

ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

Η περίπτωση του σχήματος της ηλιόσφαιρας

ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ Μ. ΚΡΙΜΙΖΗΣ

Πρόεδρος Ακαδημίας Αθηνών

Ομότιμος Διοικητής Διαστημικών Προγραμμάτων Johns Hopkins University

Επικεφαλής Ερευνητής NASA Voyager 1 & 2

ΠΑΝΗΓΥΡΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ | ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

19 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2024

ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

Η περίπτωση του σχήματος της ηλιόσφαιρας

Ηλιόσφαιρα

Voyager 1

161 au

Voyager 2

133 au

Γαλαξίας



ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

Η περίπτωση του σχήματος της ηλιόσφαιρας

Richard Feynman (1918-1988)

**Δεν έχει σημασία πόσο όμορφη
είναι η θεωρία σου ή πόσο
έξυπνος είσαι. Αν δεν συμφωνεί
με το πείραμα, είναι λάθος...**

Voyager 1

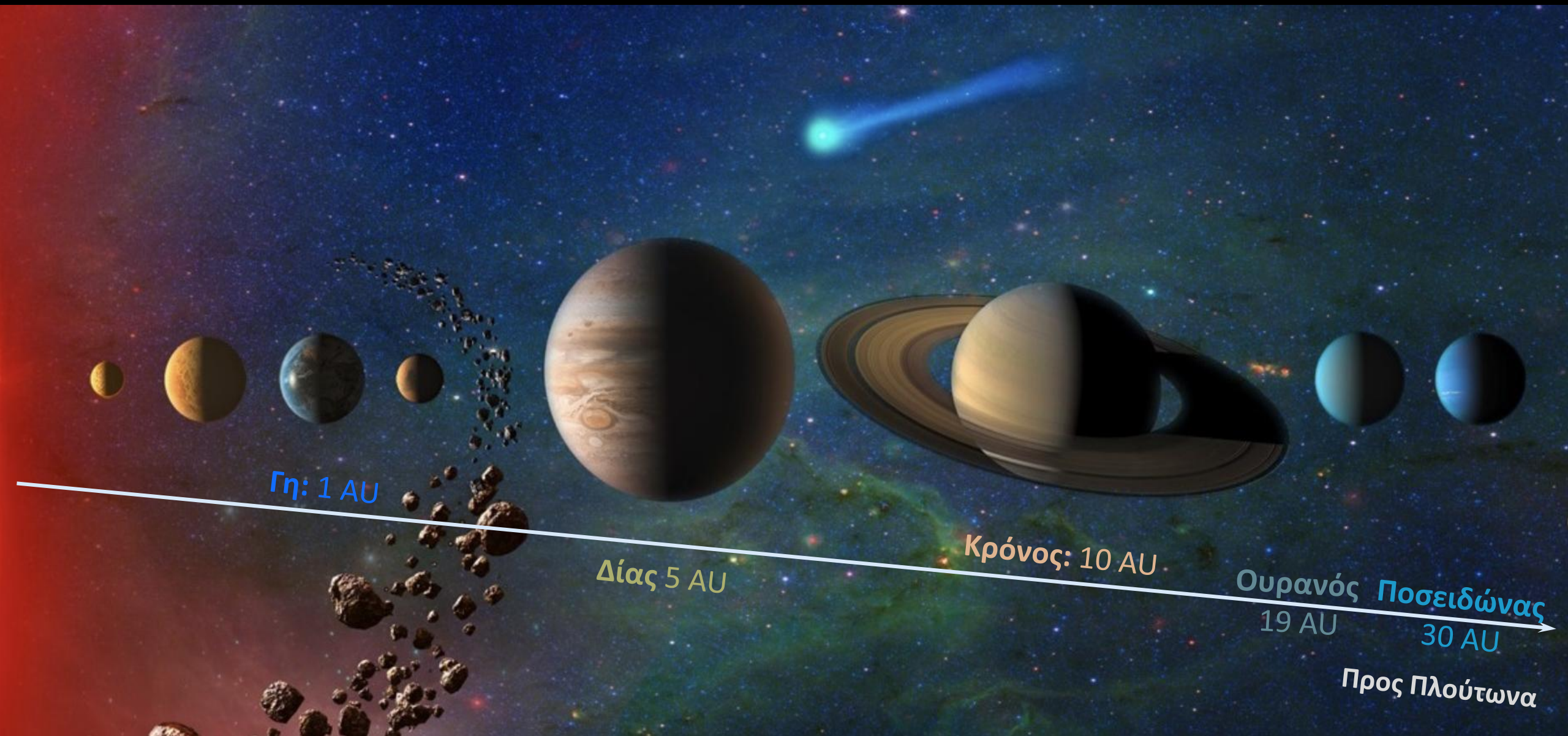
161 au

Voyager 2

133 au

Γαλαξίας

ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ /50 ΧΡΟΝΙΑ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ (1965-2015)/ ΠΟΡΤΡΕΤΟ



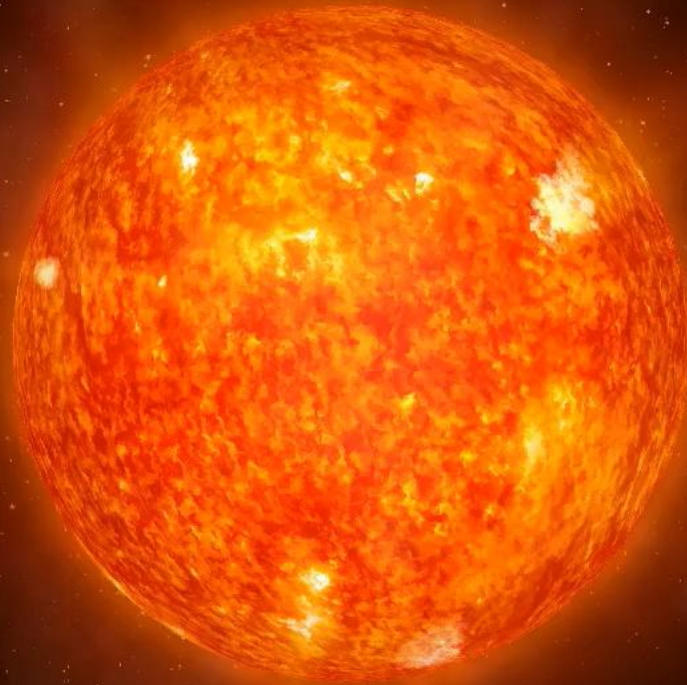
A FULL SCALE VOYAGER MODEL // JET PROPULSION LABORATORY (JPL), CA., USA



LECP

*Low Energy
Charged Particle*

ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ // ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

