



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πολυτεχνική Σχολή

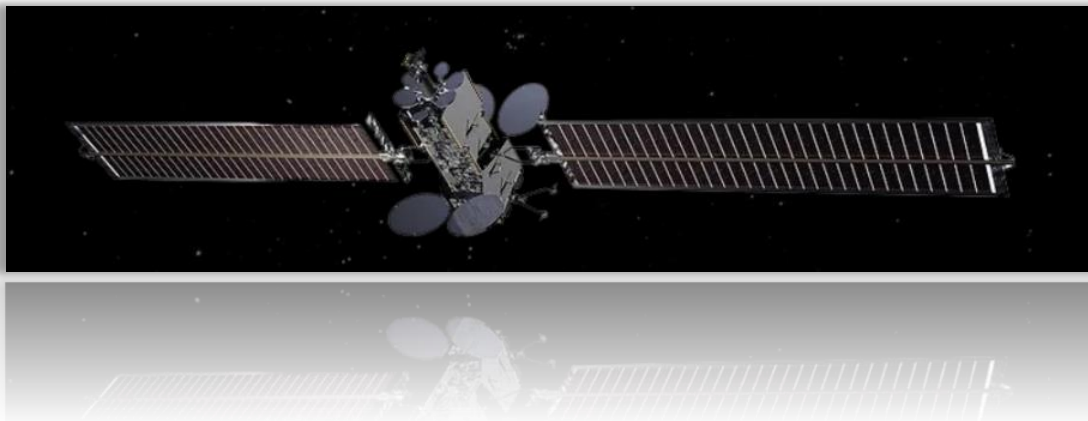
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

Αναφορά Υπολογιστικής Εργασίας 10

OMERE HellasSat-4

Εργασία για μάθημα «Αξιοπιστία Συστημάτων» 2024-2025



Ομάδα 8

Δειρμεντζόγλου Ιωάννης 10015 deirmentz@ece.auth.gr

Καμπουρίδου Ηλιάνα 10169 iliakamp@ece.auth.gr

Περιεχόμενα

Αποστολή.....	3
Τροχιά.....	3
Θέση.....	3
Προσομοίωση Διαστημικού Περιβάλλοντος	4
Trapped Protons and Electrons	5
Solar Protons and Ions	6
Solar Flares	7
Galactic Cosmic Rays	7
Χαρτογράφηση ροών	8
Δόσης και Εναπόθεσης Ενέργειας	9
Dose (Δόση)	9
Let (Εναπόθεση Ενέργειας)	10
Σφάλματα Ηλεκτρονικών	10
Μικροελεγκτής - SEU.....	11
Μικροελεγκτής - SEFI	12
Μνήμη – SEL	13
Spacecraft Controller - APB Register.....	14
Spacecraft Controller - LEON3 IU	15
Spacecraft Controller - LEON3 FPU	16
Αξιολόγηση ηλεκτρονικών	17
Βιβλιογραφία	18

Αποστολή

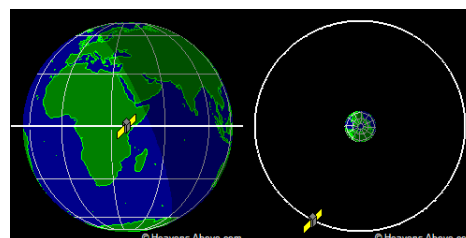
Ο δορυφόρος Hellas Sat 4, γνωστός και ως SaudiGeoSat 1, είναι ο τέταρτος ελληνικός που έχει σταλεί στο διάστημα. Πρόκειται για έναν ελληνικό και σαουδαρβικό γεωστατικό τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο (GEO). Κατασκευάστηκε από τον Lockheed Martin και ζυγίζει περίπου 6.5 τόνους. Εκτοξεύθηκε στις 5 Φεβρουαρίου του 2019 με τον πύραυλο Ariane 5 από την πόλη Κουρού στην Γαλλική Γουιάνα. Η συνολική αποστολή αναμένεται να διαρκέσει 15 χρόνια.

Ο δορυφόρος από την τελική του θέση, 39° Ανατολικά στον ισημερινό, προσφέρει τηλεπικοινωνιακή κάλυψη σε Ευρώπη, Μέση Ανατολή και νότια Αφρική. Ενισχύει την ήδη υπάρχουσα κάλυψη, αυξάνοντας την αξιοπιστία και την ασφάλεια σε υπηρεσίες όπως η τηλεόραση, το διαδίκτυο και το τηλέφωνο.



Τροχιά

Ο Hellas Sat 4, ως τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, έχει γεωστατική τροχιά. Αυτός ο τύπος τροχιάς επιτρέπει σε έναν δορυφόρο να παραμένει "σταθερός" ως προς έναν παρατηρητή στη Γη. Ο δορυφόρος "συγχρονίζεται" με την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της, οπότε έχει περίοδο 23.9 ώρες. Ως γεωστατικός δορυφόρος βρίσκεται σε ύψος περίπου 35786km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Το οποίο αντιστοιχεί σε ακτίνα τροχιάς 42164km από το κέντρο της γης.

