



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Φυσική Διαστήματος

Ενότητα 1: Ηλιακός Άνεμος

Ξενοφών Δ. Μουσάς  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Φυσικής



Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

# Φυσική Διαστήματος Ηλιακός άνεμος

Ξενοφών Δ. Μουσάς,  
Καθηγητής Φυσικής Διαστήματος

ΑΘΗΝΑ 2014





Ο ηλιακός άνεμος αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο της Γης και δημιουργεί την μαγνητόσφαιρα της Γης



Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

# *Φυσική Διαστήματος* *Ηλιακός άνεμος*

Ξενοφών Δ. Μουσάς,  
Καθηγητής Φυσικής Διαστήματος

ΑΘΗΝΑ 2014



# Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες Ευχαριστίες οφείλονται στη NASA, ESA,

στους Ερευνητές και λοιπούς συντελεστές των επιγείων τηλεσκοπίων και διαστημικών πειραμάτων, στην κυρία Παν. Πρέκια Παπαδήμα, στον κύριο Πάνο Παπασπύρου για τις ενδιαφέρουσες συζητήσεις, σε όλους αυτούς που μας έδωσαν μετρήσεις, το NSSDC ή συμβουλές, στην Wikipedia για πολλές πολύτιμες εικόνες που προσφέρονται χωρίς δικαιώματα χρήσης και συνεπώς είναι πολύτιμες σε κάθε δάσκαλο.

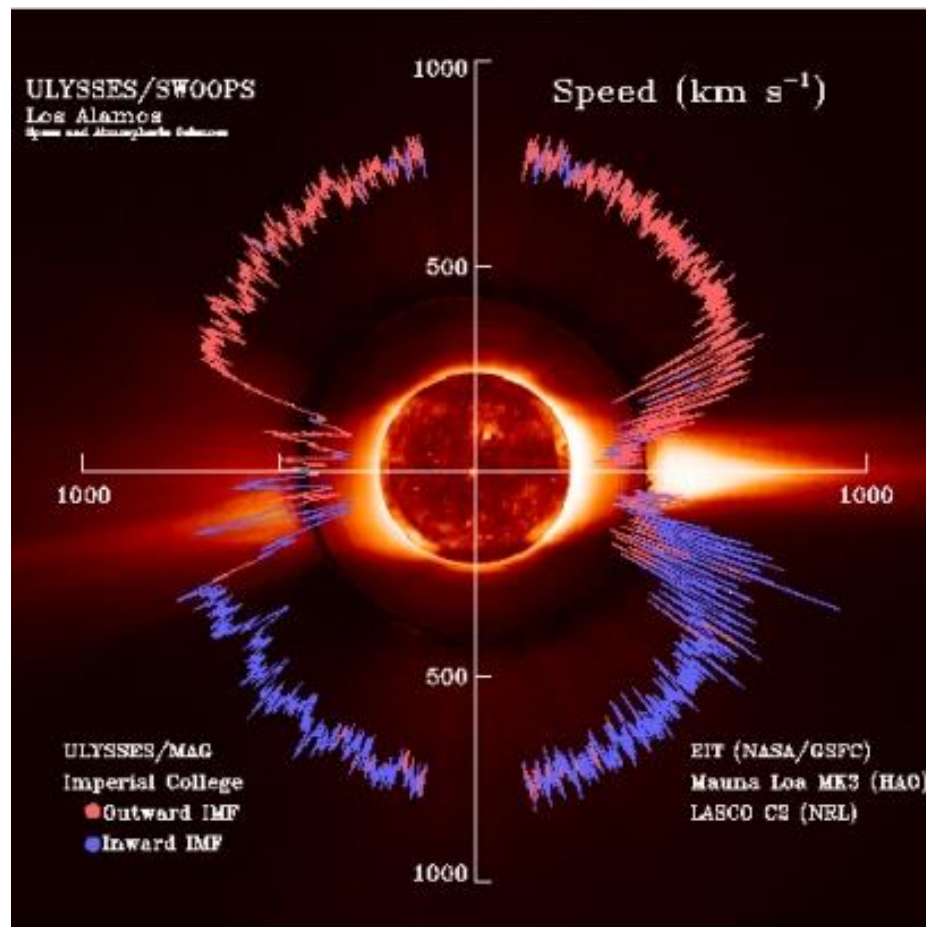
Ο ηλιακός άνεμος πηγάζει από όλο τον Ήλιο.  
Ταχύς ηλιακός άνεμος βγαίνει από τις οπές του  
στέμματος του Ηλίου.

Η εικόνα του κ. Dave McComas, SWRI,  
δειχνει την μεταβολή της ταχύτητας του  
ηλιακού ανέμου γύρω από τον ήλιο στην  
διάρκεια του ελαχίστου της ηλιακής  
δραστηριότητας.

Βλέπουμε ότι η ταχύτητα στον ισημερινό είναι  
γύρω στα 400 km/s και διπλασιάζεται σε πλάτη  
μεγαλύτερα από 30 μοίρες, όπου γίνεται γύρω  
στα 800 km/s

Solar wind speed and magnetic polarity measured by  
Ulysses, as a function of heliolatitude, overlaid with  
three concentric images taken with the NASA/GSFC  
EIT instrument (center), the HAO Mauna Loa  
coronagraph (inner ring), and the NRL LASCO C2  
coronagraph (outer ring). Each 1-hour averaged speed  
measurement has been color coded to indicate the  
orientation of the observed interplanetary magnetic  
field; red for outward pointing and blue for inward.

Μετρήσεις από το διαστημόπλοιο *Οδυσσέας*



[http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/23sep\\_solarwind/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/23sep_solarwind/)

Author EIT-SOHO; LASCO-C2-SOHO; MLSO

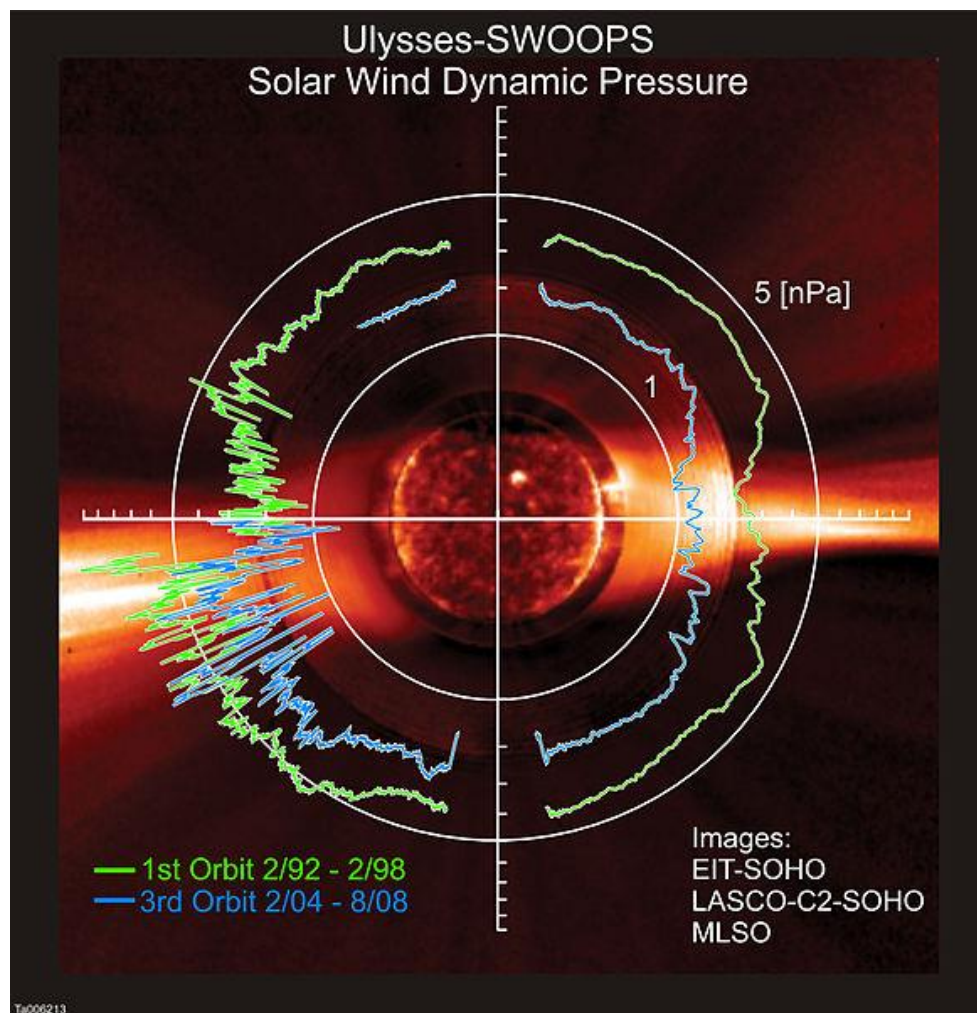


**Ο ηλιακός άνεμος πηγάζει από όλο τον Ήλιο.**

**Ταχύς ηλιακός άνεμος βγαίνει από τις οπές του στέμματος του Ηλίου. Η εικόνα του δείχνει την μεταβολή της πίεσης του ηλιακού ανέμου γύρω από τον ήλιο στην διάρκεια του ελαχίστου της ηλιακής δραστηριότητας.**

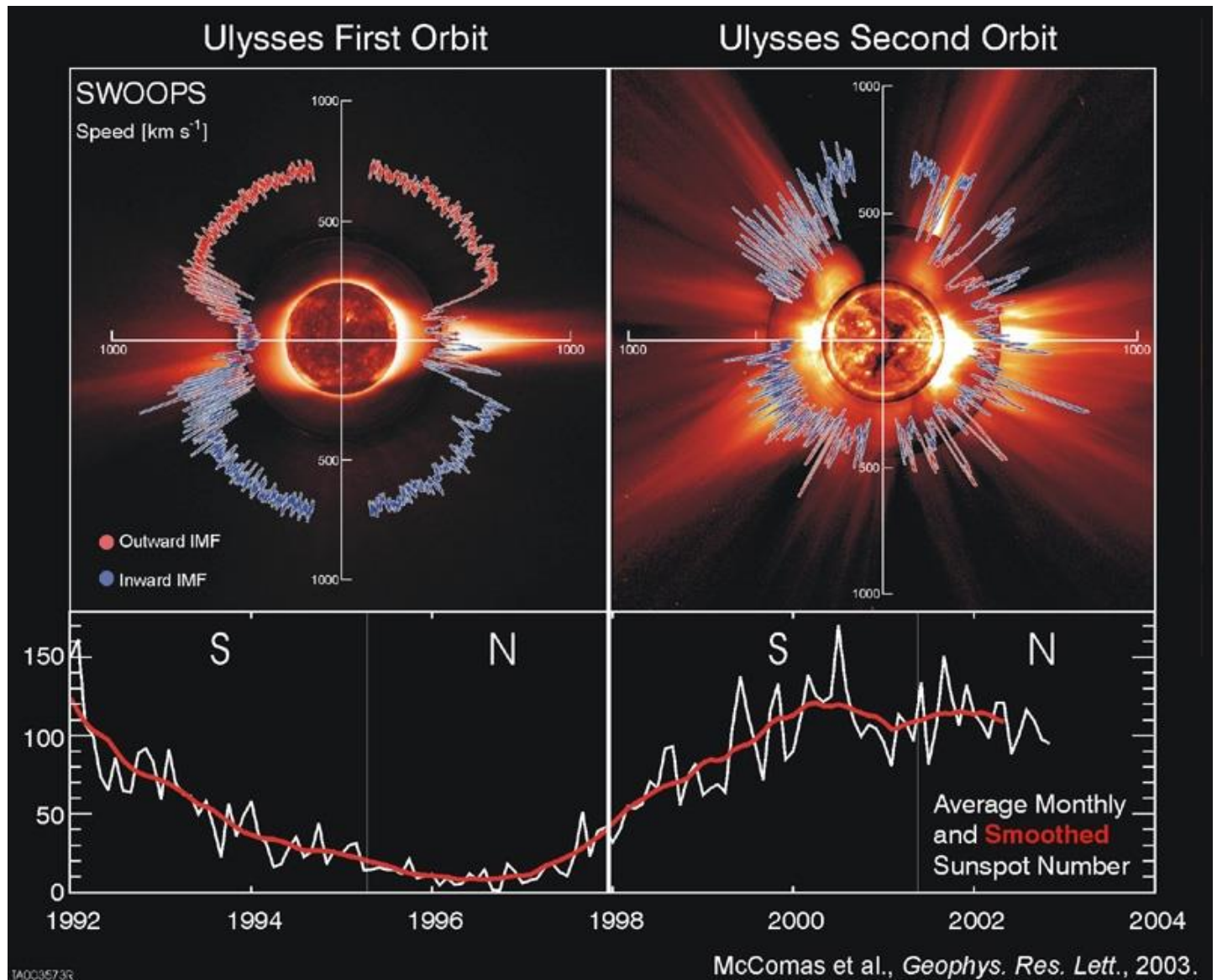
**Βλέπουμε ότι η πίεση στον ισημερινό είναι μικρότερη και διπλασιάζεται καθώς πλησιάζουμε τους πόλους του ηλίου.**

**Μετρήσεις από το διαστημόπλοιο *Οδυσσέας***



[http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/23sep\\_solarwind/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/23sep_solarwind/)

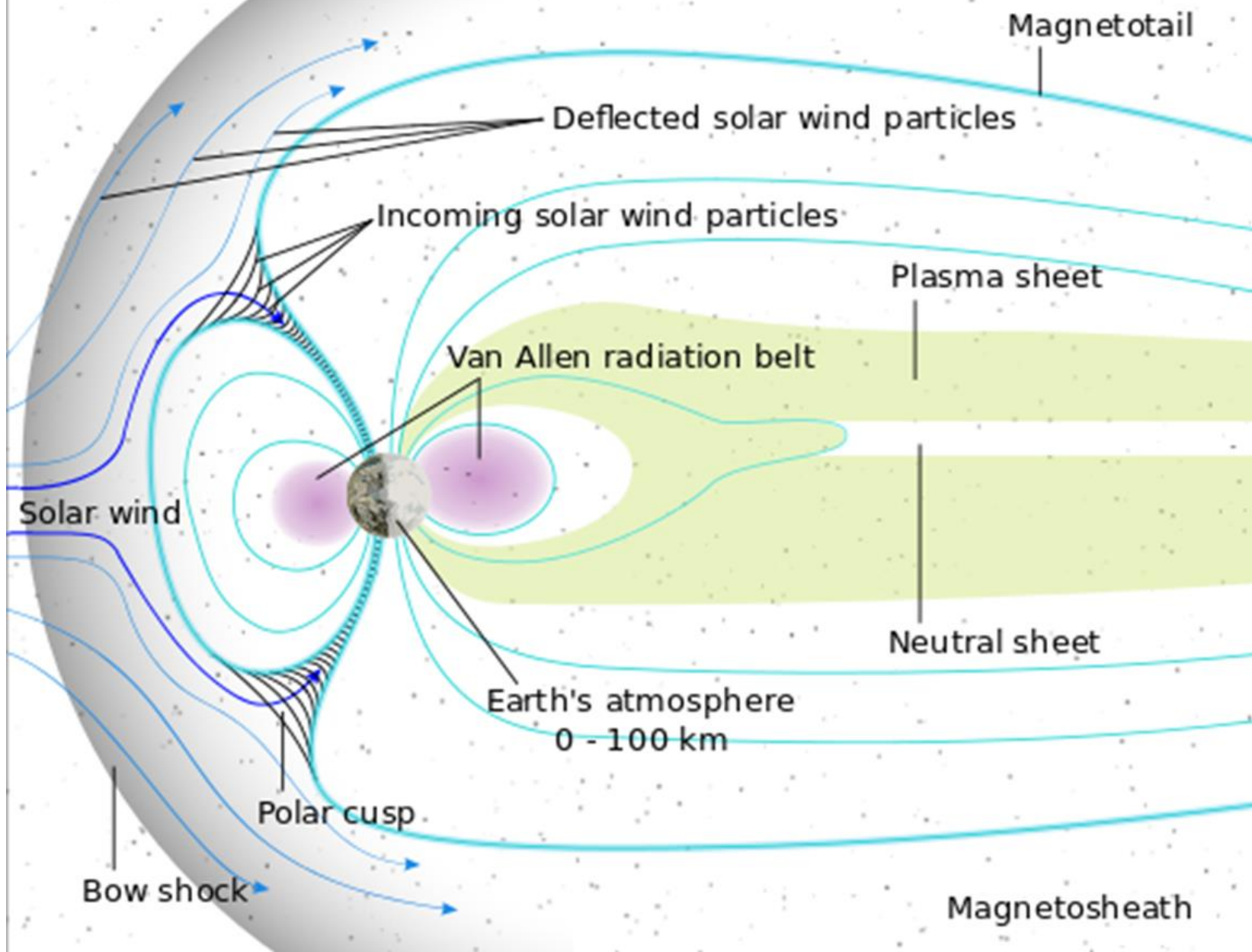
Author EIT-SOHO; LASCO-C2-SOHO; MLSO



Η εικόνα του κ. Dave MacComas δείχνει πώς αλλάζει η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου από το ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας στο μέγιστό της, όπου εμφανίζονται τα 'χεα ρεύματα ηλιακού ανέμου σε όλα τα πλάτη, όπου υπάρχουν στεμματικές οπές. .

SWOOPS image of solar wind at solar minimum and solar maximum





Η μαγνητόσφαιρα της Γης. Εικόνα του κυρίου William Crochot

Η ναγητόσφαιρα δημιουργείται από την αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου που εκπέμπει συνεχώς ο Ήλιος με το μαγνητικό πεδίο της Γης που παραμορφώνεται από την πίεση του ρευστού που βγαίνει από τον Ήλιο.

[http://science.nasa.gov/newhome/headlines/guntersville98/images/mag\\_sketch\\_633.jpg](http://science.nasa.gov/newhome/headlines/guntersville98/images/mag_sketch_633.jpg)

# κοιτάξτε αυτές τις σελίδες για να εξοικειωθείτε με τον ηλιακό άνεμο

Η ιστοσελίδα δείχνει την κατάσταση του διαπλανητικού χώρου αυτή την στιγμή. Παρουσιάζει την μορφή του Ηλίου, την ταχύτητα και το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου, το σέλας, τις ηλιακές εκρήξεις, ακόμη και τους αστεροειδείς που περνάνε κοντά από την Γη.

<http://www.spaceweather.com/>

[www.spaceweather.com/](http://www.spaceweather.com/)

[www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov)

[soho.nascom.nasa.gov/spaceweather](http://soho.nascom.nasa.gov/spaceweather)

[www.swpc.noaa.gov/SWN](http://www.swpc.noaa.gov/SWN)

[www.spaceweatherlive.com](http://www.spaceweatherlive.com)

[http://spaceweathergallery.com/aurora\\_gallery.html](http://spaceweathergallery.com/aurora_gallery.html)

Επίσης

<http://www.swpc.noaa.gov/communities/space-weather-enthusiasts>

<https://www.flickr.com/photos/gsfsc/3442090793>

<https://www.flickr.com/photos/gsfsc/albums/72157623541362444>

<https://www.flickr.com/photos/gsfsc/albums/72157616687189529>

<http://www.nasa.gov/feature/goddard/scientists-simulate-the-space-environment-during-nasas-new-horizons-flyby>

[http://spaceweather.com/images2012/16apr12/20120416\\_161000\\_anim.tim-den.gif](http://spaceweather.com/images2012/16apr12/20120416_161000_anim.tim-den.gif)

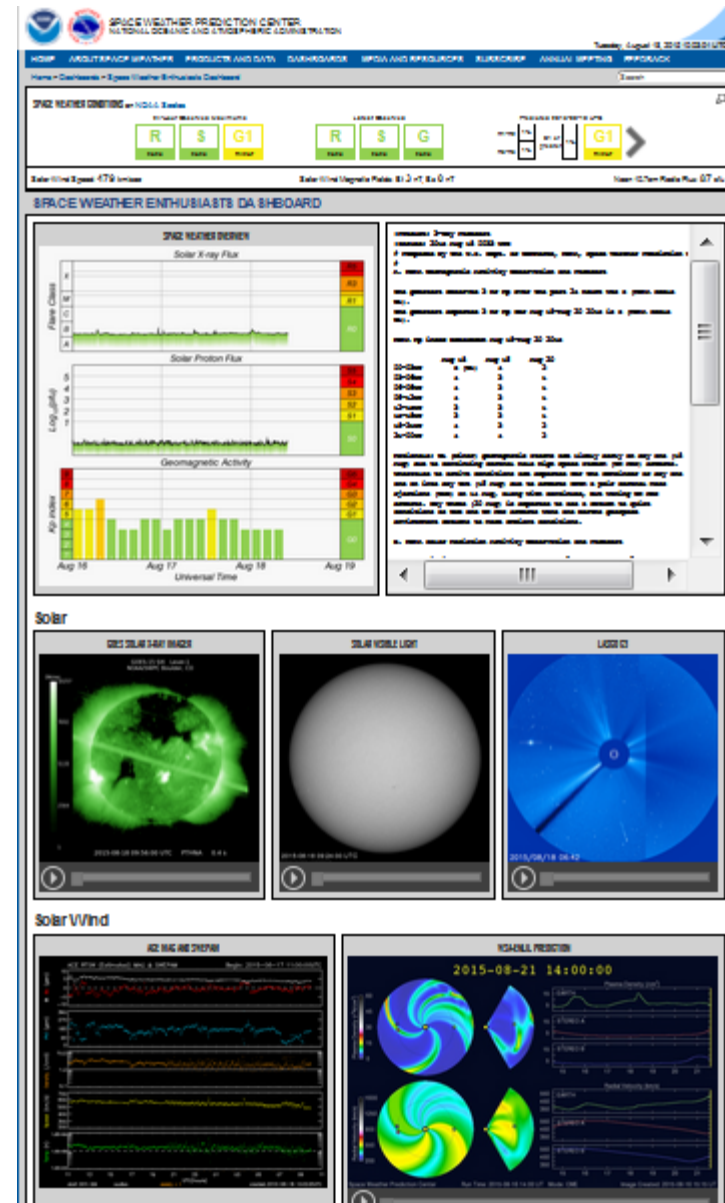
Εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού

[http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/)



Μελετήστε ιδιαίτερως την σελίδα:

<http://www.swpc.noaa.gov/communities/space-weather-enthusiasts>





Search

SPACE WEATHER CONDITIONS on NOAA Scales

24-Hour Observed Maximums



Latest Observed



Predicted 2015-08-18 UTC



Solar Wind Speed: 479 km/sec

Solar Wind Magnetic Field: Bz: 3 nT, Bz: 0 nT

Noon 10.7cm Radio Flux: 87 sfu



**G1 (Minor) Geomagnetic Storms still possible overnight**  
published: Sunday, August 16, 2015 18:53 UTC  
The CME that produced G3 (Strong) geomagnetic storms on August 15th, 2015 seems to have moved past the Earth.

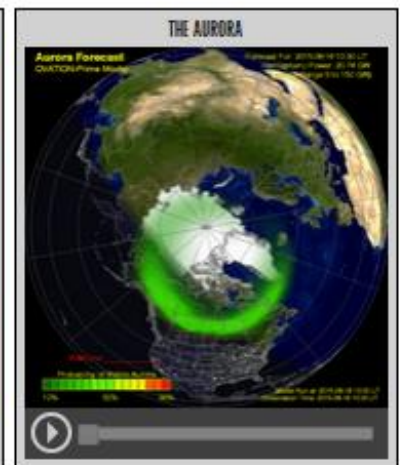
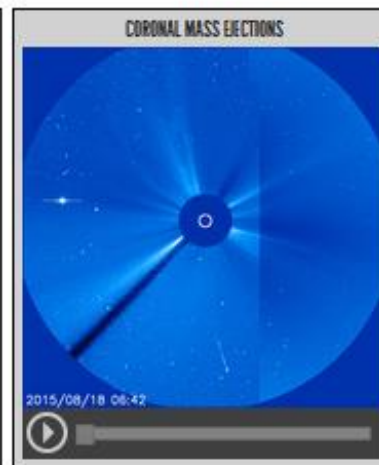
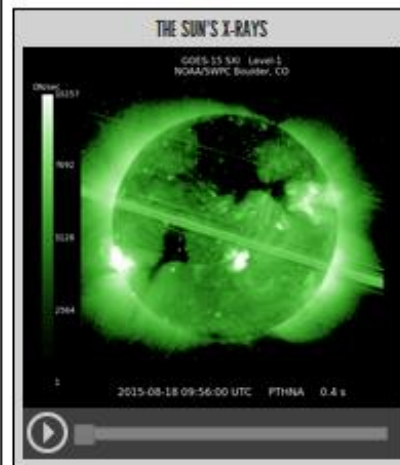
**No more 'Dark side of the Moon'**  
published: Wednesday, August 12, 2015 18:13 UTC  
On July 16th the EPIC camera on NOAA/DSCOVR captured this image of the moon eclipsing the Earth.

**New Website C&A**  
published: Wednesday, January 14, 2015 00:02 UTC  
If you have questions about the new website, we'll be happy to answer them here.

**What's that bright spot in the Coronal Mass Ejection image?**  
published: Tuesday, July 28, 2015 13:19 UTC  
What are those bright spots that appear in the CME image, people often ask.

SERVING ESSENTIAL SPACE WEATHER COMMUNITIES

- Aerospace
- Electric Power
- Emergency Management
- Global Positioning System (GPS)
- Media Communications
- Satellites
- Space Weather Enthusiasts



Μελετήσετε την σελίδα:

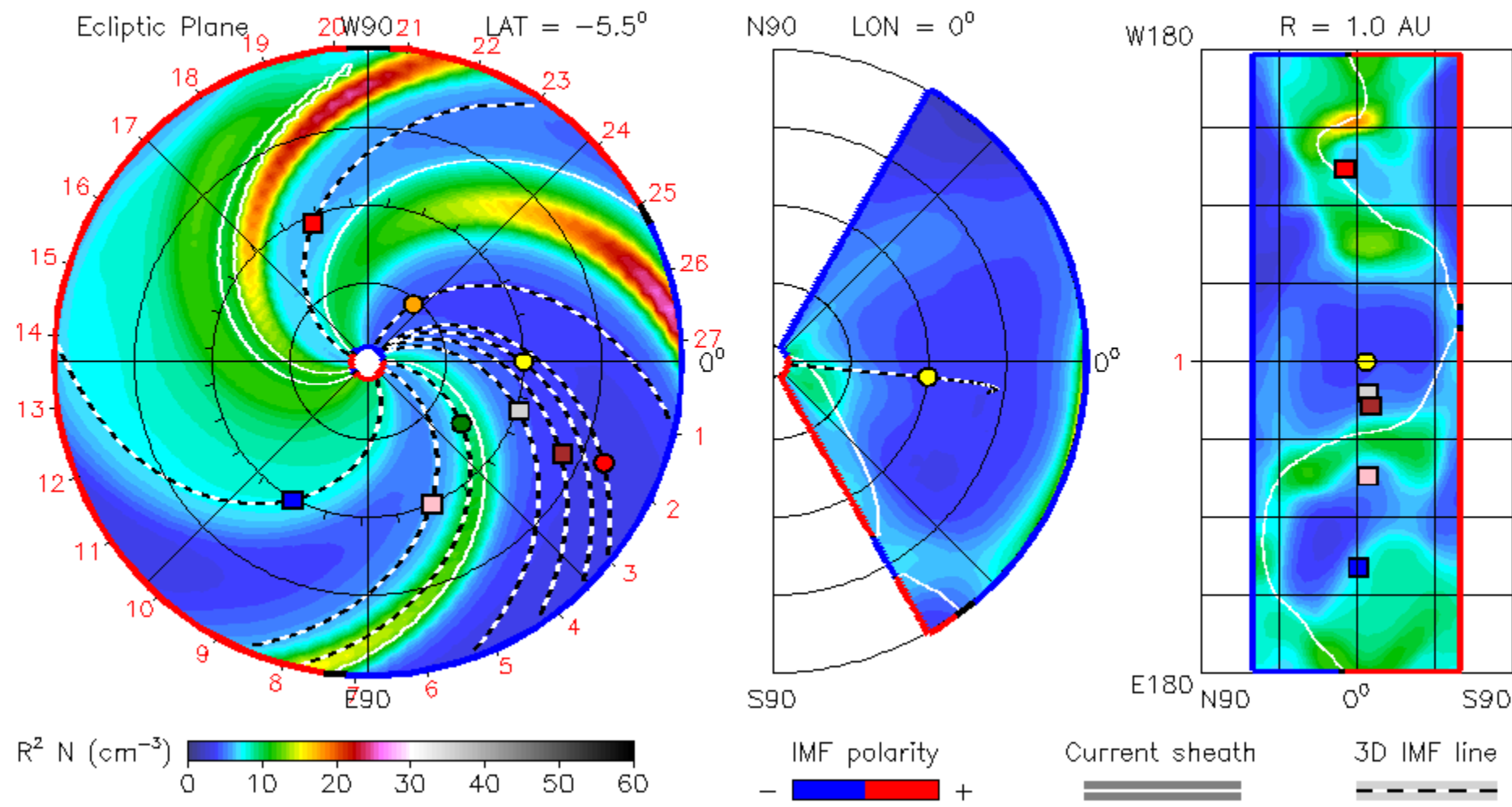
<http://www.swpc.noaa.gov/>



2012-04-15T00:00

2012-04-15T00 +0.00 day

- Earth
- Mars
- Mercury
- Venus
- Kepler
- MSL
- Spitzer
- Stereo\_A
- Stereo\_B



ENUL-2.7 lowres-2122-a3b1f WSA\_V2.2 GONG-2122 [comet.gsfc.nasa.gov/256x30x90x1.2122-a3b1f.16-mcp1umn1cd-1.g53q5d2.gong-2012-04-15T00](http://comet.gsfc.nasa.gov/256x30x90x1.2122-a3b1f.16-mcp1umn1cd-1.g53q5d2.gong-2012-04-15T00) 2012-04-16

Μελετήστε την εικόνα αυτή που δίνει την δομή του διαπλανητικού χώρου  
[http://spaceweather.com/images2012/16apr12/20120416\\_161000\\_anim.tim-den.gif](http://spaceweather.com/images2012/16apr12/20120416_161000_anim.tim-den.gif)



Αντιφωνητής:  
*δεν μπορείς να σταθείς στη Γη  
αν δεν έχεις το ένα σου πόδι  
στο διάστημα*

Από το ποίημα του Οδυσσέα  
Ελύτη,  
Μαρία Νεφέλη, εκδ. Ίκαρος,  
Αθήνα, 1974





Στο περιοδικό, [Living Reviews in Solar Physics](http://solarphysics.livingreviews.org)

στο οποίο η πρόσβαση είναι δωρεάν

[\*\*solarphysics.livingreviews.org\*\*](http://solarphysics.livingreviews.org)

Και στο περιοδικό [Space Science Reviews](http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11214)

<http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11214>

διαβάζουμε άρθρα επισκόπησης που επιτρέπουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα θέματα που μας ενδιαφέρουν για την φυσική διαστήματος και την ηλιακή φυσική.

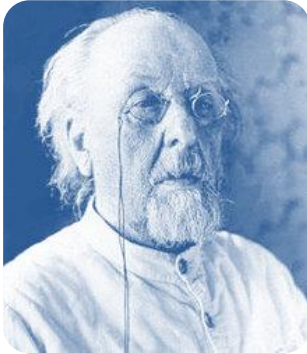


# Το διάστημα και οι άνθρωποι

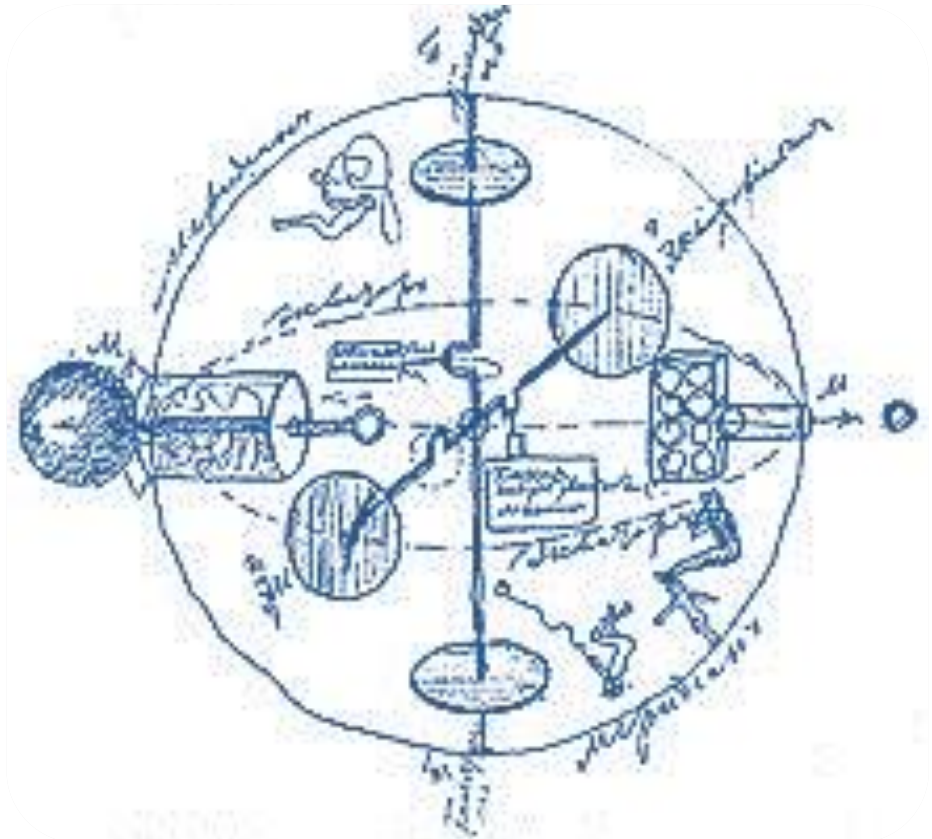
- Οι άνθρωποι μελέτησαν το διάστημα και την φύση του από την αρχαιότητα
- Οι άνθρωποι είχαν την επιθυμία να ταξιδέψουν σε άλλους πλανήτες
- Οι άνθρωποι άρχισαν βαθμιαία να κατακτούν το διάστημα



# Κωνσταντίνος Τσιολιόφση:



*<<η Γη δεν είναι παρά  
το λίκνο της  
ανθρωπότητας και  
κανείς δεν μένει στο  
λίκνο του αιωνίως>>*



# Σπούτνικ



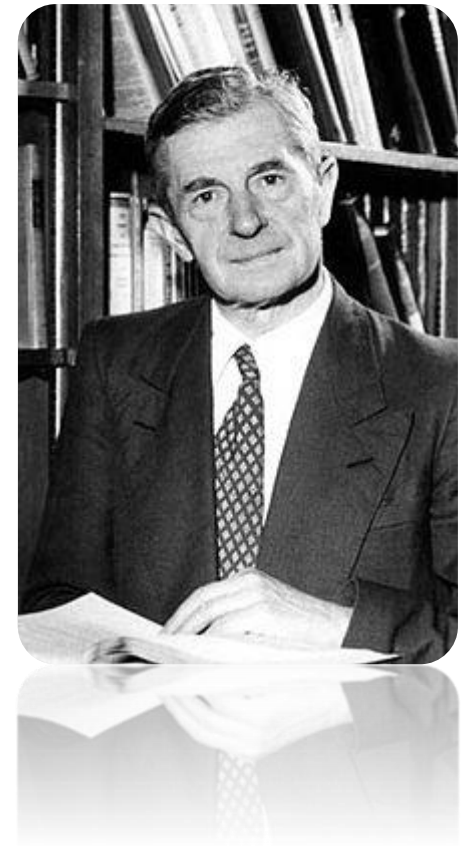
Η ανθρωπότητα εισήλθε στην *διαστημική εποχή* στις 21.28, ώρα Ελλάδος, της 4ης Οκτώβρη 1957

ορατός για πρώτη φορά πάνω από την Αθήνα στις 22.36 την 12η Οκτωβρίου 1957

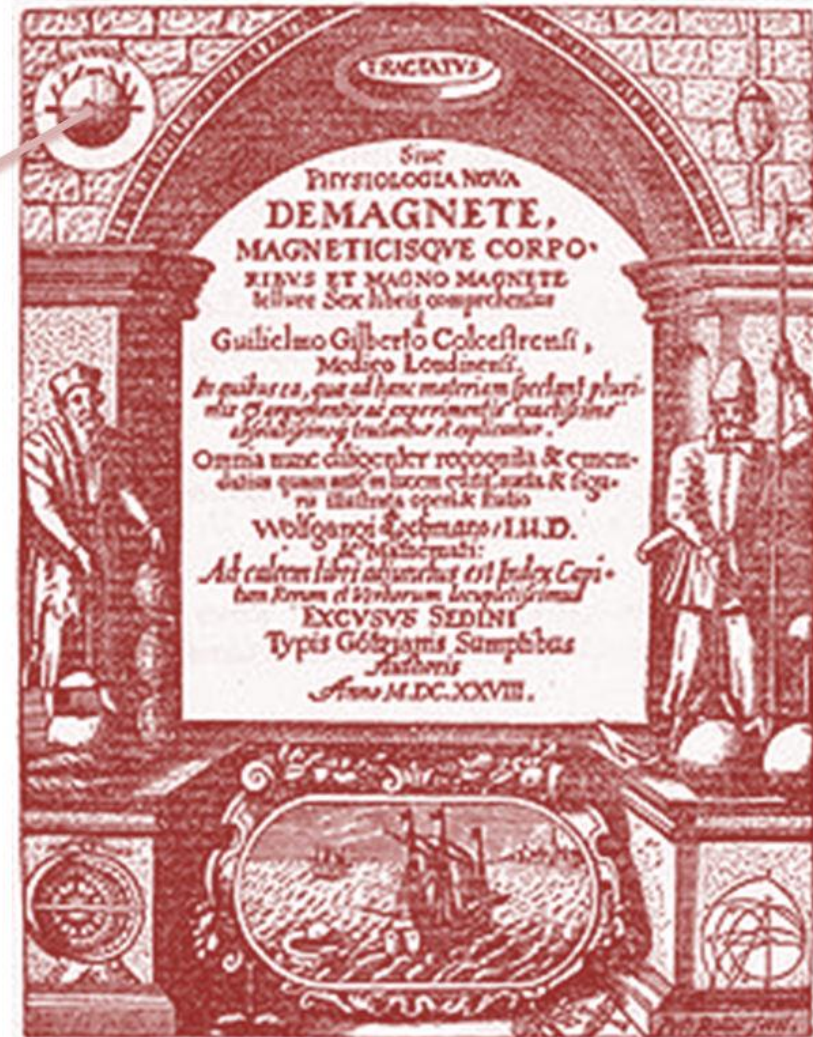
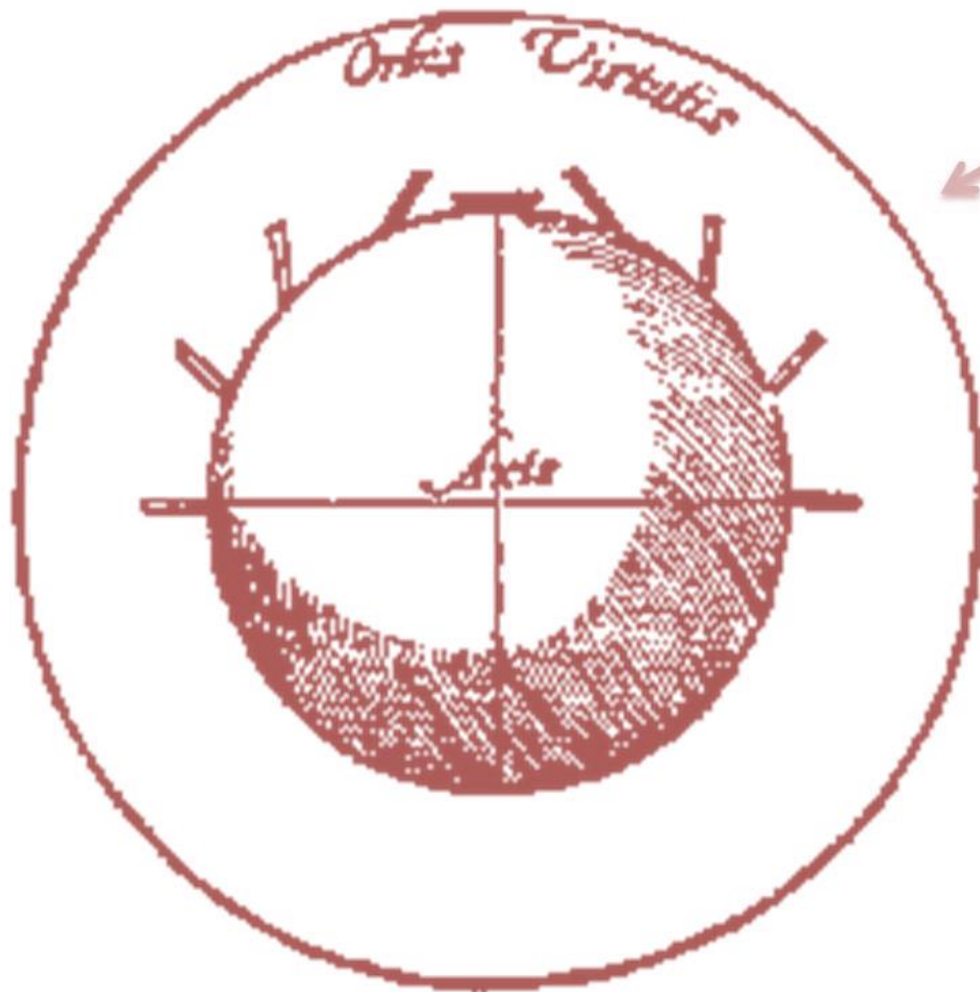


# Στατικό στέμμα;

- Μέχρι το 1957 οι επιστήμονες, όπως ο Sydney Chapman, είχαν εξετάσει πρότυπα του ηλιακού στέμματος βασισμένα σε υδροστατική ισορροπία, αποκλείοντας την περίπτωση μιας δυναμικής ατμόσφαιρας η οποία είναι δυνατό να βρίσκεται σε κίνηση.
- Η δυναμική ατμόσφαιρα αποκλείετο επειδή η ταχύτητα διαφυγής από τον Ήλιο είναι τεράστια.



