των Γωνιών Θέσης των Επαφών για το Durban δεν είναι και τόσο ακριβείς, καθώς η πόλη βρίσκεται σε μεγάλο Γεωγραφικό Πλάτος στο Νότιο Ημισφαίριο και η Διάβαση γίνεται τον Ιούνιο. Αυτήν την εποχή, σε αυτά τα Γεωγραφικά Πλάτη για να προκύψει μεταβολή 0.1° στη Γωνία Θέσης των Επαφών πρέπει να μετακινηθεί κάποιος 5° με 6° βόρεια. Από τη Διάρκεια όμως της Διάβασης που έχει μετρήσει ο κάθε Παρατηρητής είναι δυνατόν να γίνει διόρθωση ως προς τη γωνία που μετρήθηκε από το Cairo. Συγκεκριμένα, αν t_C η διάρκεια της Διάβασης για τον Παρατηρητή στο Cairo, από το τρίγωνο $S A_C V_C$:

$$\begin{aligned} \frac{V_C V'_C}{t_C} &= 2 \cdot (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \sin \theta_C \Rightarrow \frac{V_C V'_C}{t_C} = \frac{2 \cdot (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \sin \theta_C}{t_C} \Rightarrow \\ v &= \frac{2 \cdot (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \sin \theta_C}{t_C} \end{aligned} \quad (50)$$

όπου v η ταχύτητα με την οποία φαίνεται ότι η Αφροδίτη διανύει την απόσταση $S A_C$.

Καθώς έχουμε επιλέξει Τόπους Παρατήρησης συμμετρικούς ως προς τον Ισημερινό, έχουν την ίδια ταχύτητα περιστροφής, οπότε και η σχετική ταχύτητά τους ως προς την Αφροδίτη είναι η ίδια, άρα και για τον Παρατηρητή στο Durban:

$$v = \frac{2 \cdot (R_{\odot} - R_{\phi}) \cdot \sin \theta_D}{t_D} \quad (51)$$



Για τον υπολογισμό της Παράλλαξης, αντί της περιφέρειας του Χείλους του Ήλιου χρησιμοποιείται περιφέρεια που διέρχεται από τα Κέντρα των Δίσκων της Αφροδίτης κατά τη 2^η και 3^η Επαφή.

Από το λόγο των χρόνων της Διάβασης που μετρούνται από τα διαφορετικά σημεία γίνεται διόρθωση των τιμών των μετρουμένων γωνιών.



Η μικρή Βαθμίδα Μεταβολής της Παράλλαξης σε συνδυασμό με την αδυναμία μέτρησης των γωνιών με μεγάλη ακρίβεια, αποτελεί το σπουδαιότερο παράγοντα εισαγωγής σφαλμάτων στη Μέθοδο μέτρησης της Παράλλαξης.



Εξισώνοντας τις σχέσεις (50) και (51) λαμβάνουμε:

$$\frac{2 \cdot (R_{\odot} - R_{\varphi\odot}) \cdot \sin \theta_D}{t_D} = \frac{2 \cdot (R_{\odot} - R_{\varphi\odot}) \cdot \sin \theta_C}{t_C} \Rightarrow \frac{\sin \theta_D}{t_D} = \frac{\sin \theta_C}{t_C} \Rightarrow$$

$$\sin \theta_D = \frac{t_D}{t_C} \sin \theta_C \Rightarrow \theta_D = \sin^{-1} \left(\frac{t_D}{t_C} \sin \theta_C \right) \quad (52)$$

δηλαδή είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη γωνία της οποίας η τιμή από άμεση μέτρηση είναι αμφιλεγόμενη, από το λόγο των χρόνων της Διάβασης και την τιμή της γωνίας που θεωρείται ότι μετρήθηκε με σχετικά καλύτερη ακρίβεια. Λαμβάνοντας τιμές από το πινάκιο των μετρήσεων προκύπτει ότι:

$$\theta_D = \sin^{-1} \left(\frac{20,066}{19,535} \sin 46.4^\circ \right) = 48.06^\circ$$

οπότε, χρησιμοποιώντας τη διορθωμένη τιμή στη σχέση (47) λαμβάνουμε:

$$\pi_{ob} = 916.5'' (\cos 46.4^\circ - \cos 48.06^\circ) = 19.504''$$

και αντικαθιστώντας στη σχέση (38) καταλήγουμε ότι:

$$a_{\oplus} = 2.476384 \times \frac{5822.2 \text{ km}}{19.504''} \times 206,264.8062 = 152,479,126 \text{ km}$$

Η τιμή αυτή είναι κατά 1.93% μεγαλύτερη από τη σημερινή αποδεκτή τιμή, αλλά σαφώς πιο κοντά στην αποδεκτή τιμή σε σχέση με αυτήν που υπολογίστηκε χωρίς τη Μέθοδο Halley. Τέλος, προκειμένου να προκύψει ακόμη καλύτερη εκτίμηση, λαμβάνεται ο Μέσος Όρος των τιμών που έχουν προκύψει από όλα τα ζεύγη Παρατηρητηρίων.