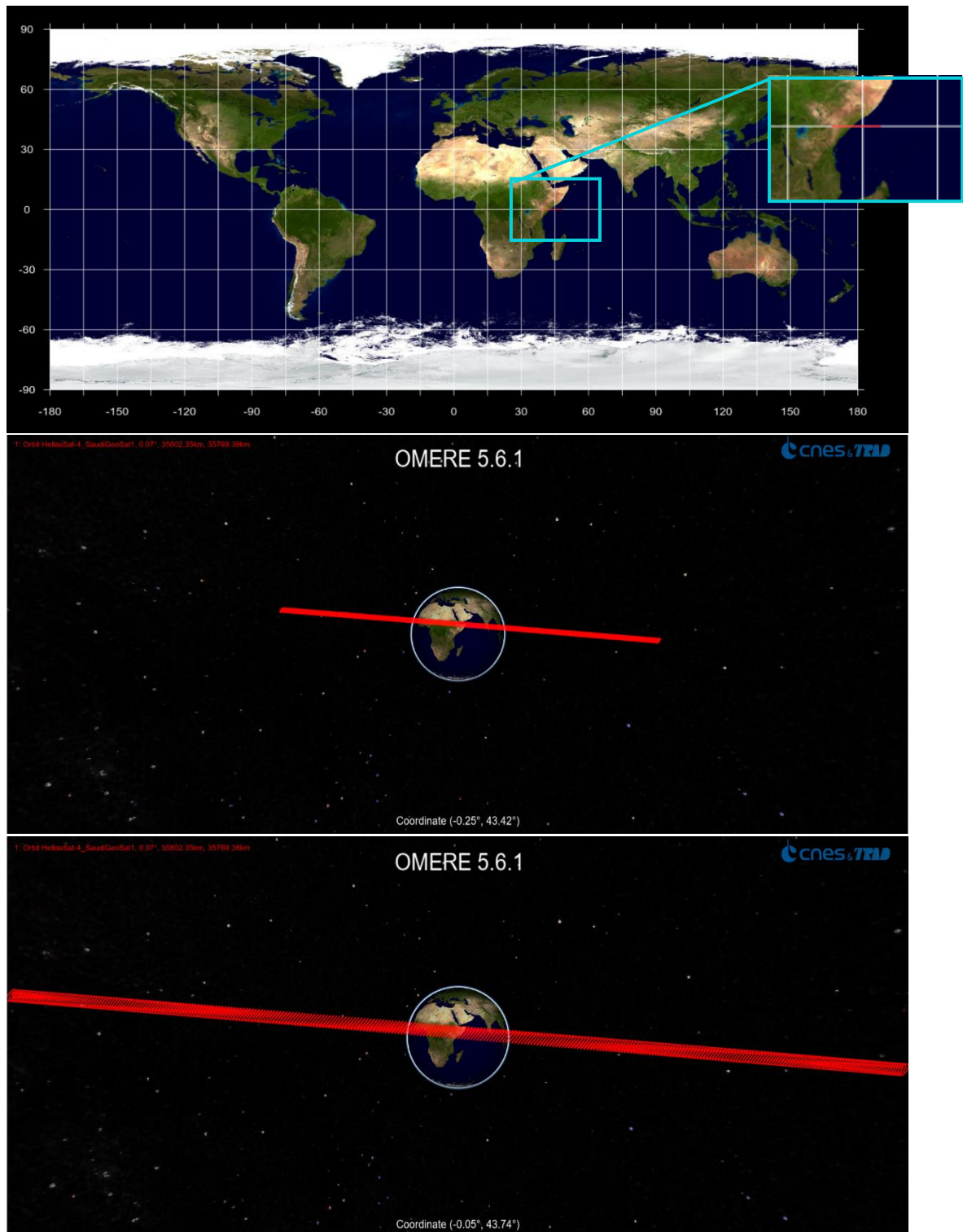


Σύμφωνα με τα στοιχεία της αποστολής, ο δορυφόρος εμφανίζει την τροχιά που φαίνεται στα παραπάνω σχήματα. Ενώ στον διπλανό πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων για την συγκεκριμένη τροχιά, ώστε να περαστούν στο πρόγραμμα, καθώς και τα στοιχεία της προσομοίωσης.

Θέση

Βλέπουμε την θέση του δορυφόρου μας σε 2 και 3 διαστάσεις, σύμφωνα με τις παραμέτρους στο πρόγραμμα.

Στοιχείο	Τιμή
Semi-major axis	42164km
Eccentricity	0.000391
Inclination	0.0658 degrees
Perigee argument	0 degrees
Longitude of ascending node	38.9 degrees
True anomaly	0 degrees
Mission duration	15 years
Number of orbits	300
Number of points per orbit	300



Προσομοίωση Διαστημικού Περιβάλλοντος

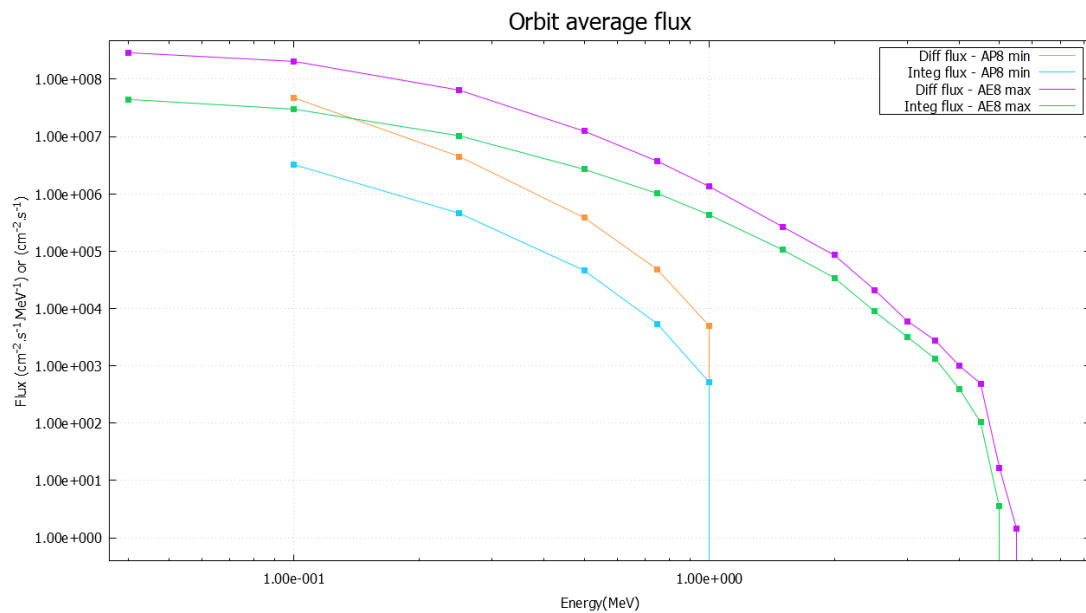
Εκτός από την ίδια την αποστολή πρέπει να προσομοιωθεί και το περιβάλλον που υπάρχει στο διάστημα. Αυτό αναφέρεται κατά κύριο λόγο στις διάφορες ακτινοβολίες που εκπέμπονται. Τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα ηλεκτρονικά των δορυφόρων, για αυτό γίνεται η σχετική ανάλυση και οι δορυφόροι σχεδιάζονται με ανθεκτικά υλικά για προστασία

από την ακτινοβολία. Παρακάτω θα δούμε ροές και διαγράμματα για τις κύριες πηγές της ακτινοβολίας.

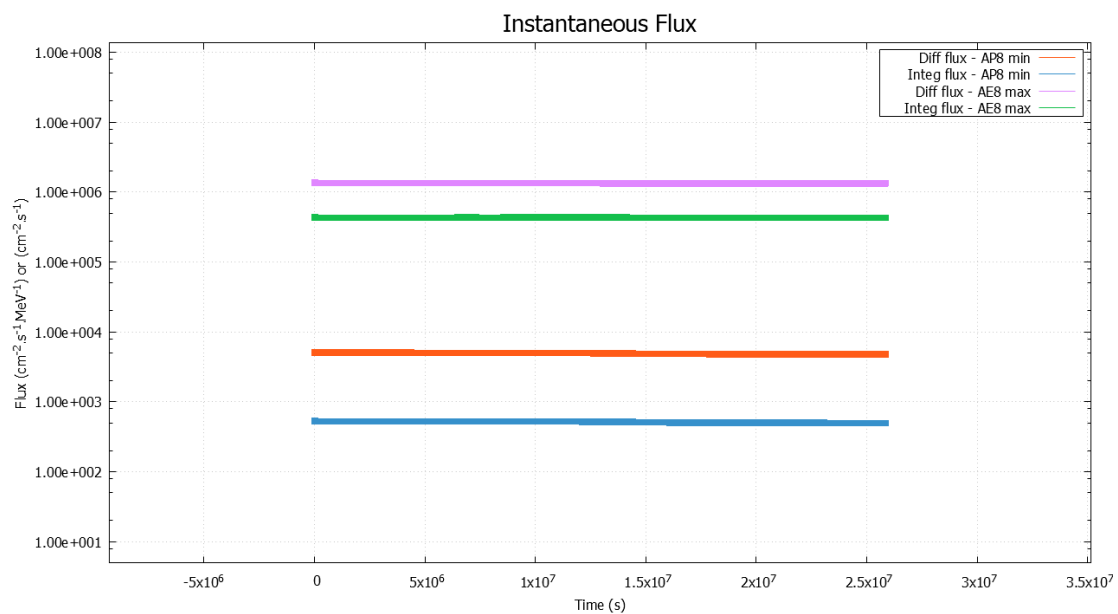
Trapped Protons and Electrons

Πρόκειται για σωματίδια υψηλής ενέργειας που παγιδεύονται από το μαγνητικό πεδίο της Γης και σχηματίζουν τις ζώνες ακτινοβολίας Van Allen.