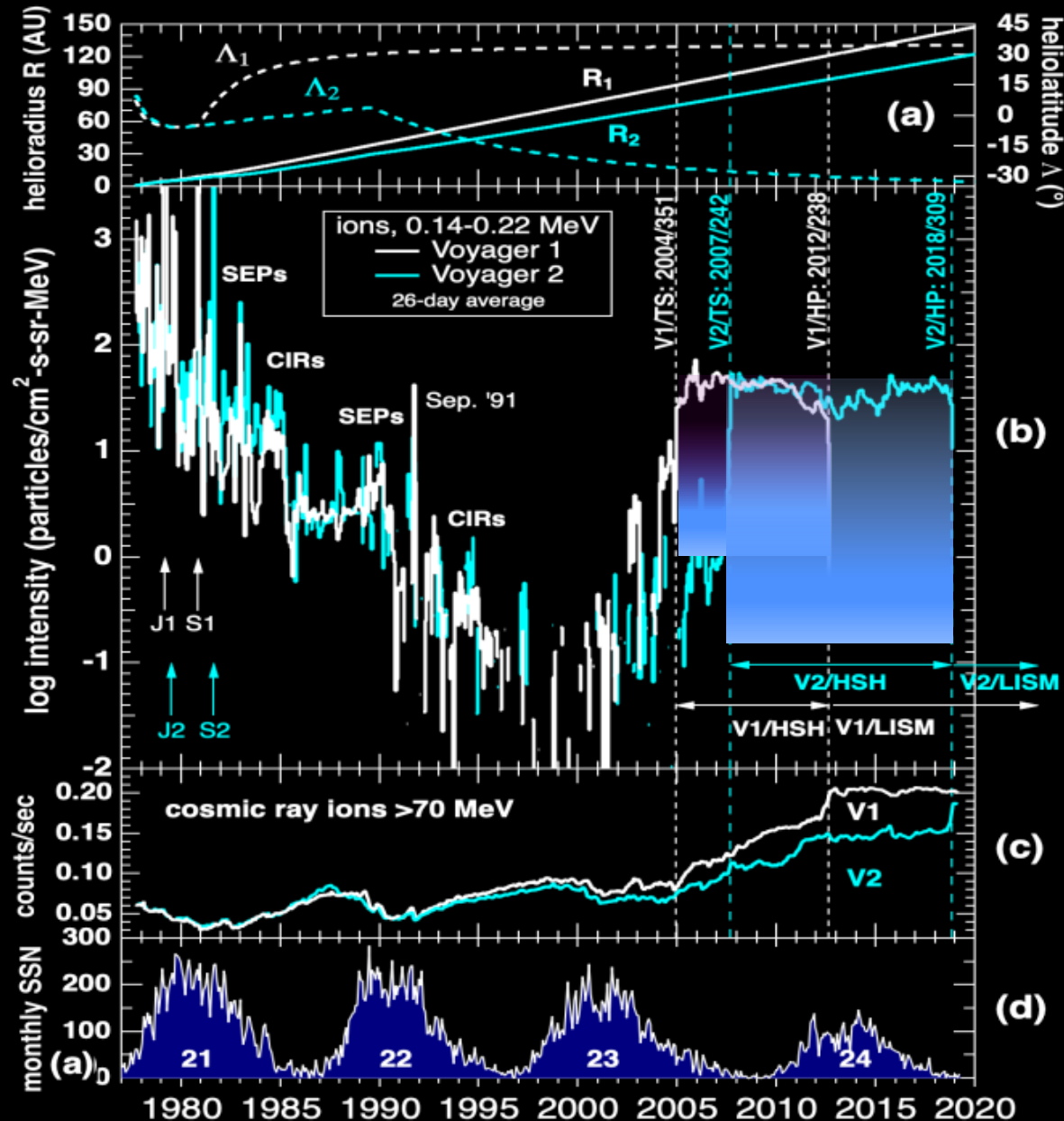


ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

ΤΑΧΥΤΗΤΑ : 1,5 εκατ. Χλμ/ώρα

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: 1 εκατ. °C

ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ VOYAGER // 46 ΧΡΟΝΙΑ ΤΑΞΙΔΙ ΣΤΗΝ ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑ



Krimigis & Decker+[2015]
Dialynas+[2022]

Voyager 1: 1977.7-2020.3

Ιόντα: 140-220 keV & >70 MeV

Παρατηρείται μια σημαντική μείωση των
ροών κατά την χρονική περίοδο 1995-2000

Η σχετικά μικρή ταχύτητα του διαστημοπλοίου
 ≈ 1.5 εκ. χλμ/ημέρα δίνει τη δυνατότητα για εις
βάθος μελέτη των φυσικών φαινομένων στον
διαπλανητικό χώρο

Αύξηση κοσμικών ακτίνων
κατά έναν παράγοντα 7

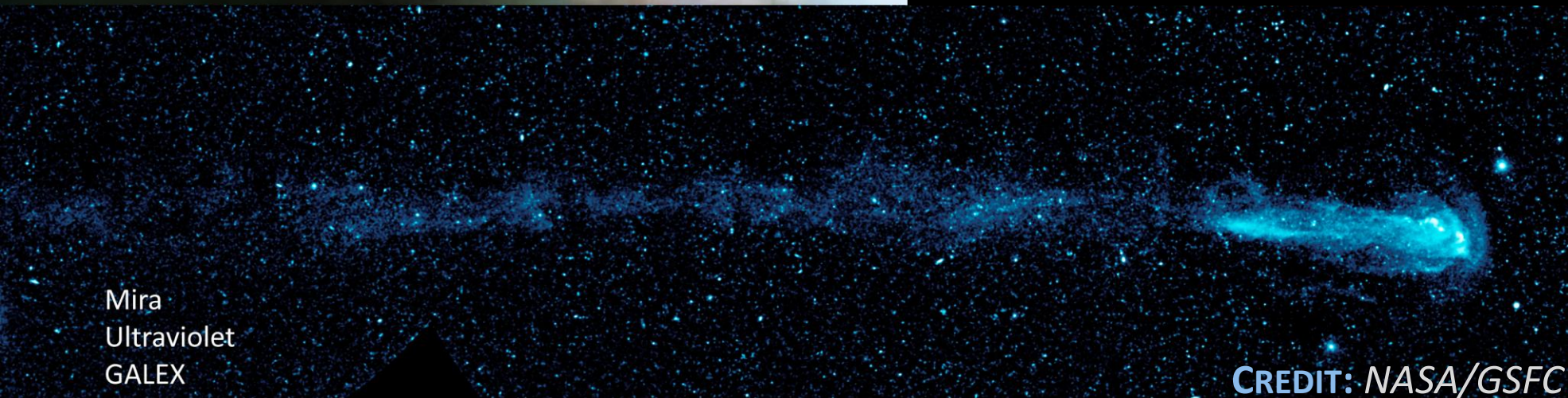
ΑΣΤΡΟΣΦΑΙΡΕΣ // ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΩΝ ΑΣΤΡΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΓΑΛΑΞΙΑ



LL Orionis
Visible
Hubble

Τα αστέρια ταξιδεύουν μέσα στο Γαλαξία και περιβάλλονται από μια φυσαλίδα που περιέχει φορτισμένα σωματίδια, ουδέτερα (αφόρτιστα) αέρια και μαγνητικά πεδία.

Οι αστροσφαίρες καμπυλώνουν στο ρύγχος, και συνήθως σχηματίζουν μια εκτεταμένη ουρά προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Mira
Ultraviolet
GALEX

CREDIT: NASA/GSFC

ΑΣΤΡΟΣΦΑΙΡΕΣ // ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΩΝ ΑΣΤΡΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΓΑΛΑΞΙΑ



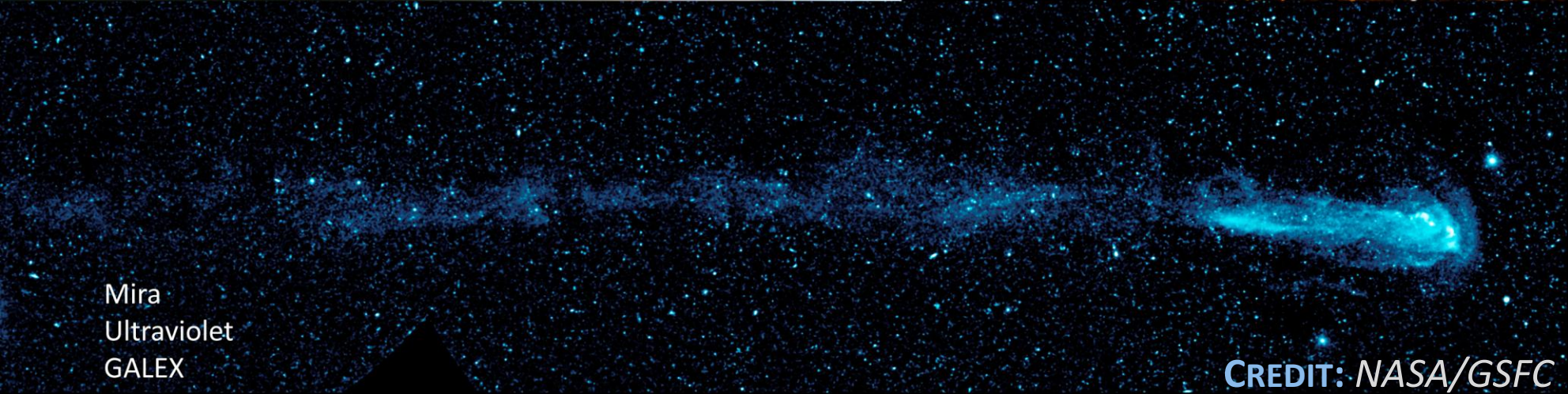
LL Orionis
Visible
Hubble



BZ Cam
Visible
R. Casalegno



IRC+10216
Ultraviolet
GALEX



Mira
Ultraviolet
GALEX

Όχι πάντα!
Κάποιες αστροσφαίρες
εμφανίζονται να είναι
πιο συμμετρικές μεταξύ
ρύγχους και ουράς.