Ο Halley δεν είχε περιγράψει ακριβώς έτσι τη μέθοδο. Απλώς είχε κάνει κάποιες προτάσεις χρονομέτρησης οι οποίες όμως περιείχαν ασάφειες. Πάνω στις προτάσεις αυτές δούλεψαν οι μεταγενέστεροι Αστρονόμοι και σχεδίασαν τις σχετικές μεθόδους.

Βιβλιογραφία

- 📖 Αστροφυσική, Δομή και Εξέλιξη του Σύμπαντος, Τόμος II, Frank Shu, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης ISBN 960-730-915
Περιγραφή των Συντονισμών στο Ηλιακό Σύστημα
- 📖 Το Σύμπαν που αγάπησα, Τόμος II, Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος, Εκδόσεις Δίαυλος ISBN 960-531-063
Περιγραφή της κίνησης των Πλανητών και το Ηλιακού Συστήματος
- 📖 Στέλλας Ι., 2006, "Οπτική και ψηφιακή παρατήρηση της Αφροδίτης" Παρατηρησιακή Αστρονομία Τόμος 1, Τεύχος 2, pp9-17
Οι δυσκολίες που παρουσιάζει στην Παρατήρηση η Ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται.
- 📖 Στέλλας Ι., 2006, "Η χρήση των φίλτρων στην οπτική και ψηφιακή παρατήρηση των πλανητών" Παρατηρησιακή Αστρονομία Τόμος 1, Τεύχος 2, pp30-40
Πολύ αναλυτική περιγραφή όλων των Πλανητικών Φίλτρων και σε ποιους Πλανήτες ενδείκνυται.
- 📖 Dr. Edmund Halley. "A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or His Distance from the Earth" Sec. R. S., N0 348. pp. 454
Το άρθρο του Halley με την πρότασή του και τους υπολογισμούς
- 📖 Bergman T., 1761, "An Account of the Observations Made in the Same Transit at Upsal in Sweden" Phil. Trans. 52, 227-230.
- 📖 Cook J., 1768–71, "Endeavour: Captain Cook's Journal 1768-1771"
<http://endeavour.8k.com/> The black-drop effect explained 253
- 📖 Cook J., & Green C., 1771, "Observations made, by appointment of the Royal Society, at King George's Island in the South Sea; by Mr. Charles Green, formerly assistant at the Royal Observatory at Greenwich, and Lieut. James Cook, of His Majesty's Ship the Endeavour" Phil Trans. 61, 397-421.
- 📖 Henry G., Marcy G., Butler P., Vogt S., 1999 "A transiting '51 Peg-like' planet" The Astrophysical Journal, 529:L41–L44, 2000 January 20
Άρθρο με την πρώτη αναφορά Διάβασης Εξωπλανήτη.
- 📖 Steffen J., Batalha N., Borucki W., Buchhave L., Caldwell D., Cochran W., 2010, "Five Kepler target stars that show multiple transiting exoplanet candidates" The Astrophysical Journal 725 (2010) 1226
Άρθρο με μεγάλη ανάλυση στον τρόπο Ανάλυσης των στοιχείων για την ανίχνευση Υποψήφιων Εξωπλανητών.
- 📖 Mechanism of the Heavens, Mary Fairfax Greig Somerville, 2nd Edition Edited by Russell McNeil 2001
Κλασικό βιβλίο Αστρονομίας με έμφαση στις Εκλείψεις των Γαλιλαϊκών Δορυφόρων