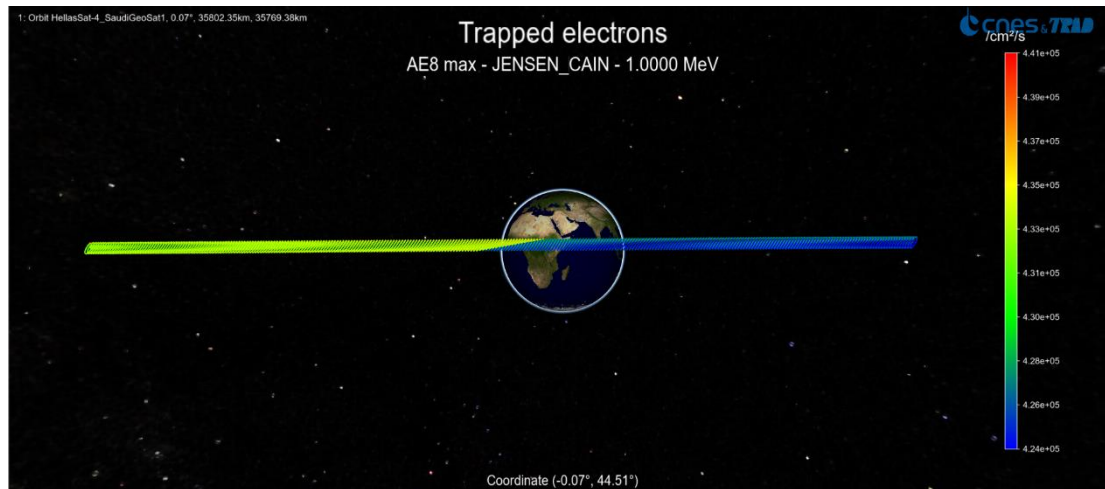
Το **mean spectrum** αναφέρεται στο μέσο ενεργειακό φάσμα των εγκλωβισμένων σωματιδίων. Βλέπουμε το διάγραμμα παρακάτω με άξονες την ροή και την ενέργεια.



Το **instantaneous flux** αναφέρεται στον αριθμό των σωματιδίων που διέρχονται μέσω μιας μονάδας επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου. Το μέγεθος αυτό είναι σταθερό για πρωτόνια και ηλεκτρόνια, με τα ηλεκτρόνια να είναι περισσότερα σε πλήθος.



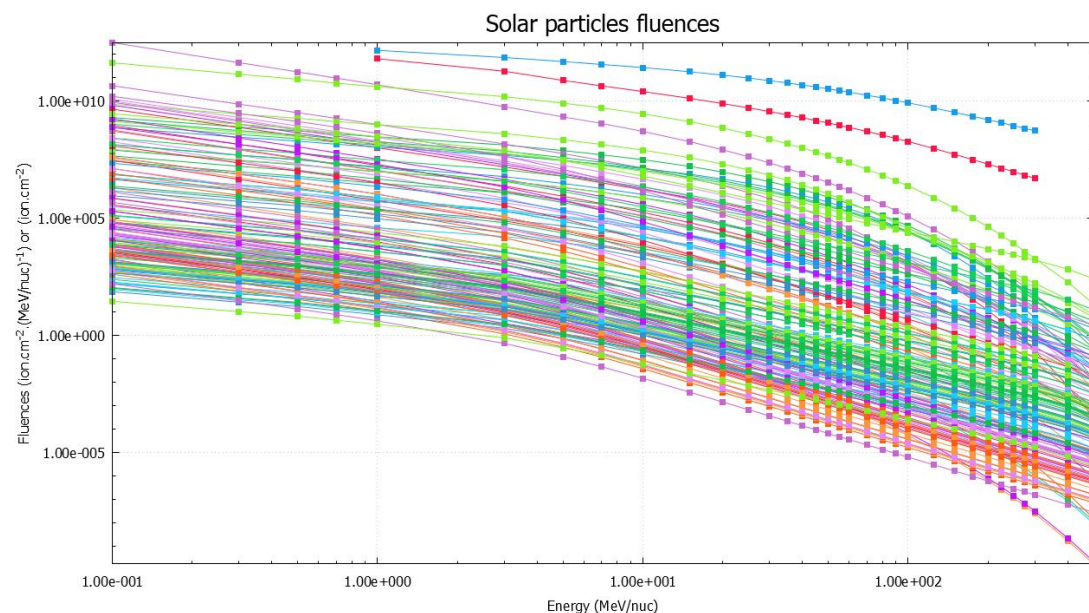
Στην συνέχεια βλέπουμε το φάσμα κατά μήκος της τροχιάς του δορυφόρου μας για τα εγκλωβισμένα ηλεκτρόνια. Γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της ενεργειακής κατανομής τους καθώς ο δορυφόρος κινείται στην τροχιά του. Αυτή η ανάλυση βοηθάει στην σχεδίαση των ηλεκτρονικών και στην πρόβλεψη φαινομένων, όπως σφάλματα και ιοντίζουσα δόση.



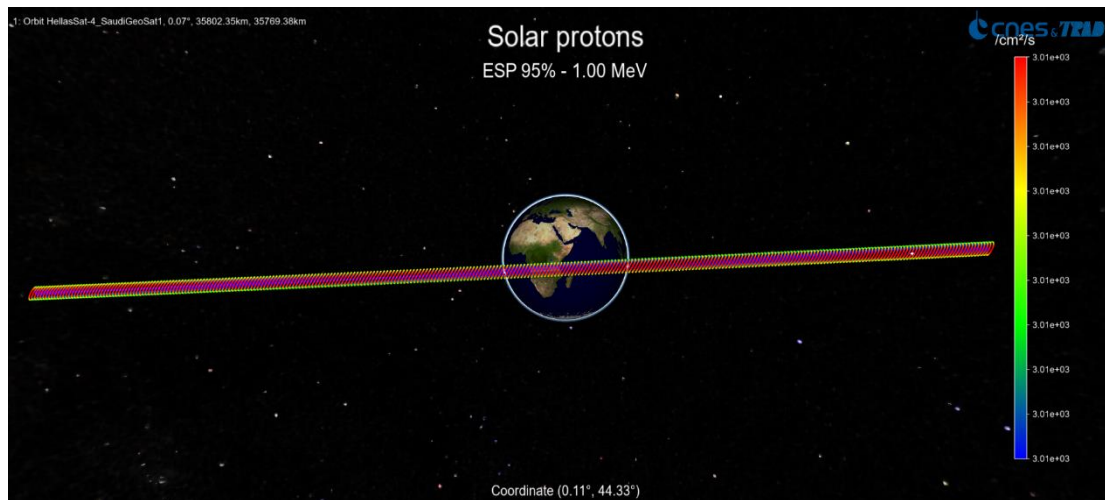
Solar Protons and Ions

Είναι φορτισμένα σωματίδια που προέρχονται από τον Ήλιο, κυρίως πρωτόνια. Αυτά τα σωματίδια παίζουν σημαντικό ρόλο στις δυναμικές του διαστημικού περιβάλλοντος.

Η μέση ροή των ηλιακών σωματιδίων φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.