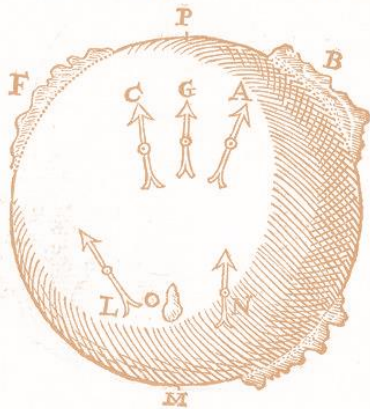
# Ιστορία της μελέτης του μαγνητικού πεδίου της Γης



Experimentum fit per filum longum ferreum, trium digitorum, positum super polum A, ita ut medium eius iaceat super polum: Convertitur finis alter à B versus C, nec vult acquiescere versus B: At in perfecto undique & æquali quiescet super polum; versus quodvis punctum æquatoris directum. Aliter; sint duo meridiani qui con-

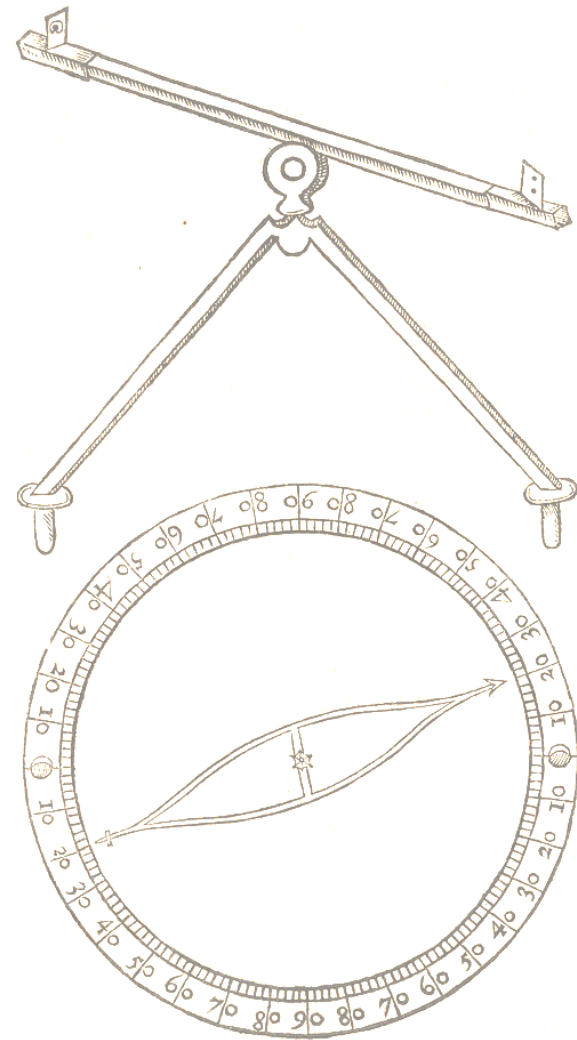


ueniant in polis AB, in æqualibus arcibus DA, & CA, adeoque in eorum terminis D & C, erigantur fila ferrea; in D (fortiore regione) magis attolletur filum quam in C imbecilliore. Atque sic agnoscitur firmior magnetis pars & validior, quæ sensu aliis non percipitur. In perfectâ, & per omnes partes æquali & simili terrellâ, atque in paribus à polo distantijs varietas nulla est. Ostenditur variatio per terrellâ, cuius pars ampla, eminentior paulò quam reliqua superficies, versoriû allicit à verâ directione, (totâ terrellâ promouente) etiam si cariôsa non sit & corrupta. Terrella in superficie inæqualis.



O j.

Ostenditur

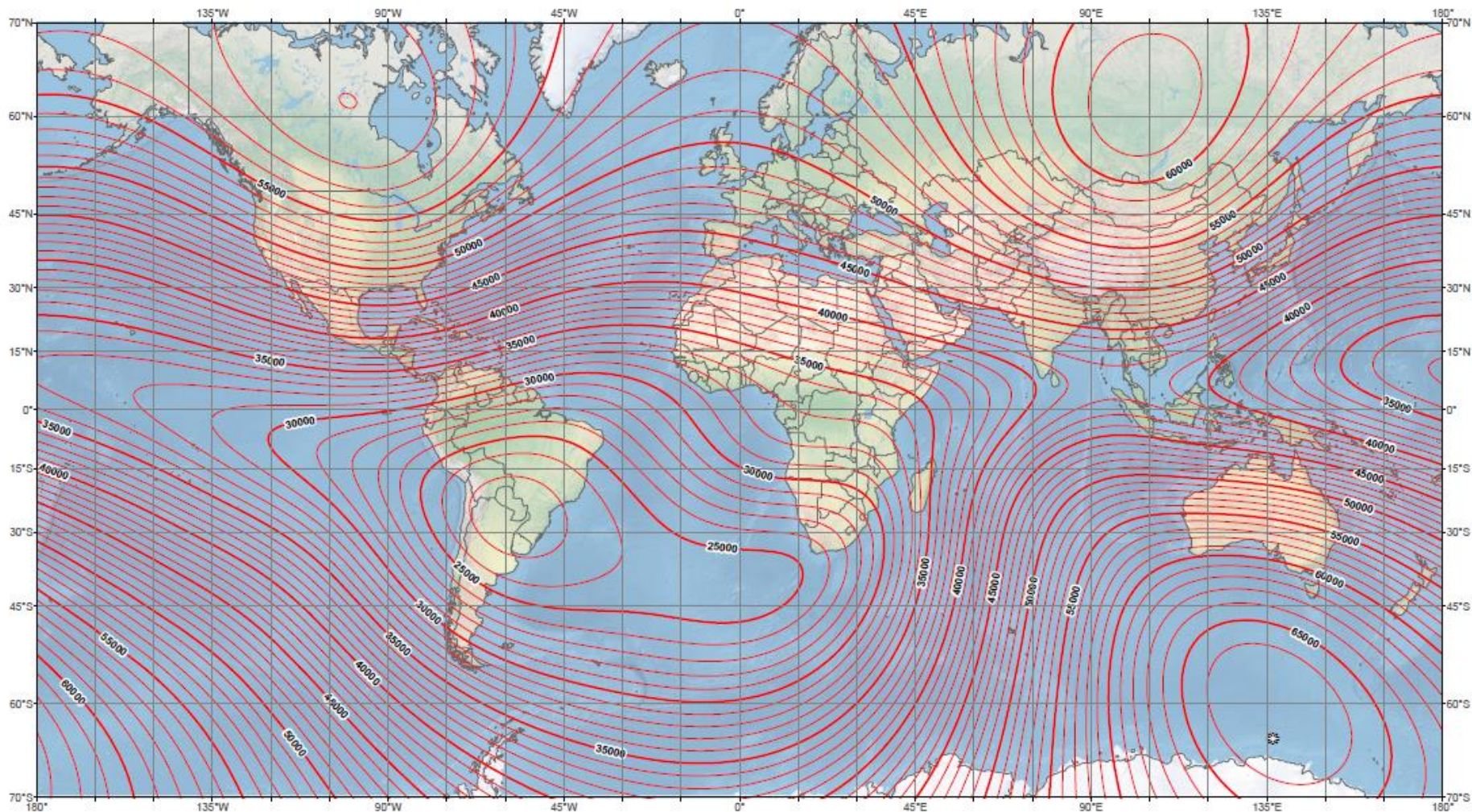


P iij.



# US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0

## Main Field Total Intensity (F)



Main Field Total Intensity (F)  
Contour Interval: 1000 nT.  
Mercator Projection.  
📍: Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CIRC  
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>  
Map reviewed by NGA and BGS  
Published December 2014

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0 Main Field Total Intensity (F)

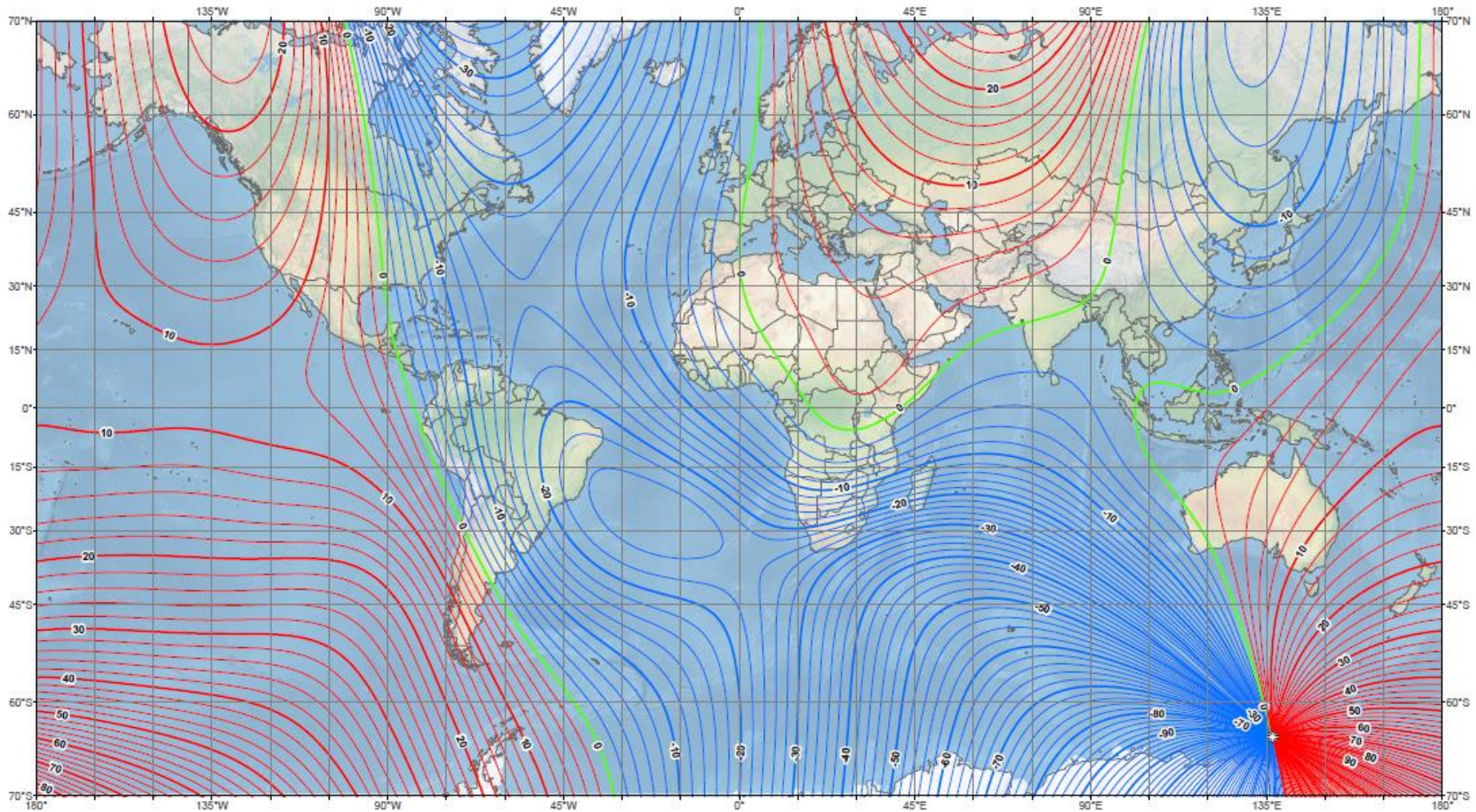
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml>

NOAA National Geophysical Data Center



# US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0

## Main Field Declination (D)



Main field declination (D)  
Contour interval: 2 degrees, red contours positive (east); blue negative (west); green (agonic) zero line.  
Mercator Projection.  
☉: Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CRES  
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>  
Map reviewed by NGA and BGS  
Published December 2014

# Μοντέλο του μαγνητικού πεδίου της Γης

Η επιστήμη μοντεολοποίησε το μαγνητικό πεδίο της Γης με κατάλληλα μαθηματικά.

Το δυναμικό περιγράφεται από το δυναμικό

$$V(r, \theta, \lambda, t) = R \sum_{n=1}^{n_{\max}} \left( \frac{R}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda) P_n^m(\theta)$$

<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>



<b>Year</b>	<b>Latitude (°N)</b>	<b>Longitude (°W)</b>
2001	81.3	110.8
2002	81.6	111.6
2003	82.0	112.4
2004	82.3	113.4
2005	82.7	114.4

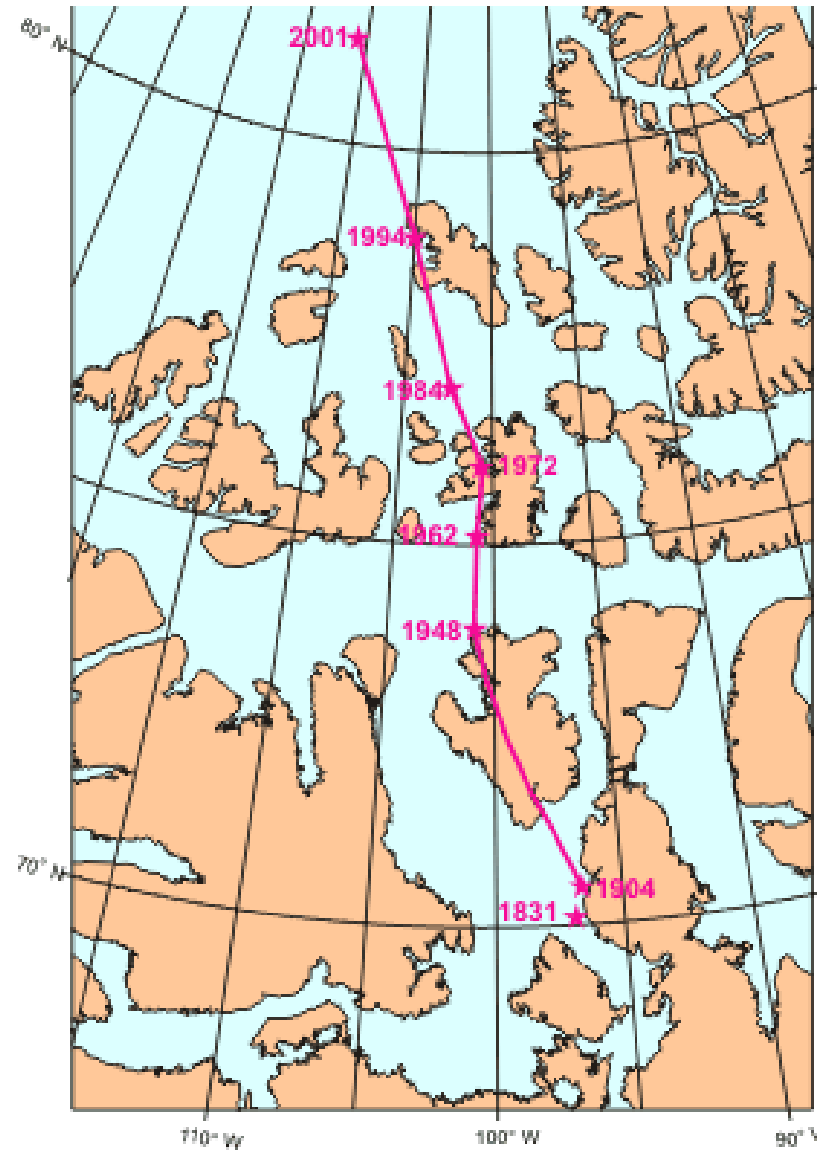
**Observed position of the South Magnetic Pole**

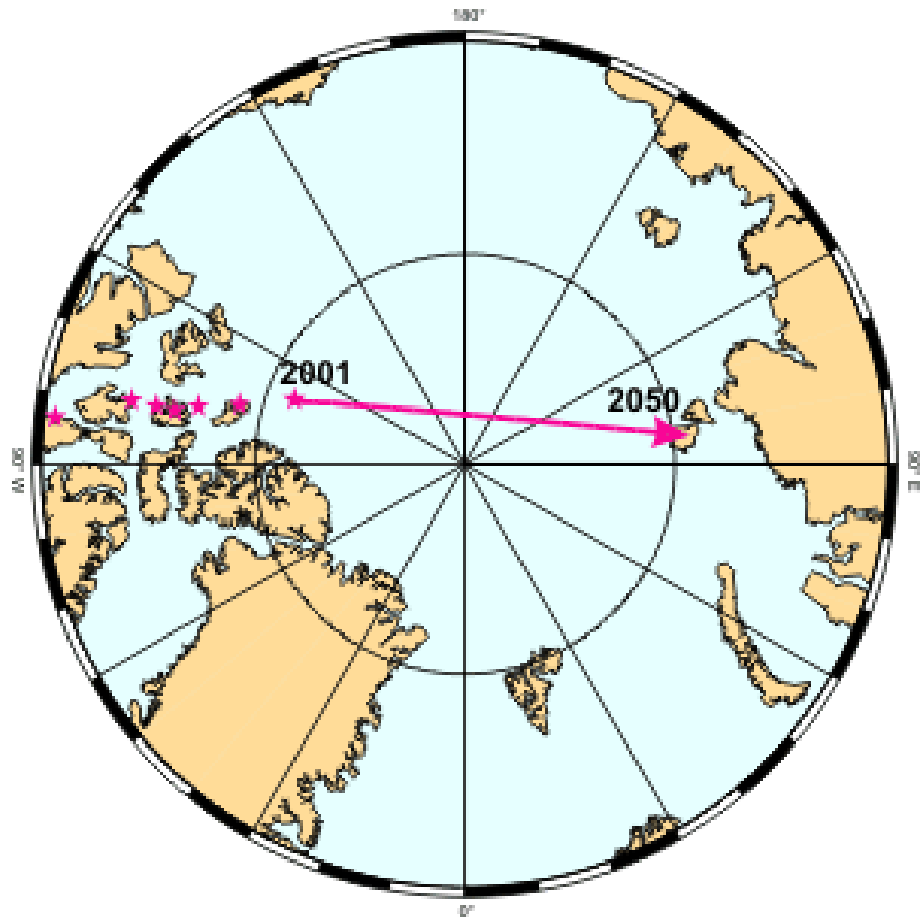
2001	64.7° S	138.0° E
------	---------	----------

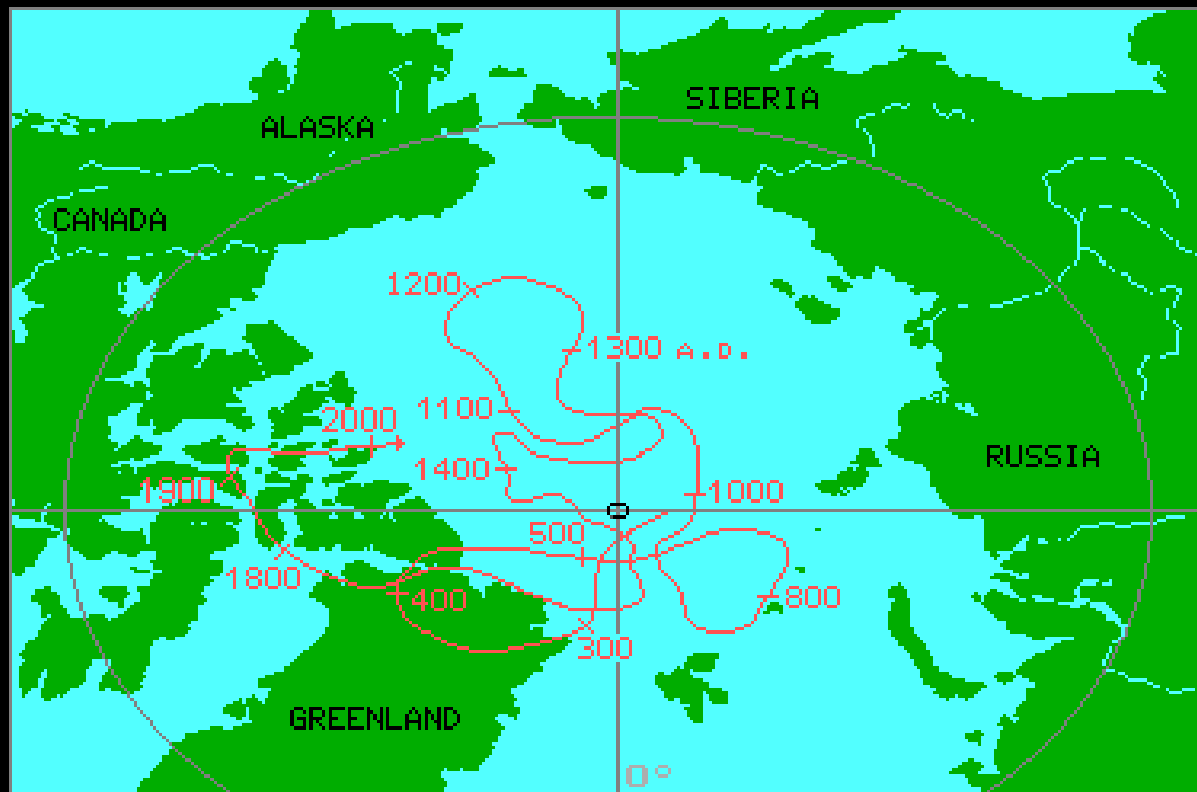
Source: [Canadian Geologic Survey](#)

# Κίνηση του μαγνητικού πόλου της Γης με τον χρόνο

[http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/29dec\\_magneticfield/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/29dec_magneticfield/)

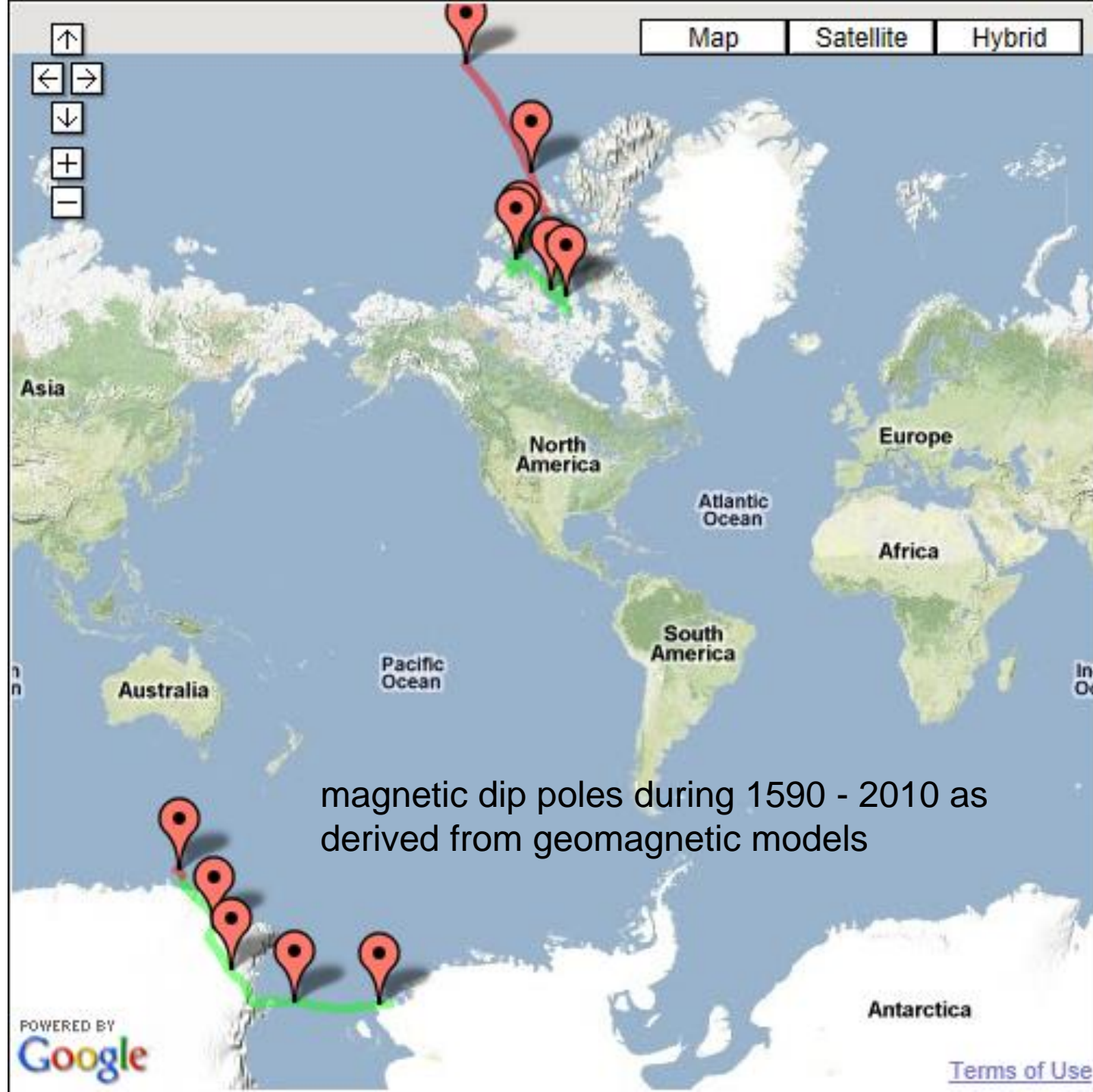






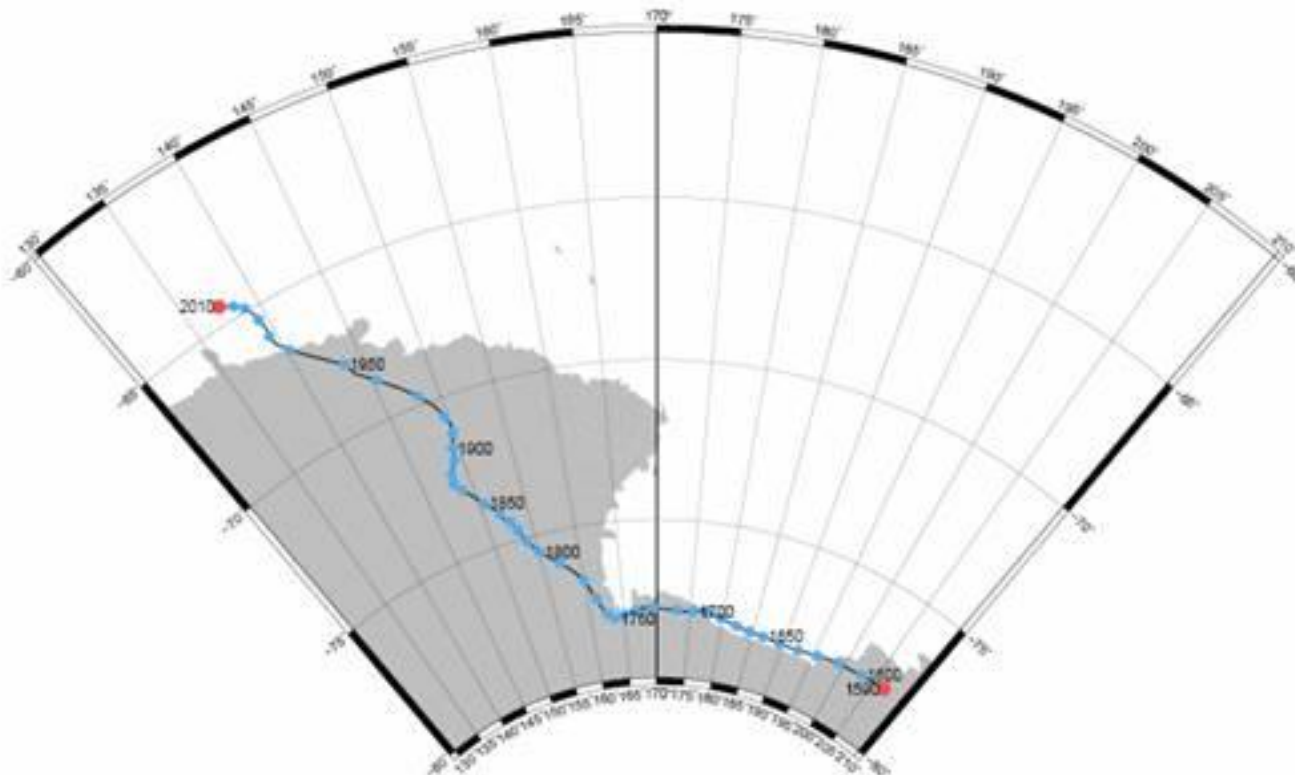
→ wandering path of magnetic north  
⊙ rotational north pole





magnetic dip poles during 1590 - 2010 as derived from geomagnetic models

# South Magnetic Pole Movement Based on Magnetic Field Models 1590 – 2010



Produced by NOAA's National Geophysical Data Center, December 2005  
Pole Location Data Produced by UFM and IGRF-10 Magnetic Field Models

Ο Ηλιακός άνεμος προκαλεί  
πλήθος φαινόμενα στην Γη,  
όπως το εντυπωσιακότατο Σέλας





*Φυσική  
Βενιαμίν του Λέσβια*

- **Χειρόγραφη  
Φυσική και  
Θεωρίας του  
Πανταχηκινήτου**



Βενιαμίν ο Λέσβιος  
Πλωμάρι το 1762 Ναύπλιο το 1824



- διευθυντής της περίφημης Ακαδημίας των Κυδωνιών (Αϊβαλιού) για 12 χρόνια, μέχρι το 1812,

*Βενιαμίν του Μοβια*

- καθηγητής στη σχολή Βουκουρεστίου,
- συγγραφέας τουλάχιστον δέκα επιστημονικών βιβλίων, δάσκαλος του Θεόφιλου Καΐρη,
- Φιλικός, αγωνιστής του εθνικού ξεσηκωμού του 1821,
- βουλευτής, νομοθέτης και τέλος αρμοστής νήσων Αιγαίου.
- Συνεργάτης του Χέρσελ

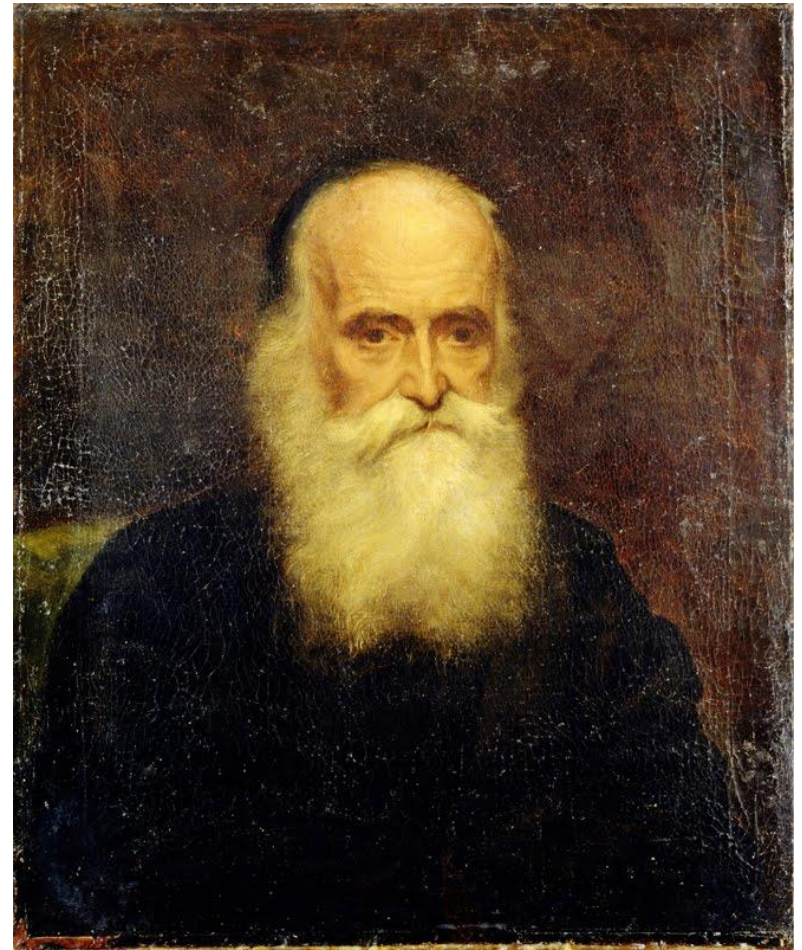


*Γνωσις  
Βενιαμίν καὶ Λεσβίας*

- **Η Αστρονομία  
του Βενιαμίν Λεσβίου**
- Έκδοση 1ου Ενιαίου Λυκείου Βόλου, Κ. Μαυρομάτης

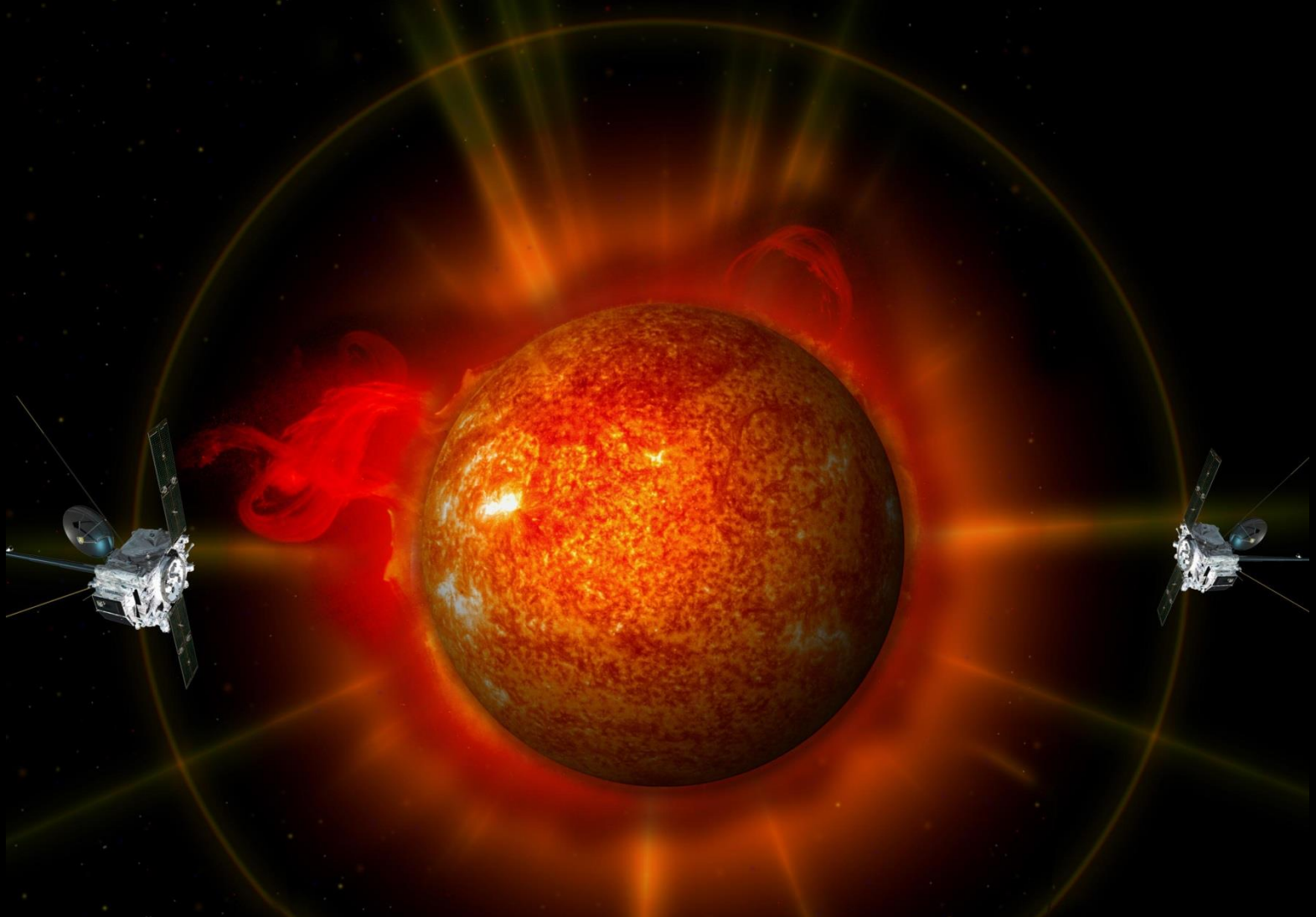


- **Ο Θωμάς Καΐρης Άνδρο**  
**19.10.1784.** Φοίτησε στις  
Κυδωνίες (Αϊβαλί),
- διδάχθηκε φιλολογία και  
φιλοσοφία, μαθηματικά  
και στοιχεία επιστημών  
από το Γρηγόριο Σαράφη  
και το Βενιαμίν Λέσβιο και  
είχε παρόμοια θεωρία με  
το πανταχυκίνητο.