CREDIT: NASA/GSFC

Davis Jr., [1955]

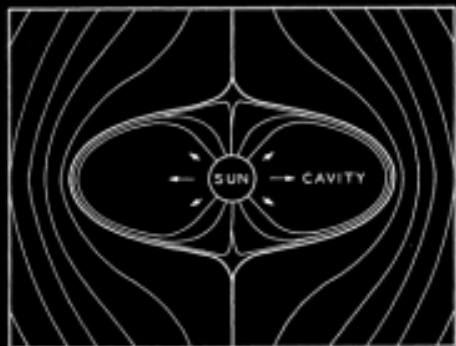


FIG. 1. A possible disposition of a solar magnetic field inside the cavity in the galactic field. The arrows represent the solar corpuscular radiation.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑΣ

1955 – 1974 (ADAPTED FROM GRUNTMAN ET AL, [2009])

Parker+[1961]

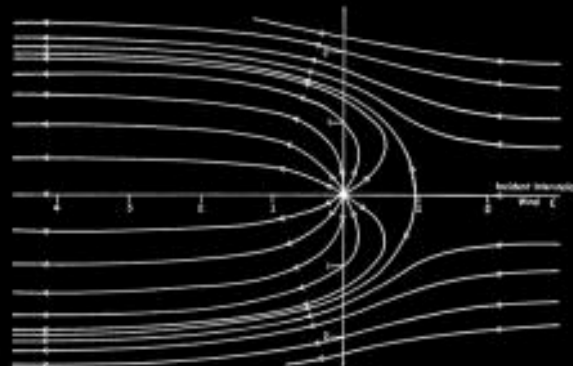


FIG. 1.—The streamlines of the subsonic, nearly incompressible, hydrodynamic flow of a stellar wind beyond the shock transition ($r = R$) in the presence of a subsonic interstellar wind carrying no significant magnetic field.

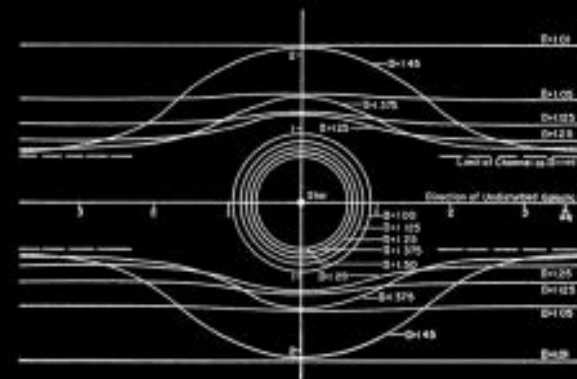
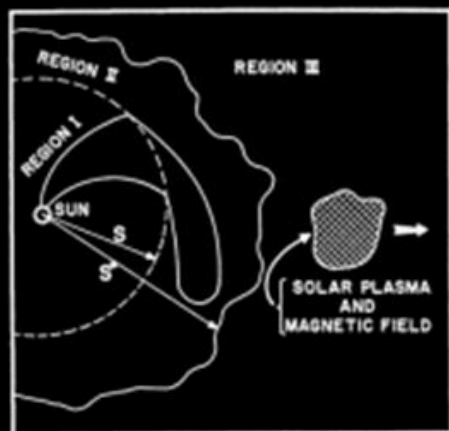


FIG. 3 —The shock transition $r = R$, shown by the concentric circles, and the outer boundary of the stellar-wind region in the presence of a large-scale interstellar magnetic field, for various values of the stagnation pressure at infinity.

Axford+[1963]



REVIEWS OF GEOPHYSICS

VOLUME 5 FEBRUARY 1967 NUMBER 1

Solar Wind and Interplanetary Magnetic Field

A. J. DESSLER

Department of Space Science
Rice University, Houston, Texas

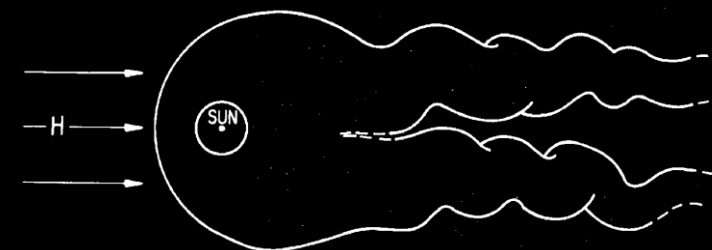
First major review

Dessler, [1967]

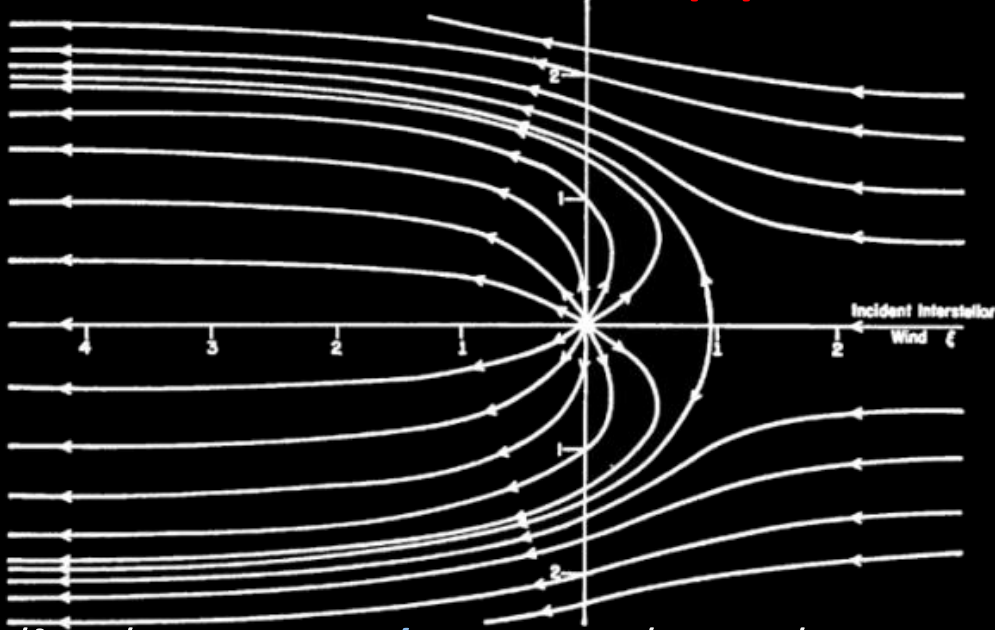
Baranov+[1971]



Yu, [1974]