Ενδεικτικές Ιστοσελίδες

- ★ <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/transit04.html>
Η κεντρική σελίδα της NASA για τη Διάβαση της Αφροδίτης στις 8 Ιουνίου του 2004
- ★ <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/catalog/VenusCatalog.html>
Ένας κατάλογος με τις Διαβάσεις με πρόσθετες κατατοπιστικές πληροφορίες.
- ★ <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/transit.html>
Πρόσθετες πληροφορίες από τον ιστοτόπο της NASA για τις Διαβάσεις τον Ερμή και της Αφροδίτης.
- ★ <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/HalleyParallax.html>
Dr. Edmund Halley
Philosophical Transactions Vol. XXIX (1716) Translated from the Latin
A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or His Distance from the Earth, Sec. R. S., N0 348, p. 454
Το πρωτότυπο άρθρο του Edmund Halley
- ★ <http://transitofvenus.nl/wp/where-when/local-transit-times/>
Εφημερίδες των Φάσεων της Διάβασης ανά τόπο για όλες τις Διαβάσεις από το 1639 μέχρι το 2125
- ★ <http://web.williams.edu/astronomy/eclipse/transits/index.htm>
Ιστοτόπος του Jay Pasachoff με πλούσιο υλικό από τη Διάβαση της Αφροδίτης το 2004, ο οποίος περιέχει σημαντικούς υπερσυνδέσμους σε ιστοτόπους σχετικούς με το αντικείμενο.
- ★ <http://www.transitofvenus.nl/history.html>
Αναλυτικότερη ιστορική περιγραφή εμπλουτισμένη με άφθονο φωτογραφικό υλικό για τις αποστολές και τα παρατηρητήριά τους για όλες τις διαβάσεις από το 1639 μέχρι το 1882
- ★ <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast161/Unit4/venussun.html>
Lecture 26: How Far to the Sun? The Venus Transits of 1761 & 1769
Prof. Richard Pogge,
Σύντομη ιστορική περιγραφή
- ★ <http://spacemath.gsfc.nasa.gov>
Mathematical problems featuring transit applications
Dr. Sten Odenwald
Μαθηματική προσέγγιση των Διαβάσεων του Ερμή, της Αφροδίτης, Εξωπλανητών και διαφόρων άλλων σωμάτων.
Πλούσια συλλογή εικόνων από την Ιστορία των Διαβάσεων.
- ★ http://www.sil.si.edu/exhibitions/chasing-venus/cf/venus_all_images.cfm
Chasing Venus. Observing the Transit of Venus
Smithsonian Institution Library
Ιστορική Περιγραφή με εκτενές φωτογραφικό υλικό.
- ★ <http://vt-2004.solarphysics.kva.se/>
Αναφορές για τις παρατηρήσεις από το Ηλιακό Τηλεσκόπιο του Σουηδικού Ινστιτούτου της Φυσικής του Ηλίου
Άφθονο φωτογραφικό υλικό σε διάφορες περιοχές του ορατού φάσματος από τη Διάβαση της Αφροδίτης στις 8 Ιουνίου του 2004
- ★ <http://www.hellas-astro.gr/>
Ο ιστοτόπος του Συλλόγου Ερασιτεχνών Αστρονόμων. Στον υπερσύνδεσμο Πλανήτες υπάρχει διεξοδική περιγραφή και φωτογραφικό υλικό από τη Διάβαση του 2004 και αρκετά άρθρα του Στέλλα Ιάκωβου με την περιγραφή των φαινομένων και παρατηρησιακές οδηγίες.
- ★ <http://www.metaresearch.org/home/viewpoint/blackdrop.asp>
The black drop effect during transits
Tom Van Flandern
Επεξήγηση του φαινομένου της Μαύρης Σταγόνας
- ★ <http://gong.nso.edu>
Ο εκπαιδευτικός ιστοτόπος του Global Oscillation Network Group, όπου ανά 1' της ώρας προβάλλεται η εικόνα του Ήλιου από 6 διαφορετικά τηλεσκόπια που βρίσκονται περί τη Γη.
- ★ <http://kepler.nasa.gov>
Ο επίσημος ιστοτόπος της Αποστολής Kepler. Περιέχει πλούσιο φωτογραφικό υλικό, περιγραφή της Αποστολής Εκπαιδευτικές Δραστηριότητες, Μοντέλα και Προσομοιώσεις.
- ★ <http://www.planethunters.org>
Ο ιστοτόπος των Κυνηγών Εξωπλανητών. Ζητά την εθελοντική συμμετοχή Ερασιτεχνών Αστρονόμων για την Ανακάλυψη Υποψήφιων Εξωπλανητών από τη μελέτη των δεδομένων της Αποστολής Kepler.
- ★ <http://www.planetary.org/exoplanets/>
Κατάλογος με Εξωπλανήτες.
- ★ <http://www.mykepler.com>
Εκπαιδευτικός ιστοτόπος που φιλοδοξεί να συμμετάσχουν 3.000 σχολεία παγκοσμίως στην αναζήτηση Εξωπλανητών.