Θεόφιλος Θωμάς Καΐρης  
γενν. Άνδρο 19.10.1784  
Απεβ. Σύρο 10.1.1853





Ο ήλιος με το στέμμα του και τα δυο διαστημόπλοια STEREO της NASA που βλέπουν στερεοσκοπικά τον Ήλιο

# ΤΑΧΥΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

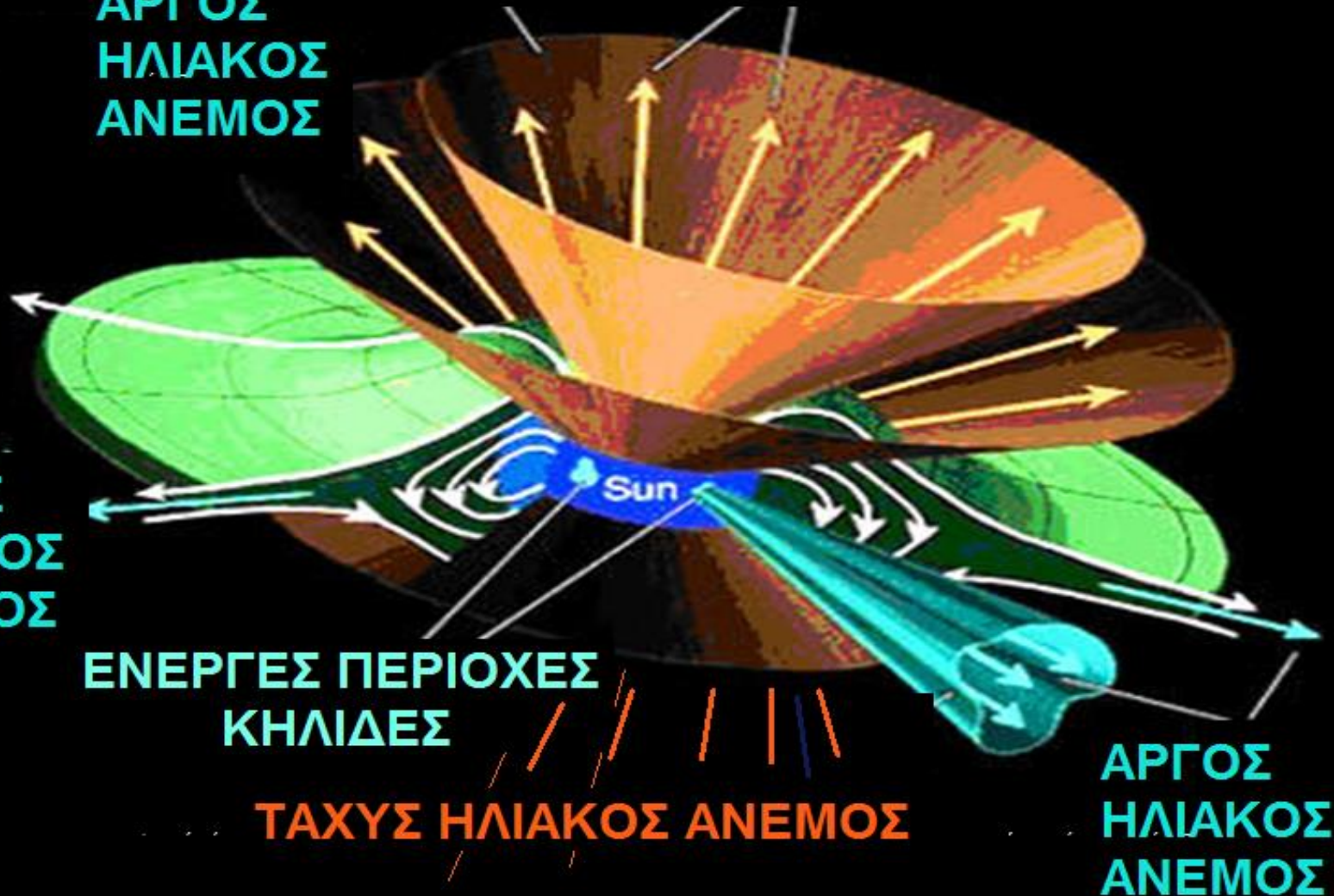
ΑΡΓΟΣ  
ΗΛΙΑΚΟΣ  
ΑΝΕΜΟΣ

ΑΡΓΟΣ  
ΗΛΙΑΚΟΣ  
ΑΝΕΜΟΣ

ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ  
ΚΗΛΙΔΕΣ

ΤΑΧΥΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

ΑΡΓΟΣ  
ΗΛΙΑΚΟΣ  
ΑΝΕΜΟΣ

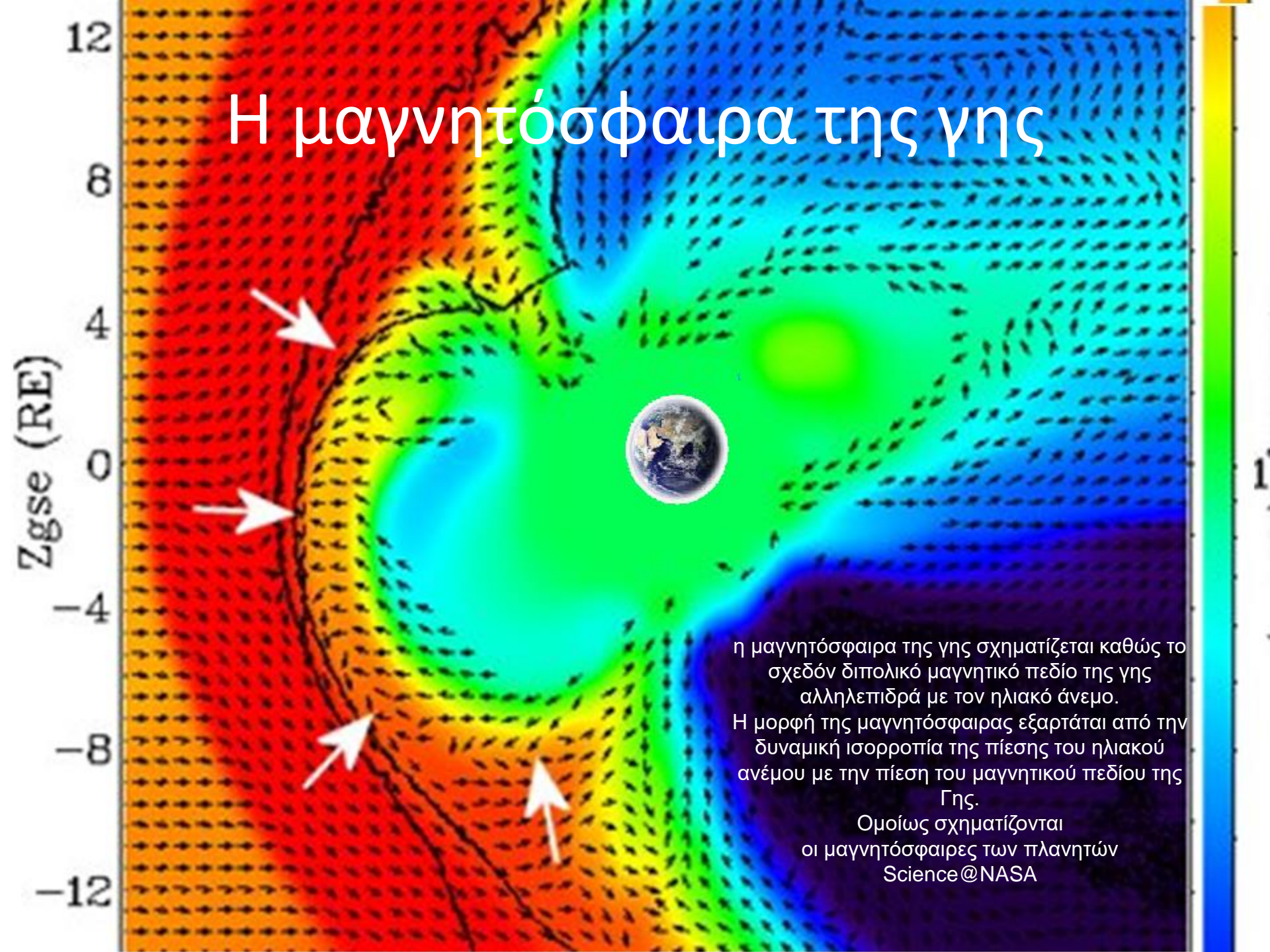


ο ηλιακός άνεμος πηγάζει από τον Ήλιο. Οι σημαντικότερες πηγές του είναι οι στεμματικές οπές, από τις οποίες βγαίνει ο ταχύς ηλιακός άνεμος.

Συνήθως υπάρχει μια σε κάθε πόλο του Ηλίου (συνήθως κοντά στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας).



# Η μαγνητόσφαιρα της γης



η μαγνητόσφαιρα της γης σχηματίζεται καθώς το σχεδόν διπολικό μαγνητικό πεδίο της γης αλληλεπιδρά με τον ηλιακό άνεμο. Η μορφή της μαγνητόσφαιρας εξαρτάται από την δυναμική ισορροπία της πίεσης του ηλιακού ανέμου με την πίεση του μαγνητικού πεδίου της Γης.

Ομοίως σχηματίζονται οι μαγνητόσφαιρες των πλανητών  
Science@NASA





Βόρειο σέλας. Φωτογραφία του κ. Mike Fairbanks


[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aurora\\_Borealis\\_-\\_Wickersham\\_Dome\\_-\\_Alaska\\_-\\_16\\_March\\_2013.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aurora_Borealis_-_Wickersham_Dome_-_Alaska_-_16_March_2013.jpg)





φωτογραφία του κ. Craig M. Groshek

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AuroraB.jpg>

- 
- \* Green - oxygen, up to 150 miles in altitude
  - \* Red - oxygen, above 150 miles in altitude
  - \* Blue - nitrogen, up to 60 miles in altitude
  - \* Purple/violet - nitrogen, above 60 miles in altitude







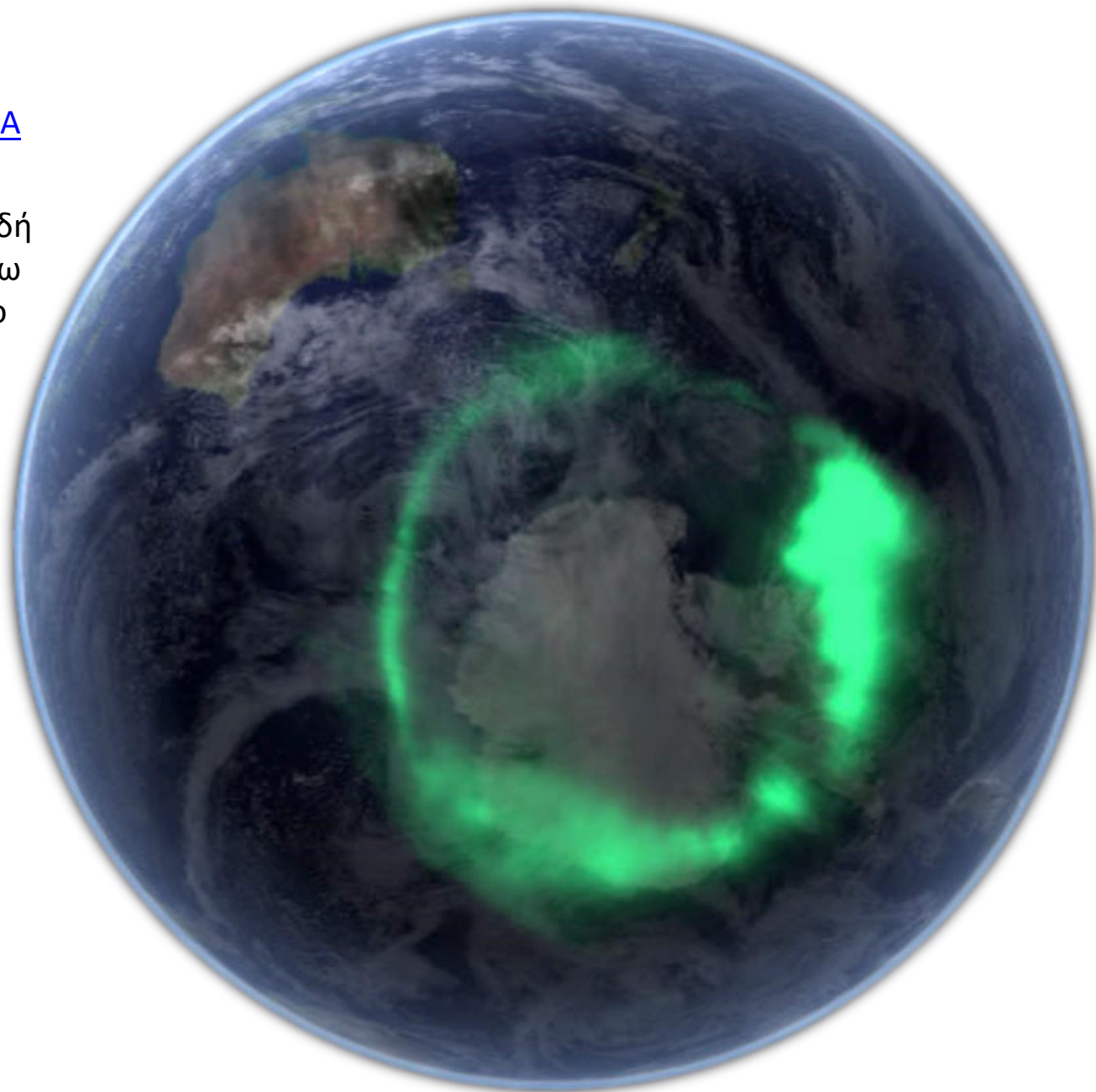


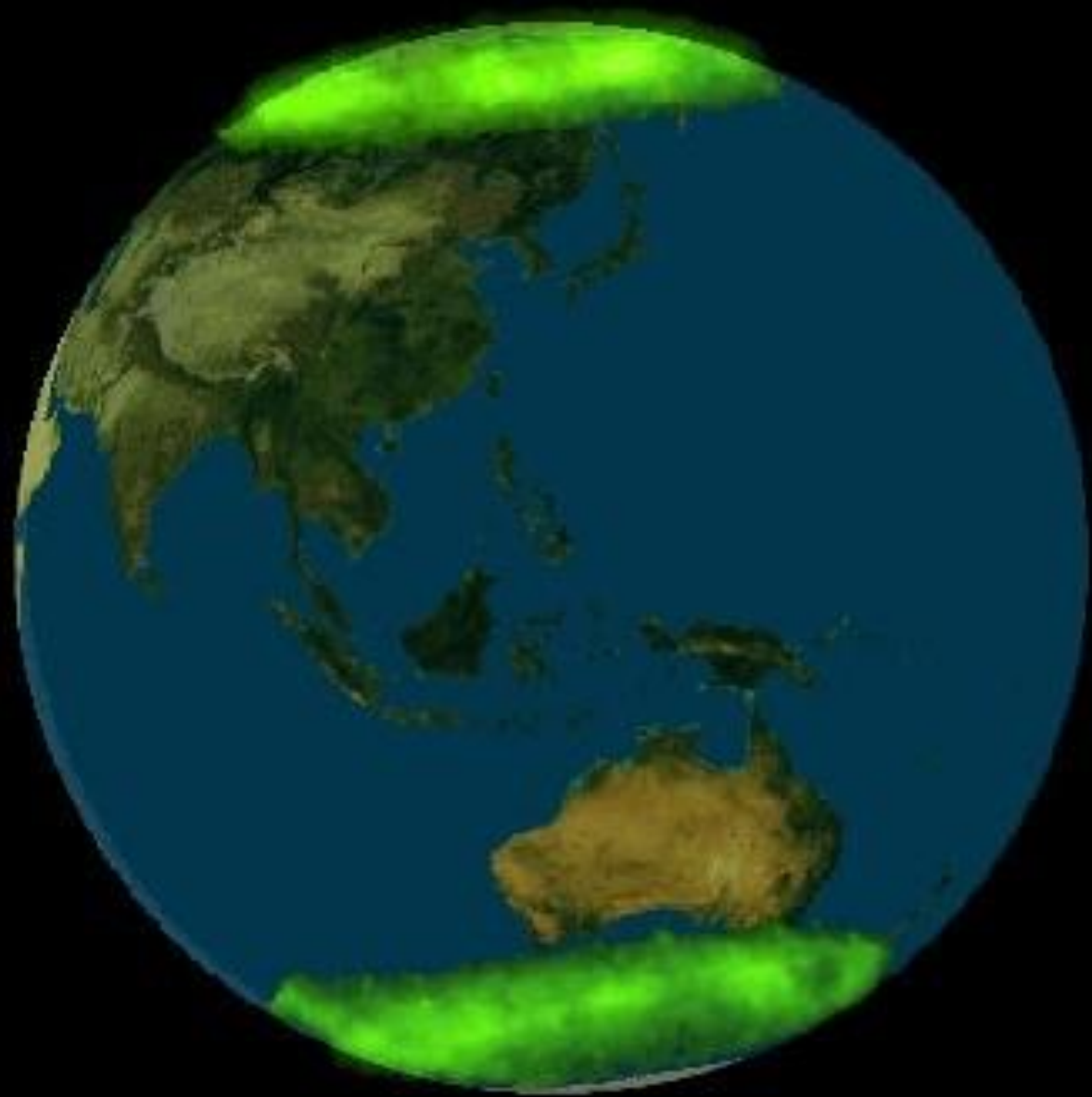
# International Space Station

Νότιο Σέλας.

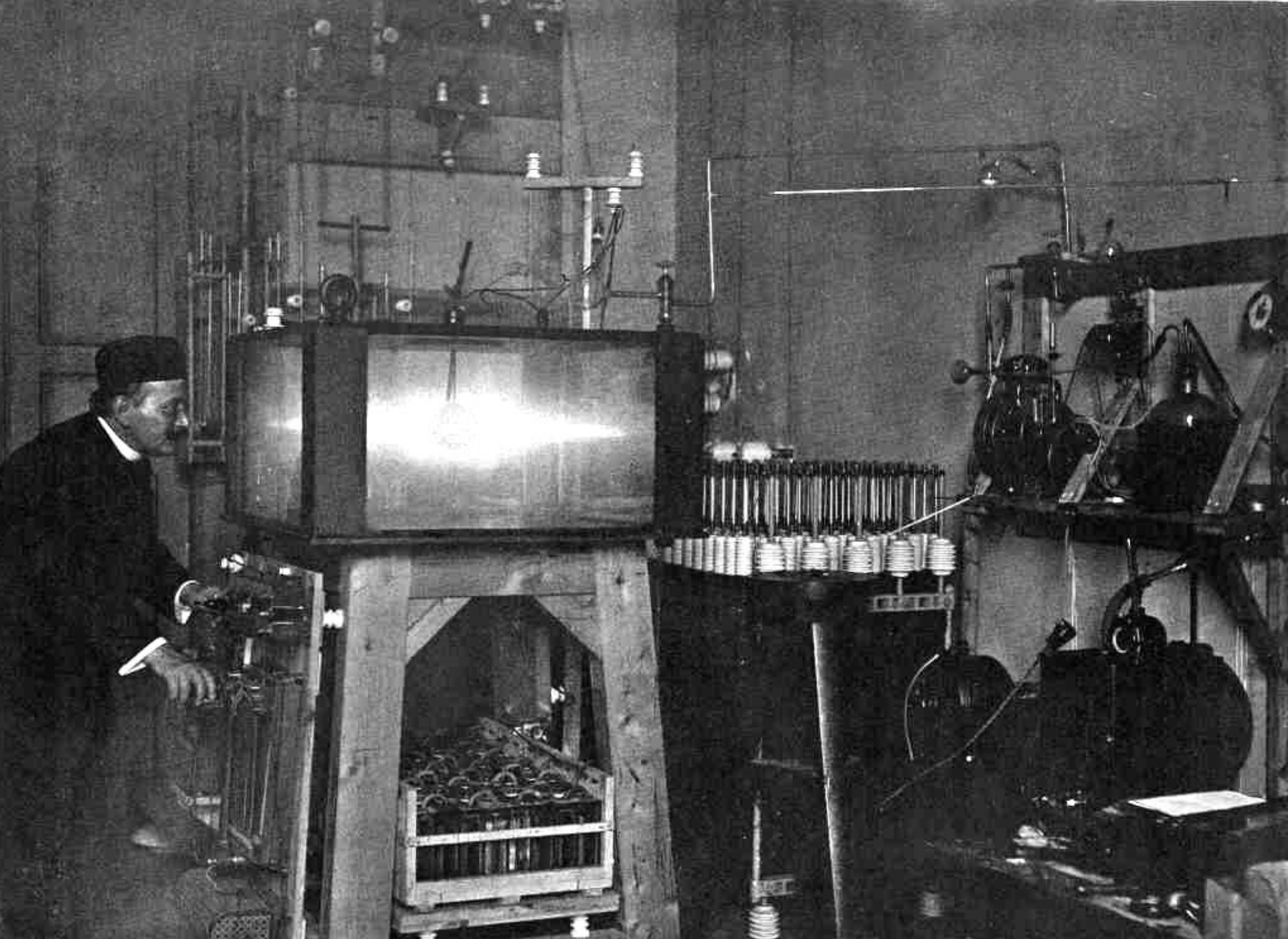
Από δορυφόρο της [NASA](http://www.nasa.gov)

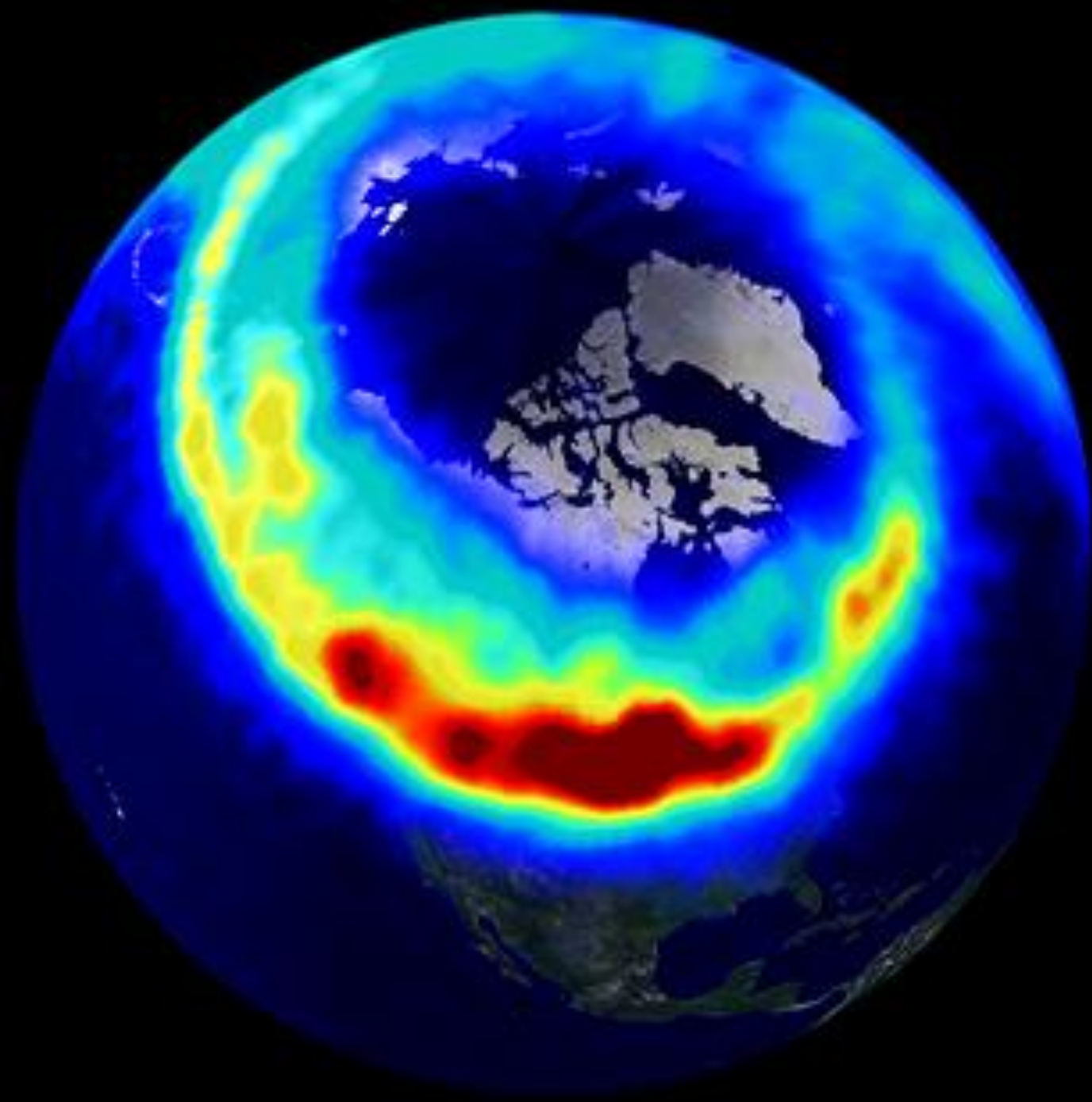
Παρατηρούμε την ωσειδή  
μορφή του σέλαος, γύρω  
από τον μαγνητικό πόλο  
της Γης

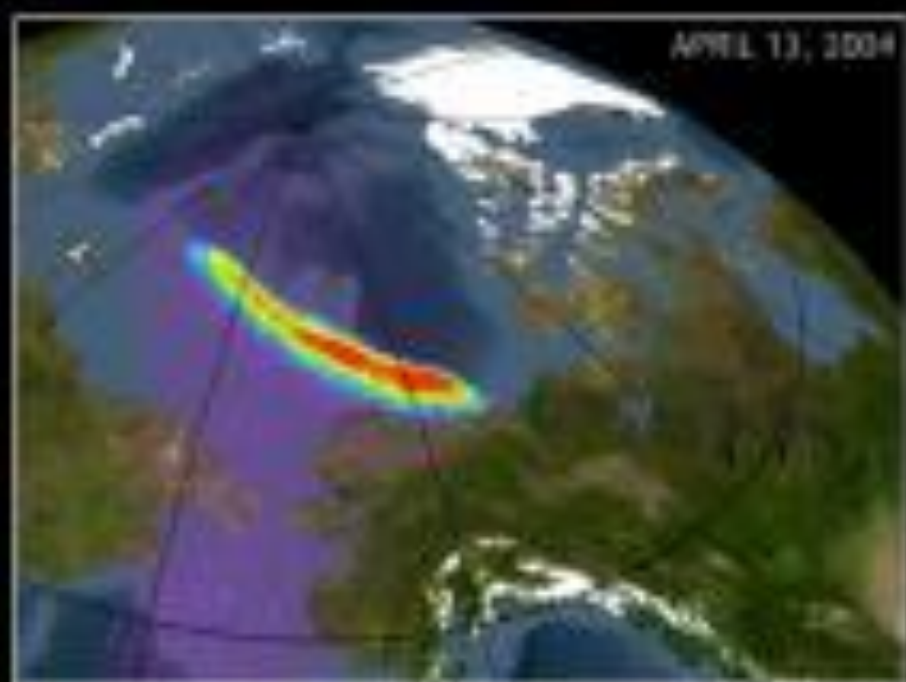
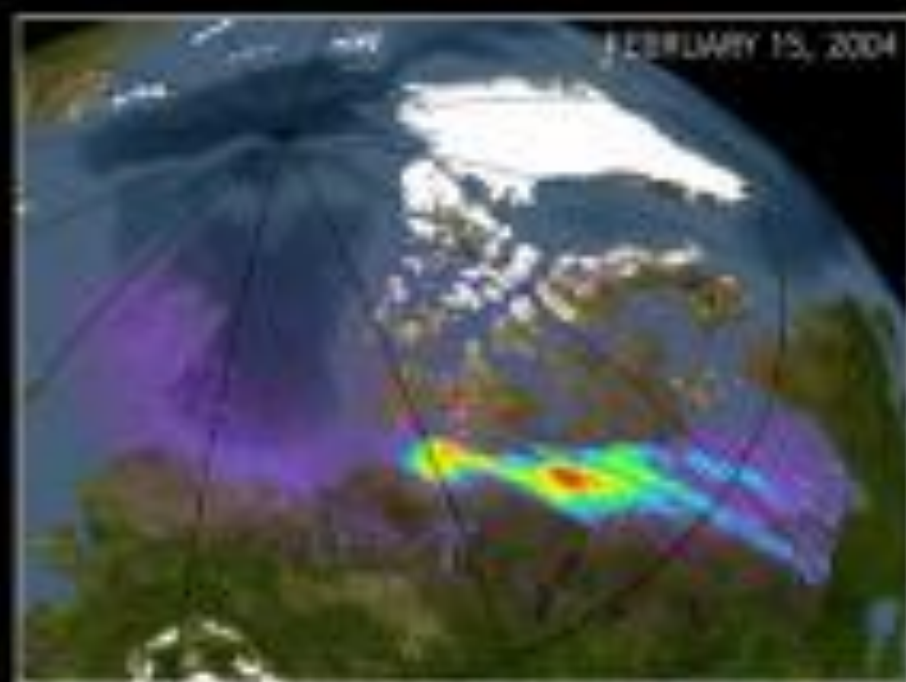
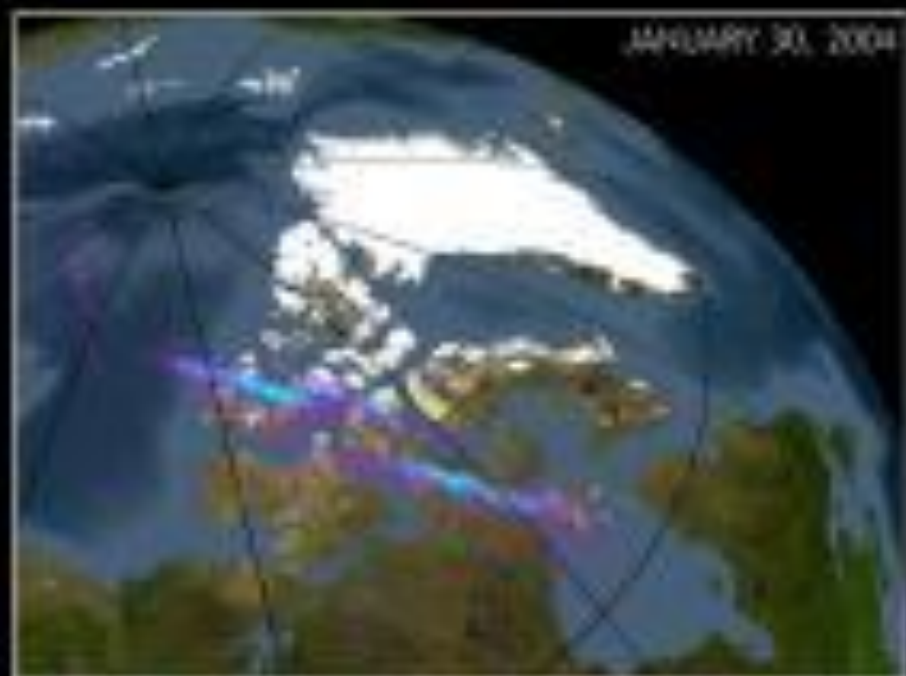
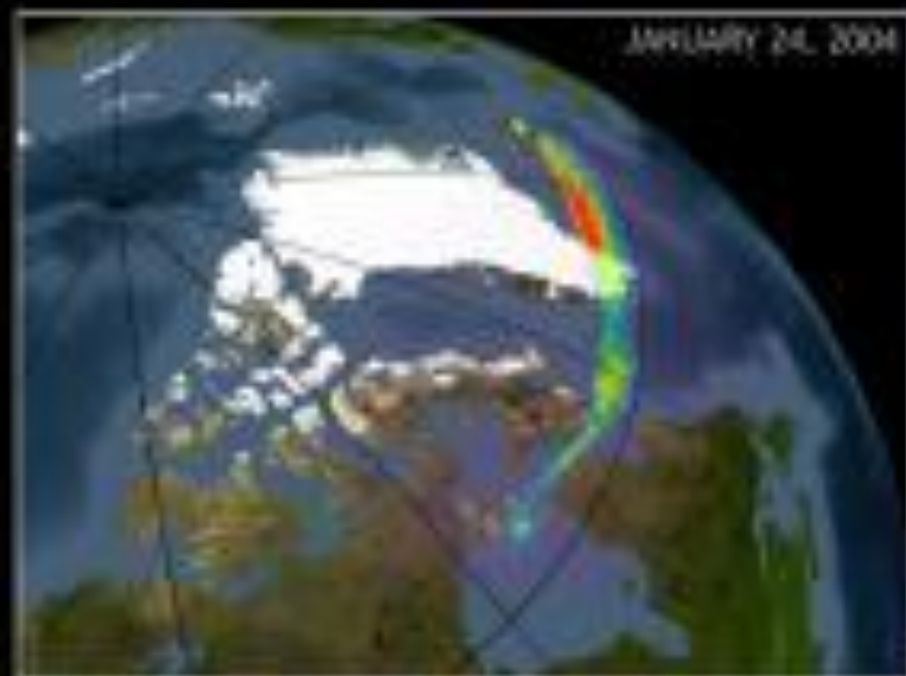