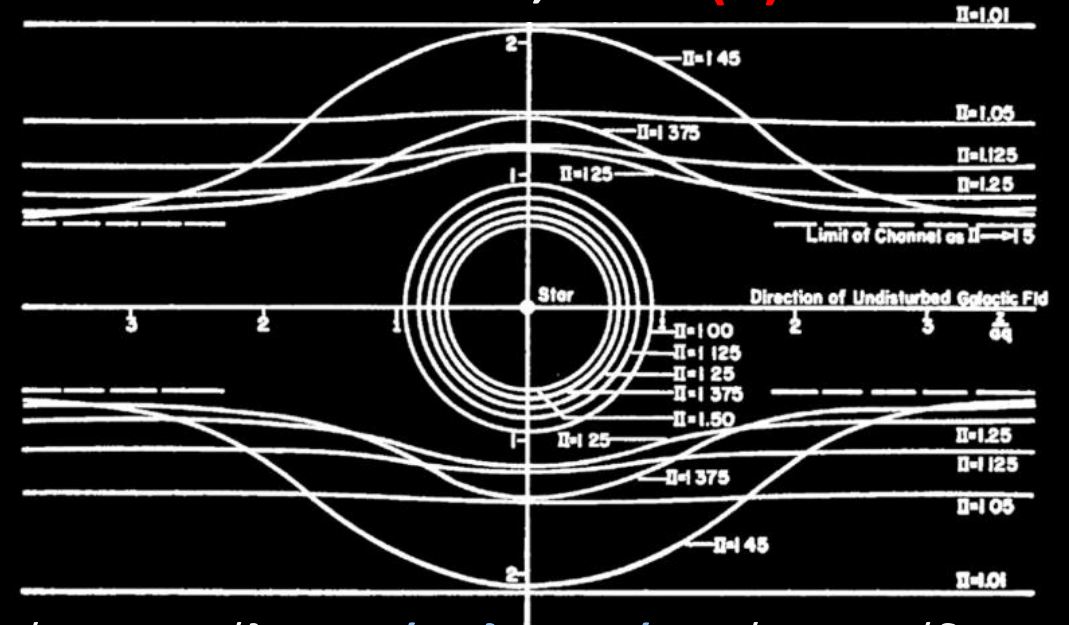


Parker, 1961 (A)



Μοντέλο τύπου **μαγνητόσφαιρας** μέσα σε ένα υποηχητικό, υδροδυναμικό πρότυπο για το μεσοαστρικό αέριο.

Parker, 1961 (B)

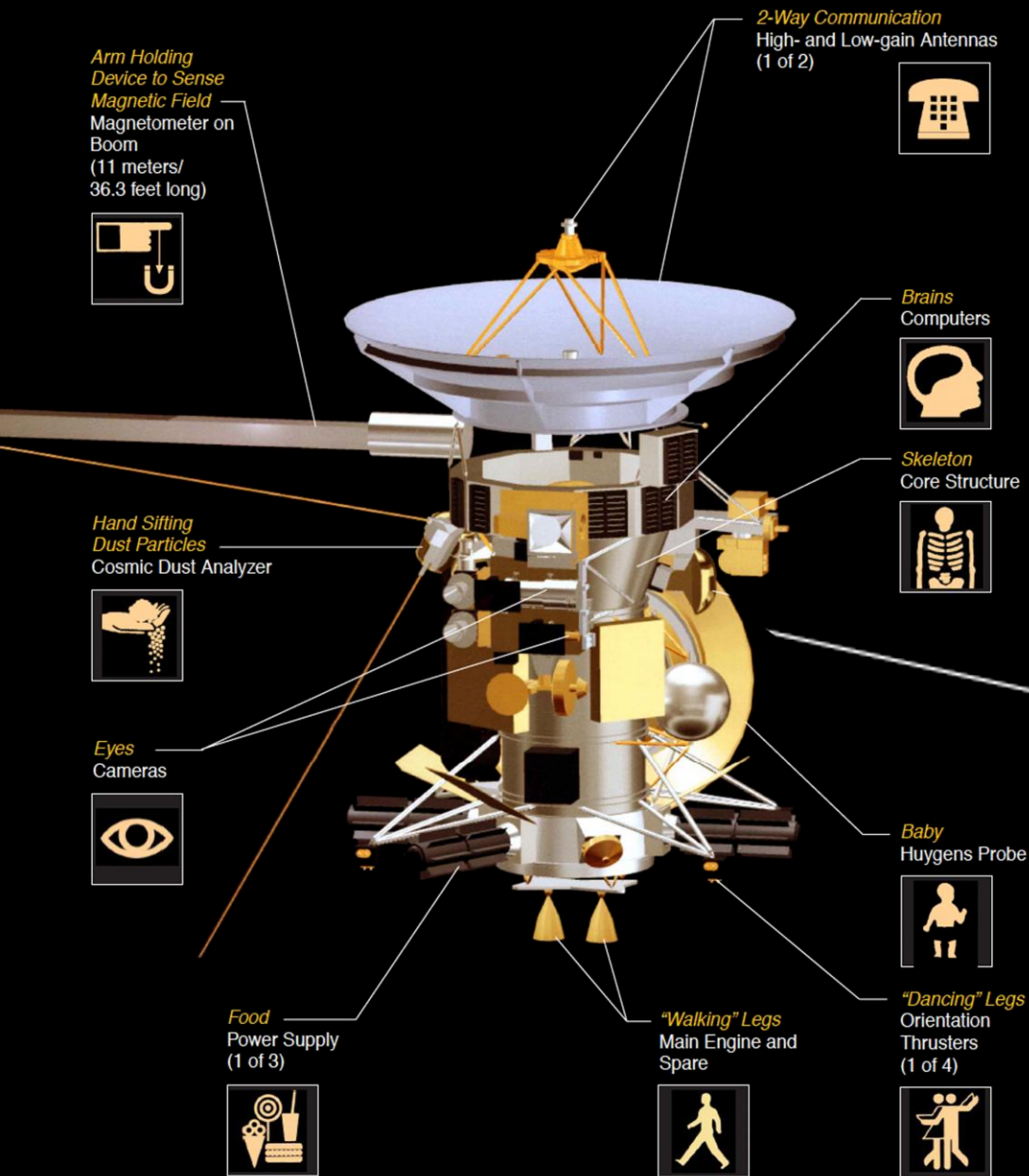


Ένα μοντέλο **χωρίς ηλιοσούρα**, υπό την επίδραση ενός μεγάλης κλίμακας μαγνητικού πεδίου.

Υιοθετήθηκε από το 1961 έως τουλάχιστον το 2009, χωρίς όμως την ύπαρξη δεδομένων που να υποστηρίζουν

Θεωρήθηκε μη ρεαλιστικό, κυρίως διότι το μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο αναμένονταν να είναι ασθενές και να αλληλεπιδρά με ένα εξίσου ασθενές μαγνητικό πεδίο από τον ήλιο

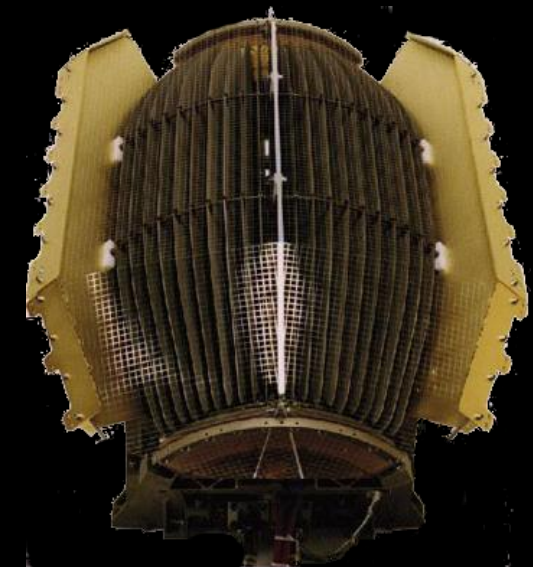
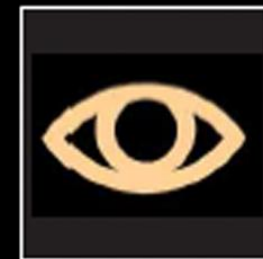
THE CASSINI-HUYGENS MISSION // 1997-2017