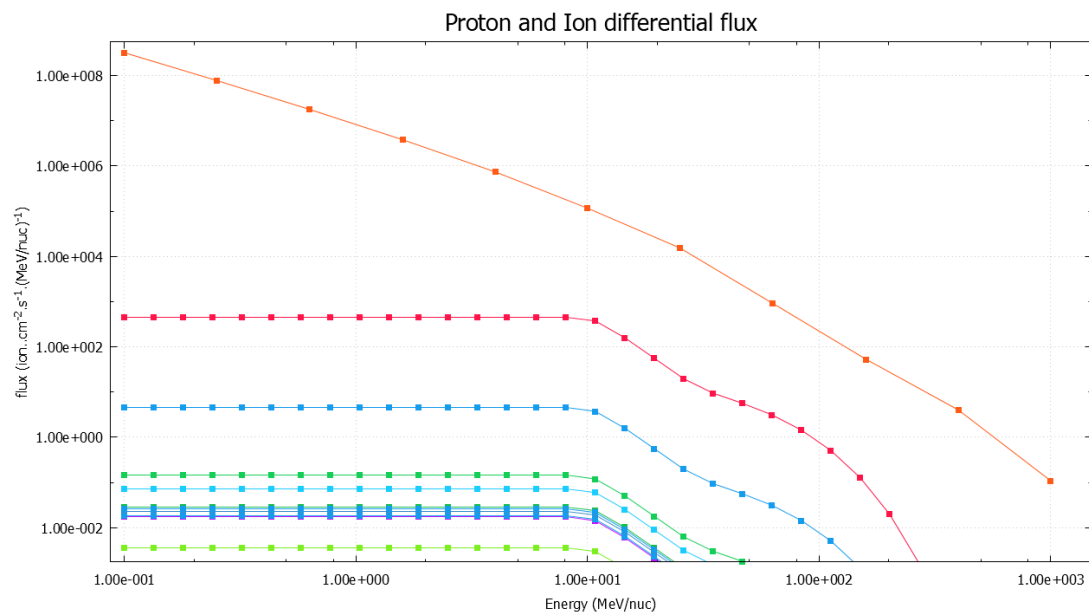


Το **instantaneous energy spectrum** περιγράφει την κατανομή της ροής των πρωτονίων ως συνάρτηση της ενέργειας κατά την τροχιά του δορυφόρου. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για την προστασία των συστημάτων.



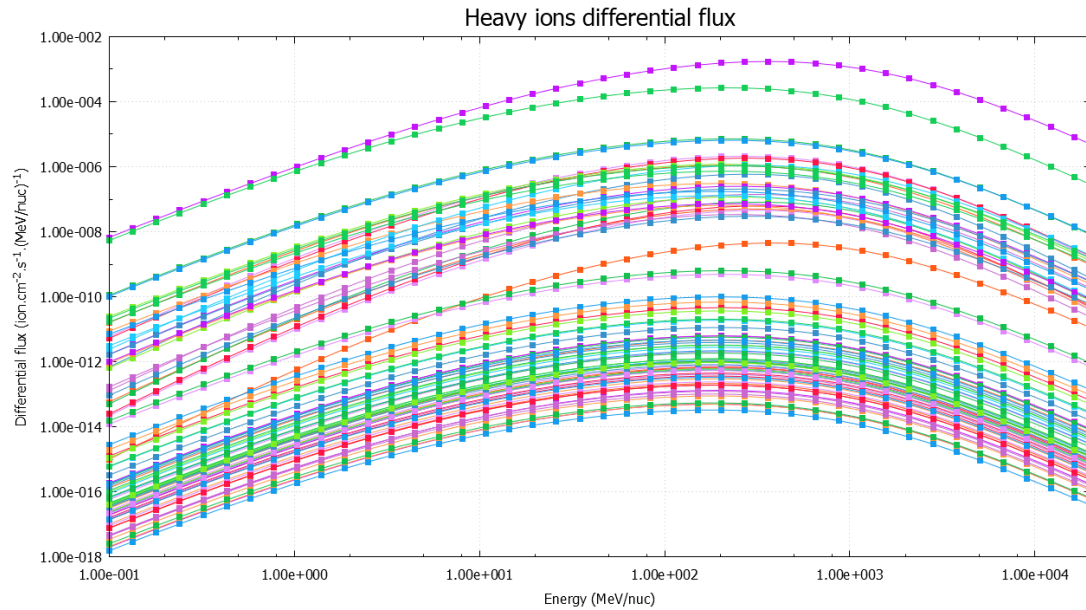
Solar Flares

Είναι δυναμικές εκρήξεις ενέργειας που παρατηρούνται στην επιφάνεια του Ήλιου από την απελευθέρωση αποθηκευμένης μαγνητικής ενέργειας. Η αυξημένη ροή φορτισμένων σωματιδίων μπορεί να επηρεάσει την τροχιά των δορυφόρων. Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα ροής τους.



Galactic Cosmic Rays

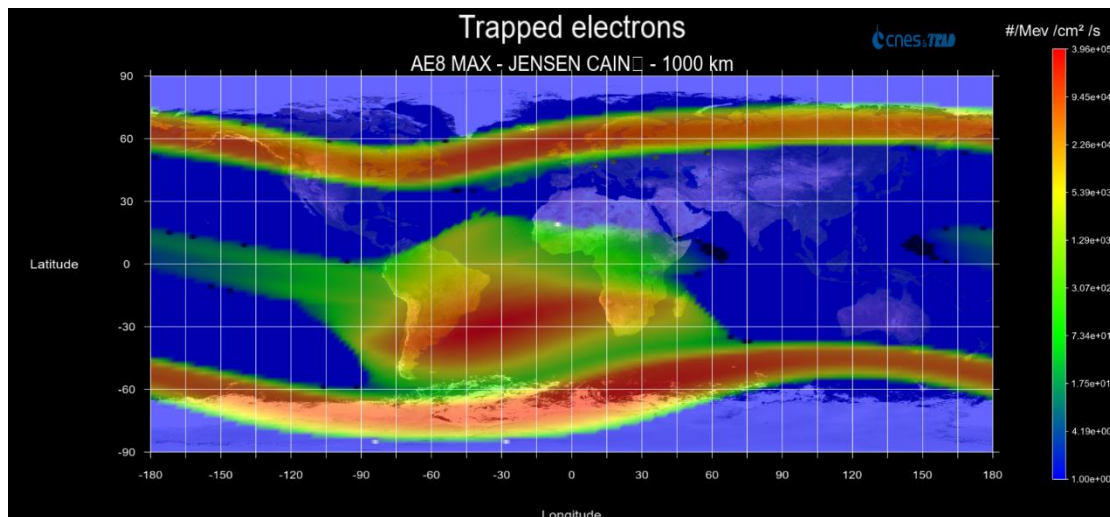
Πρόκειται για σωματίδια υψηλής ενέργειας που προέρχονται από εξωγαλαξιακές πηγές. Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από πρωτόνια. Οι ροές τους φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.

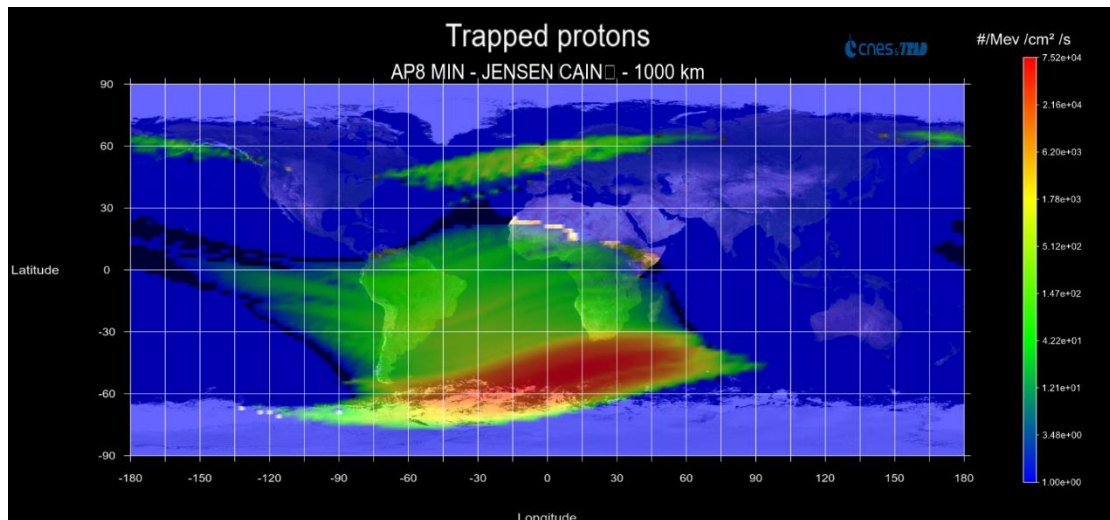


Χαρτογράφηση ροών

Η χαρτογράφηση των ροών σωματιδίων πάνω στον χάρτη της γης είναι ένα ακόμα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση του διαστημικού περιβάλλοντος και την προστασία των διαστημικών αποστολών. Τα δεδομένα απεικονίζονται ως θερμικός χάρτης, με διαφορετικά χρώματα που αντιπροσωπεύουν την ένταση των ροών.