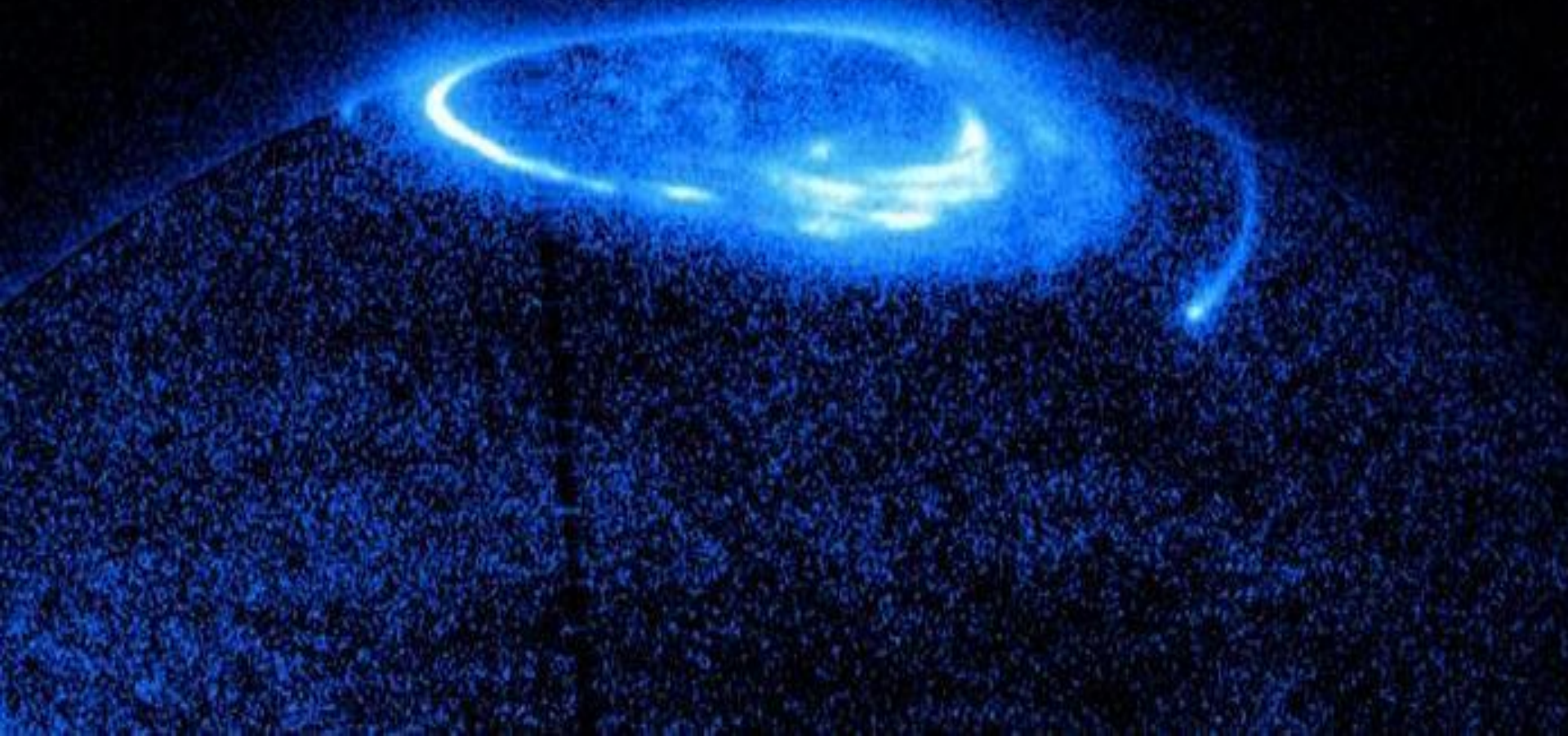




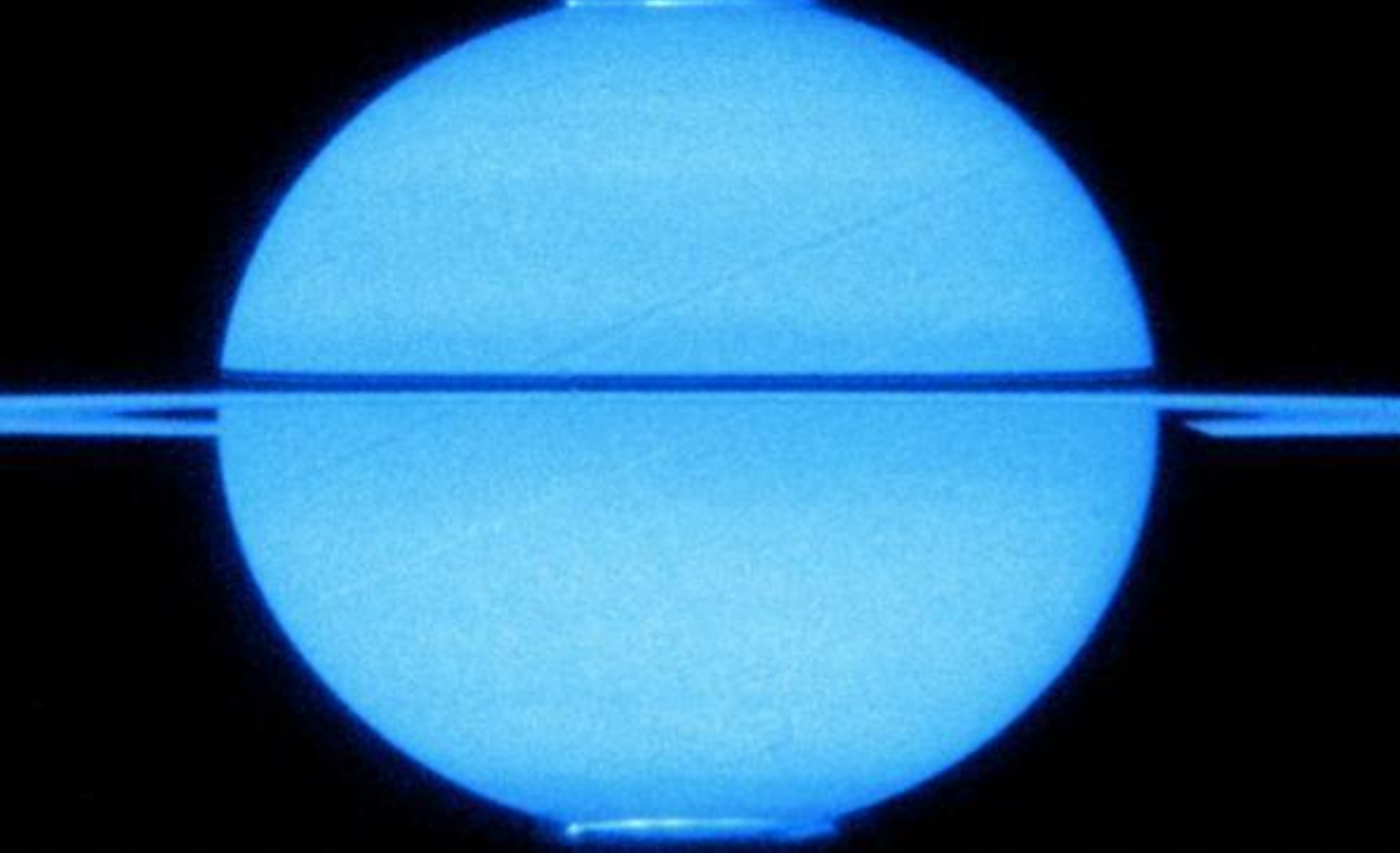




# Σέλας του Δία



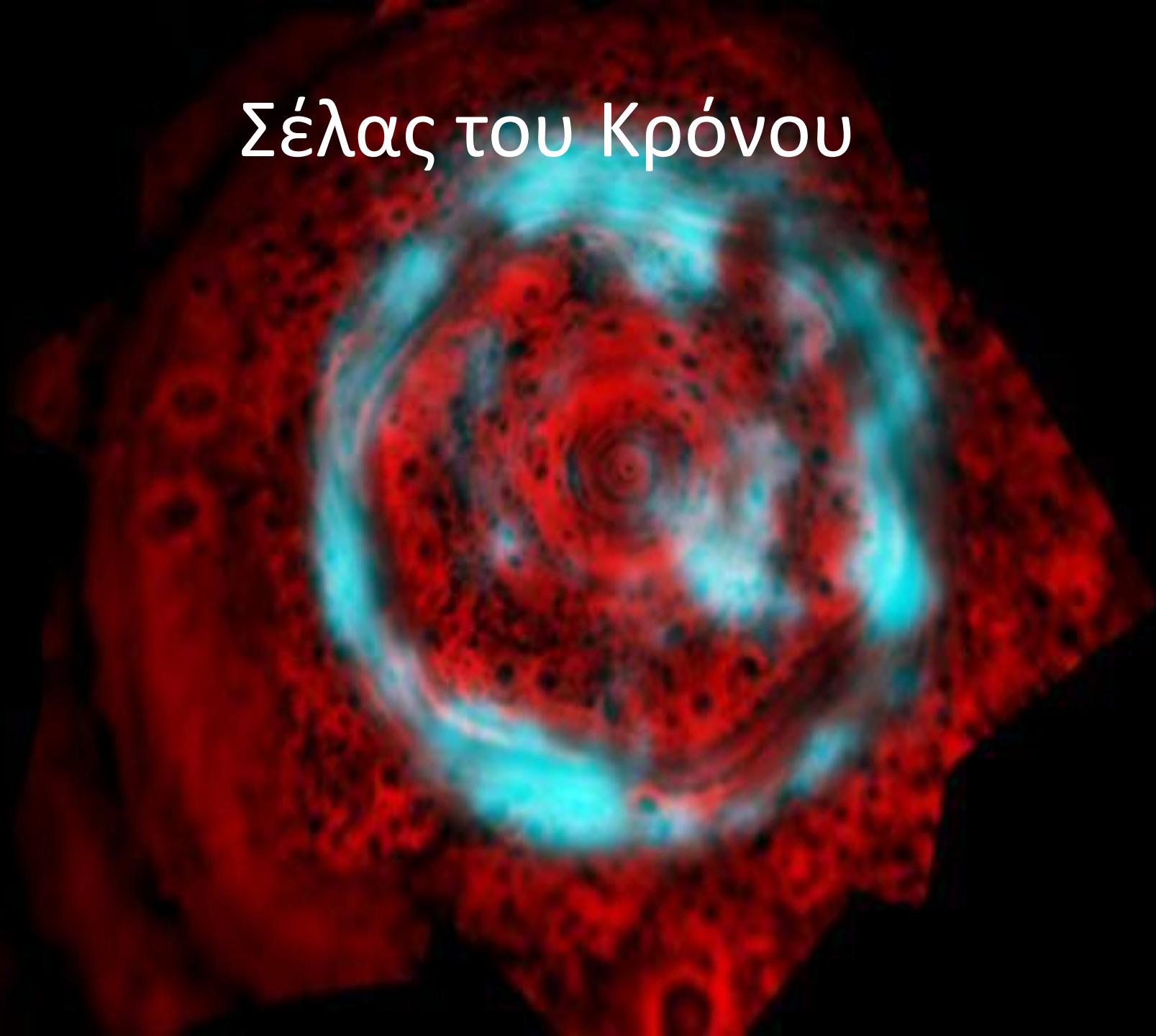
Σέλας του Κρόνου







# Σέλας του Κρόνου



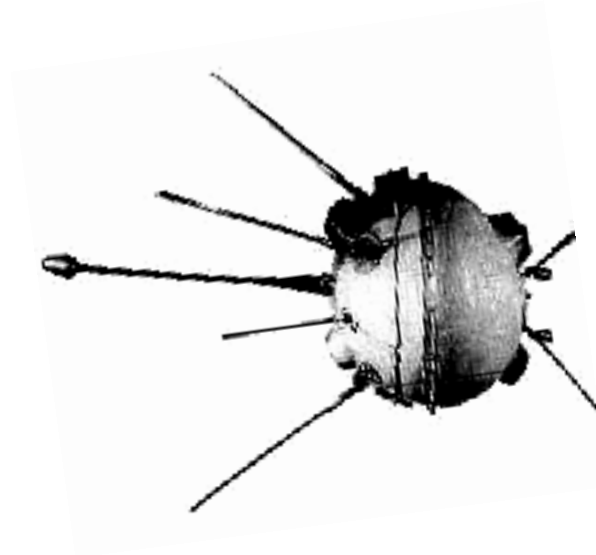


## Parker, 1958

- παρατηρήσεις ουρών ιόντων κομητών που είχε κάνει ο L. Biermann από το 1951, Z. Astrophysik, 29, 274-286, 1951
- Θεωρία E. N. Parker "Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields", Astrophysical Journal, 128, 664-676, 1958, βλέπε επίσης
- το εκλαϊκευτικό άρθρο: "The solar wind", Scientific American, April 1964, p66-76
- αξιοποίησε τις ιδέες του Μπιρμαν σχετικά με την συνεχή ροή πλήρως ιονισμένης ύλης (πλάσματος) από τον Ήλιο, υλικό που πηγάζει από το στέμμα το οποίο εκτονώνεται συνεχώς προς τα έξω

Πρώτες μετρήσεις ιόντων ηλιακού ανέμου  
**Konstantin Gringauz 1959**  
(Σοβιετική Ένωση)

- παγίδες ιόντων Λούνα 2 και 3



Luna



# Mariner II, 1962



- Mariner II πηγαίνοντας προς την Αφροδίτη ανίχνευσε τον ηλιακό άνεμο για 3 περιστροφές του Ηλίου (3 μήνες)
- Ταχέα επαναλαμβανόμενα Ρεύματα ηλιακού ανέμου



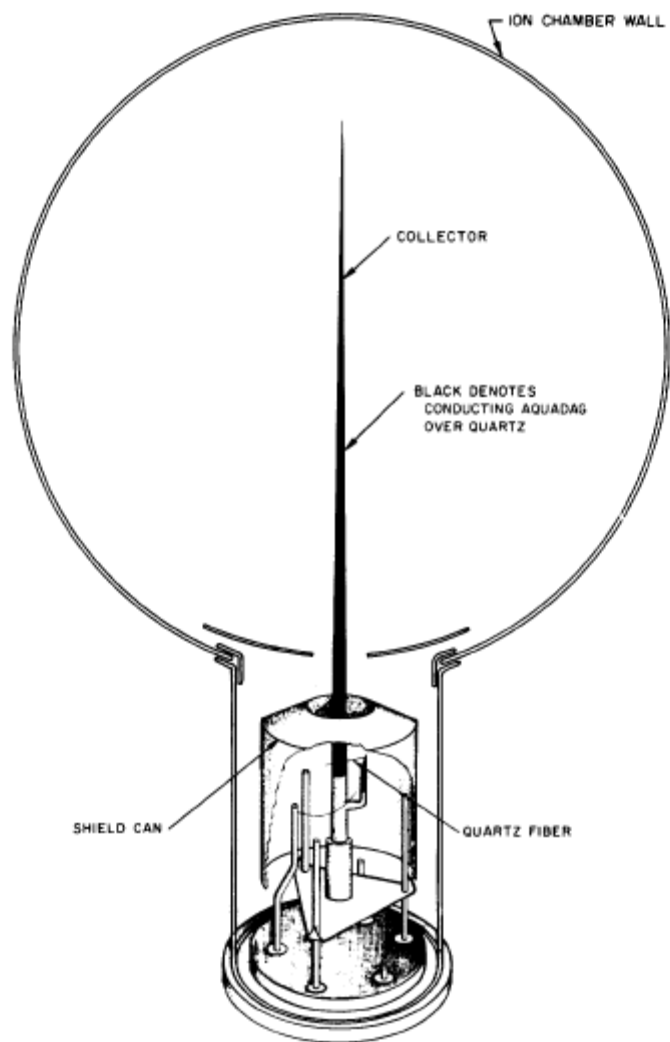


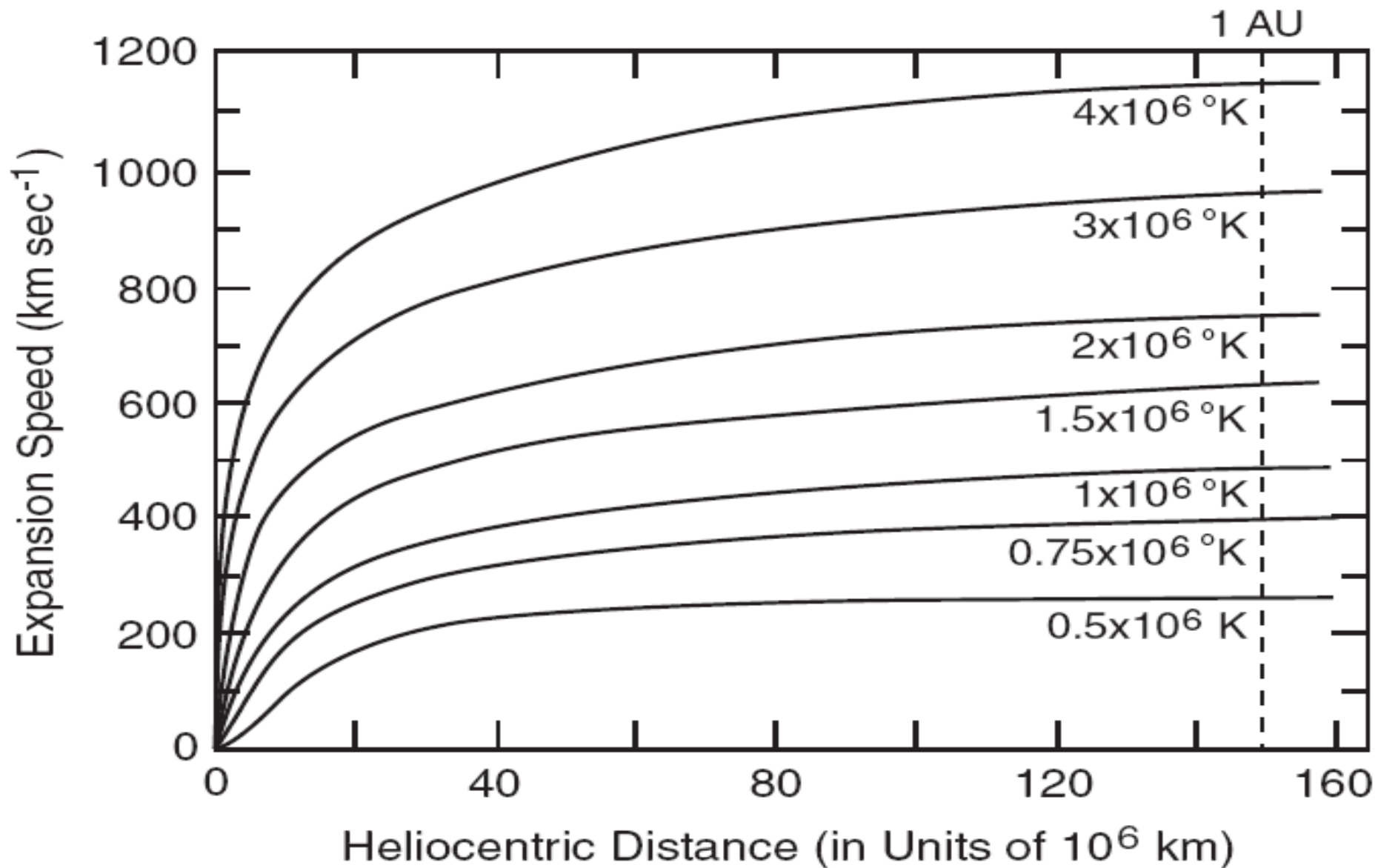
FIGURE 6-65.—Cross section of ionization chamber.

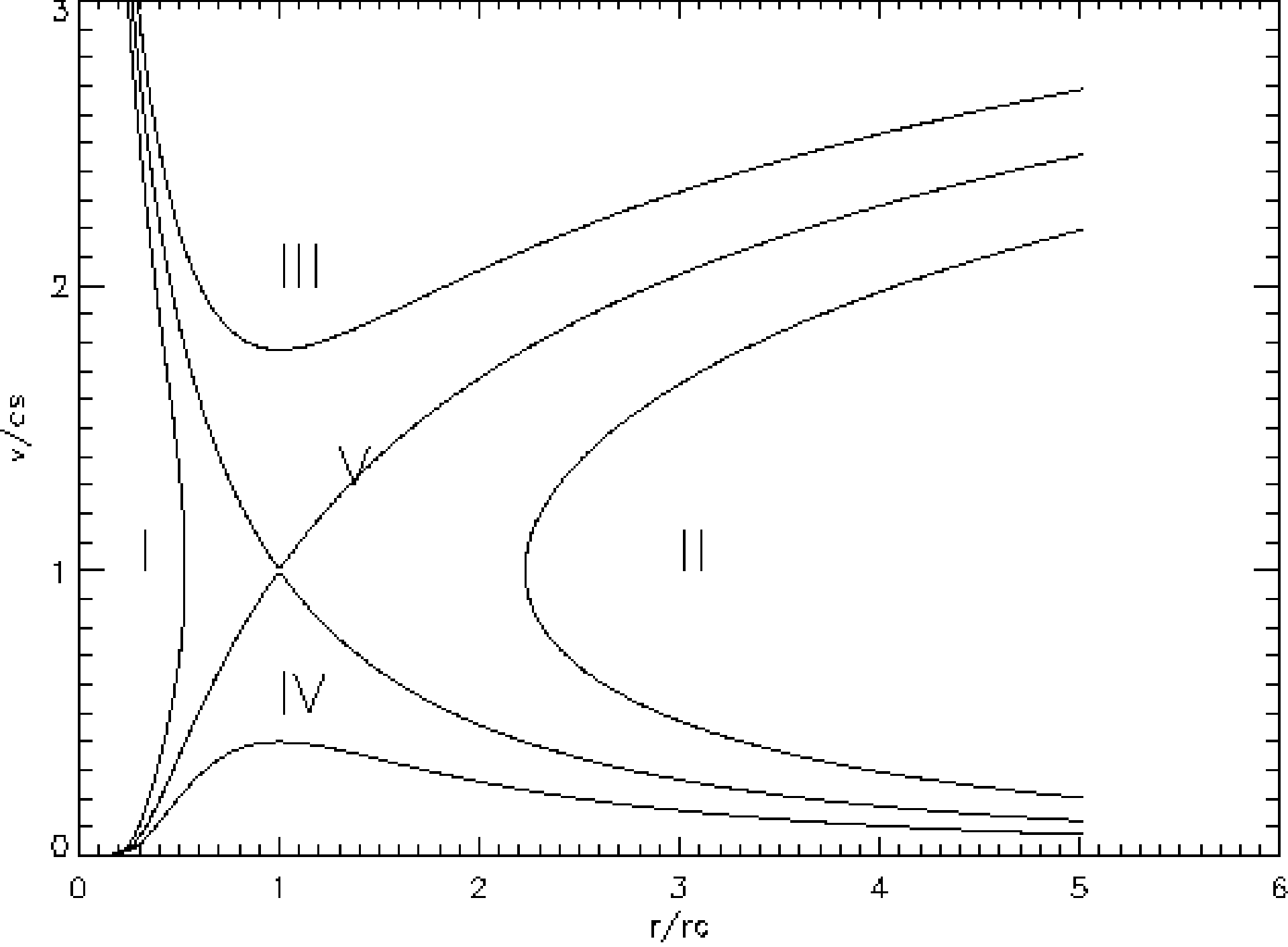


# Explorer VII 1959

- Γεωμαγνητικές καταιγίδες
- Παγιδευμένα σωμάτια στις ζώνες ακτινοβολίας
- Κοσμική ακτινοβολία







# Οι πρώτες μετρήσεις του διαπλανητικού διαστήματος που έδειξαν ότι υπάρχει ο ηλιακός άνεμος

Στις διαφάνειες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι πρώτες μετρήσεις και αποτελέσματα της μελέτης του διαπλανητικού διαστήματος που βασίζονται στα άρθρα των Ness, Norman F., and John M. Wilcox. "Interplanetary sector structure, 1962–1966." *Solar Physics* 2.3 (1967): 351-359.

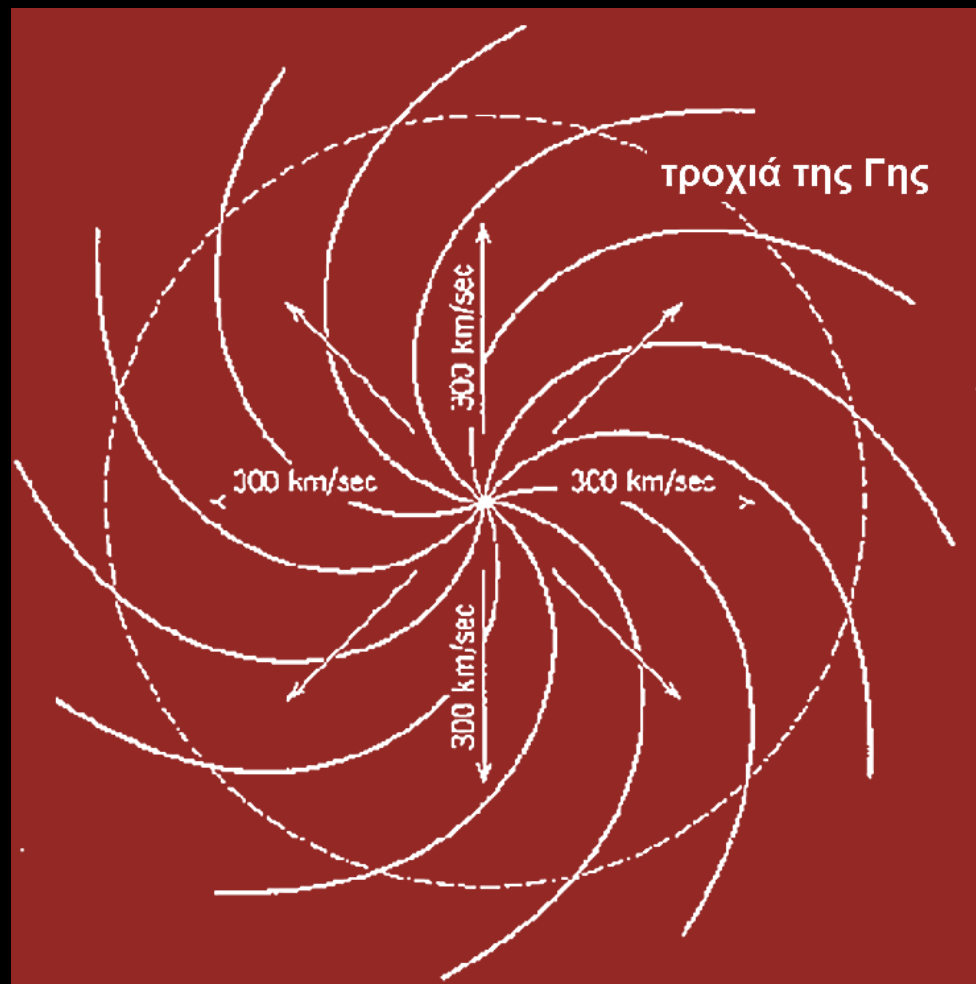
Neugebauer, Marcia, and Conway W. Snyder. "Mariner 2 observations of the solar wind: 1. Average properties." *Journal of Geophysical Research* 71.19 (1966): 4469-4484.

Βλ. επίσης

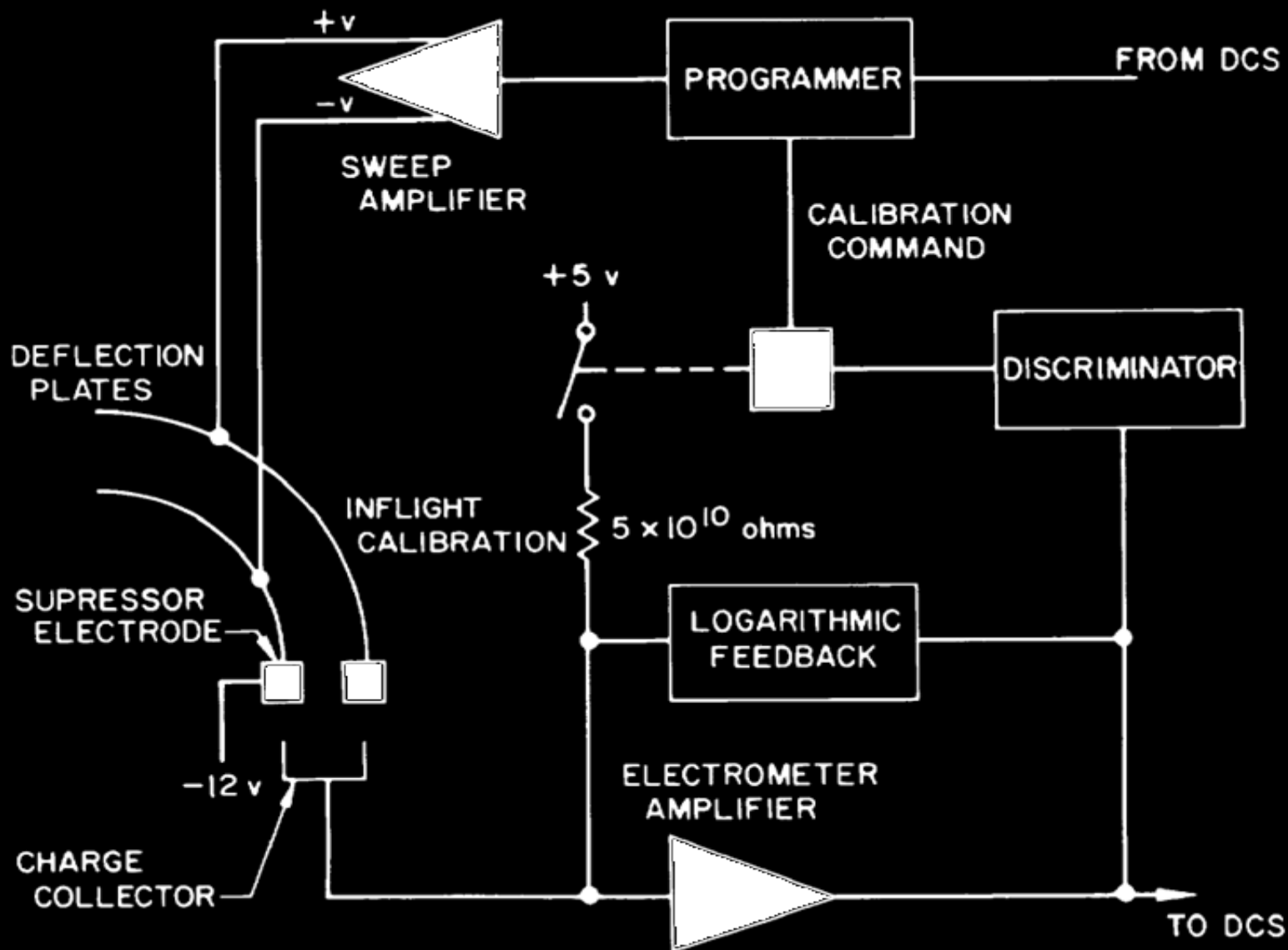
Wilcox, John M. "The interplanetary magnetic field. Solar origin and terrestrial effects." *Space Science Reviews* 8.2 (1968): 258-328.



Οι γραμμές ροής του Ηλιακού ανέμου είναι έλικες του Αρχιμήδη και συμπίπτουν με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου που είναι παγωμένο μέσα στο πλάσμα του ηλιακού ανέμου







Το πείραμα μέτρησης του πλάσματος του ηλιακού ανέμου στο διαστημόπλοιο Mariner II, του πρώτου διαστημοπλοίου που μέτρησε επαρκώς τον ηλιακό άνεμο



## Energy distribution of peak of solar plasma spectrum

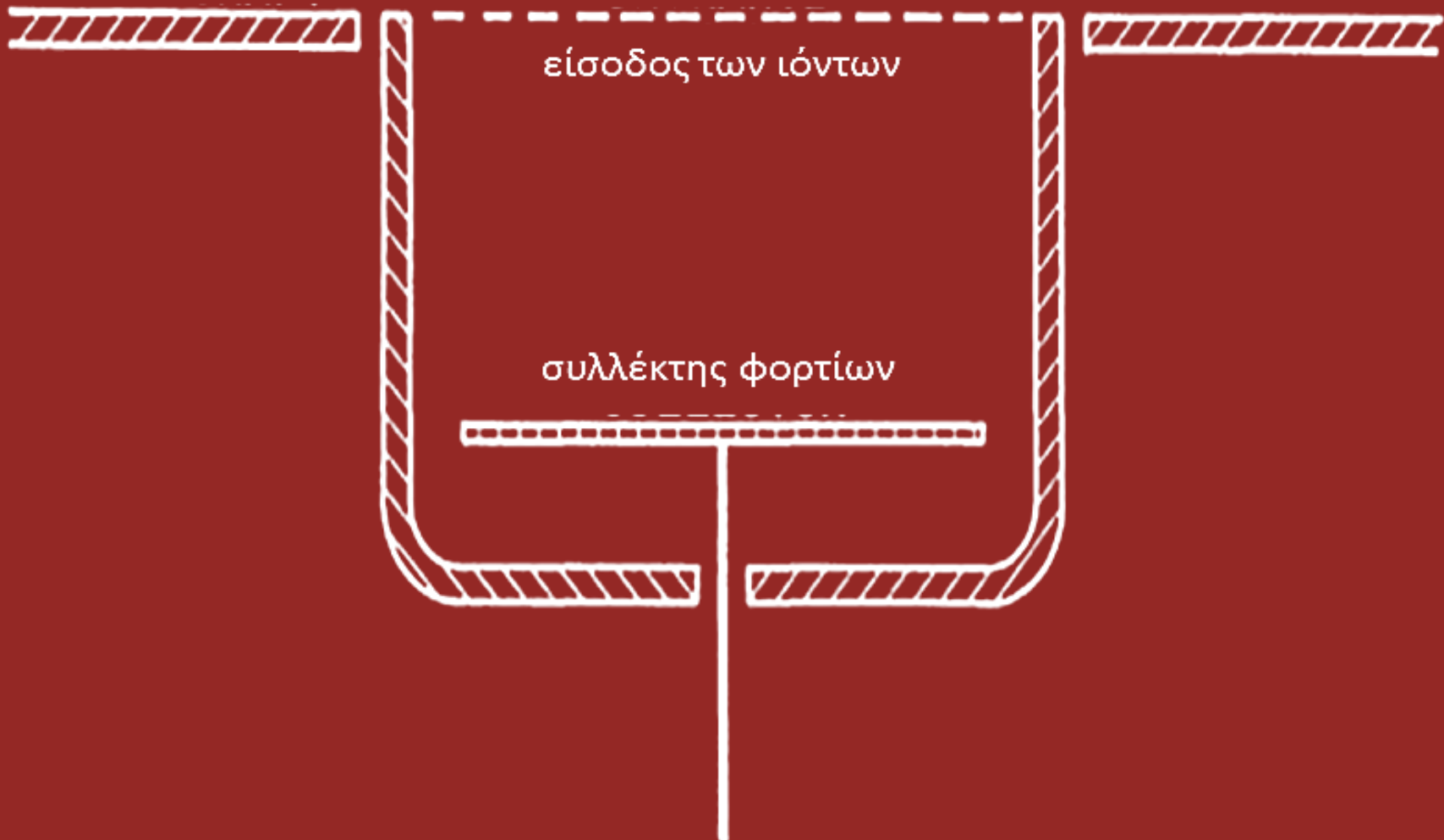
Channel number	Proton energy, ev	Proton velocity, km/sec	Percentage of time peak fell within channel
3	516	314	4.5
4	751	379	23.2
5	1124	464	27.9
6	1664	563	26.6
7	2476	690	16.9
8	3688	840	0.8

Τα κανάλια του πειράματος μέτρησης του πλάσματος του ηλιακού ανέμου στο διαστημόπλοιο Mariner II και η κατανομή ταχυτήτων των πρωτονίων του ηλιακού ανέμου. Από το πρώτο διαστημόπλοιο που μέτρησε επαρκώς τον ηλιακό άνεμο.