Magnetospheric Imaging Instrument JHU/APL

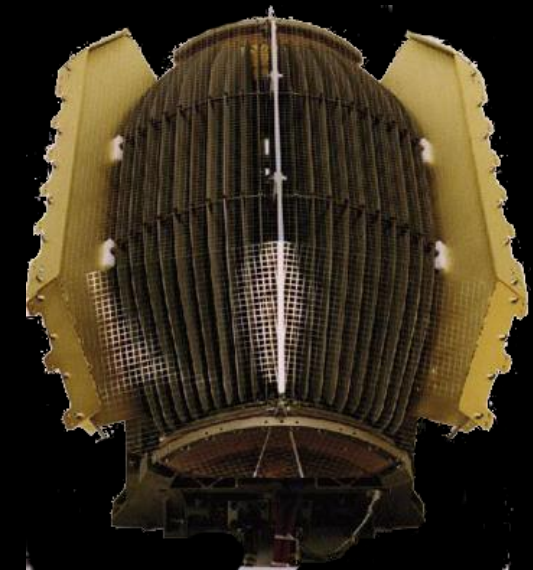
S.M. Krimigis, D. G. Mitchell, **C. P. Paranicas**, T P. Armstrong, J. F. Carbary, **I. J. Dandouras**, D. C. Hamilton, W.-H. Ip, N. Krupp, A. Lagg, S. Livi, B. H. Mauk, H. Reme, E. C. Roelof, J.-A. Sauvaud, **M. Andriopoulou**, S. Bolton, P. Brandt, **K. Dialynas**, P. Garnier, G. Jones, P. Kollmann, A. Kotova, J. Manweiler, **E. Roussos**, A. Rymer, J. Saur, **N. Sergis**, H. T. Smith, J. Westlake.

Eyes Magnetospheric Imaging Instrument

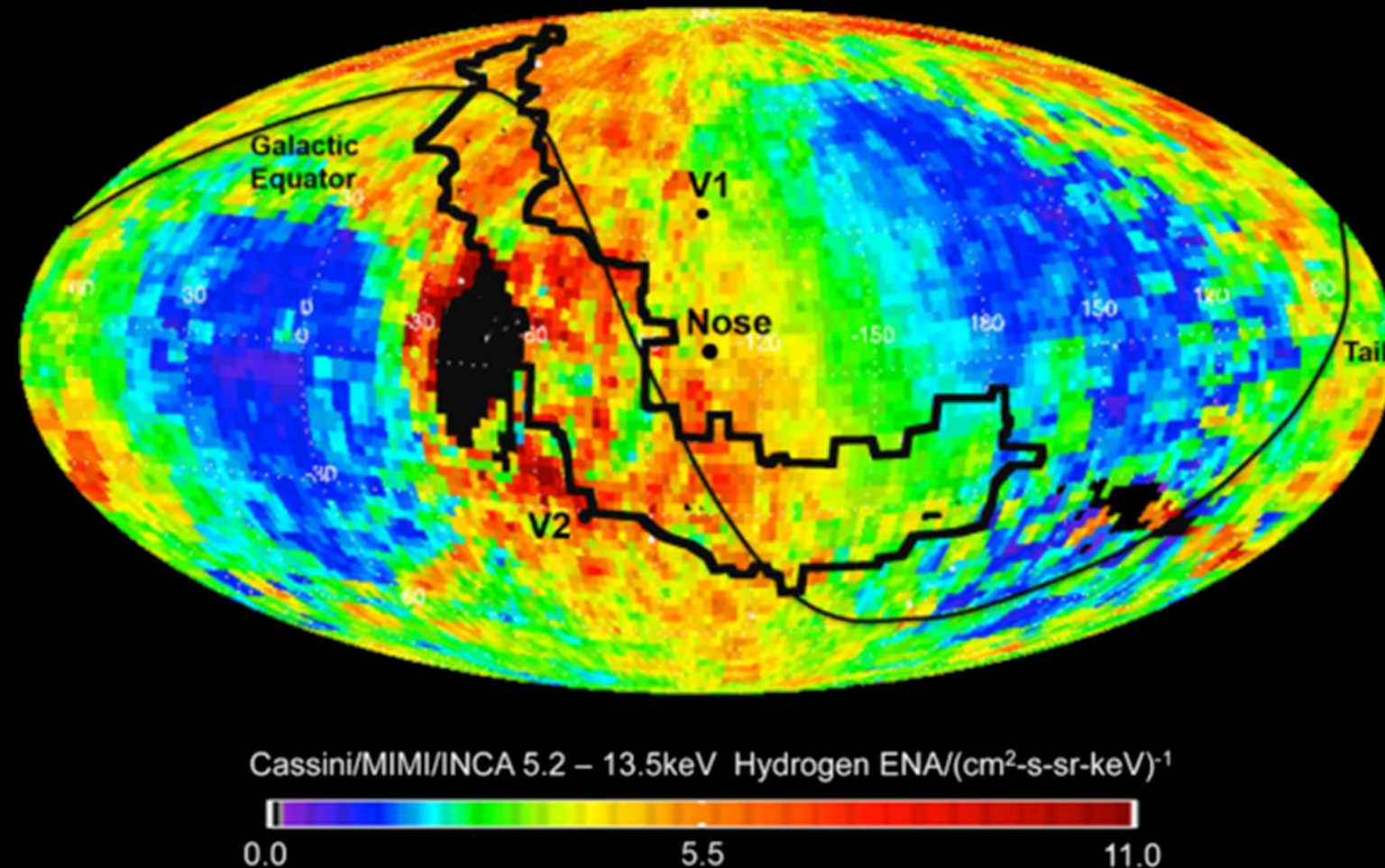


Magnetospheric Imaging Instrument JHU/APL

S.M. Krimigis, D. G. Mitchell, **C. P. Paranicas**,
T P. Armstrong, J. F. Carbary, **I. J. Dandouras**,
D. C. Hamilton, W.-H. Ip, N. Krupp, A. Lagg,
S. Livi, B. H. Mauk, H. Reme, E. C. Roelof, J.-
A. Sauvaud, **M. Andriopoulou**, S. Bolton, P.
Brandt, **K. Dialynas**, P. Garnier, G. Jones, P.
Kollmann, A. Kotova, J. Manweiler,
E. Roussos, A. Rymer, J. Saur, **N. Sergis**, H. T.
Smith, J. Westlake.