Για το μαγνητικό πεδίο έχουμε επιλέξει το μοντέλο Jensen-Cain 1960. Είναι το προεπιλεγμένο μοντέλο του προγράμματος, προσφέρει μια απλή αλλά ικανοποιητική προσέγγιση για την εφαρμογή μας. Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε τις ροές πρωτονίων και ιόντων πάνω σε χάρτη δύο διαστάσεων. Η περιοχή της Νότιας Ατλαντικής Ανωμαλίας (SAA) γίνεται αντιληπτή από την συγκέντρωση ηλεκτρονίων κοντά στον ατλαντικό ωκεανό.



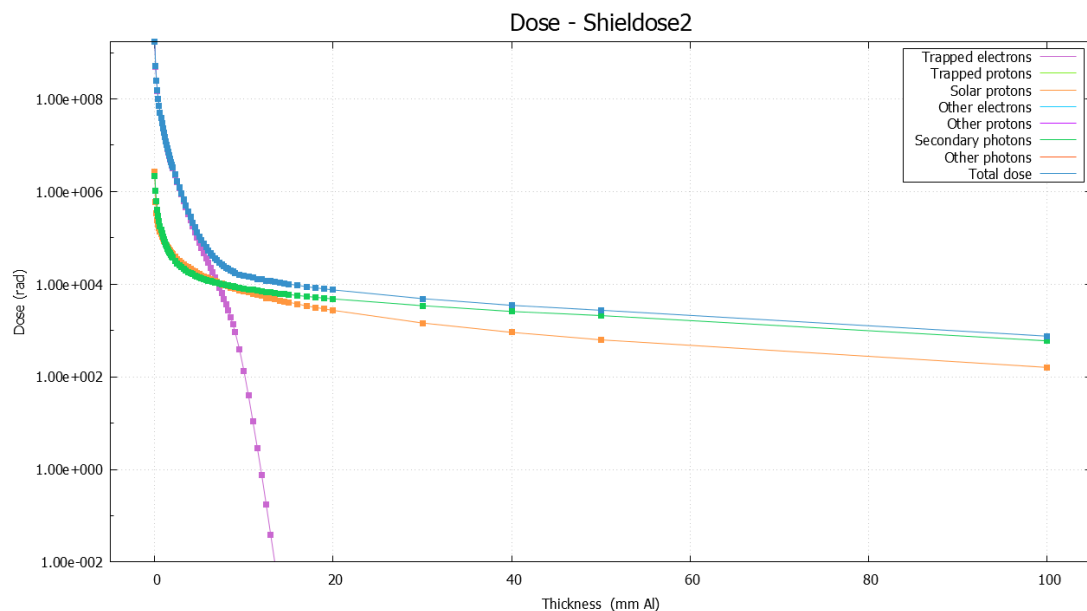


Δόσης και Εναπόθεσης Ενέργειας

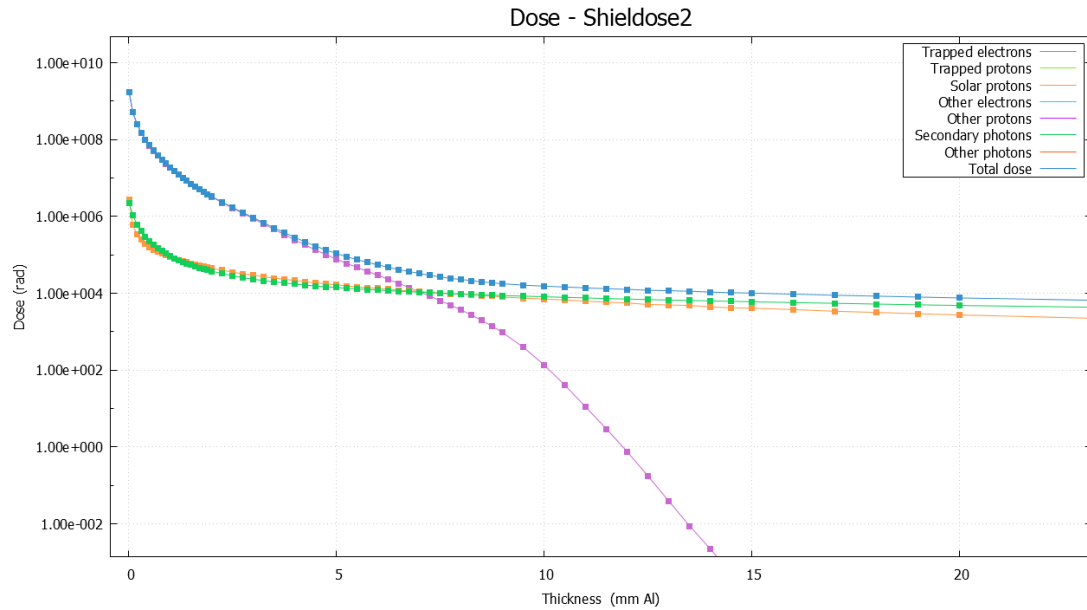
Dose (Δόση)

Η ποσότητα ενέργειας που απορροφάει ο δορυφόρος λόγω της έκθεσης στην ιοντίζουσα ακτινοβολία εκφράζεται μέσω της δόσης ακτινοβολίας. Χρησιμοποιώντας θωράκιση μπορούμε να μειώσουμε την ακτινοβολία αυτή.

Κάνοντας ανάλυση στην δόση παίρνουμε το διάγραμμα dose depth curve, που μας δίνει την σχέση μεταξύ πάχους θωράκισης και δόσης ακτινοβολίας. Με βάση το διάγραμμα επιλέγεται, η ποσότητα αλουμινίου που θα τοποθετηθεί για την θωράκιση ώστε η ακτινοβολία που απορροφάτε να μην ξεπερνά τα θεμιτά επίπεδα.



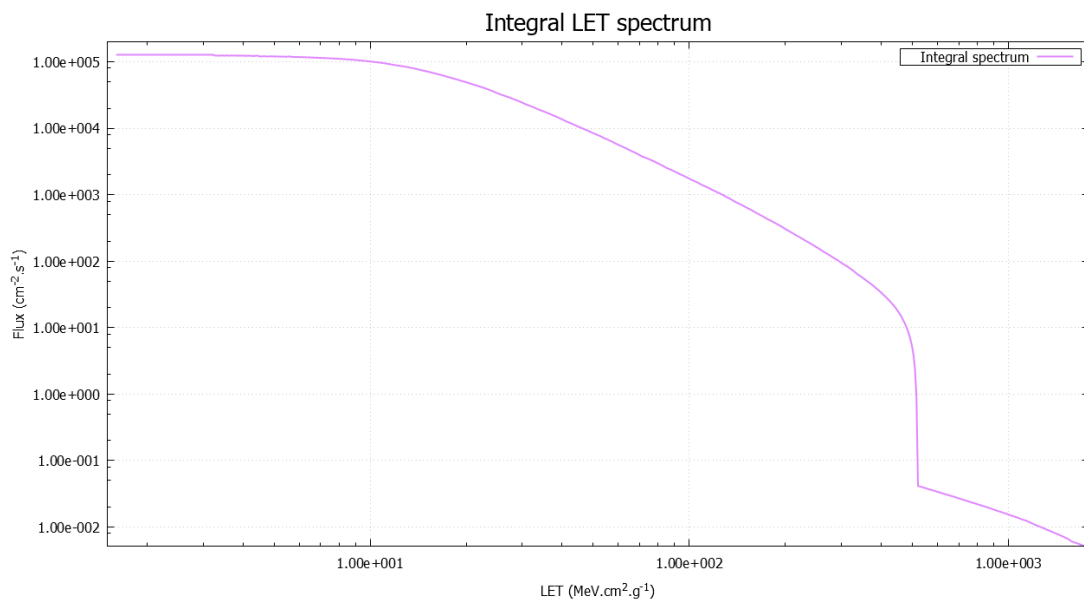
Στο διάγραμμα παρατηρούμε πως για τα πρώτα 5mm θωράκισης η ακτινοβολία παρουσιάζει εκθετική μείωση και πέφτει 4 τάξεις μεγέθους. Έπειτα συνεχίζει να περιορίζεται αλλά με πολύ μικρότερο ρυθμό. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό στην μεγέθυνση του διαγράμματος.