Πείραμα μέτρησης της κατανομής ταχυτήτων των ιόντων του ηλιακού ανέμου. Είναι ένα δοχείο με ένα συλλέκτη φορτίων στο οποίο αλλάζοντας την τάση και μετρώντας την ροή υπολογίζουμε την ταχύτητα,, και από την κατανομή ταχυτήτων την θερμοκρασία και την πυκνότητα. Διακρίνουμε την είσοδο των ιόντων που είναι στην ίδια επιφάνεια με του διαστημοπλοίου

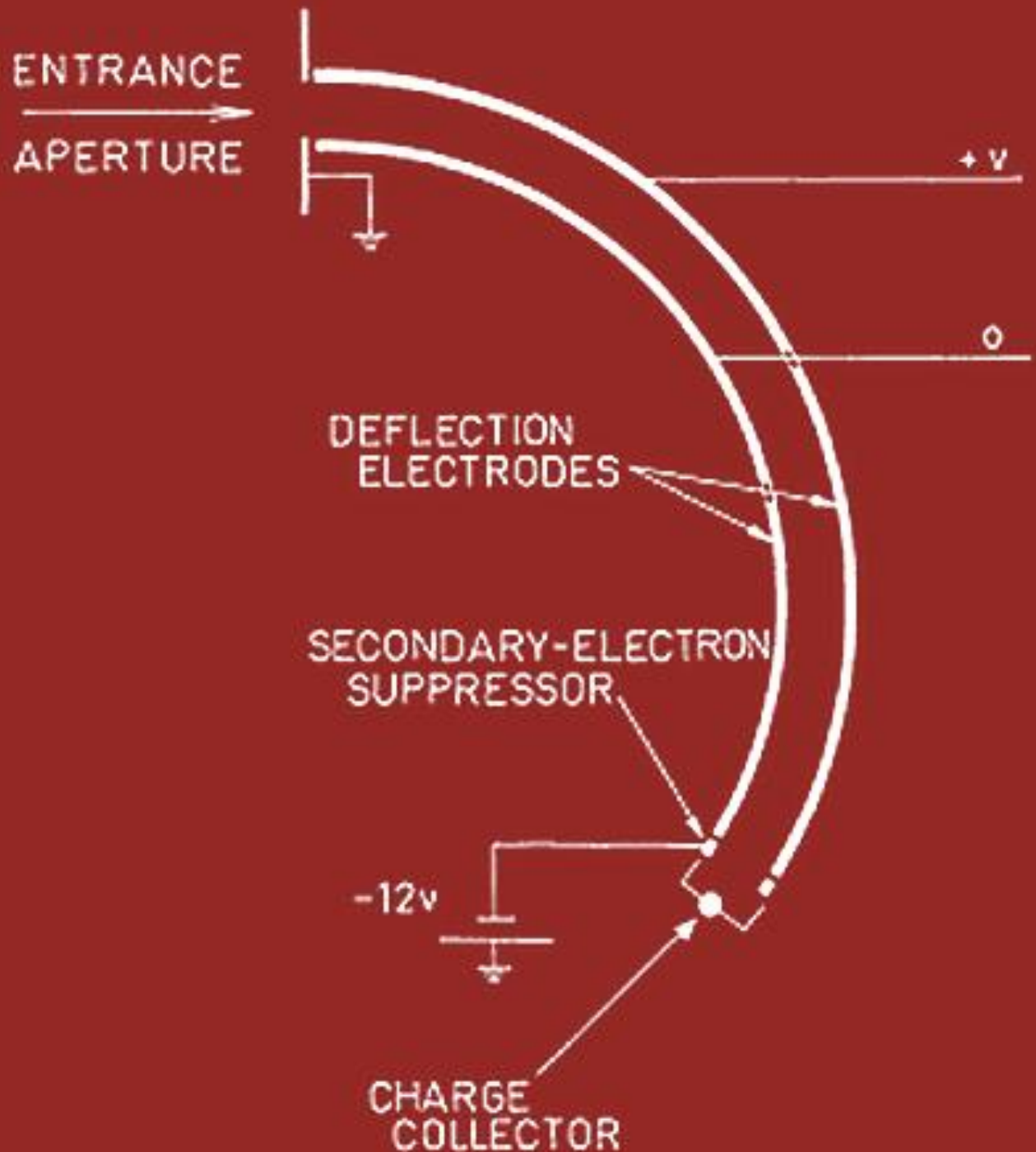
επιφάνεια διαστημοπλοίου

επιφάνεια διαστημοπλοίου



Ηλεκτροστατικός  
ημισφαιρικός  
αναλυτής  
Μετράει την ροή  
υπολογίζουμε την  
ταχύτητα,, και από  
την κατανομή  
ταχυτήτων την  
θερμοκρασία και την  
πυκνότητα.

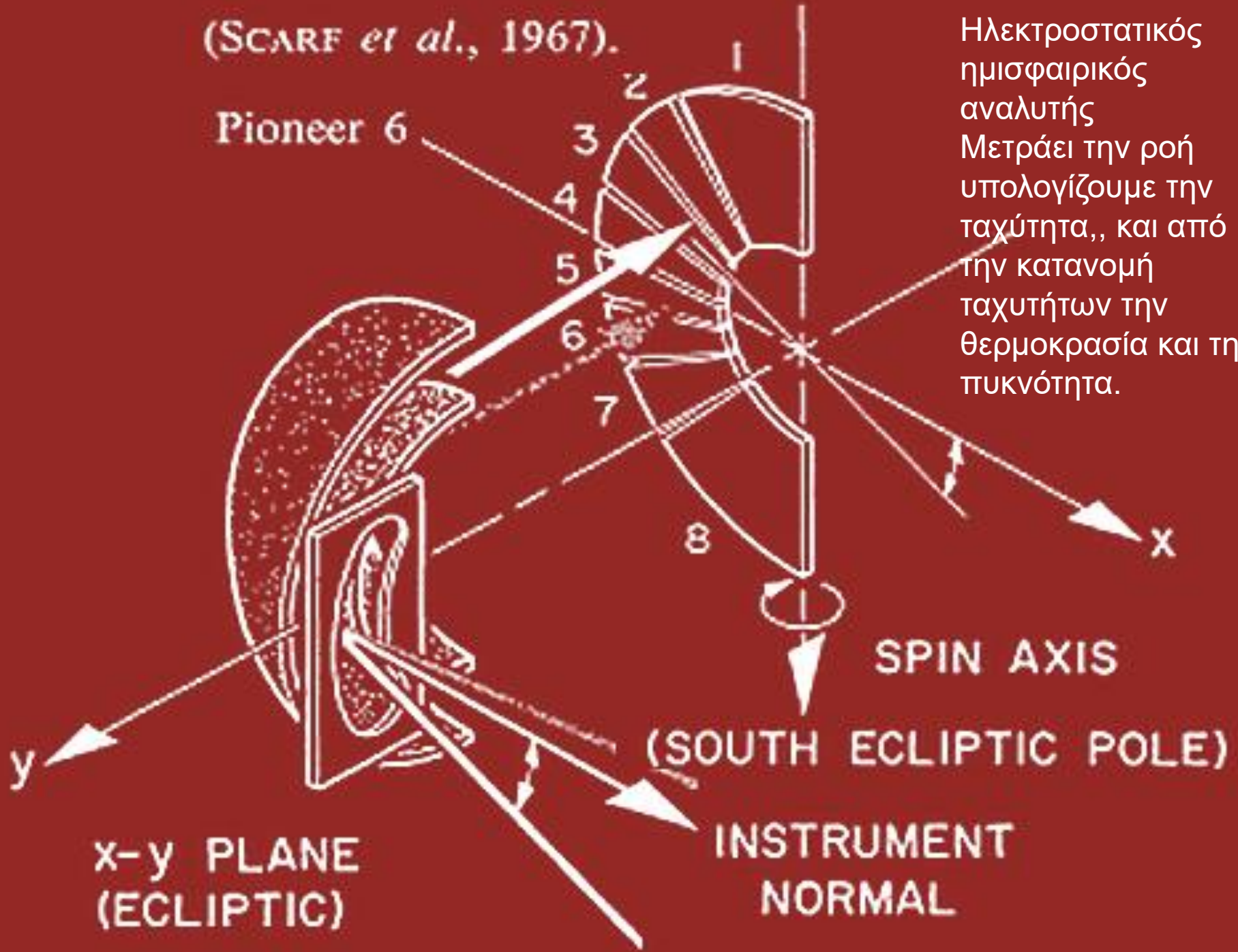
Neugebauer,  
Marcia, and Conway  
W. Snyder. "Mariner  
2 observations of  
the solar wind: 1.  
Average  
properties."  
*Journal of  
Geophysical  
Research* 71.19  
(1966): 4469-4484.





(SCARF *et al.*, 1967).

Pioneer 6

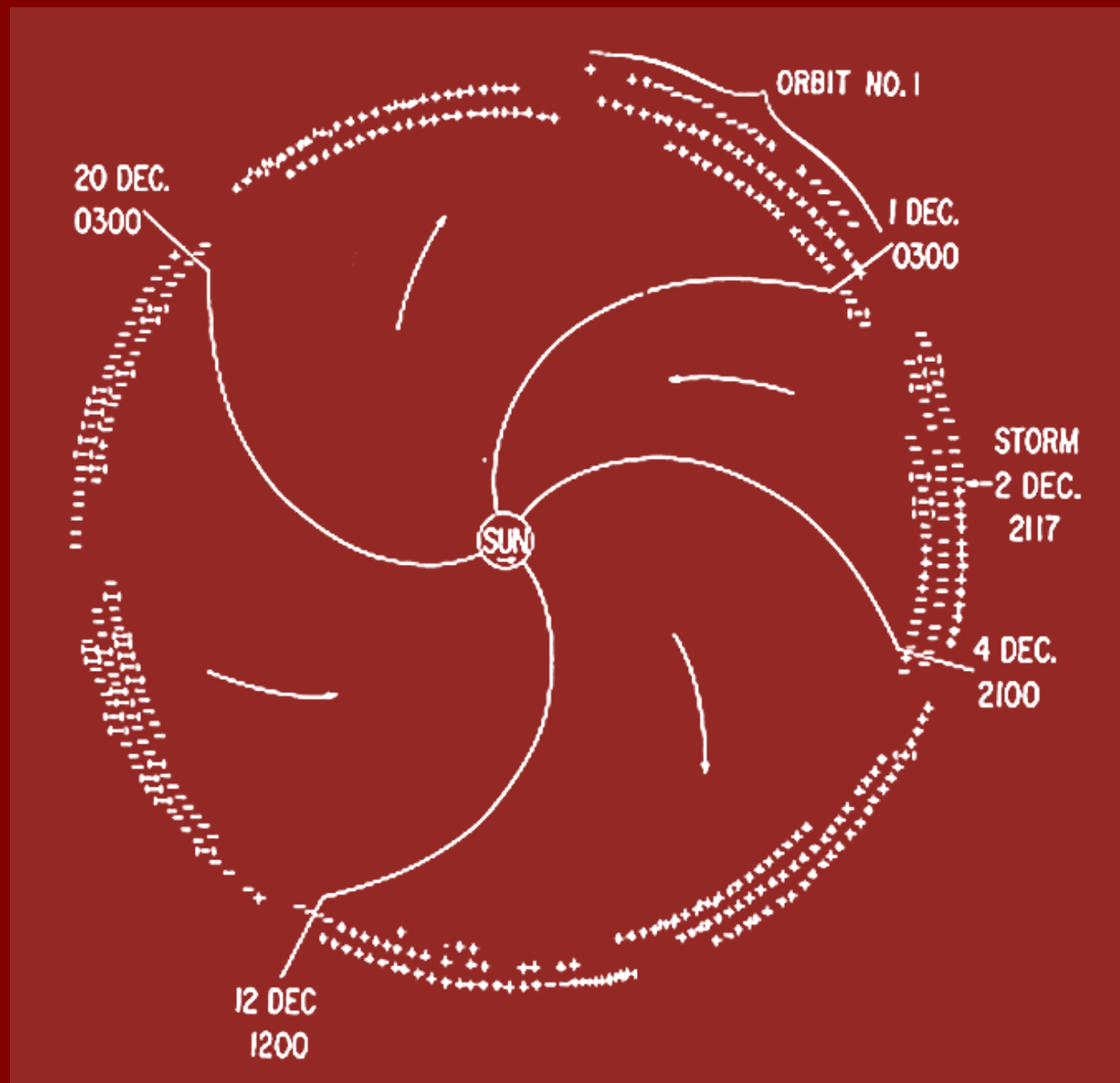


Ηλεκτροστατικός  
ημισφαιρικός  
αναλυτής  
Μετράει την ροή  
υπολογίζουμε την  
ταχύτητα,, και από  
την κατανομή  
ταχυτήτων την  
θερμοκρασία και την  
πυκνότητα.

x-y PLANE  
(ECLIPTIC)

SPIN AXIS  
(SOUTH ECLIPTIC POLE)  
INSTRUMENT  
NORMAL

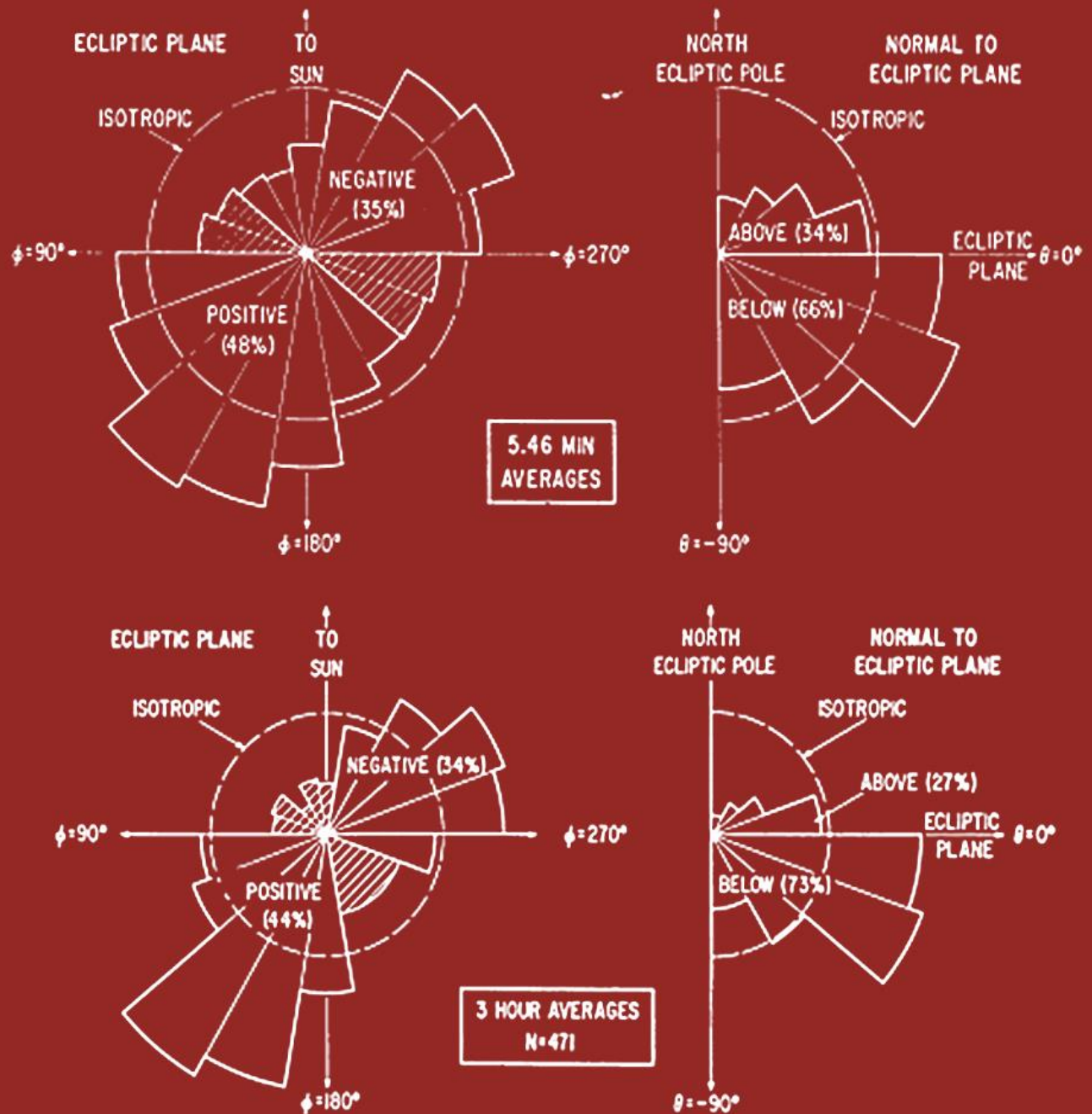
Το πείραμα μέτρησης του μαγνητικού πεδίου του ηλιακού ανέμου από το διαστημόπλοιο Mariner II έδειξε ότι το διαπλανητικό διάστημα συνήθως διαιρείται σε τομείς με σταθερής κατεύθυνσης μαγνητικό πεδίο



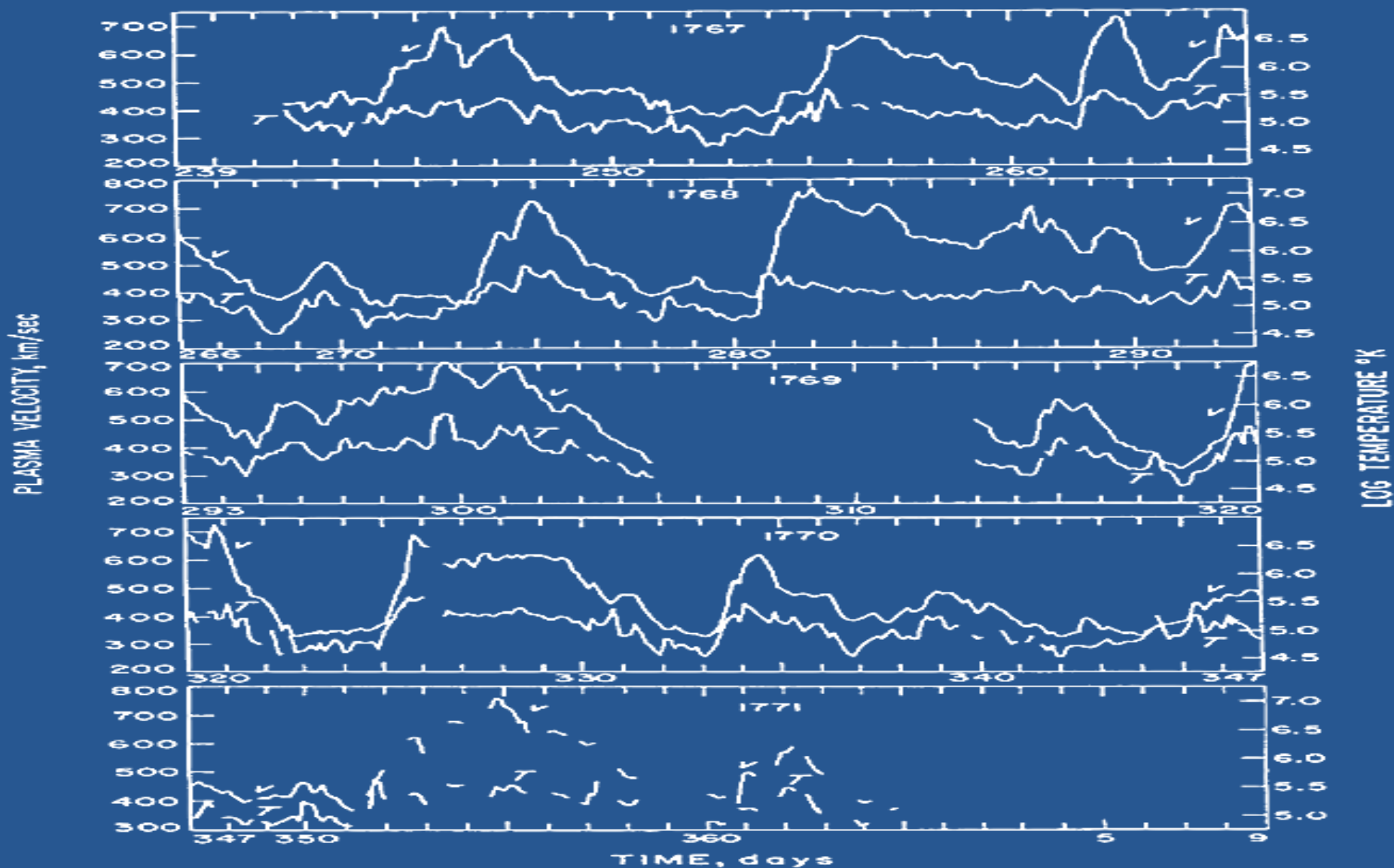
Από τα άρθρα των Ness, Norman F., and John M. Wilcox. "Interplanetary sector structure, 1962–1966." *Solar Physics* 2.3 (1967): 351-359.

Neugebauer, Marcia, and Conway W. Snyder. "Mariner 2 observations of the solar wind: 1. Average properties." *Journal of Geophysical Research* 71.19 (1966): 4469-4484.

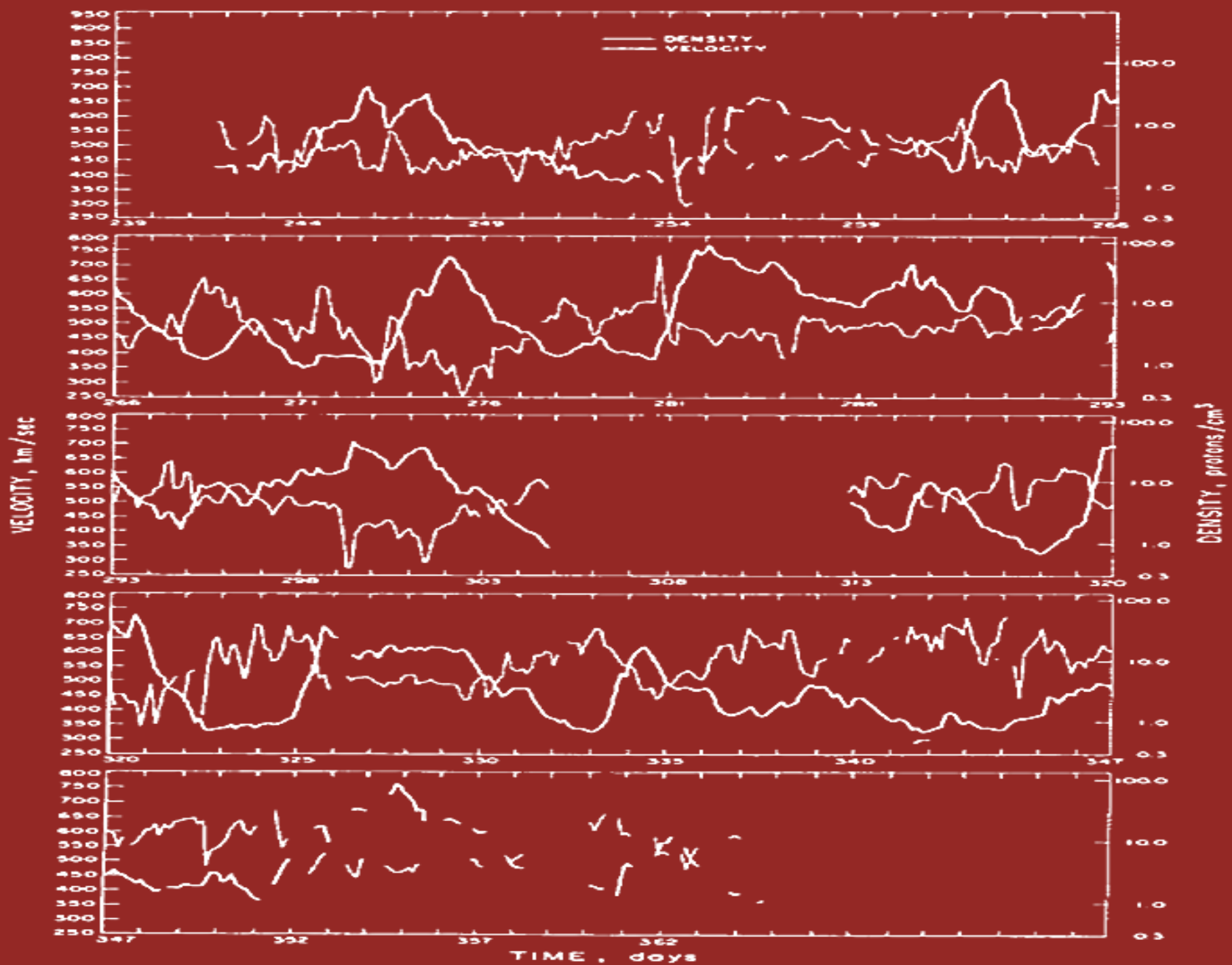
Βλ. επίσης Wilcox, John M. "The interplanetary magnetic field. Solar origin and terrestrial effects." *Space Science Reviews* 8.2 (1968): 258-328.

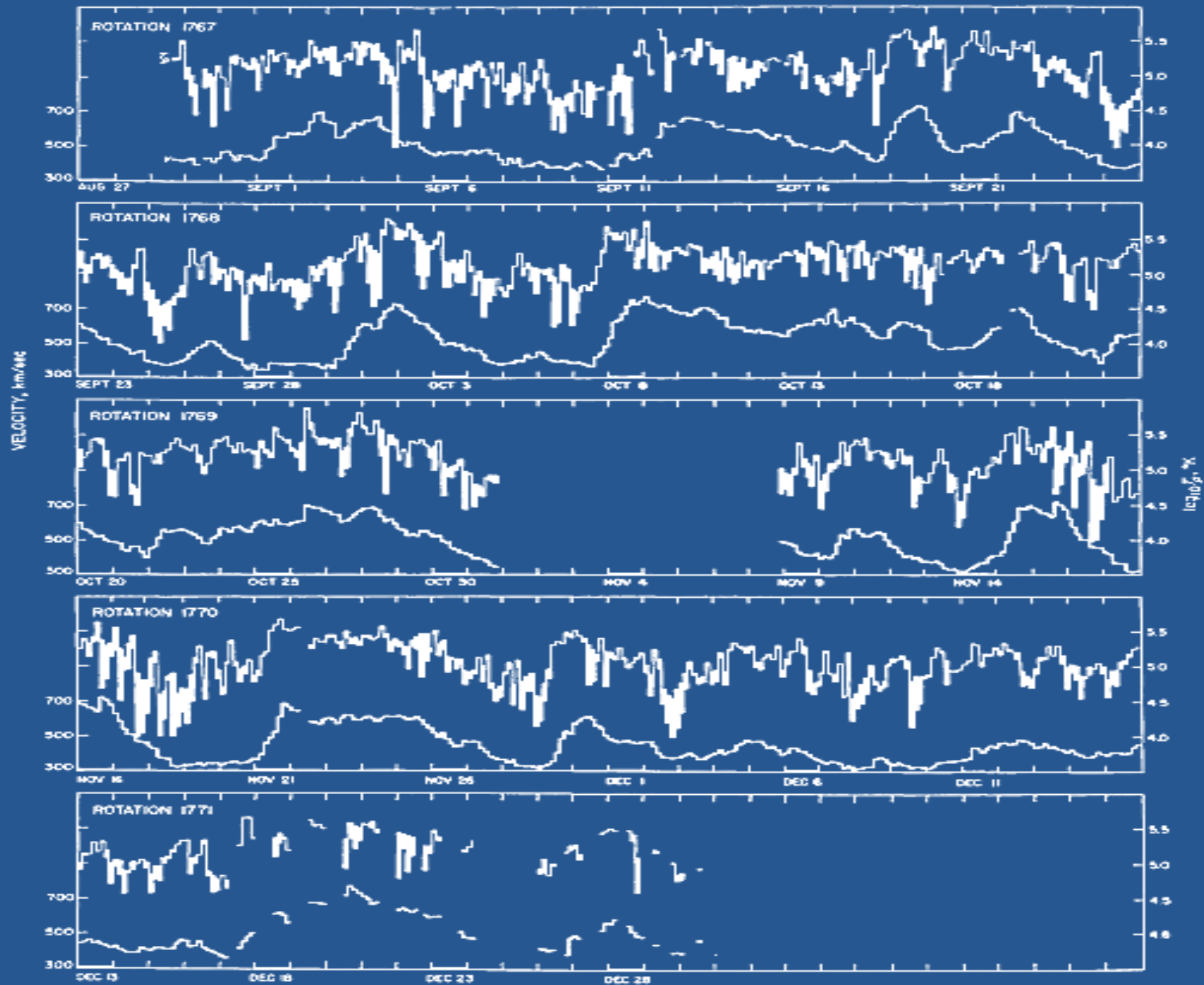






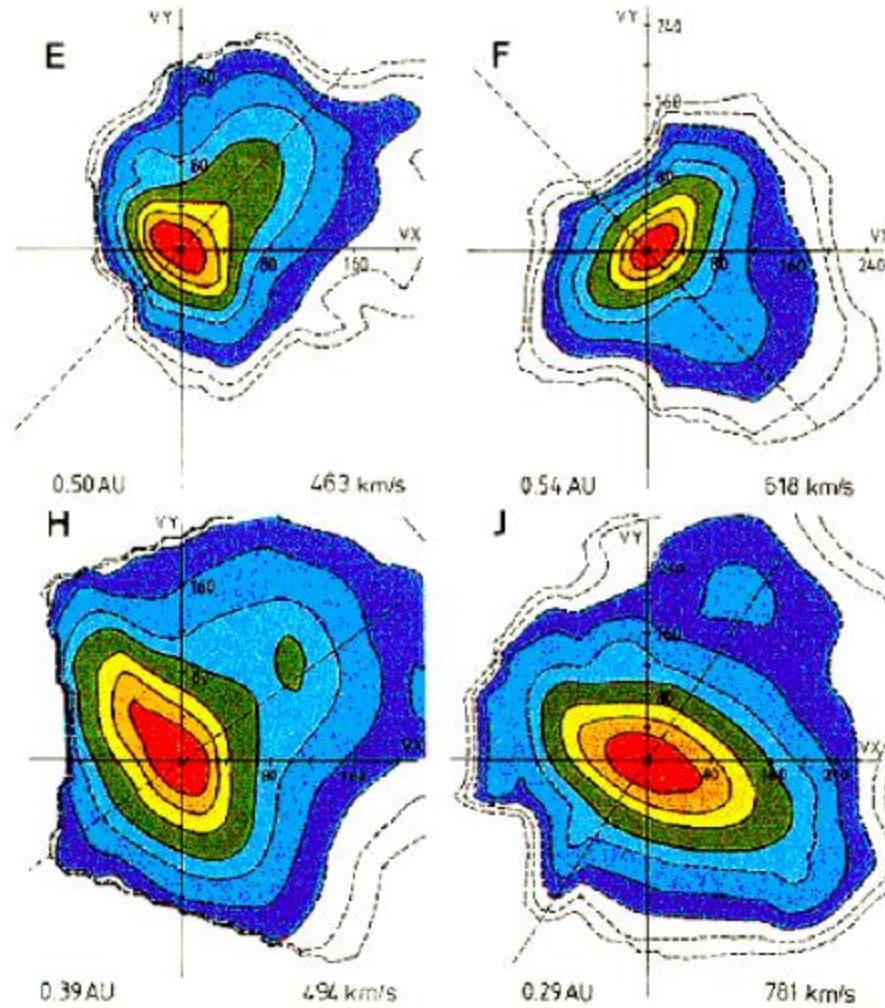
Τα πειράματα πλάσματος και μαγνητικού πεδίου του ηλιακού ανέμου, όπως και της μέτρησης της κοσμικής ακτινοβολίας έδειξαν ότι υπάρχουν επαναλαμβανόμενα ρεύματα ταχέως ηλιακού ανέμου που δημιουργούν την δομή σε τομείς του διαπλανητικού διαστήματος . Συγκρίνετε αυτό το διάγραμμα με τα επόμενα. Διαπιστώστε πού έχουν μέγιστη ταχύτητα, πυκνότητα, πού θερμοκρασία και πού μέγιστο μαγνητικό πεδίο τα ρεύματα του ηλιακού ανέμου.