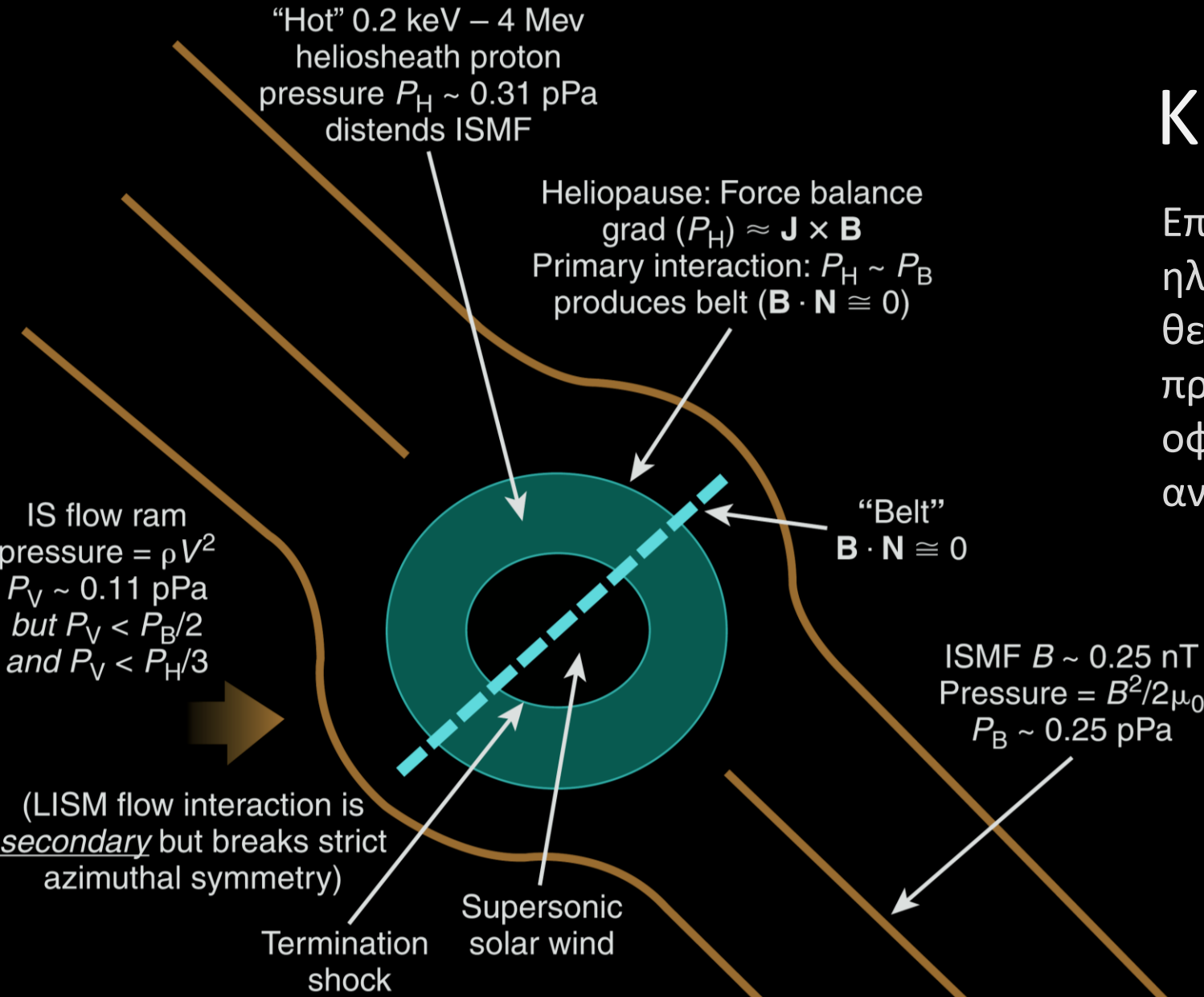
Krimigis+[*Science*, 2009]



Dialynas+[2013]

Belt: Ρεζερβουάρ ηλεκτρονίων και ιόντων που συνθέτουν την Ηλιοθήκη.

Basins: Περιοχές ελάχιστων ροών των ENA.



Krimigis+[*Science*, 2009]

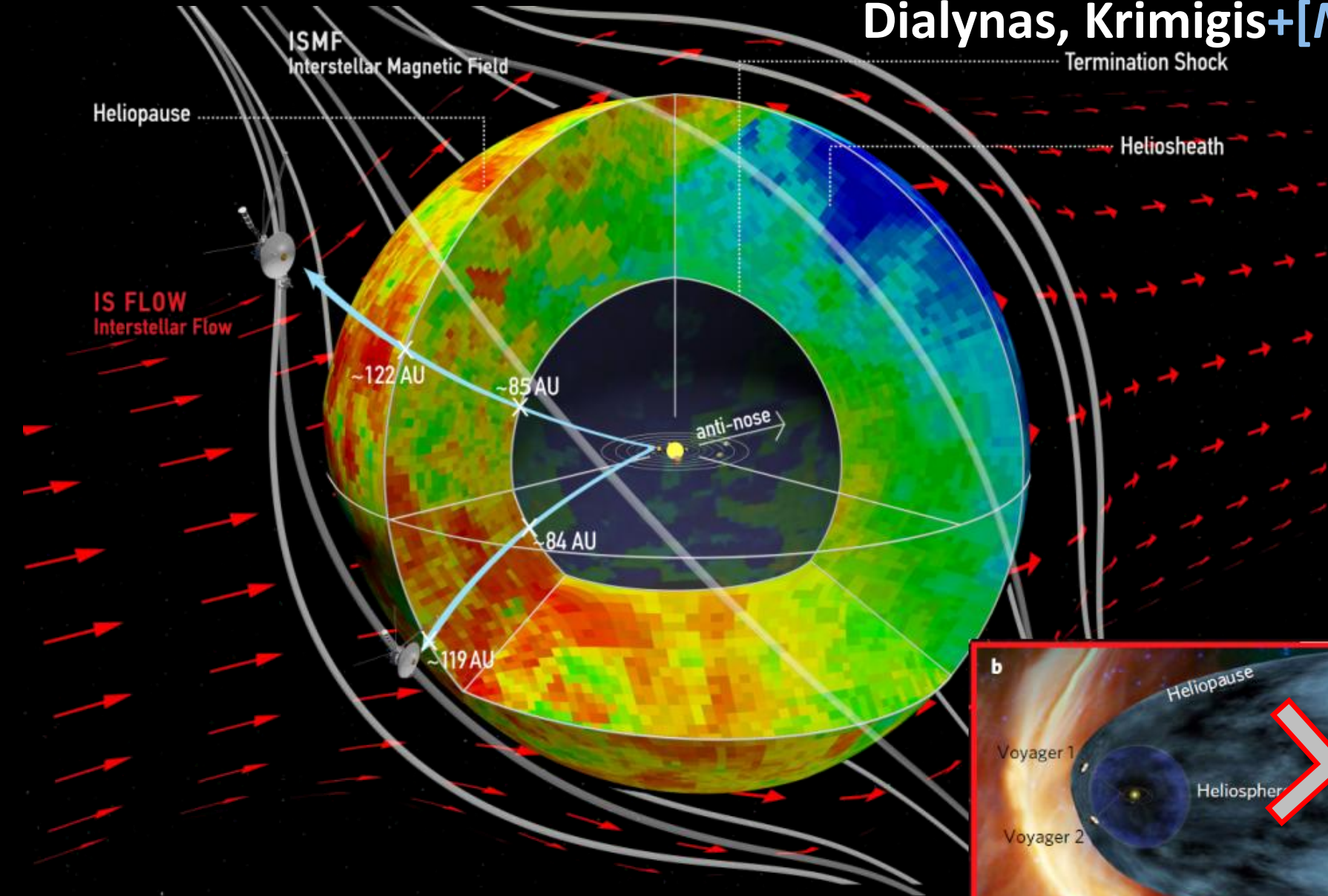
Επαναπροσδιόρισαν την αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου με το διαστρικό μέσο, θεωρώντας πως η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται στην ηλιόπαυση και οφείλεται κυρίως στην πίεση πρωτονίων που αντιστοιχούν περίπου στις ενέργειες των ΕΝΑ.



- a) **Μαγνητικό Πεδίο** $V1 \sim 0.5 \text{ nT}$, $V2 \sim 0.68 \text{ nT}$ (Burlaga+[2013; 2019])
- b) **Πίεση Μαγνητικού Πεδίου** $B^2/8\pi \sim 0.1 - 0.184 \text{ pPa}$ (Krimigis+2010; Dialynas+2020)
- c) **Πίεση Ηλιοθήκης** $P_{\text{tot}} \sim 0.230 - 0.267 \text{ pPa}$ (Krimigis+2010; Rankin+2019; Dialynas+2020).
- d) **Πυκνότητα Υδρογόνου** $n_H > 0.09 - 0.12 \text{ cm}^{-3}$ (Gurnett+2013;2015, Kurth & Gurnett+2020, Dialynas+2019;2020, Swaczyna+2020)
- e) **Βήτα πλάσματος** $\beta > 10$ on average (Dialynas+2019;2020)
- f) **Πίεση μεσοαστρικού αερίου** $P_{\text{Stagn.}} = \rho V^2/2 \sim 0.056 \text{ pPa}$, $P_{\text{thermal}} = nkT \sim 0.010 \text{ pPa}$ & $P_{\text{GCR}} \sim 0.007 \text{ pPa}$ (Krimigis+2010; Dialynas+2020)
- g) **$B_{\text{ISMF}}/P_S > 2$** as opposed to the expected $\sim 0.28-0.5$

ΤΟ ΠΑΛΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑΣ // ΕΦΤΑΣΕ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ

Dialynas, Krimigis+*[Nature Astronomy, 2017]*



Η Ηλιόσφαιρα... φαίνεται να είναι μια **σχεδόν συμμετρική «φυσάλιδα»** πλάσματος που εμφανίζει «διαμαγνητική» συμπεριφορά: το πλάσμα της ηλιοθήκης αλληλεπιδρά άμεσα με το ισχυρό μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο, που «συμπιέζει» την εμφάνιση ουράς σε μερικές εκατοντάδες αστρονομικές μονάδες, αντί για ~20,000.