Let (Εναπόθεση Ενέργειας)

Το μέτρο της ενέργειας που απορρίπτεται από ένα σωματίδιο όταν διαπερνά ένα υλικό ανά μονάδα μήκους ονομάζεται LET. Στους δορυφόρους, το LET καθορίζει τη βλάβη στα ηλεκτρονικά και τα υλικά. Τα ηλεκτρονικά των δορυφόρων που εκτίθενται σε υψηλό LET απαιτούν προσεκτική θωράκιση.

Το διάγραμμα εκφράζει την σχέση ενέργειας-ροής για δεδομένη θωράκιση και αναπαριστά τον τρόπο που μειώνεται η ροή των σωματιδίων σε υψηλές ενέργειες. Σημειώνεται ότι η επιλεγμένη θωράκιση 5mm κόβει μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας όπως είδαμε πριν.



Σφάλματα Ηλεκτρονικών

Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του δορυφόρου είναι ευάλωτα σε σφάλματα λόγω της ακτινοβολίας. Αυτά τα σφάλματα προκύπτουν λόγω των αλληλεπιδράσεων των σωματιδίων με τα υλικά των κυκλωμάτων. Μέσω του προγράμματος λαμβάνουμε τους ρυθμούς βλαβών

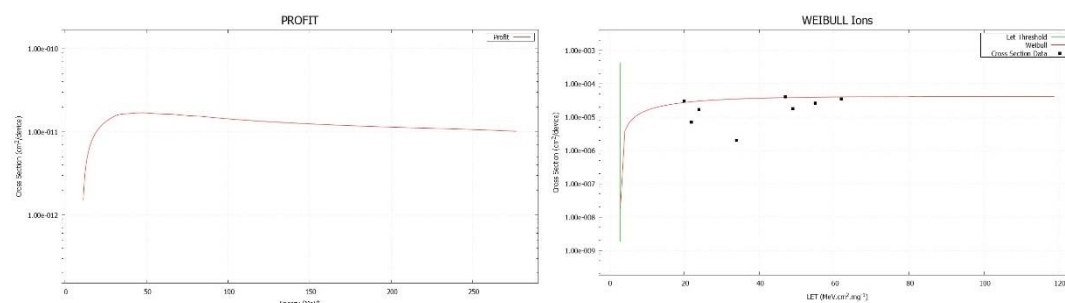
των εξαρτημάτων. Με βάση αυτούς εκτιμάται η ανοχή ενός εξαρτήματος και κρίνεται η καταλληλότητά του για την αποστολή.

Παρακάτω θα δούμε αυτές τις αναλύσεις για επιλεγμένα εξαρτήματα και σφάλματα. Τα εξαρτήματα αυτά είναι ο μικροελεγκτής MSP430FR5969-SP (εξάρτημα 2), που θα προσομοιωθεί για εντοπισμένο σφάλμα SEU και επανεκκίνηση μικροελεγκτή SEFI, η μνήμη MRAM Freescale MR2A16A (εξάρτημα 4), για Single Event Latchup (SEL), και ο Spacecraft Controller Atmel ATC18RHA (εξάρτημα 6), για APB Register, LEON3 Instruction Unit (IU) και LEON3 Floating Point Unit (FPU). Τα στοιχεία από την ανοχή του κάθε εξαρτήματος στην ακτινοβολία τα παίρνουμε από το αντίστοιχο test report.

Μικροελεγκτής - SEU

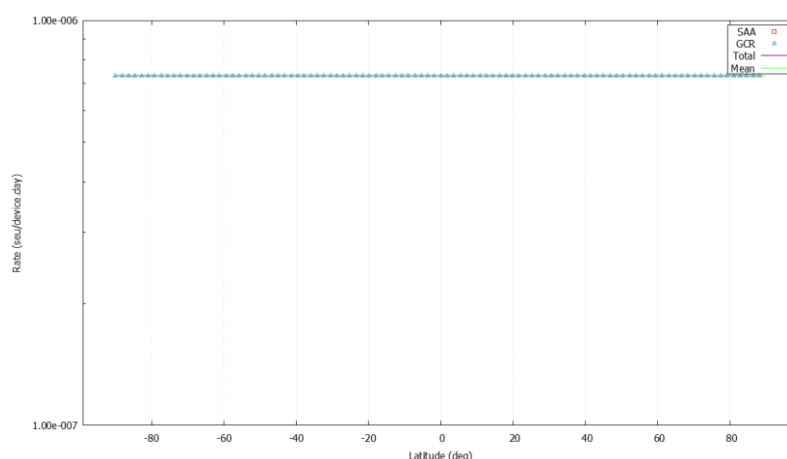
Το σφάλμα SEU (Single Event Upset) είναι η αλλαγή κατάστασης σε ένα ηλεκτρονικό λόγω της διέλευσης ενός σωματιδίου μέσα από ένα ευαίσθητο σημείο του κυκλώματος. Εμφανίζεται σαν αλλαγή στην τιμή ενός bit από '0' σε '1' ή αντίστροφα.

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων:



Η ανάλυση του **περιοδικού ρυθμού σφαλμάτων** μας δίνει το πλήθος σφαλμάτων που εμφανίζονται σε μία επαναλαμβανόμενη φάση της αποστολής. Σημειώνεται πως η ανάλυση αυτή είναι ιδιαίτερα μεγάλη και για να μπορέσει να ολοκληρωθεί επιτυχώς οι παράμετροι number of orbits και number of points per orbit μειώθηκαν στο 30 (από 300 που χρησιμοποιήθηκε στις υπόλοιπες αναλύσεις) για όλα τα εξαρτήματα – σφάλματα.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου ο περιοδικός ρυθμός σφαλμάτων διατηρείται σταθερά στο 7.5e-07.



Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του **μέσου ρυθμού σφαλμάτων**. Έχω ανάλυση για βαρέα ιόντα και ηλεκτρόνια, εκτός ηλιακών εκλείψεων (Out-of-flare) και κατά την διάρκεια αυτών (In-flare). Σημειώνεται ότι ο ρυθμός ανά συσκευή ανά μέρα εξάγεται από το πρόγραμμα, ενώ

ο ρυθμός ανά συσκευή για τη διάρκεια της αποστολής υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την προηγούμενη τιμή με το πλήθος των ημερών της αποστολής, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ισούται με 5475 ημέρες (15 χρόνια).