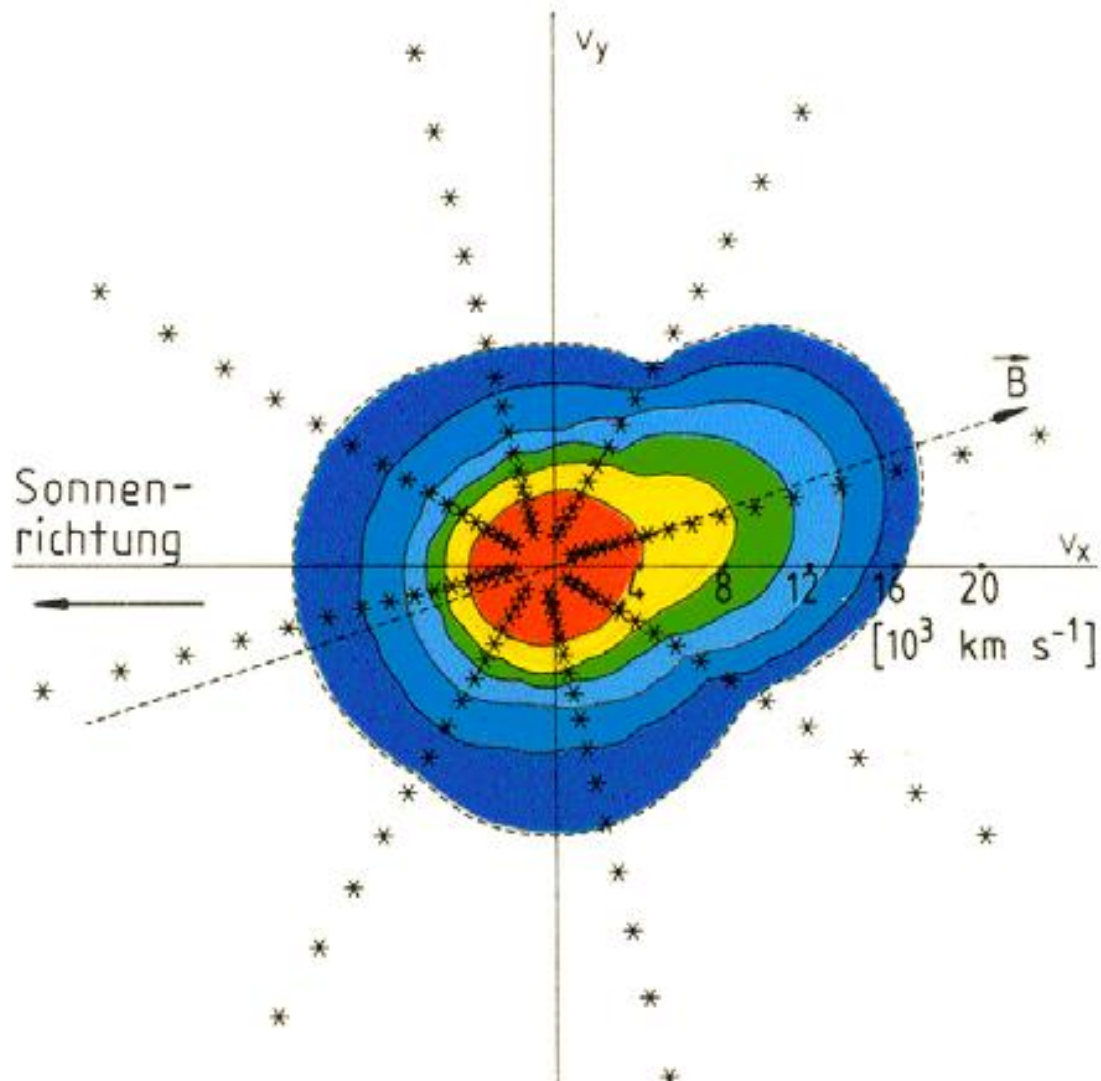




# Helios

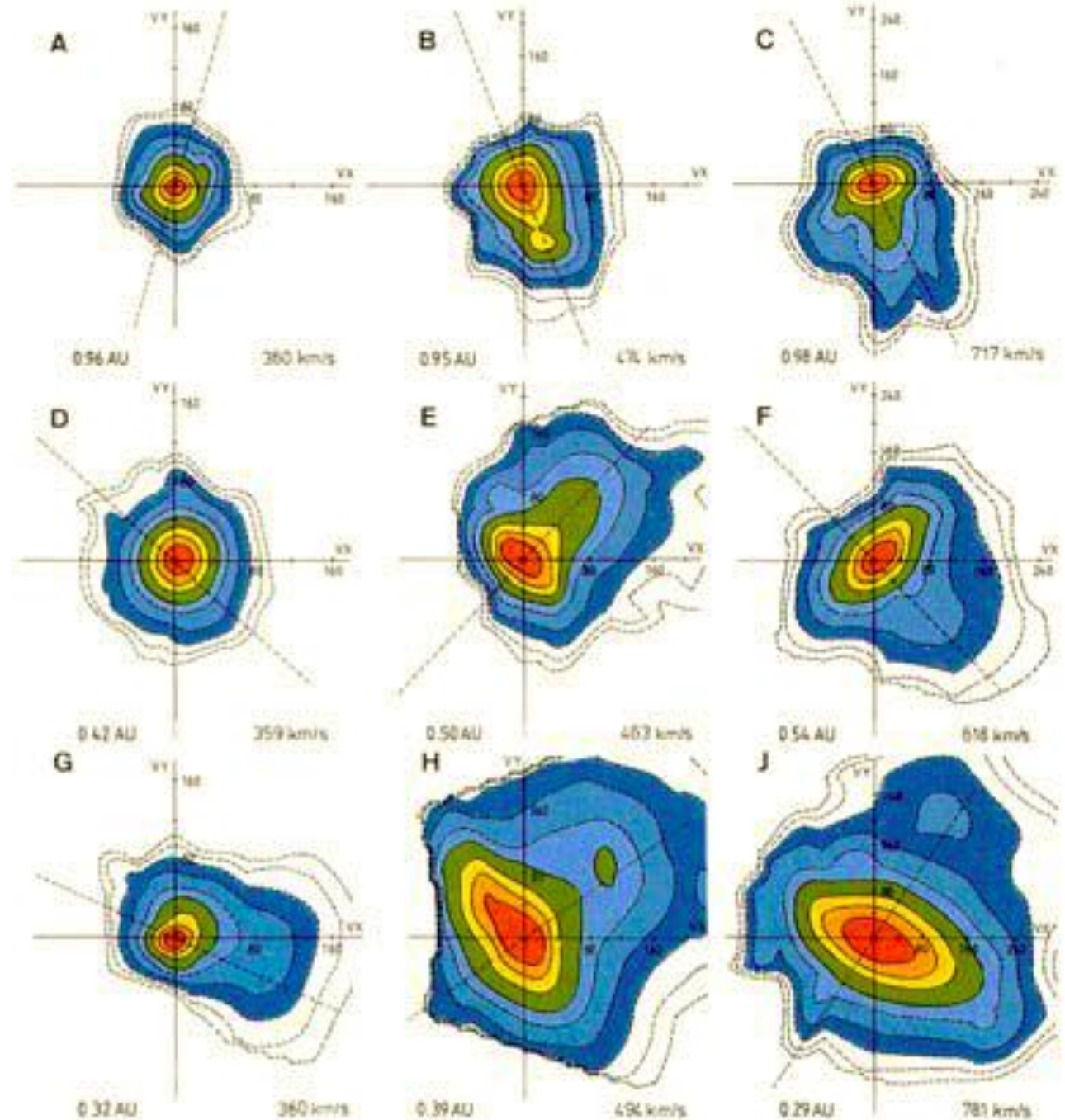


**bi-Maxwellian + beam**



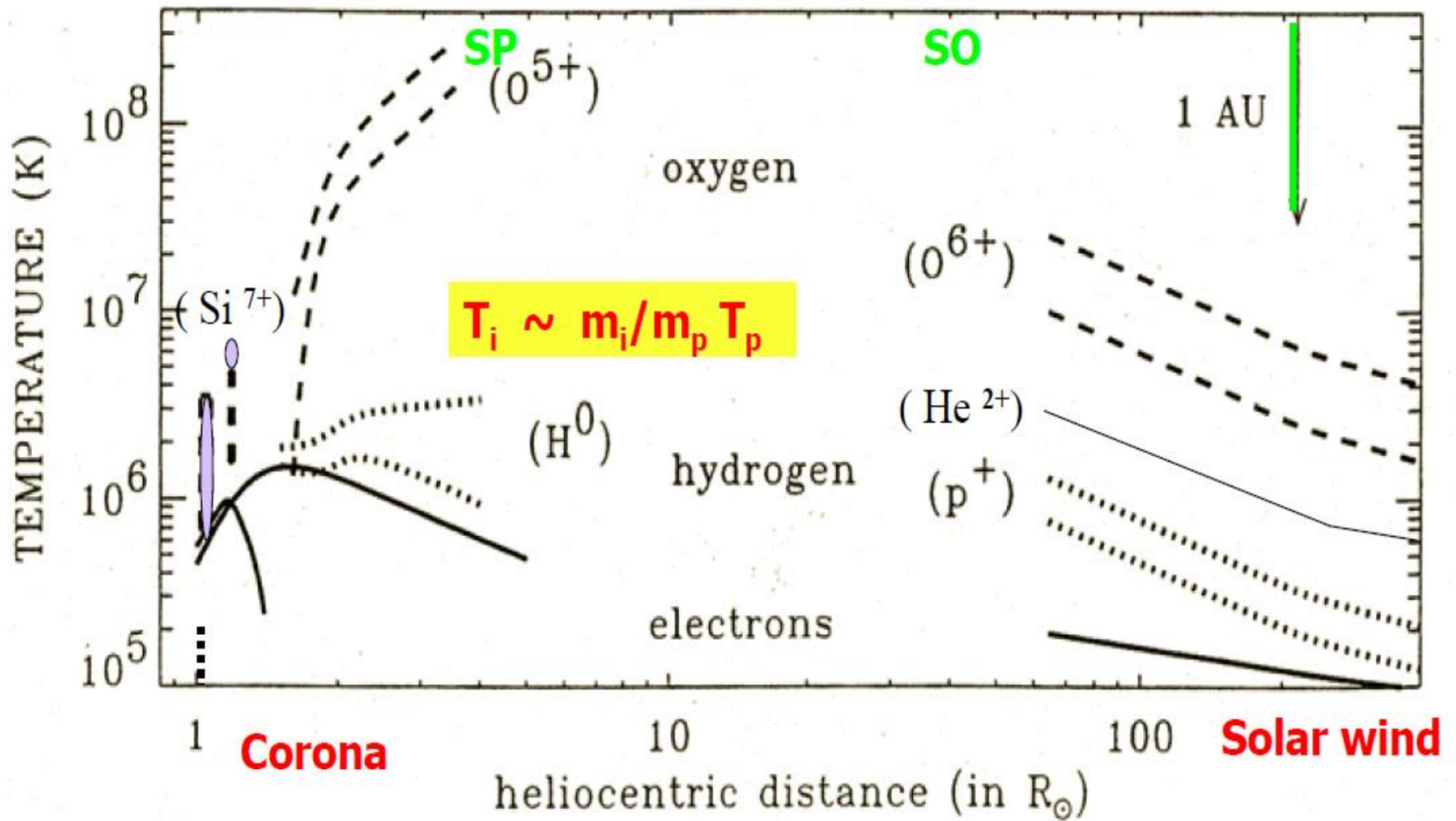
Pilipp et al., JGR, 92, 1075, 1987

- Temperature anisotropies
- Ion beams
- Plasma instabilities
- Interplanetary heating



Marsch et al., JGR,  
87, 52, 1982



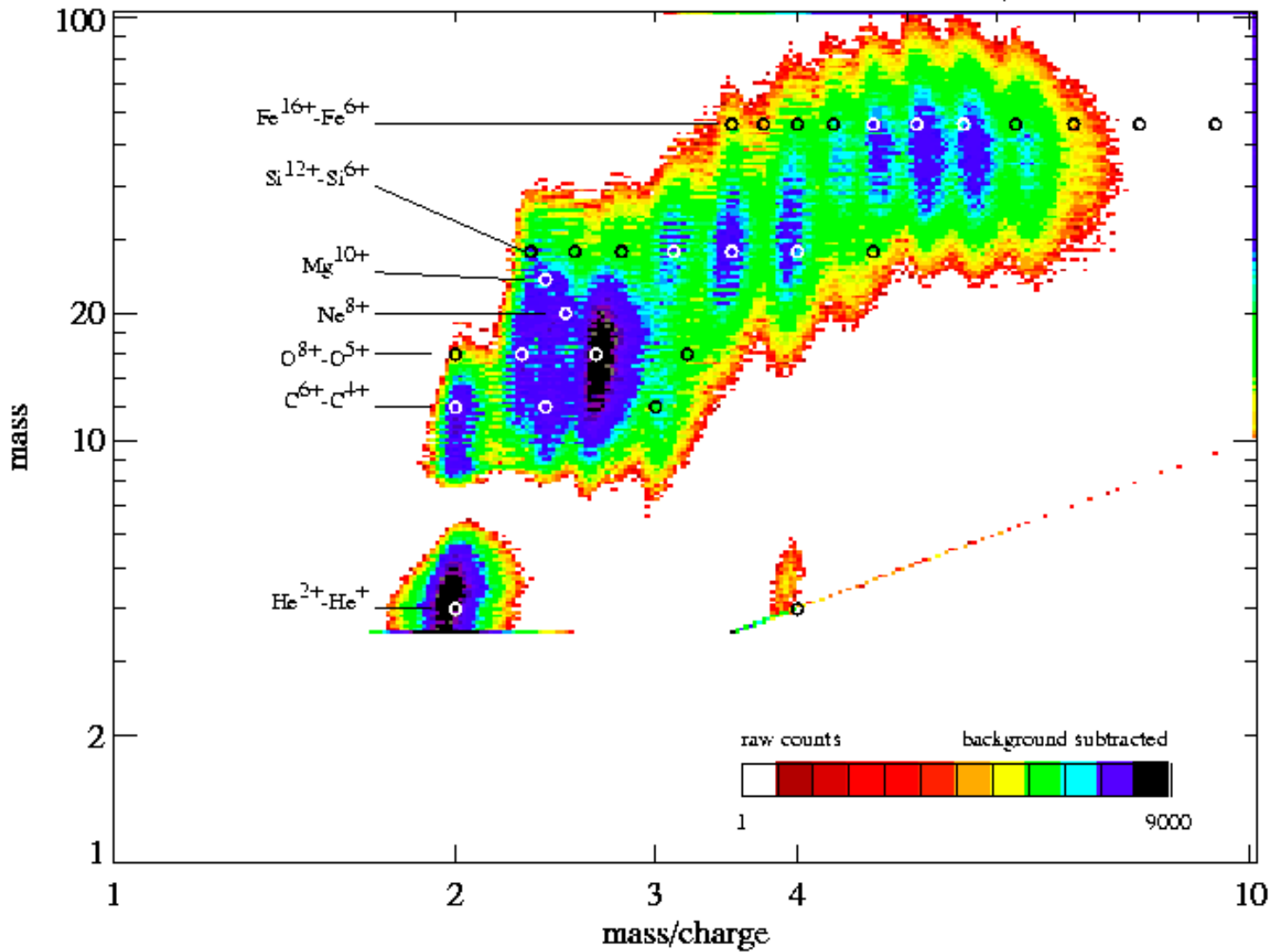


Cranmer et al., Ap.J., 2000  
 Marsch, 1991

# Χημική σύσταση ηλιακού ανέμου

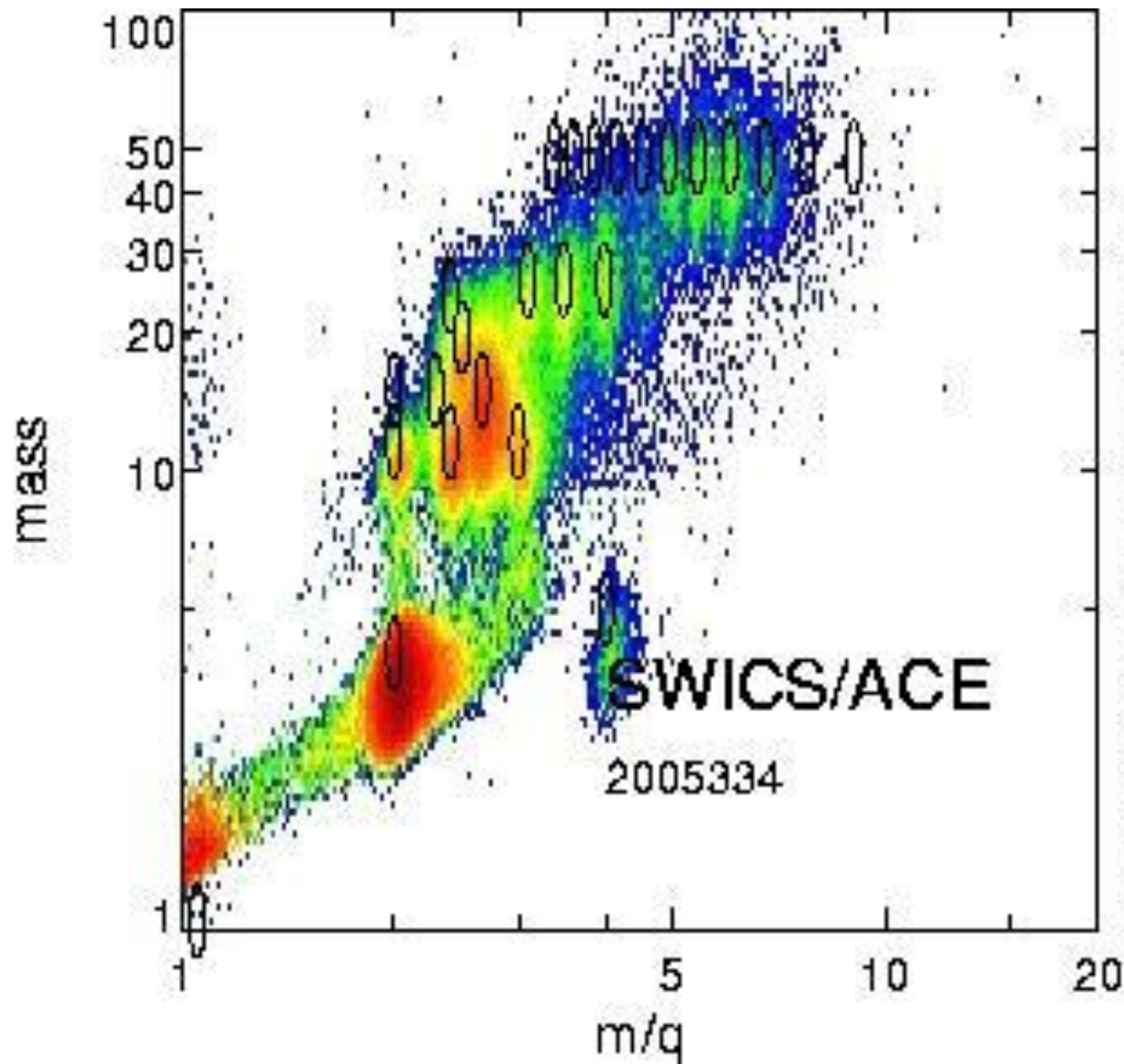
SOHO/CELLAS/CTOF

raw counts - PHA, DAY 96 150-199



(c) 1997 UoB/het (97056171 4.log/temp.ps)

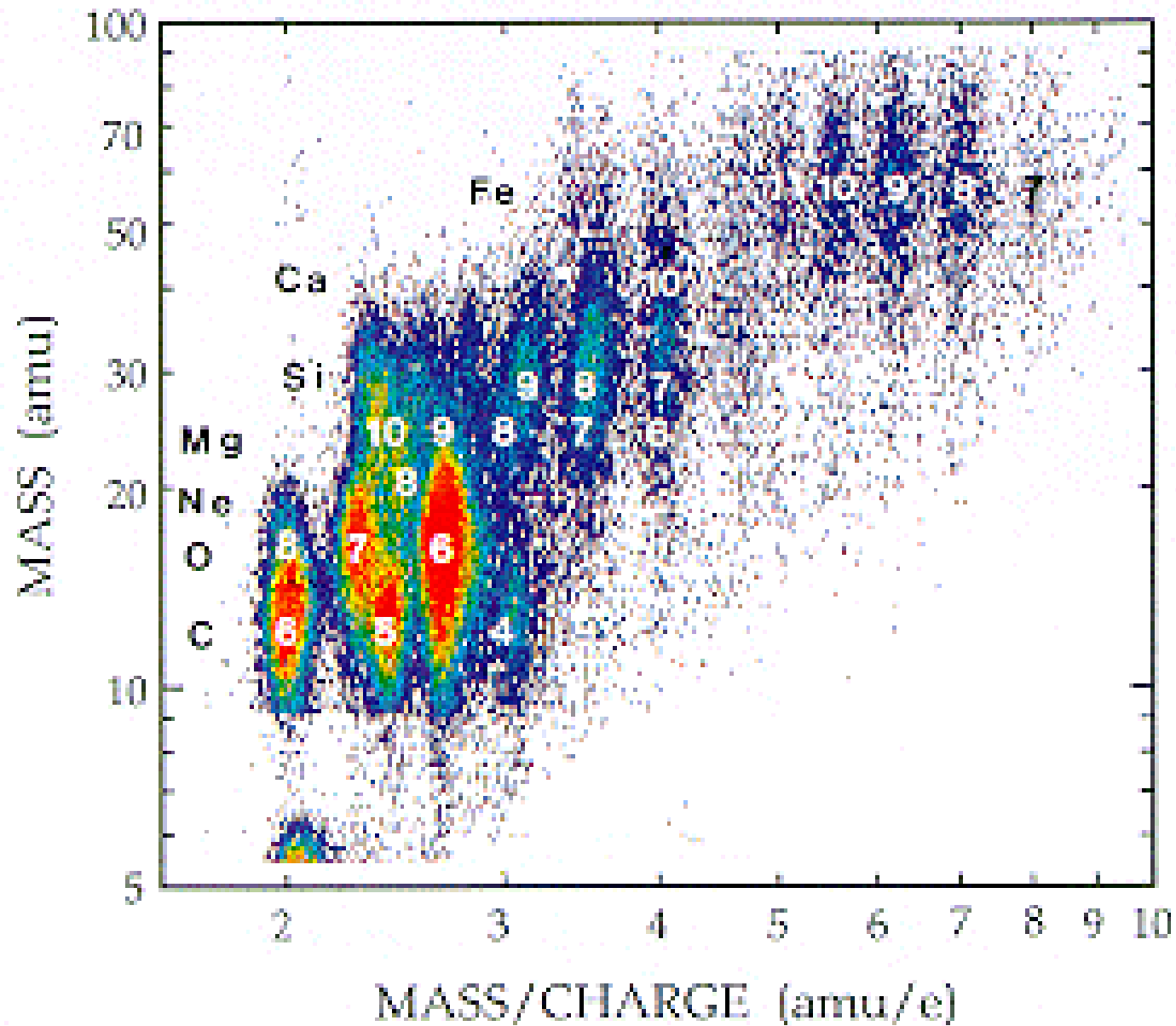




ngsl-0003334\_fig (c) 1999 Gilma Betti (betti@umich.edu)

Ulysses/SWICS

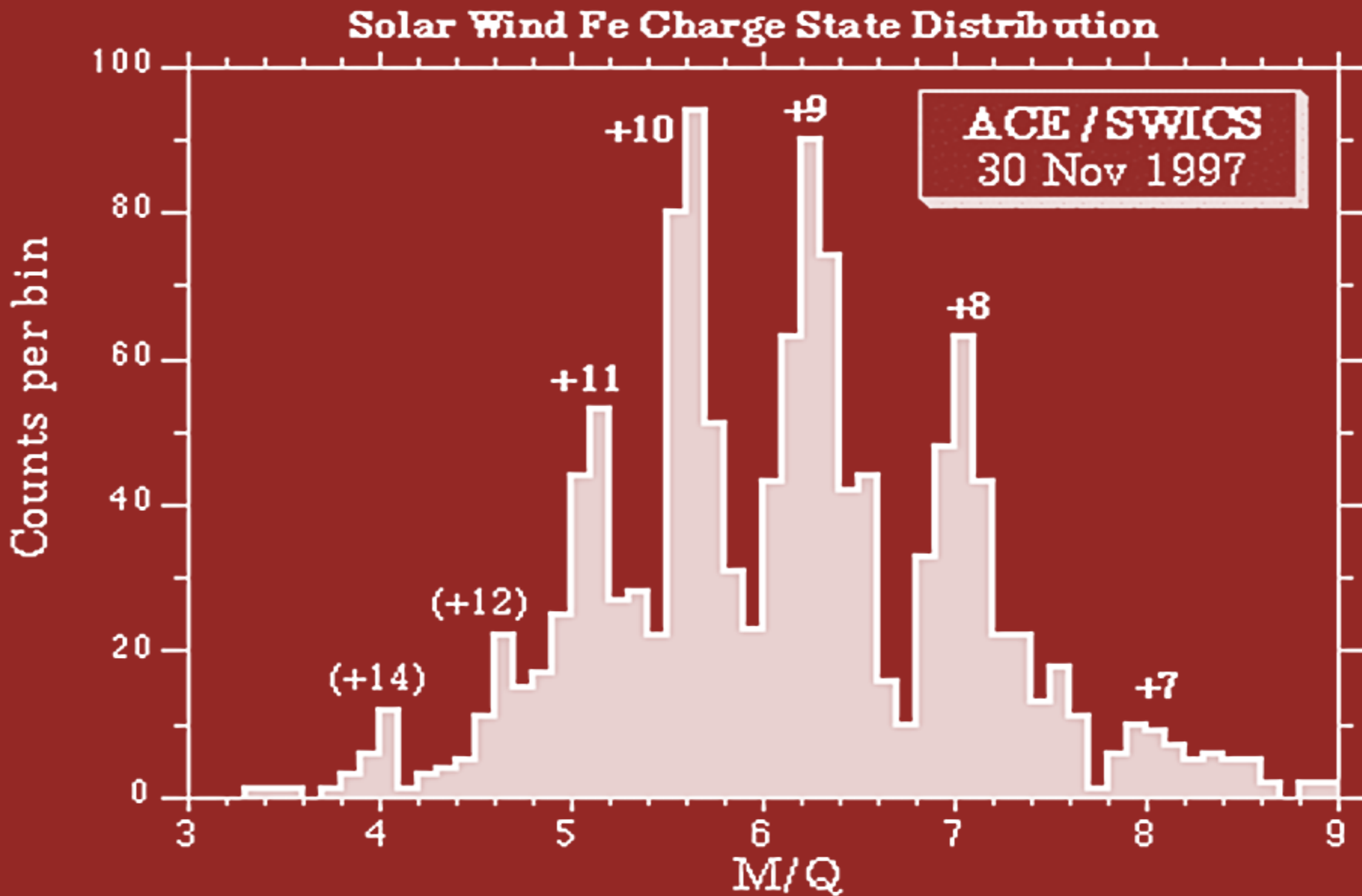
Days 342-351

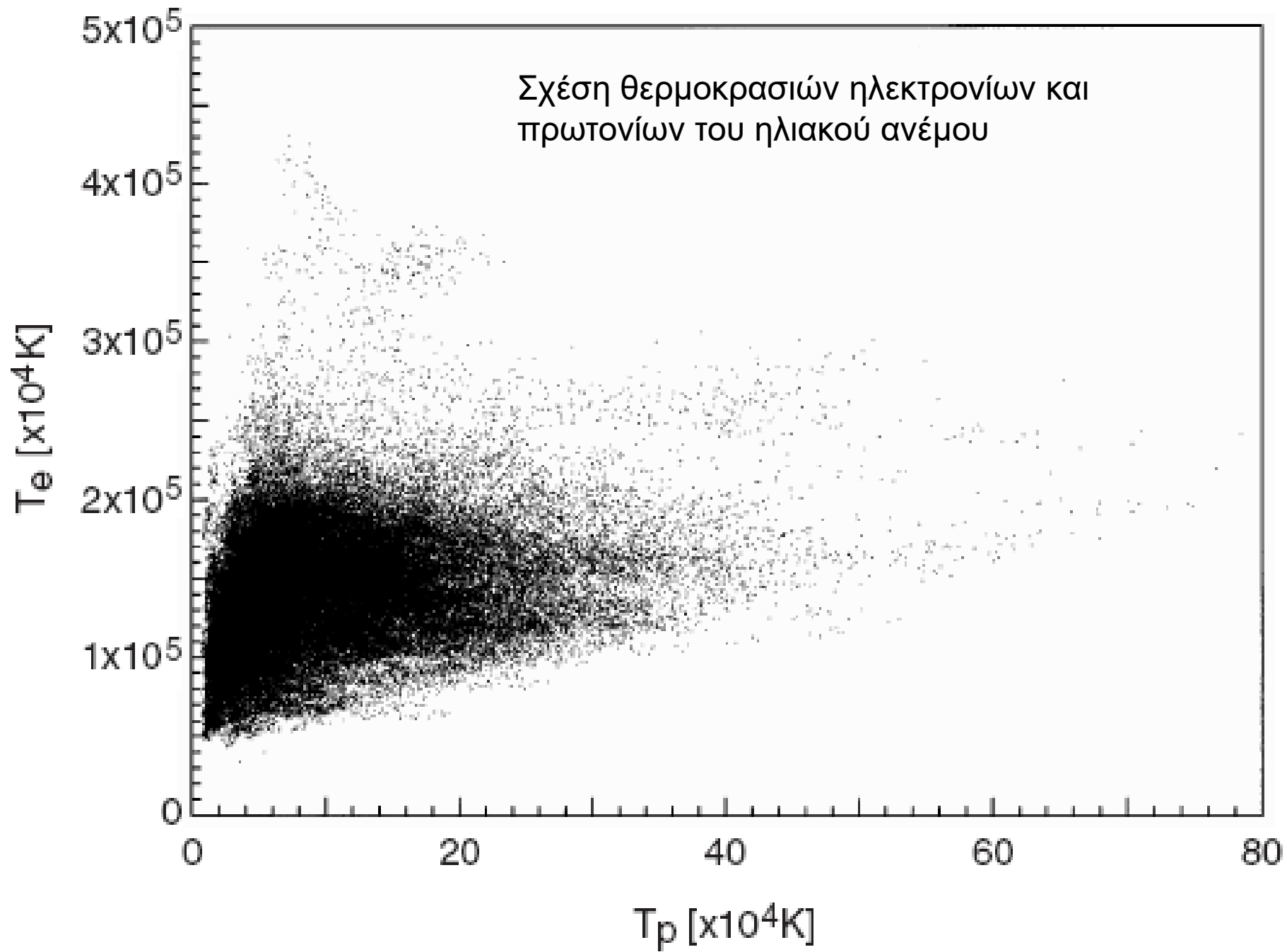


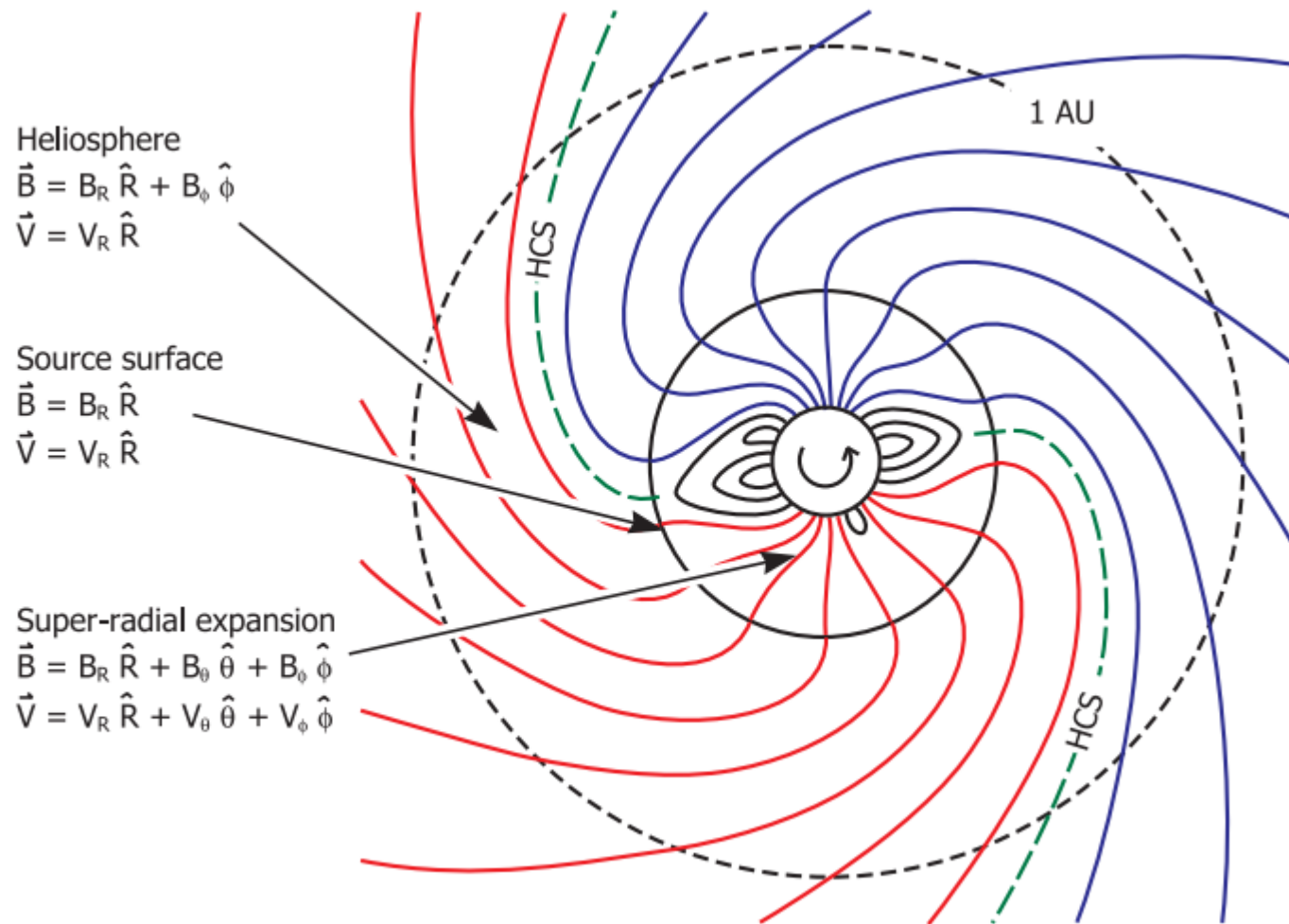




Κατανομή ιόντων σιδήρου στον ηλιακό άνεμο στην διάρκεια εκτάκτων εκρηκτικών γεγονότων του Ηλίου







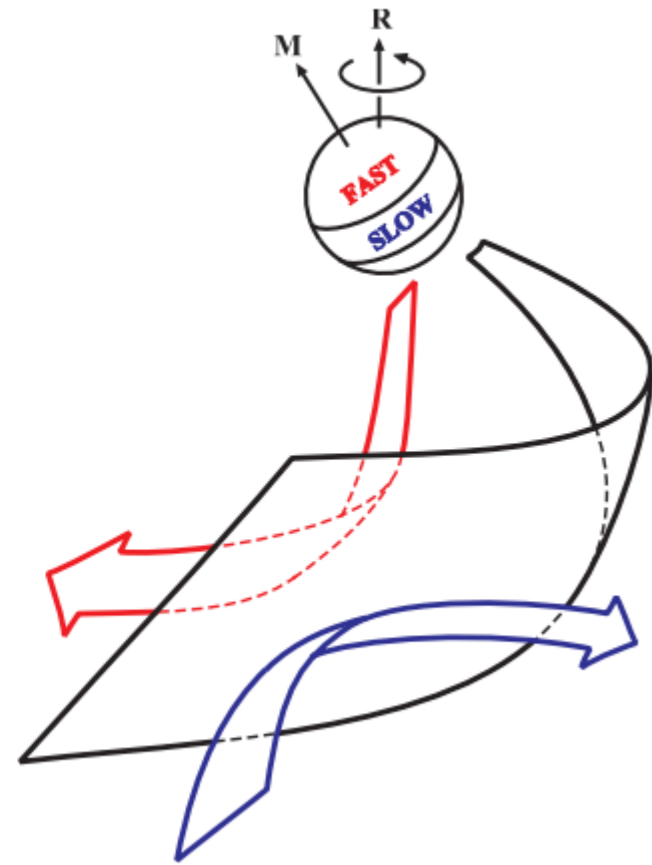
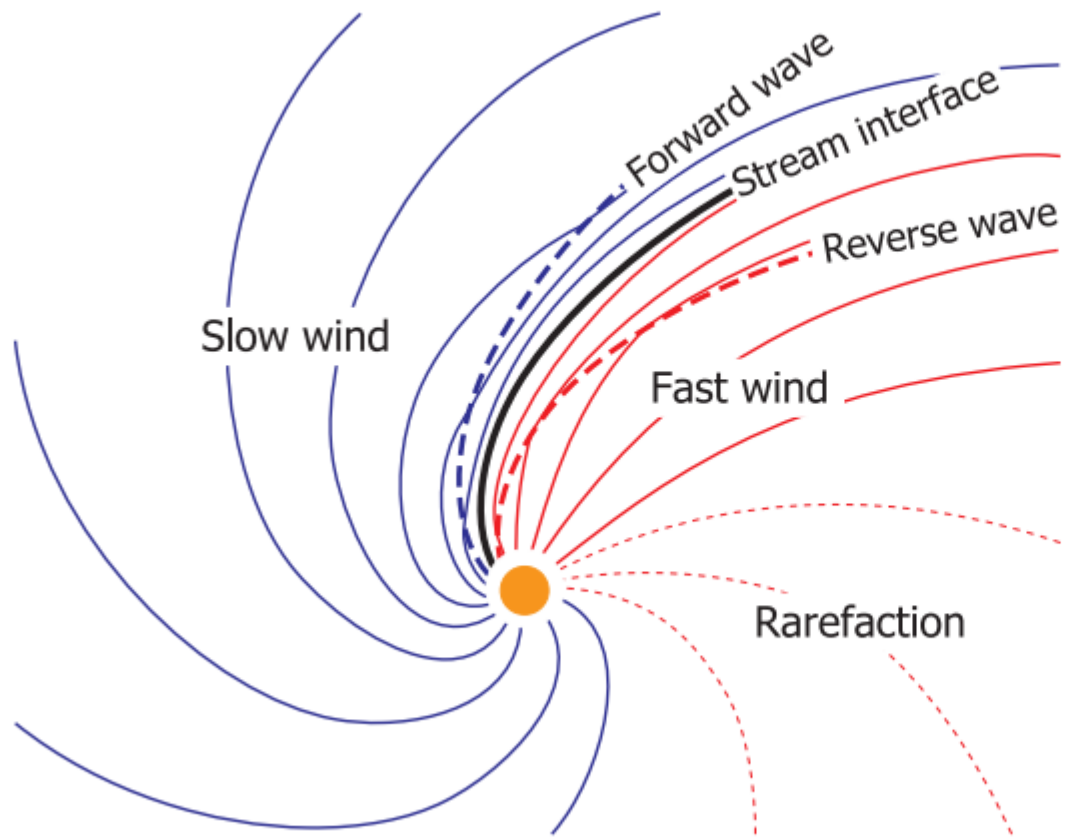
## The Heliospheric Magnetic Field

Robert J. Forsyth και

Mathew J. Owens, Living Rev. Solar Phys., 10, (2013), 5

<http://www.livingreviews.org/lrsp-2013-5> doi:10.12942/lrsp-2013-5





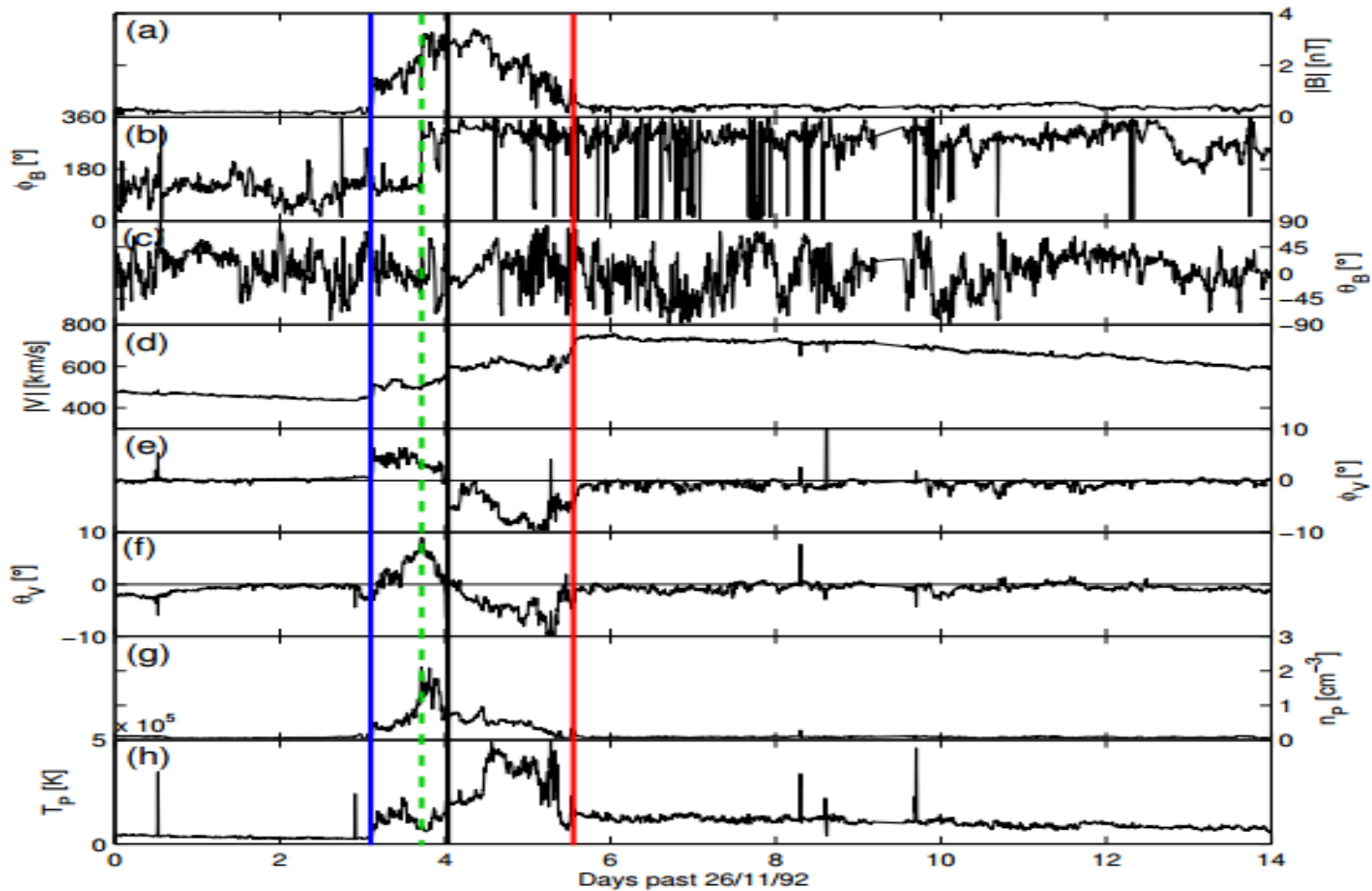
ρεύμα του ηλιακού ανέμου περιστρεφόμενης περιοχής αλληλεπίδρασης.