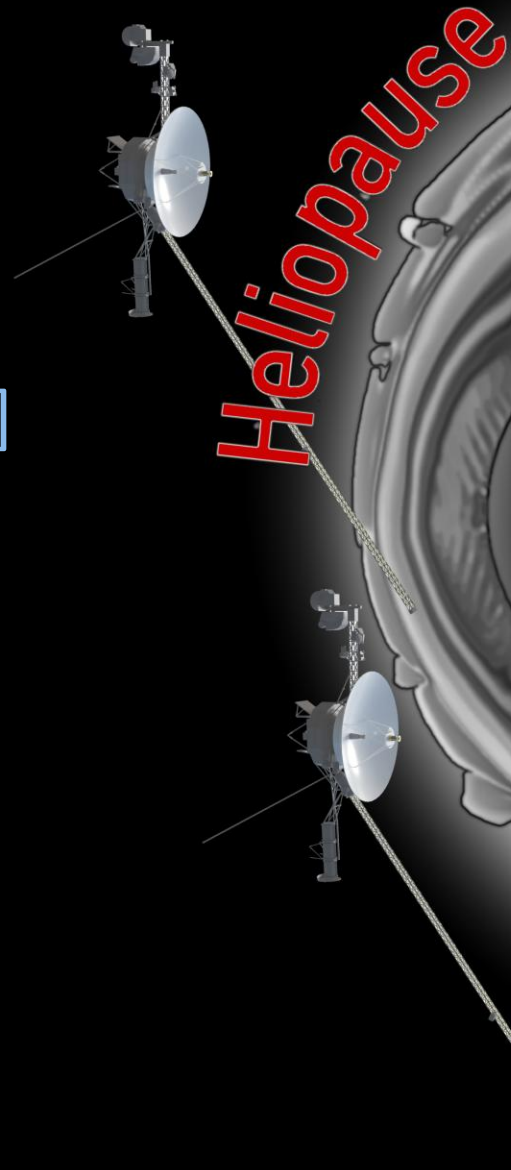


Το μεσοαστρικό πλάσμα... περιτυλίγεται γύρω από την ηλιόπαυση, λίγο έως πολύ, όπως το νερό ρέει γύρω από ένα βότσαλο σε ένα «αργό» ποτάμι.

Διαβάστε: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasa-s-cassini-voyager-missions-suggest-new-picture-of-sun-s-interaction-with-galaxy>

Termination Shock

Opher+[2020]