Rates	/device /day	/device
<i>Heavy ions rate (in-flare)</i>	4.60e-04	2.52
<i>Heavy ions rate (out-of-flare)</i>	4.60e-04	2.52
<i>Protons rate (in-flare)</i>	1.45e-04	0.79
<i>Protons rate (out-of-flare)</i>	1.45e-04	0.79
<i>Total rate (in-flare)</i>	6.05e-04	3.31
<i>Total rate (out-of-flare)</i>	6.05e-04	3.31

Τα βαριά ιόντα είναι η κύρια αιτία του σφάλματος, με την επίδρασή τους να παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως την ύπαρξη έκλειψης. Η επίδραση των πρωτονίων είναι λίγο μικρότερη από αυτή των βαριών ιόντων και είναι και αυτή σταθερή.

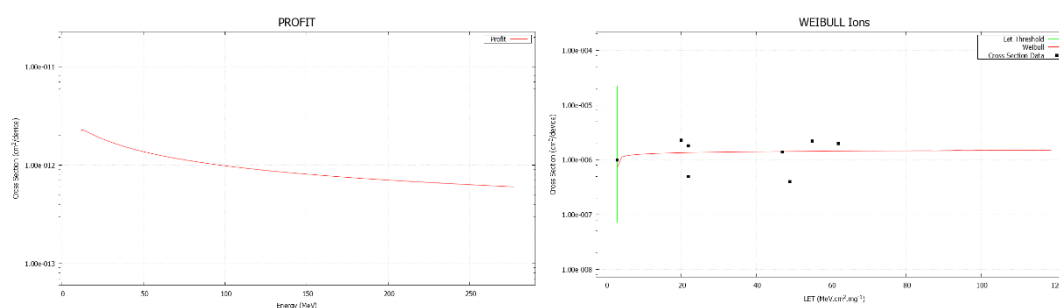
Συμπερασματικά, δεν επηρεάζεται η αντοχή του εξαρτήματος από τις συνθήκες. Δείχνει καλή αντοχή, με τα αναμενόμενα σφάλματα να ανέρχονται περίπου στα 3, για την διάρκεια της αποστολής.

Με αντίστοιχο τρόπο γίνονται οι αναλύσεις και για τα υπόλοιπα σφάλματα εξαρτημάτων. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα παρατίθενται παρακάτω.

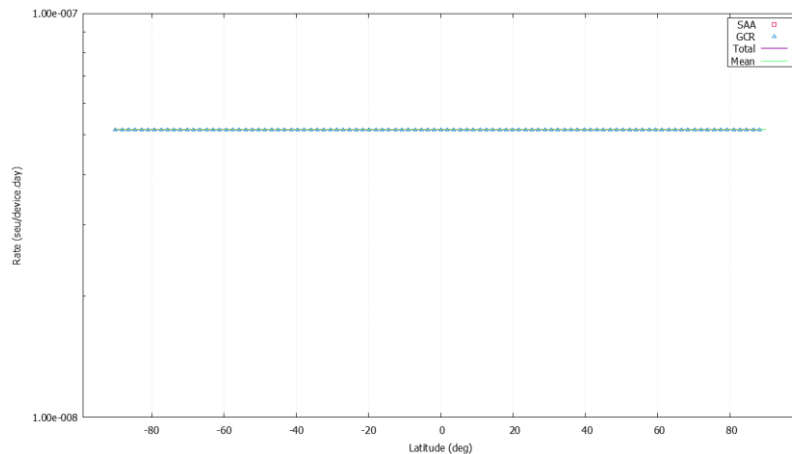
Μικροελεγκτής - SEFI

Το SEFI (Single Event Functional Interrupt) είναι μια ειδική κατηγορία σφαλμάτων που προκαλείται από τη διέλευση σε κρίσιμα στοιχεία του μικροελεγκτή. Πρόκειται για ένα πιο σοβαρό είδος SEU, καθώς μπορεί να επηρεάσει τη βασική λογική ή τα στοιχεία ελέγχου του μικροελεγκτή και συνεπώς επηρεάζεται η λειτουργική κατάσταση ολόκληρου του συστήματος.

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων:



Τα αποτελέσματα για τον περιοδικό ρυθμό σφαλμάτων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή διατηρείται σταθερά στο 4.1e-08.



Πίνακας μέσου ρυθμού σφαλμάτων:

	Rates	/device /day	/device
Heavy ions rate (in-flare)		8.32e-05	0.456
Heavy ions rate (out-of-flare)		6.82e-06	0.0373
Protons rate (in-flare)		1.37e-05	0.075
Protons rate (out-of-flare)		1.37e-05	0.075
Total rate (in-flare)		9.69e-05	0.53
Total rate (out-of-flare)		2.05e-05	0.112

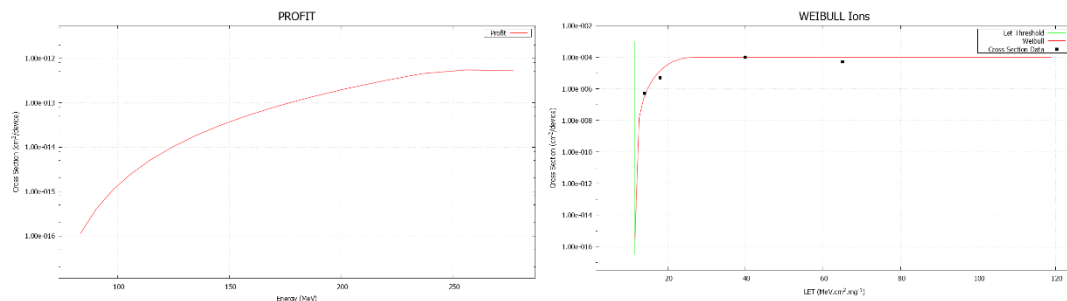
Η επίδραση των 2 τύπων σωματιδίων είναι περίπου ισάξια. Αυτή των βαρέων ιόντων υπερτερεί κατά τις ηλιακές εκλείψεις ενώ των πρωτονίων κατά την ηρεμία.

Το εξάρτημα για αυτόν τον τύπο σφάλματος δείχνει εξαιρετική αντοχή και για τις 2 συνθήκες περιβάλλοντος, με τα αναμενόμενα σφάλματα να μην ξεπερνάνε την μονάδα κατά την διάρκεια της συνολικής αποστολής.

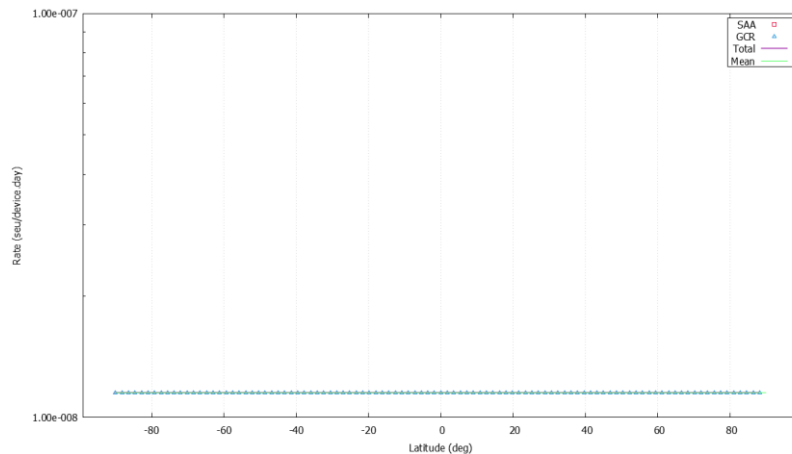
Μνήμη – SEL

Το σφάλμα SEL (Single Event Latchup) προκαλείται από τη διέλευση σωματιδίου μέσα από την υλική δομή της μνήμης, προκαλώντας μια ανεπιθύμητη αγωγή διαδρομή. Αυτό μπορεί να επιφέρει από απώλεια δεδομένων ως και καταστροφή του κυκλώματος

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων, σημειώνεται ότι έχει επιλεχθεί λειτουργία στους 25°C και με $I_{th} = 240mA$:



Τα αποτελέσματα για τον περιοδικό ρυθμό σφαλμάτων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή διατηρείται σταθερά στο $1.1e-08$.