The Heliospheric Magnetic Field

Robert J. Forsyth και

Mathew J. Owens, Living Rev. Solar Phys., 10, (2013), 5

<http://www.livingreviews.org/lrsp-2013-5> doi:10.12942/lrsp-2013-5



Η μεταβολή παραμέτρων του ηλιακού ανέμου περιστρεφόμενης περιοχής αλληλεπίδρασης

The Heliospheric Magnetic Field

Robert J. Forsyth και

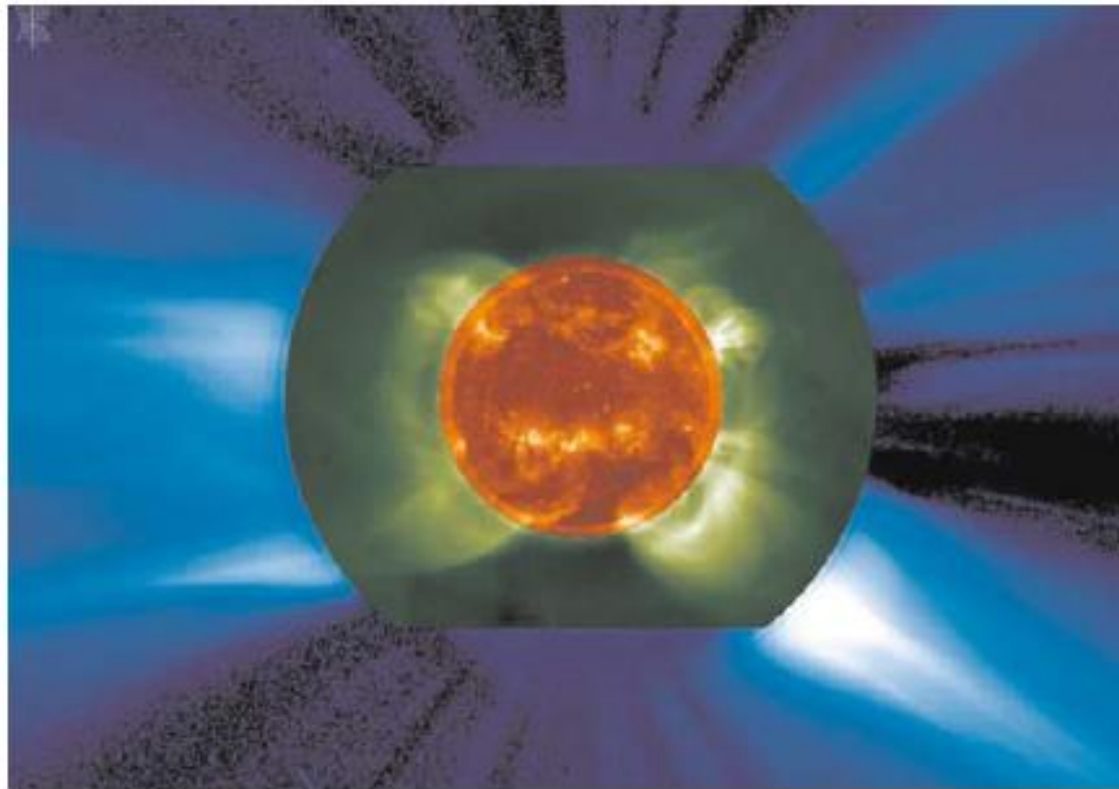
Mathew J. Owens, Living Rev. Solar Phys., 10, (2013), 5 <http://www.livingreviews.org/lrsp-2013-5> doi:10.12942/lrsp-2013-5

# ΠΗΓΕΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟΝ ΗΛΙΑΚΟ ΚΥΚΛΟ



- Τέσσερις διαφορετικές μορφές ηλιακού ανέμου
- Πηγές ηλιακού ανέμου
- Μικρής και μεγάλης περιόδου μεταβολές του ηλιακού ανέμου

- Ταχύς ηλιακός άνεμος προέρχεται από τις στεμματικές οπές
- Αργός ηλιακός άνεμος προέρχεται από μη ενεργές περιοχές κοντά στην ουδέτερη επιφάνεια
- Αργός ηλιακός άνεμος προέρχεται πάνω από τις ενεργές περιοχές
- Πλάσμα από εκρηκτικά φαινόμενα, εκλάμψεις και εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού (coronal mass ejections ή CME's)



- Στέμμα κοντά στο ελάχιστο του ηλιακού ανέμου (1998) (SOHO)
- EIT στο EUV (19.5 nm)
- LASCO C1 – εσωτερικό στέμμα (530.3 nm)
- LASCO C2 – εξωτερικό στέμμα (λευκό φως)

Μέσες τιμές των παραμέτρων του ηλιακού ανέμου κοντά στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας στη 1AU

	Low speed wind (LSM)	Fast wind (HSS)
Flow speed $v_p$	250–400 km s <sup>-1</sup>	400–800 km s <sup>-1</sup>
Proton density $n_p$	10.7 cm <sup>-3</sup>	3.0 cm <sup>-3</sup>
Proton flux density $n_p v_p$	$3.7 \times 10^8$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	$2.0 \times 10^8$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Proton temperature $T_p$	$3.4 \times 10^4$ K	$2.3 \times 10^5$ K
Electron temperature $T_e$	$1.3 \times 10^5$ K	$1 \times 10^5$ K
Momentum flux density	$2.12 \times 10^8$ dyn cm <sup>-2</sup>	$2.26 \times 10^8$ dyn cm <sup>-2</sup>
Total energy flux density	$1.55$ erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	$1.43$ erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Helium content $n_\alpha/n_p$	2.5%, variable	3.6%, stationary



- Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την κατηγοριοποίησή του σε διαφόρους τύπους
- Η διαφορά της περιεκτικότητας σε ήλιο υποδεικνύει διαφορετικές περιοχές προέλευσης του ηλιακού ανέμου από το στέμμα
- Στον αργό ηλιακό άνεμο η θερμοκρασία πέφτει με την απόσταση  $\sim R^{-1.21} \rightarrow$  αδιαβατική εκτόνωση
- Στο γρήγορο ηλιακό άνεμο η θερμοκρασία πέφτει με την απόσταση  $\sim R^{-0.69}$

- Η μεταφορά της στροφορμής του Ήλιου στο διάστημα αποδίδεται κυρίως από τον αργό ηλιακό άνεμο
- Στον ταχύ ηλιακό άνεμο τα ιόντα ηλίου καθώς και άλλα ιόντα κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες από τα πρωτόνια κοντά στην τοπική ταχύτητα Alfven
- Ο ταχύς ηλιακός άνεμος εμφανίζει έντονα κύματα Alfven

# Ο ΤΑΧΥΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ

- Προέρχεται από τις στεμματικές οπές
- Τα χαρακτηριστικά του δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές
- Η παρατηρούμενη μετατόπιση Doppler σχετίζεται με την τοπολογία του μαγνητικού πεδίου
- Η ροή του ταχέως ηλιακού ανέμου ξεκινάει από το στέμμα σε ύψη 5000 – 20000 km πάνω από τη φωτόσφαιρα
- Η αρχική του ταχύτητα είναι χαμηλή, ίσως μόλις 10 km/s

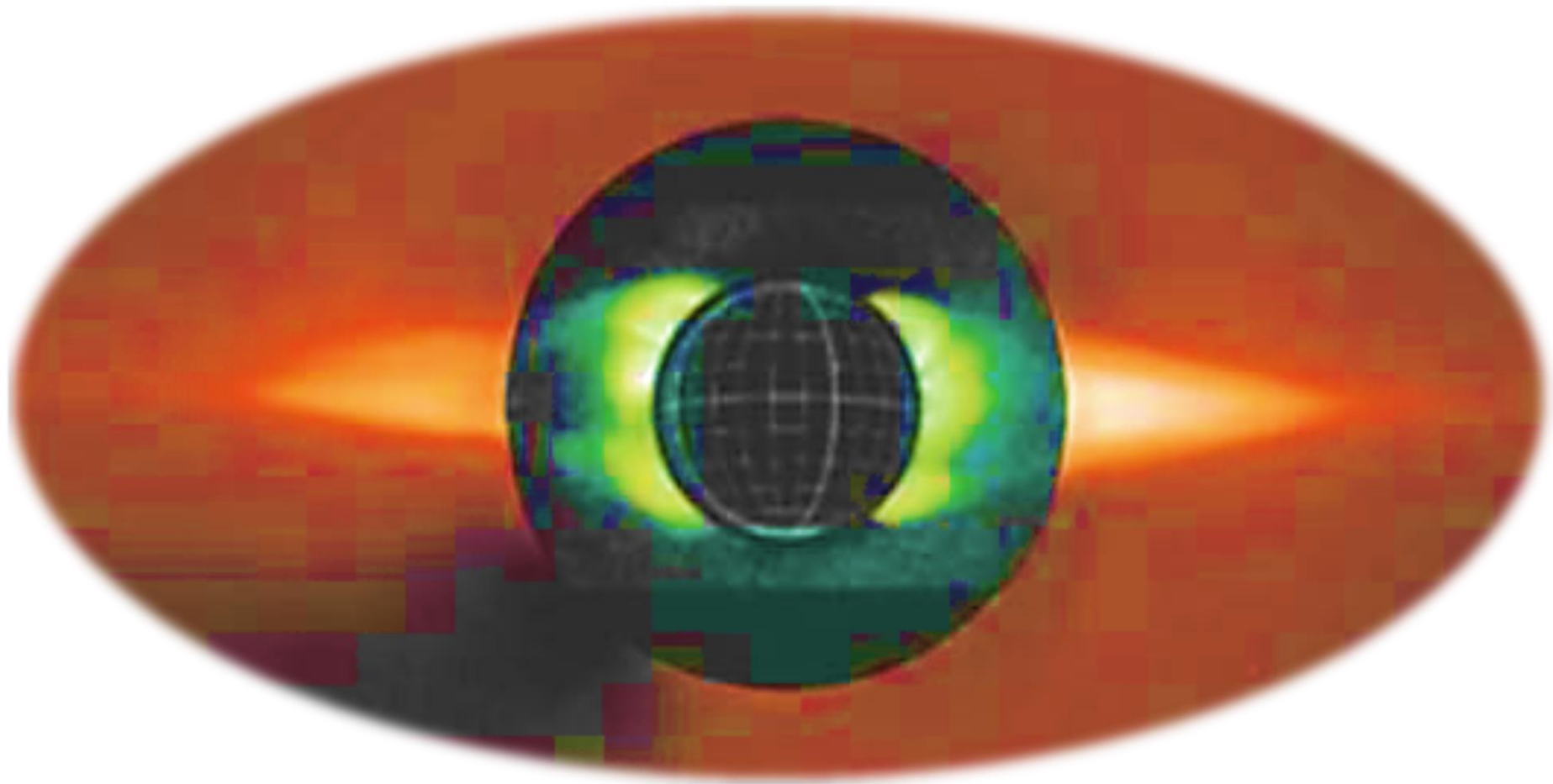
- Στεμματικές χοάνες που είναι μεγάλες μαγνητικές δομές με βάση στη φωτόσφαιρα και εκτείνονται στο στέμμα
- Μικροί μαγνητικοί βρόχοι με ύψος μόλις λίγες χιλιάδες χιλιόμετρα βρίσκονται γύρω από τις μαγνητικές χοάνες και τις τροφοδοτούν με πλάσμα μέσω επανασύνδεσης μαγνητικών γραμμών

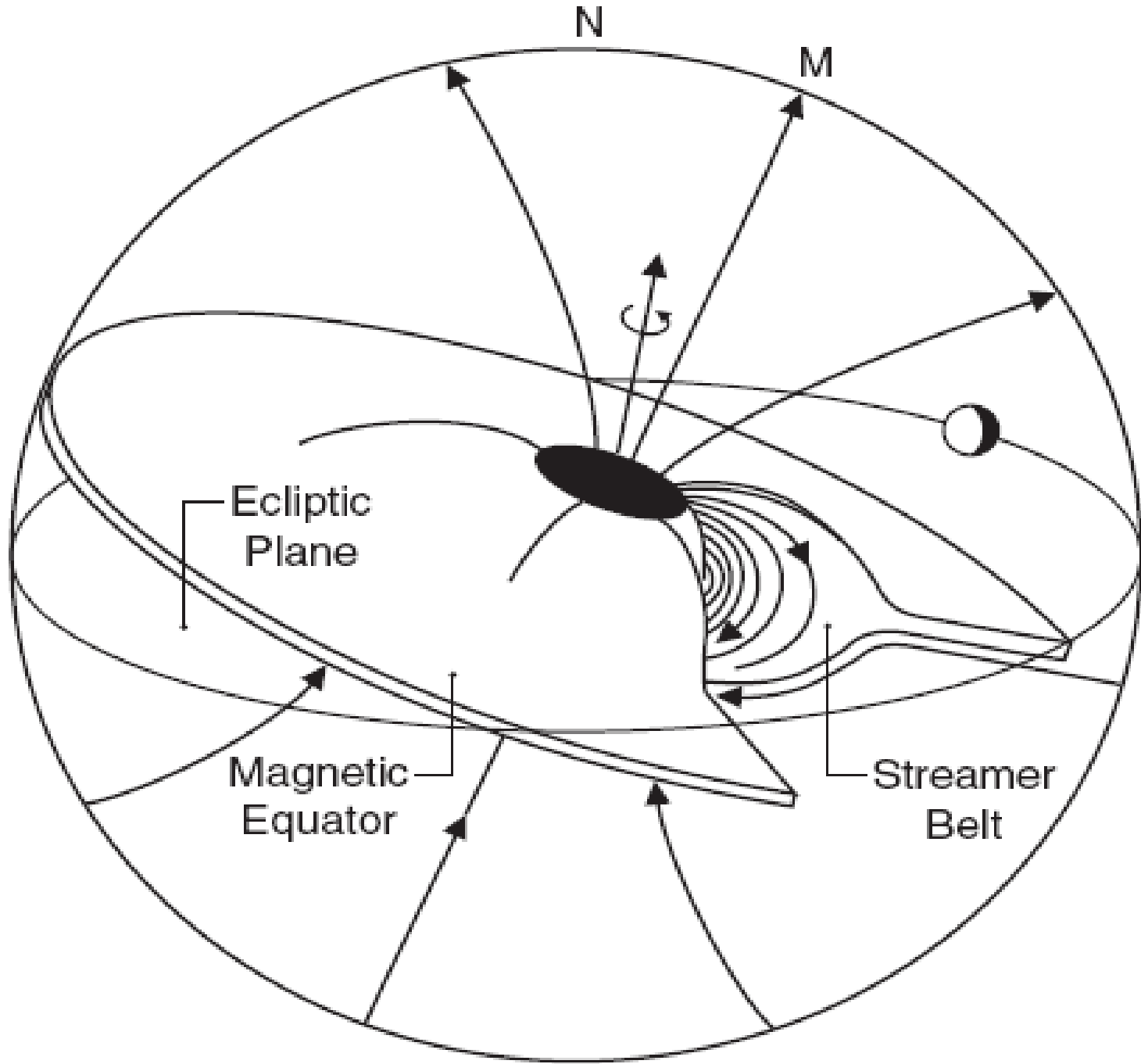


# Ο ΑΡΓΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ (MINIMUM TYPE) ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ

- Κοντά στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας εμφανίζεται γύρω από τον Ήλιο μία ζώνη γύρω από τον μαγνητικό ισημερινό του Ηλίου, με πλάτος  $\pm 15^\circ$  μέχρι  $\pm 45^\circ$  γύρω από την ουδέτερη επιφάνεια, που περιέχει:
  - Εναπομείνασες κηλίδες και άλλες ενεργές περιοχές
  - Την ουδέτερη επιφάνεια, δηλαδή τον μαγνητικό ισημερινό του Ηλίου

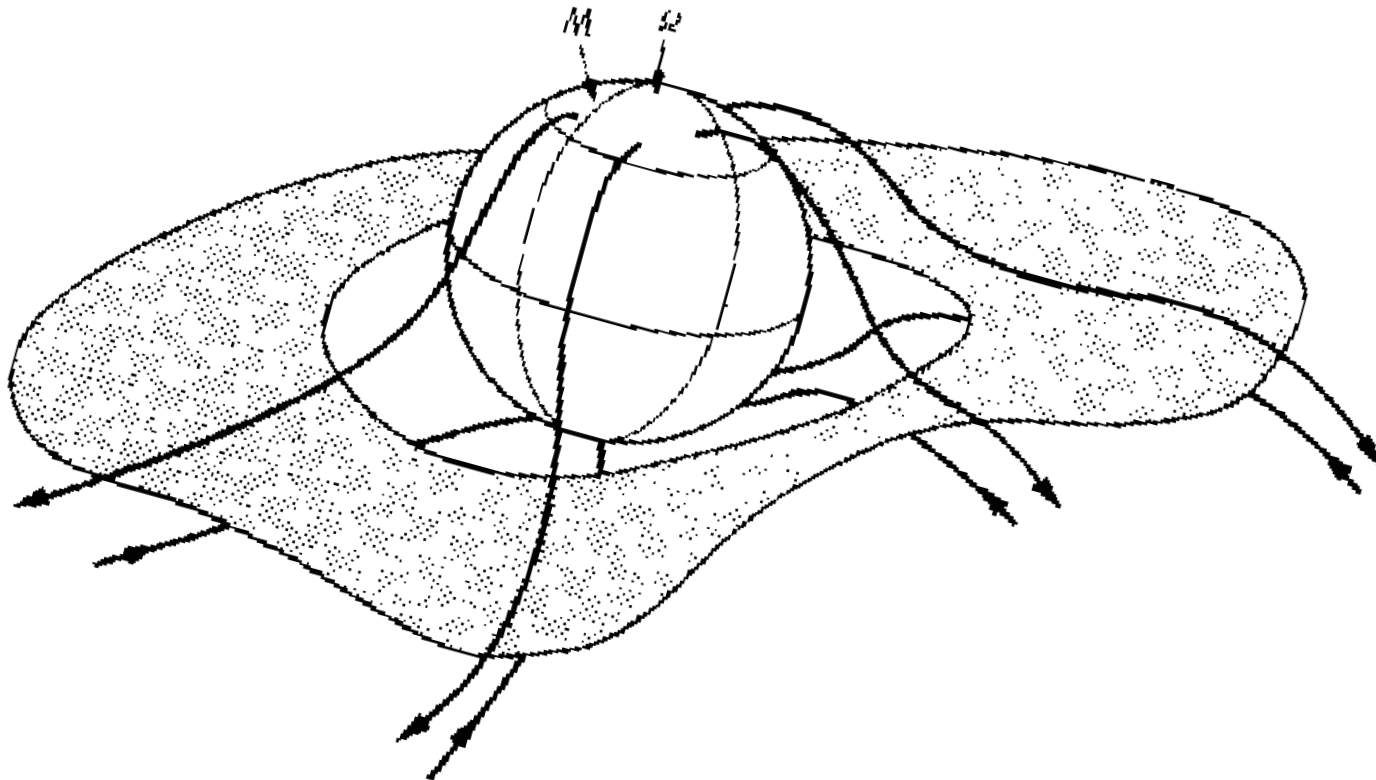
Εικόνα του στέμματος κοντά στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας (1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 1996, LASCO)





Η ουδέτερη επιφάνεια γύρω από τον Ήλιο

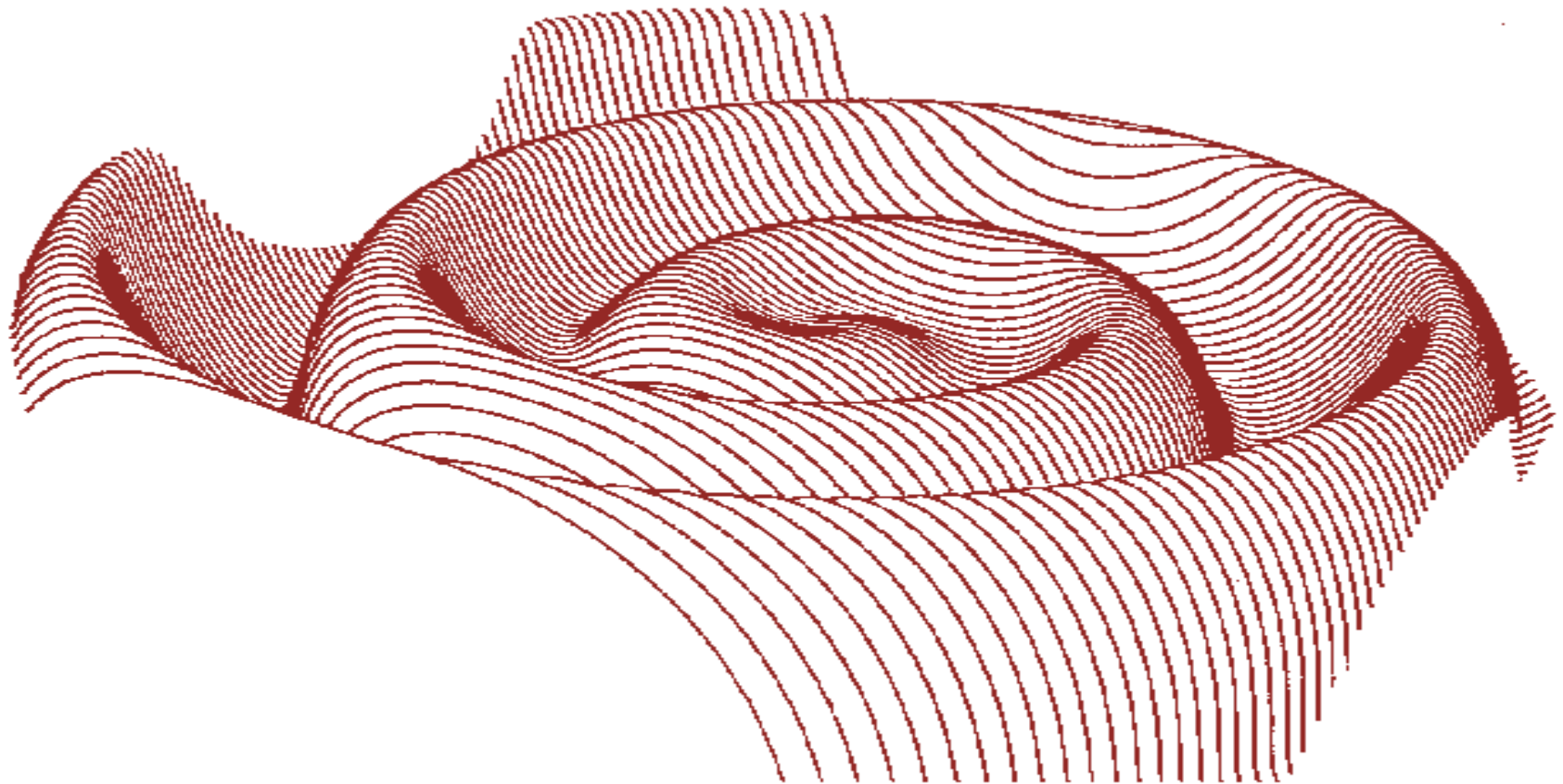
- Jokipii, J. R., and B. T. Thomas, Effects of drift on the transport of cosmic rays, 5, Modulation by a wavy interplanetary current sheet, *Astrophys. J.*, 243, 1115, 1981.
- Smith, E. J., B. T. Tsurutani, and R. L. Rosenberg, Observations of the interplanetary sector structure up to heliographic latitudes of  $16^\circ$ : Pioneer 11, *J. Geophys. Res.*, 83, 717, 1978.





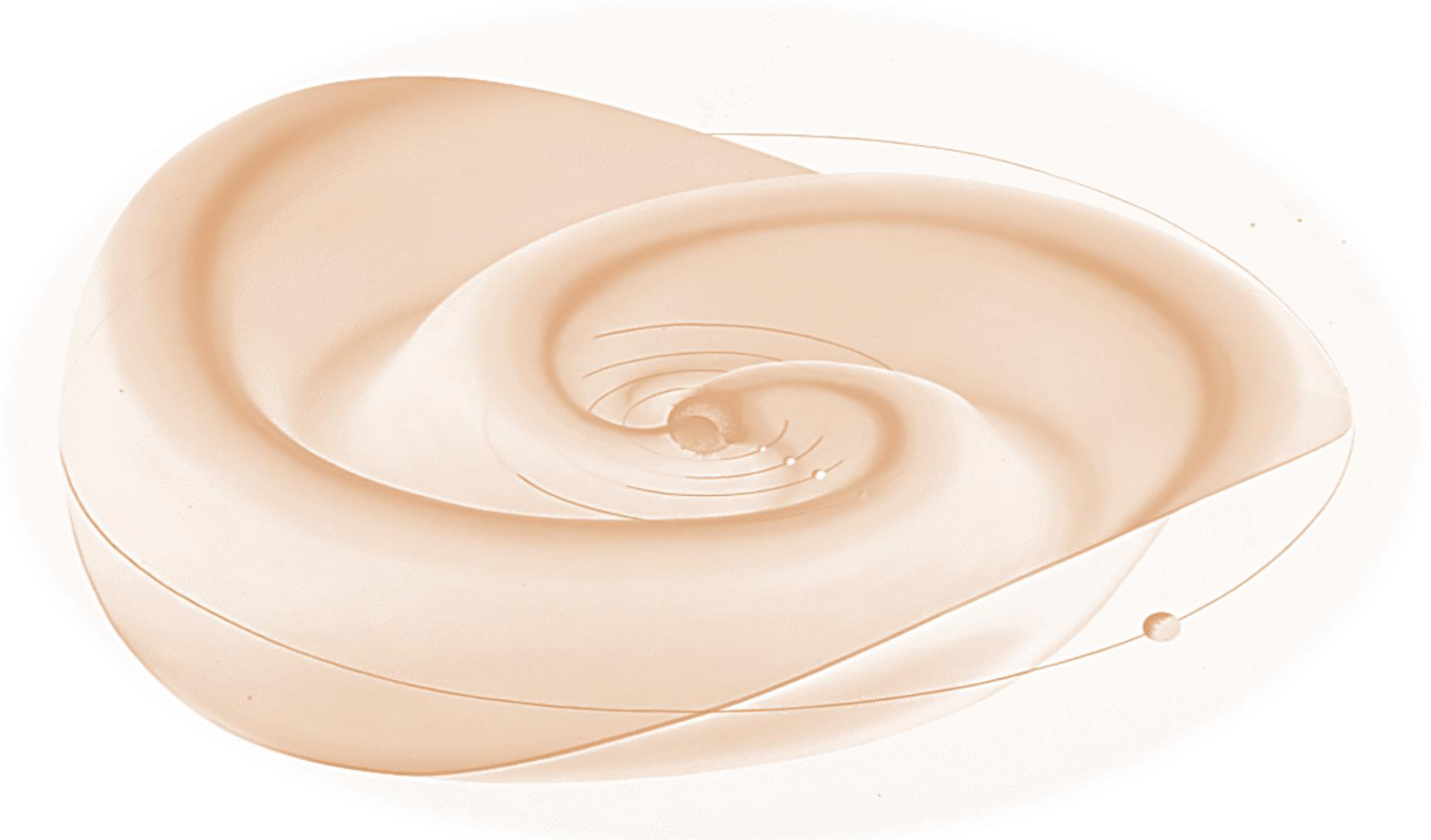
Η ουδέτερη επιφάνεια γύρω από τον Ήλιο

- Jokipii, J. R., and B. T. Thomas, Effects of drift on the transport of cosmic rays, 5, Modulation by a wavy interplanetary current sheet, *Astrophys. J.*, 243, 1115, 1981.
- Smith, E. J., B. T. Tsurutani, and R. L. Rosenberg, Observations of the interplanetary sector structure up to heliographic latitudes of  $16^\circ$ : Pioneer 11, *J. Geophys. Res.*, 83, 717, 1978.



Η ουδέτερη επιφάνεια γύρω από τον Ήλιο

- Jokipii, J. R., and B. T. Thomas, Effects of drift on the transport of cosmic rays, 5, Modulation by a wavy interplanetary current sheet, *Astrophys. J.*, 243, 1115, 1981.
- Smith, E. J., B. T. Tsurutani, and R. L. Rosenberg, Observations of the interplanetary sector structure up to heliographic latitudes of  $16^\circ$ : Pioneer 11, *J. Geophys. Res.*, 83, 717, 1978.



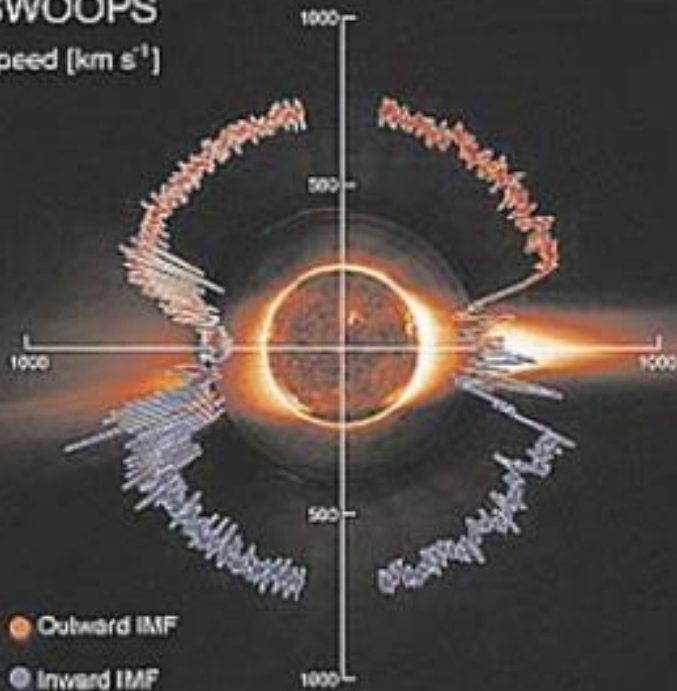
# Ο ΑΡΓΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ

- Προέρχεται από περιοχές πάνω από ενεργά κέντρα που τώρα καταλαμβάνουν ευρεία τμήματα του Ήλιου
- Περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό ιόντων ηλίου

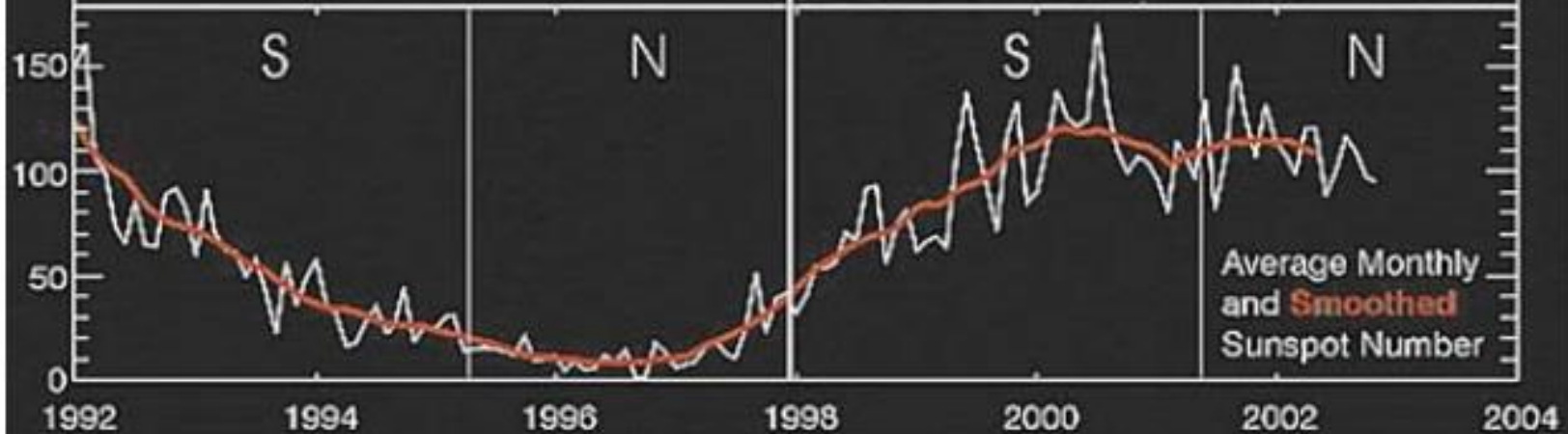
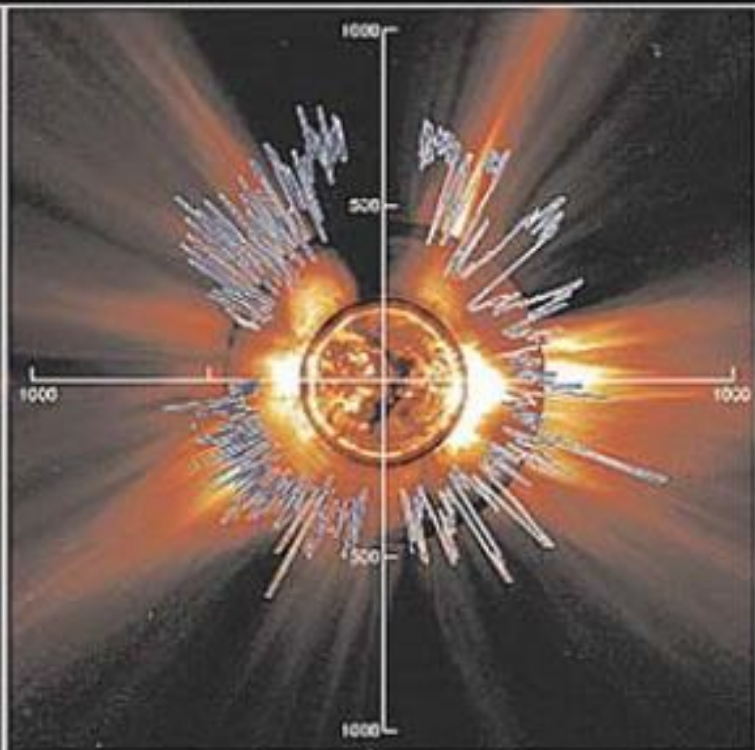
## Ulysses First Orbit