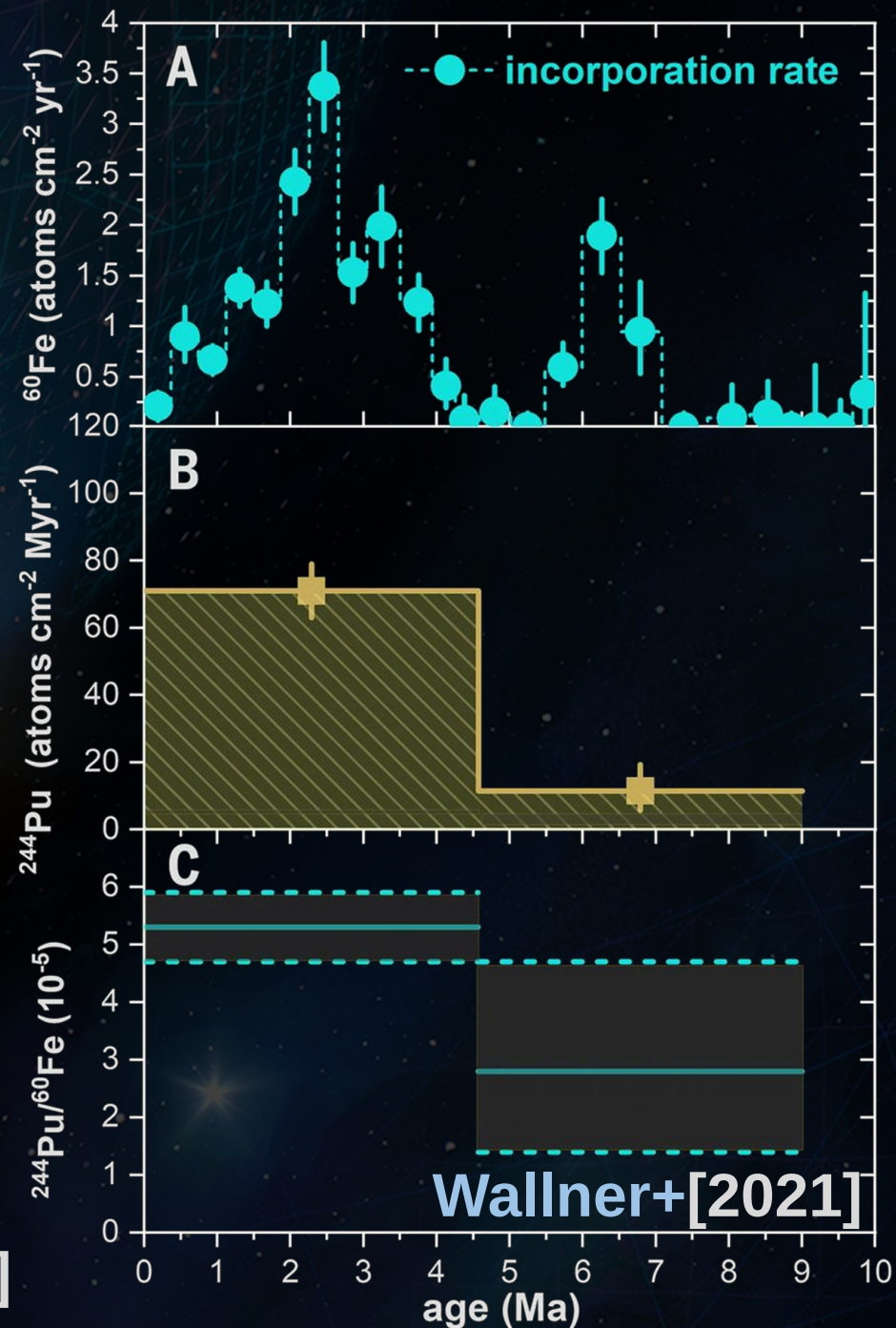


Heliopause

Heliosheath

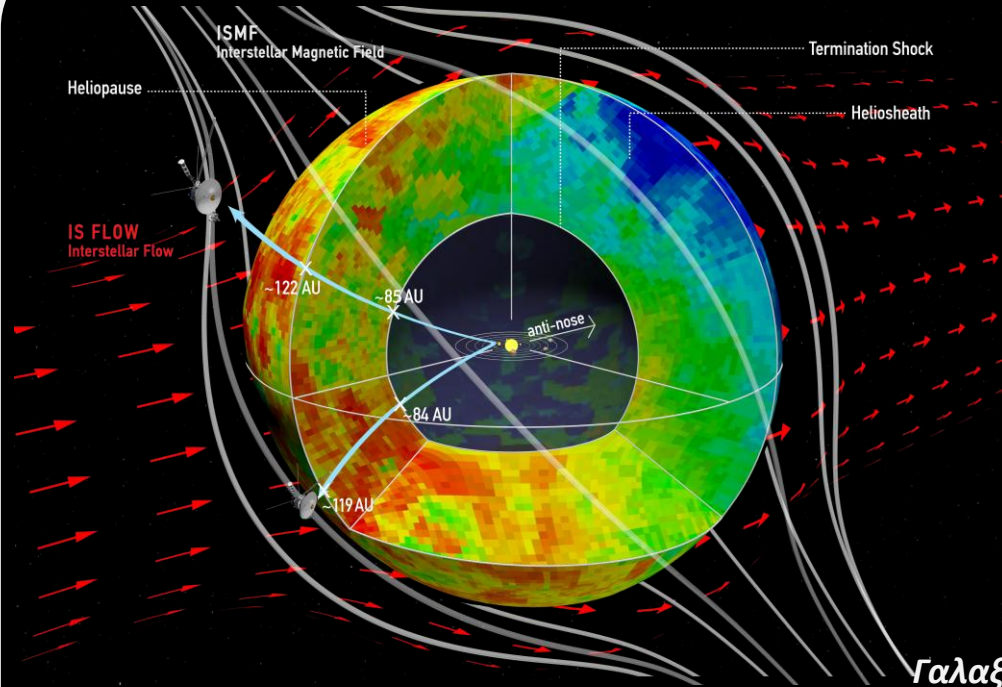
Η Γη εκτεθειμένη Στο μεσοαστρικό αέριο πριν 2-3Myr και 6-7Myr

Wallner+[2016; 2020; 2021], Knie+[1999,2004]
Fitoussi+[2008], Fiminani+[2016], Ludwig+[2016]

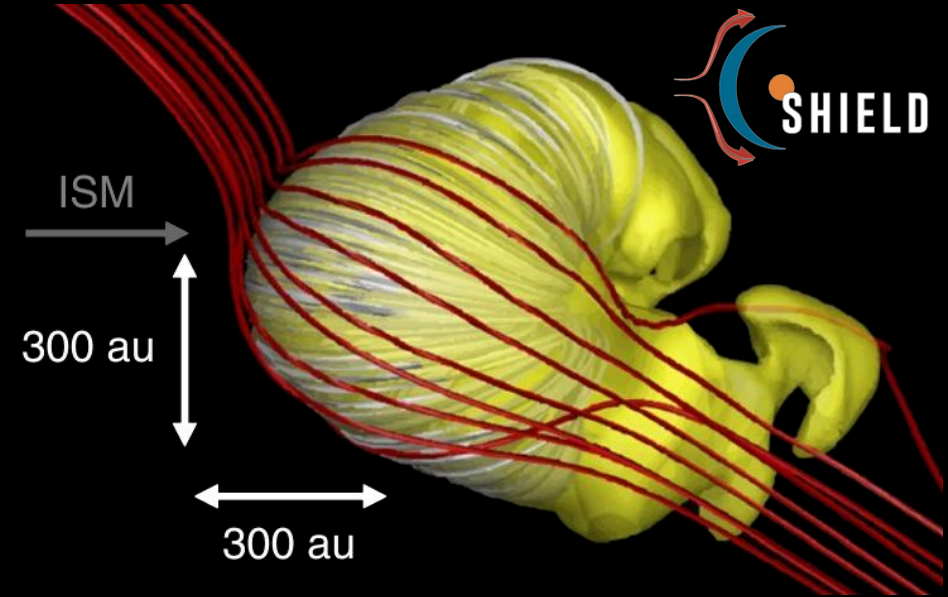


ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑΣ (1961-2020) // ΣΧΕΔΟΝ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΦΥΣΑΛΙΔΑ, «ΚΡΟΥΑΣΑΝ»

Dialynas+[2017] (INCA & Voyager data)

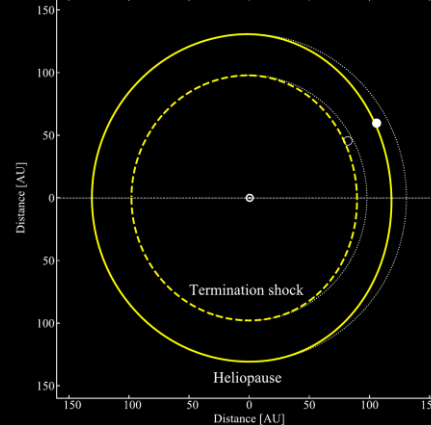


Opher+[2020] MHD modeling



Boschini+[2019; 2020]

Γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες στην Ηλιόσφαιρα (HELMod).



Czechowski+[2020]

Schwadron & Bzowski+[2018]

Pogorelov+[2015; 2017]

~20,000 AU
Ηλιοουρά

IBEX-Lo Data (Galli+[2016; 2017])

[...] typical thickness of HS in downwind
~(220±110) AU.

IBEX-Hi Data (Reisenfeld+[2016])

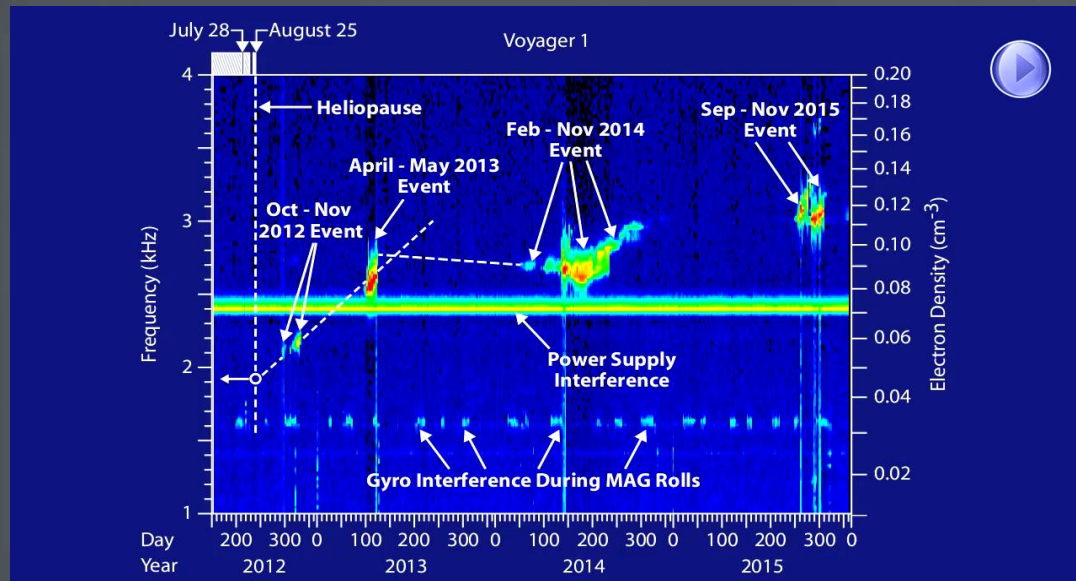
N. pole $L_{HS} \sim 210$ AU || S. pole $L_{HS} \sim 160$ AU

IBEX-Hi Data (Reisenfeld+[2021])

[...] heliosphere extends at least ~350 AU tailward

Η ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑ // ΗΧΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

SOUNDS FROM INTERSTELLAR SPACE



Gurnett+[2013; 2015]

Το σήμα από το Voyager 1, που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός (300.000 χλμ/δευτ.), **χρειάζεται 22 ώρες και 59 λεπτά για να φθάσει στη Γη, μια απόσταση 24,87 δισ. χλμ (>166 AU)**

Voyager 1
161 AU

Heliopause at V1
(121.6 AU)

Heliosheath

28 AU

Putative TS
(84 AU)

TS at V1
(94 AU)

$\theta = 43^\circ$

Solar Wind

TS at V2
(84 AU)

35 AU

Voyager 2
133 AU

Heliopause at V2
(119 AU)

Krimigis+[Nature Astronomy, 2019]

Σας Ευχαριστώ