SWOOPS

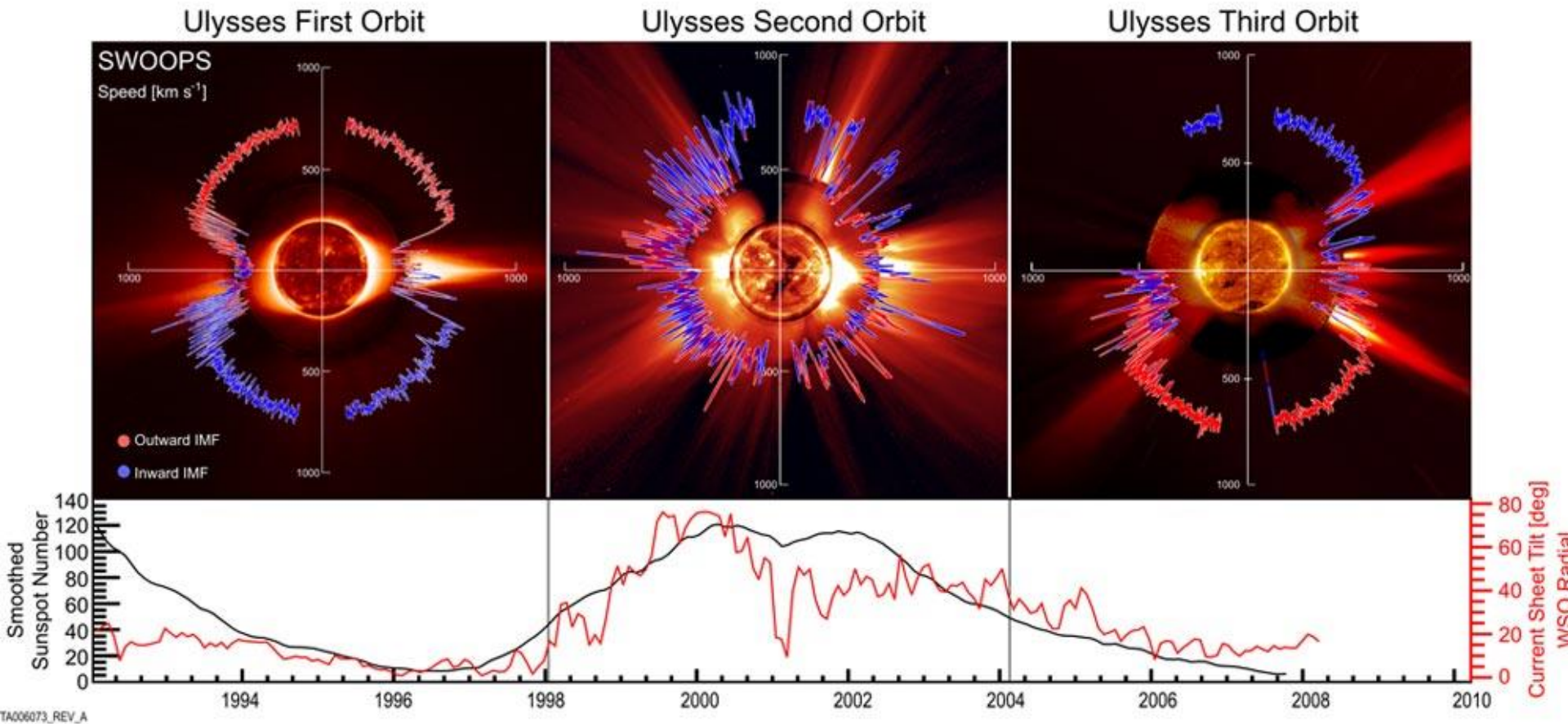
Speed [ $\text{km s}^{-1}$ ]



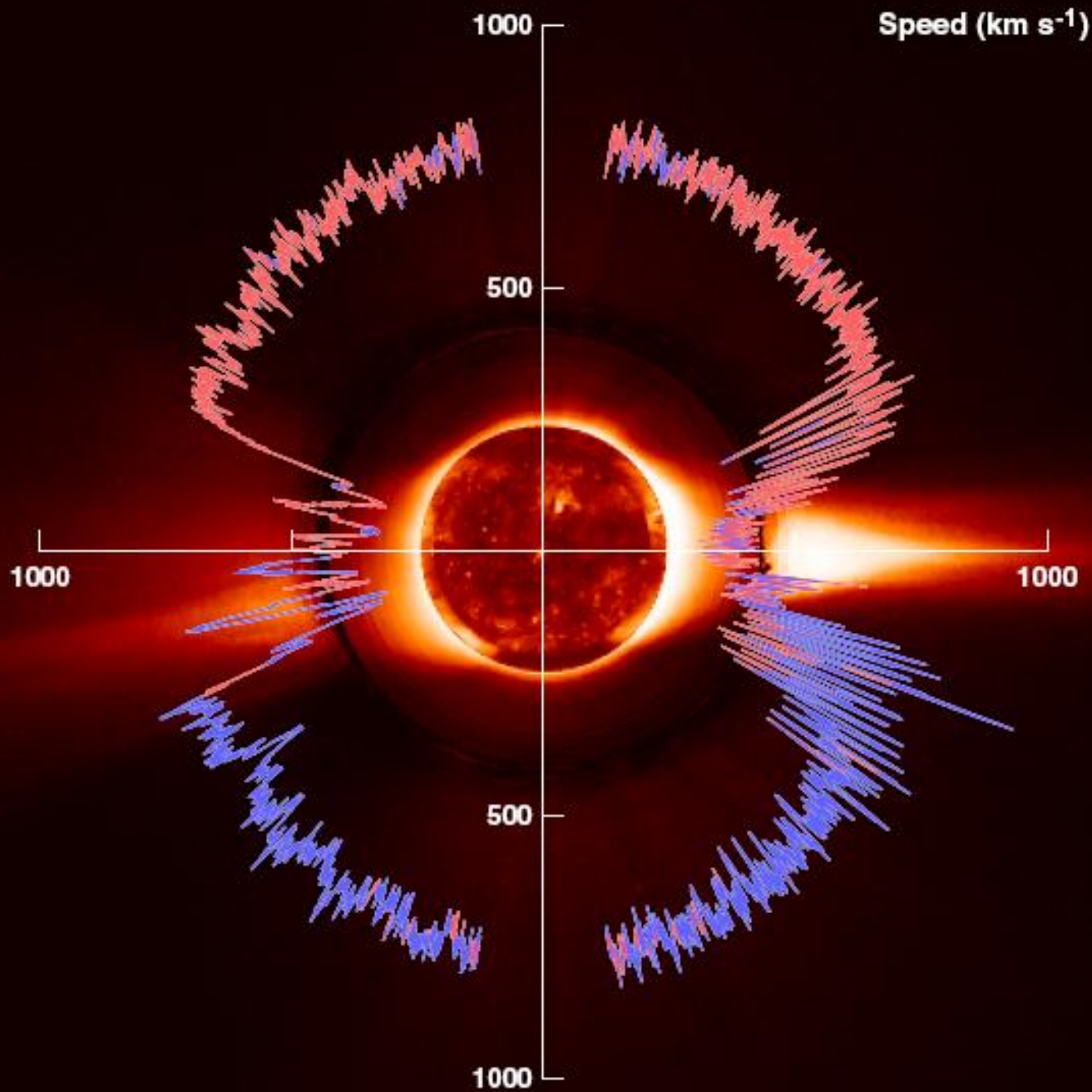
## Ulysses Second Orbit



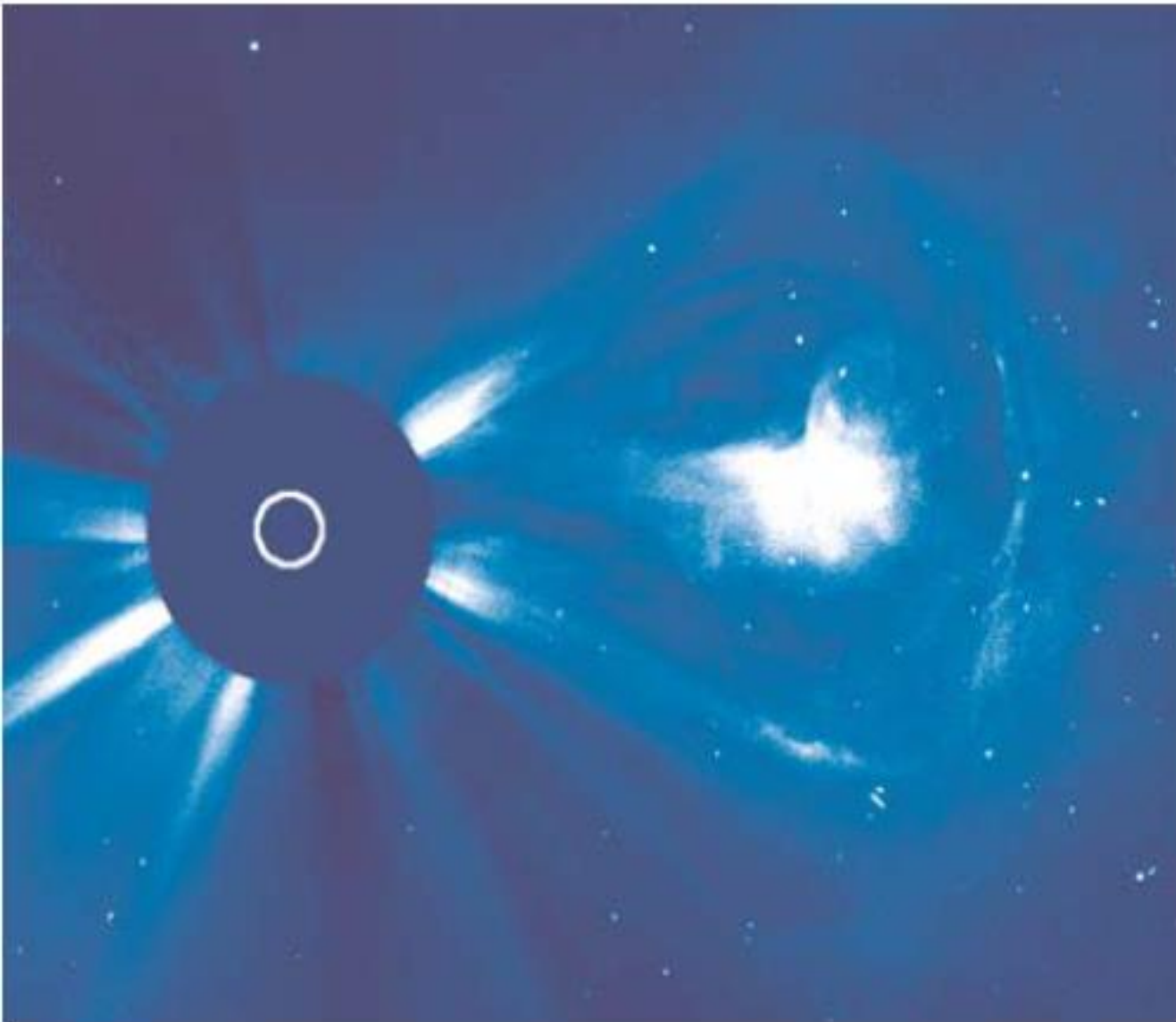




Credit: McComas et al., 2008, "Weaker solar wind from the polar coronal holes and the whole Sun" *Geophysical Research Letters*, 35, L18103, DOI:10.1029/2008GL034896



CME, Φεβρουάριος 2000, SOHO/LASCO



- Οι περισσότερες CME's (εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού, coronal mass ejections ή CME's) προέρχονται από περιοχές κοντά τον Ηλιογραφικό ισημερινό ή πιο σωστά τον μαγνητικό «ισημερινό» του Ηλίου
- Κοντά στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας οι περισσότερες προέρχονται από μια ζώνη που απλώνεται περίπου στις  $\pm 25^\circ$  με  $\pm 45^\circ$  από τον ισημερινό του Ηλίου.



- ηλιακός άνεμος εκτονώνεται μόνο ακτινικά προς τα έξω
- Σφαιρική συμμετρία

# TABLE I

## Properties of the interstellar medium in the vicinity of the Sun

---

Neutral hydrogen density:	$0.1 \text{ cm}^{-3}$
Neutral helium density:	$0.008 \text{ cm}^{-3}$
Electron density:	$0.03\text{--}0.12 \text{ cm}^{-3}$
Temperature:	$100\text{--}10000 \text{ K}$
Relative velocity:	$20 \text{ km s}^{-1}$
Magnetic field strength:	$3 \times 10^{-6} \text{ G}$

---

$$\rho u \frac{du}{dr} = -\frac{dp}{dr} - \rho \frac{GM_{\odot}}{r^2},$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{d(r^2 \rho u)}{dr} = 0.$$

$$r^2 \rho u = I,$$

$$\frac{1}{u} \frac{du}{dr} \left( u^2 - \frac{2T}{m_p} \right) = \frac{4T}{m_p r} - \frac{GM_\odot}{r^2}.$$

$$u^2(r_c) = u_c^2 \equiv \frac{2T}{m_p},$$

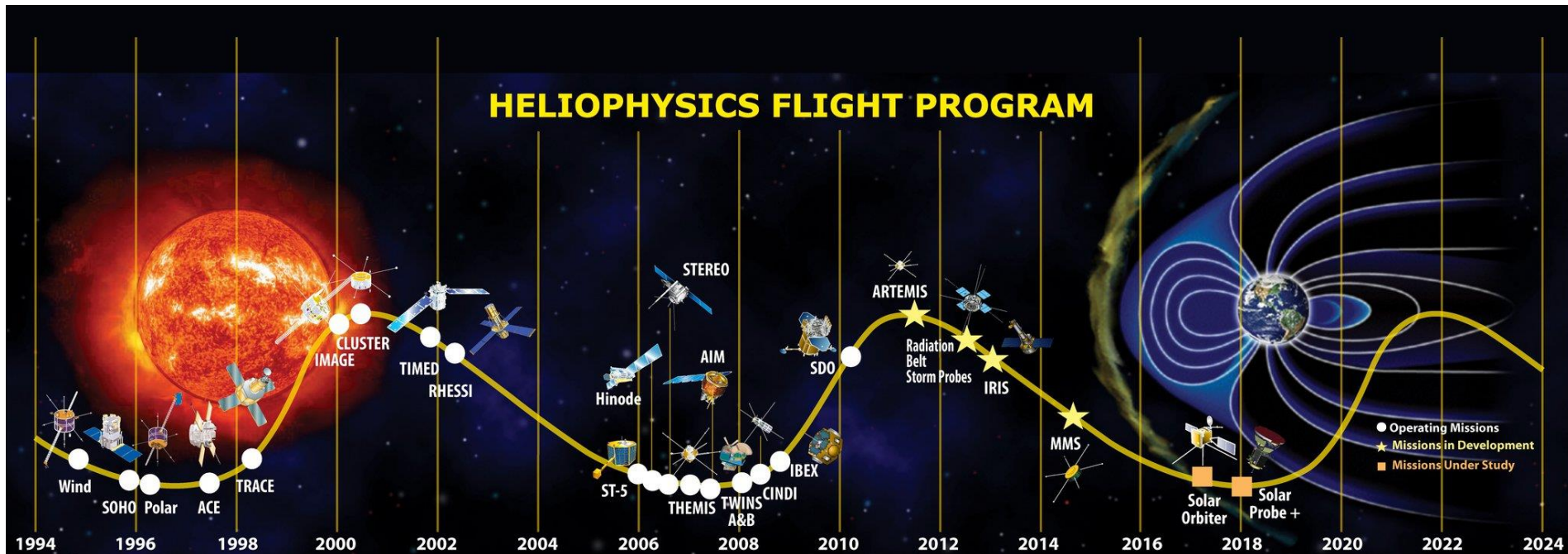


$$\left[ \frac{u^2}{u_c^2} - 1 \right] - \ln \frac{u^2}{u_c^2} = 4 \ln \frac{r}{r_c} + 4 \left[ \frac{r_c}{r} - 1 \right],$$

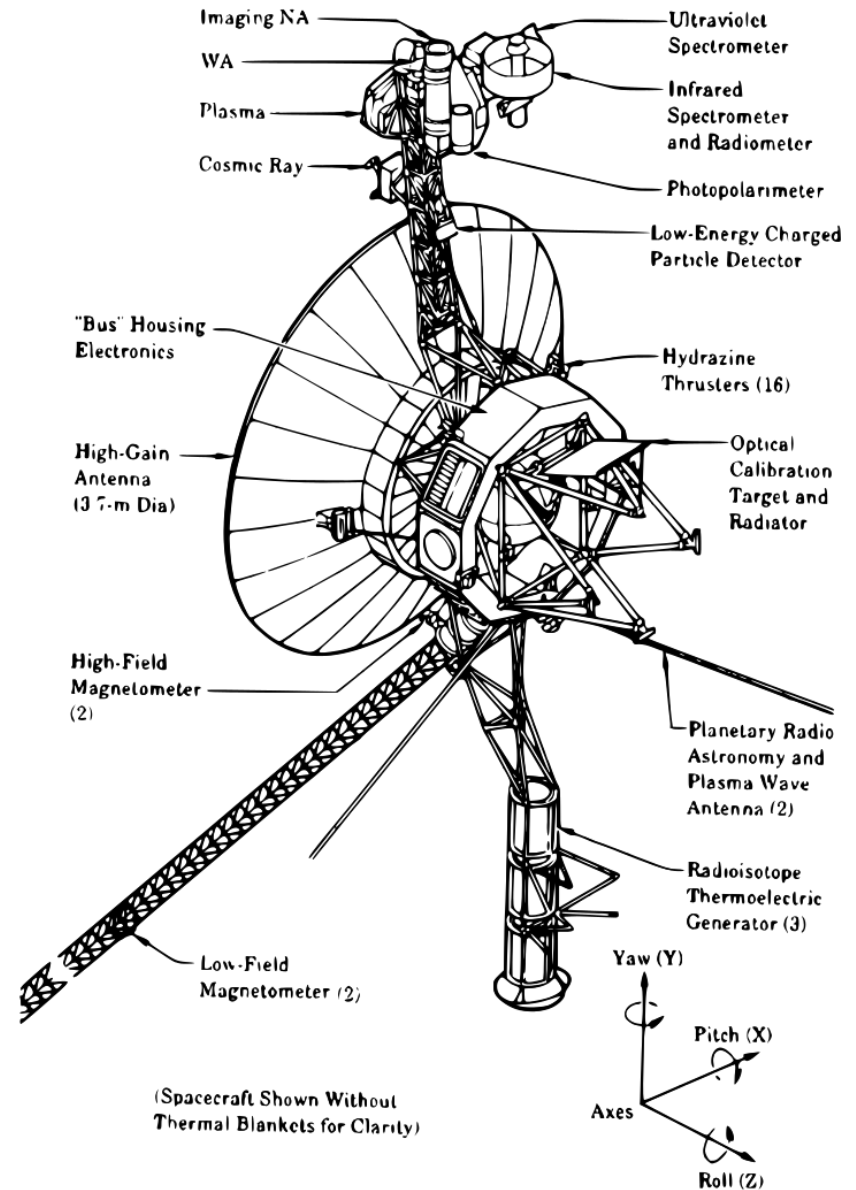
$$u \propto \frac{1}{r^2}.$$

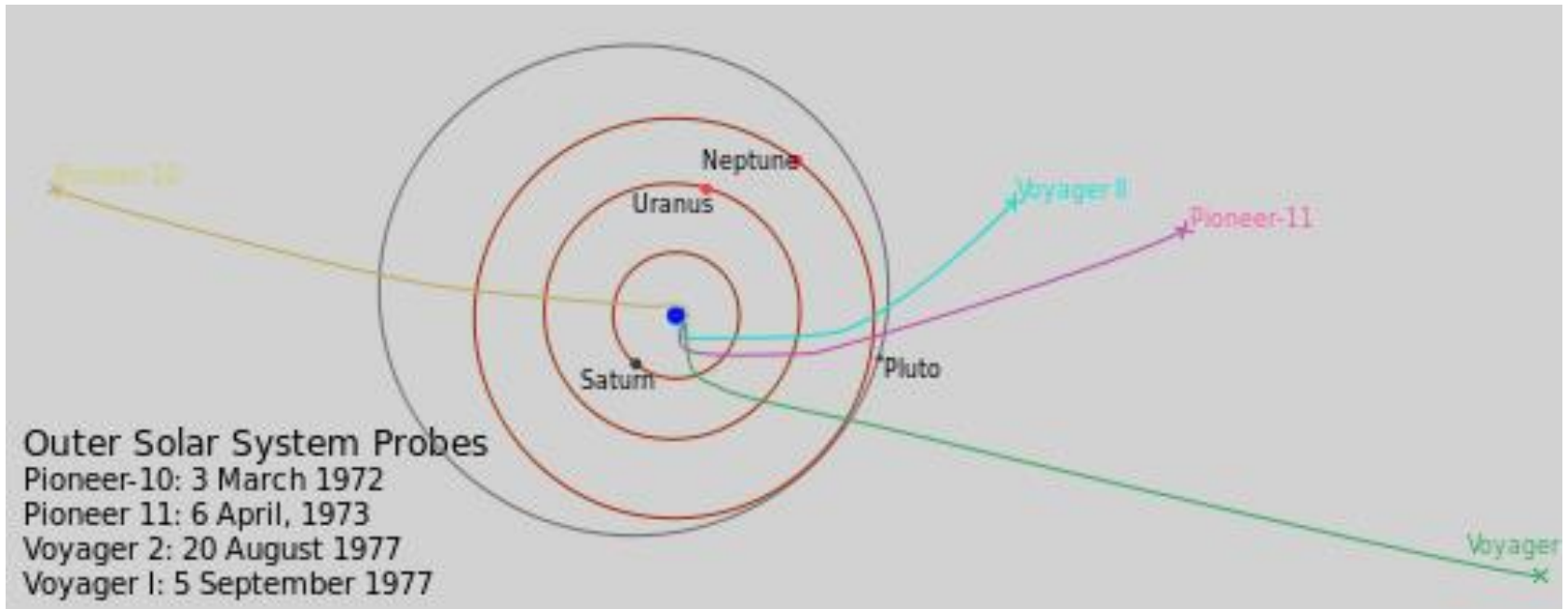
$$u \simeq 2 u_c (\ln r)^{1/2}.$$

# Διαστημικές αποστολές που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο



Η Διαστημική αποστολή Voyager με δυο διαστημόπλοια που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο στα όριά του και που τώρα έχουν βγει έξω από το ηλιακό σύστημα. Κοιτάξτε τα πειράματα.

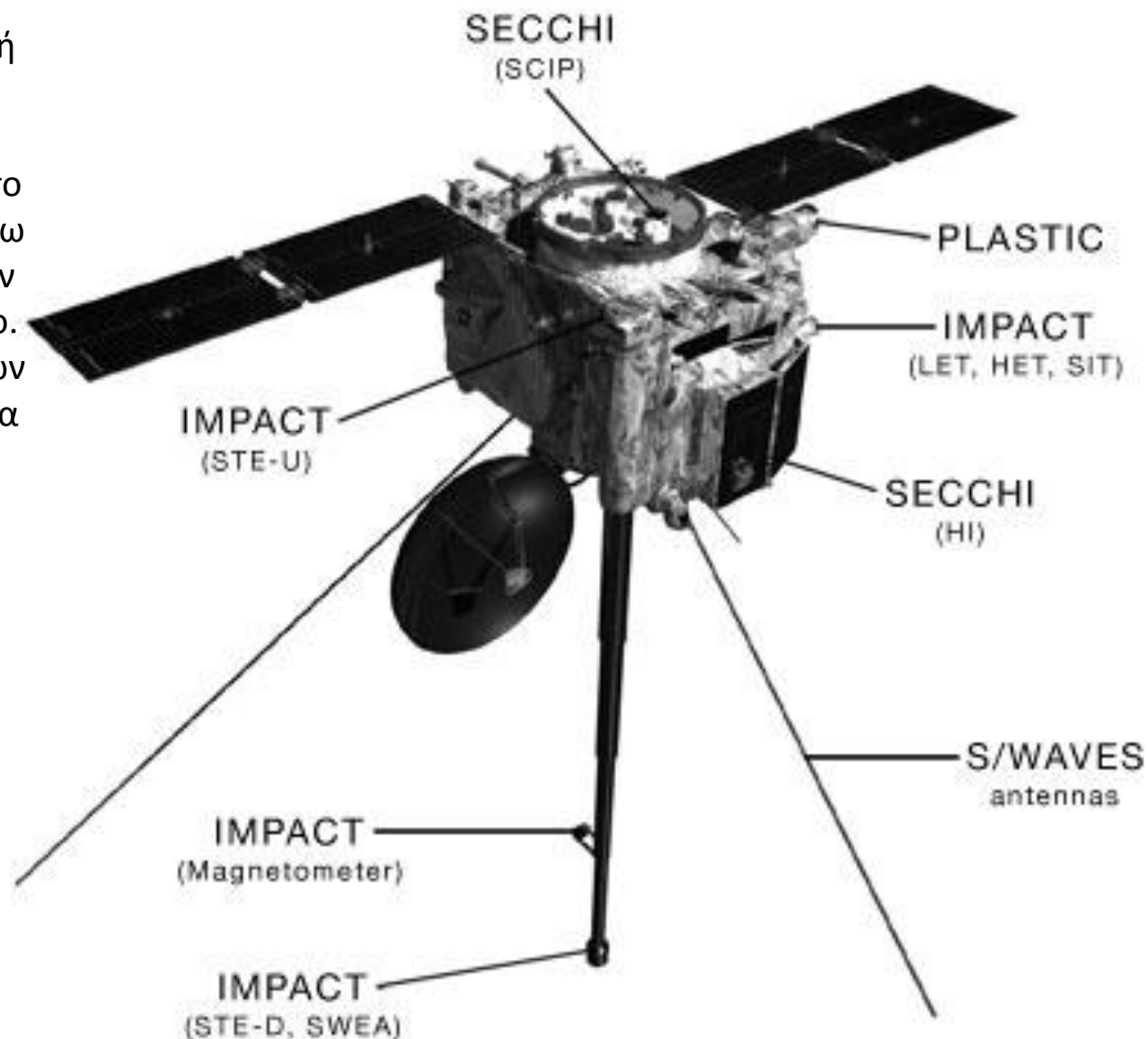




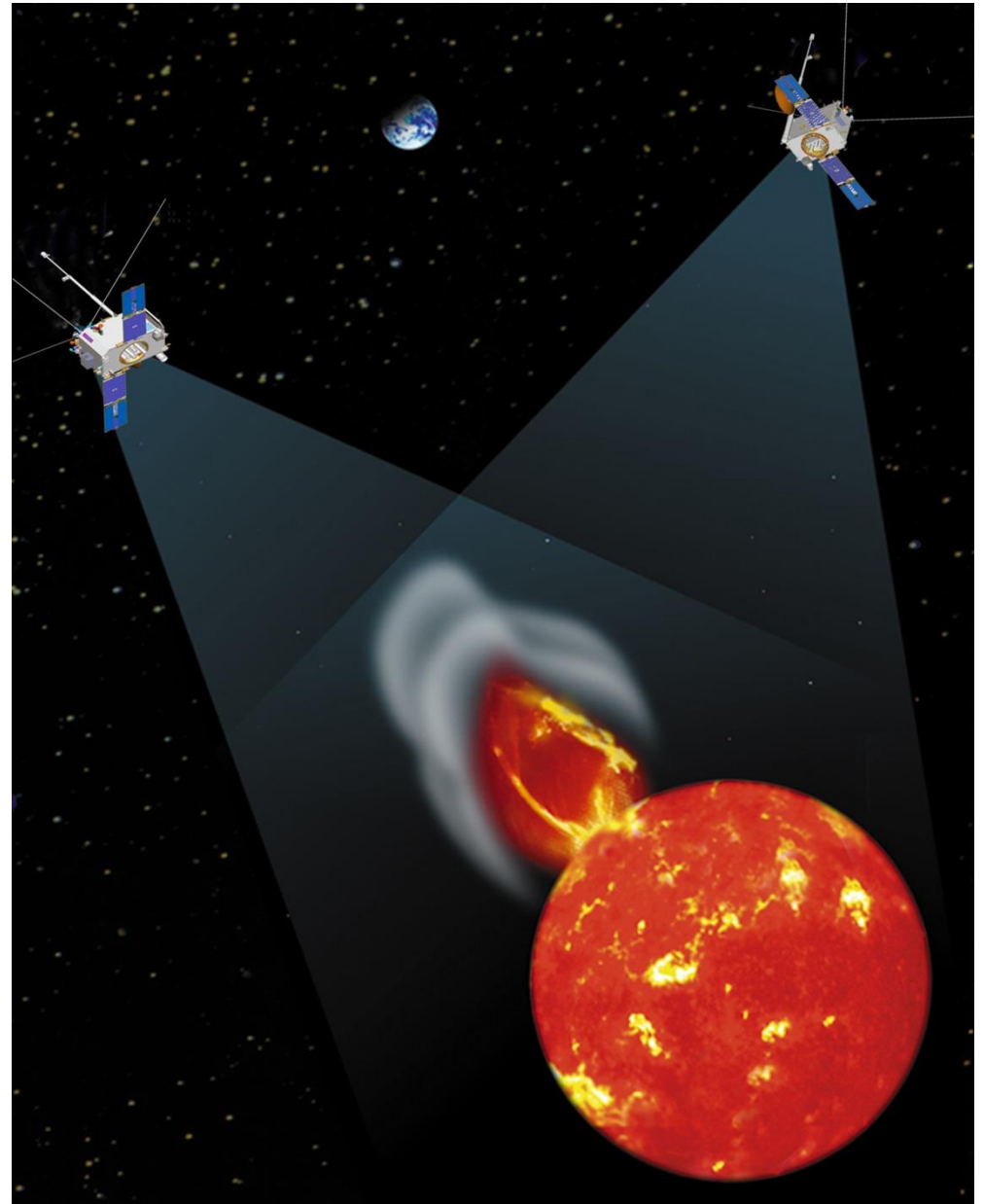
οι Διαστημικές αποστολές Voyager με δυο διαστημόπλοια (που λειτουργούν ακόμη) και Pioneer 11 και 12 που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο στα όριά του και που τώρα έχουν βγει έξω από το ηλιακό σύστημα.



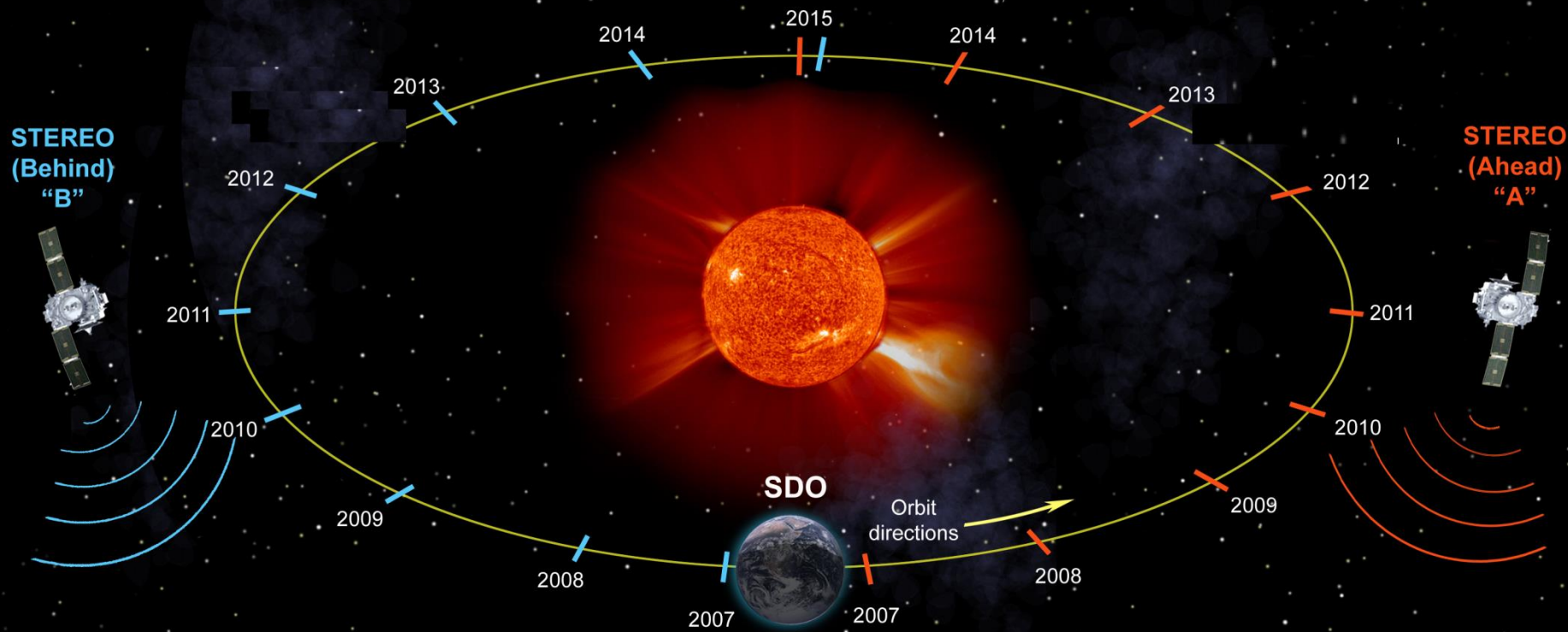
Η Διαστημική αποστολή STEREO NASA με δυο διαστημόπλοια που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο γύρω του και που τώρα έχουν πάει πίσω από τον Ήλιο. Το Πανεπιστήμιο Αθηνών συμμετέχει στο πείραμα WAVES.



Η Διαστημική αποστολή STEREO  
NASA με δυο διαστημόπλοια που  
μελετούν τον Ήλιο και το  
διαπλανητικό χώρο γύρω του  
Στερεοσκοπικά.  
Το Πανεπιστήμιο Αθηνών συμμετέχει  
στο πείραμα WAVES.

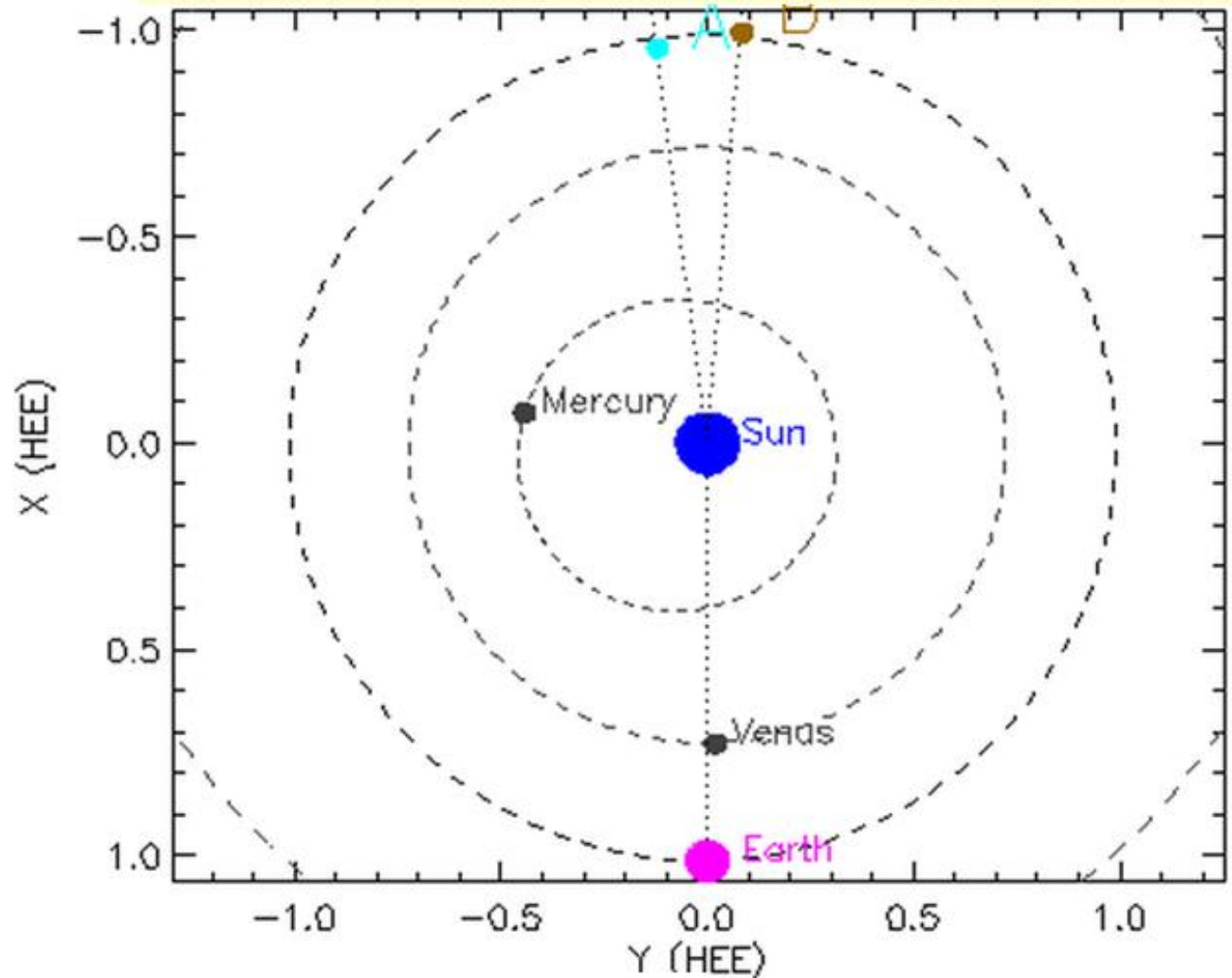


# NASA's STEREO (with SDO) Sees the Entire Sun



Η Διαστημική αποστολή STEREO NASA με δυο διαστημόπλοια που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο γύρω του και που τώρα έχουν πάει πίσω από τον Ήλιο. Το Πανεπιστήμιο Αθηνών συμμετέχει στο πείραμα WAVES.

## Positions of STEREO A and B for 18-Aug-2015 09:00 UT



Η Διαστημική αποστολή STEREO NASA με δυο διαστημόπλοια που μελετούν τον Ήλιο και το διαπλανητικό χώρο γύρω του και που τώρα έχουν πάει πίσω από τον Ήλιο. Το Πανεπιστήμιο Αθηνών συμμετέχει στο πείραμα WAVES.

<http://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/where.shtml>



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Ξενοφών Δ. Μουσάς 2015.«Φυσική Διαστήματος. Ηλιακός Άνεμος». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS5/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