Πίνακας μέσου ρυθμού σφαλμάτων:

	Rates	/device /day	/device
Heavy ions rate (in-flare)		1.27e-03	6.96
Heavy ions rate (out-of-flare)		9.62e-05	0.526
Protons rate (in-flare)		1.12e-07	0.000613
Protons rate (out-of-flare)		1.12e-07	0.000613
Total rate (in-flare)		1.27e-03	6.96
Total rate (out-of-flare)		9.64e-05	0.528

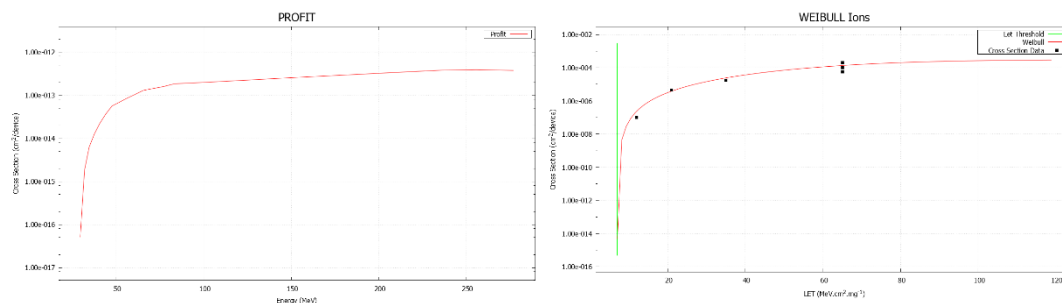
Τα βαριά ιόντα είναι η κύρια αιτία του σφάλματος, η επίδραση των πρωτονίων σε αυτήν την περίπτωση είναι σχεδόν αμελητέα. Η επίδραση τους είναι τεράστια κατά τις ηλιακές εκλείψεις και λίγο πιο περιορισμένη σε συνθήκες ηρεμίας.

Συμπερασματικά, το εξάρτημα είναι ευάλωτο κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλάμψεων, με τα αναμενόμενα σφάλματα να ανέρχονται στα 7. Αντίθετα το εξάρτημα δείχνει καλή αντοχή σε ήρεμο περιβάλλον, με τα αναμενόμενα σφάλματα να βρίσκονται κάτω της μονάδας.

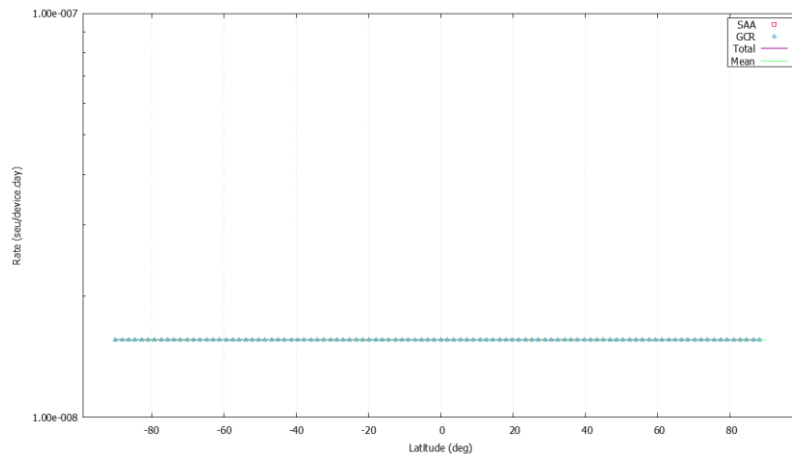
Spacecraft Controller - APB Register

Τα APB Registers επιτρέπουν τη διασύνδεση μεταξύ του επεξεργαστή και των περιφερειακών συσκευών. Ένα σφάλμα σε αυτά τα registers μπορεί να διαταράξει τη ροή δεδομένων ή να οδηγήσει σε λανθασμένες εντολές.

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων:



Τα αποτελέσματα για τον περιοδικό ρυθμό σφαλμάτων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή διατηρείται σταθερά στο 1.7e-08.



Πίνακας μέσου ρυθμού σφαλμάτων:

	Rates	/device /day	/device
Heavy ions rate (in-flare)		5.82e-04	3.19
Heavy ions rate (out-of-flare)		4.38e-05	0.24
Protons rate (in-flare)		6.55e-07	0.00359
Protons rate (out-of-flare)		6.55e-07	0.00359
Total rate (in-flare)		5.82e-04	3.19
Total rate (out-of-flare)		4.44e-05	0.24

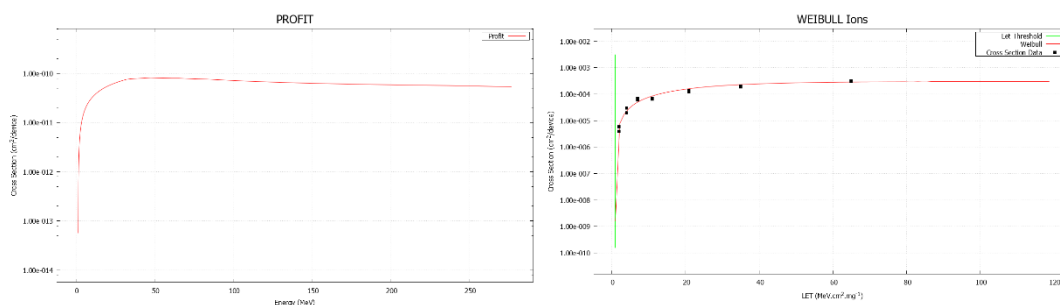
Τα βαριά ιόντα είναι και σε αυτήν την περίπτωση η κύρια αιτία του σφάλματος, η επίδραση των πρωτονίων είναι σχεδόν αμελητέα. Η επίδραση τους είναι αυξημένη κατά τις ηλιακές εκλείψεις.

Το εξάρτημα είναι λίγο ευάλωτο κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλάμψεων, με τα αναμενόμενα σφάλματα να ανέρχονται στα 4 για την συνολική διάρκεια της αποστολής. Αντίθετα το εξάρτημα δείχνει καλή αντοχή σε ήρεμο περιβάλλον, με τα αναμενόμενα σφάλματα να βρίσκονται κάτω από το ένα τέταρτο της μονάδας.

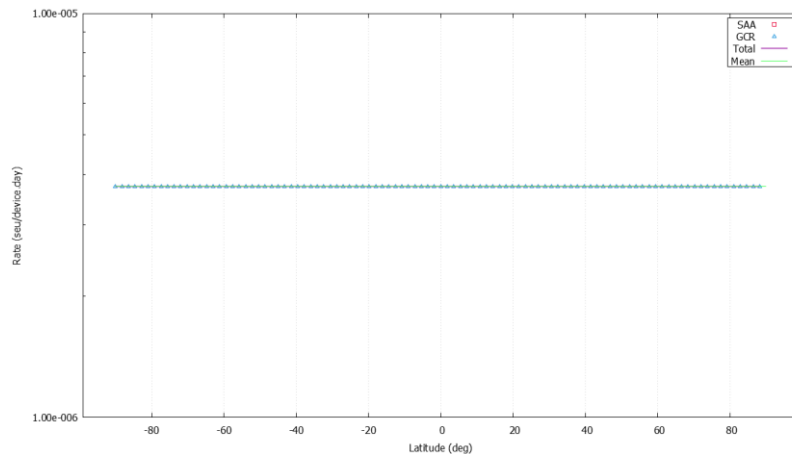
Spacecraft Controller - LEON3 IU

Στον επεξεργαστή LEON3 το Instruction Unit (IU) είναι υπεύθυνο για τη λήψη, αποκωδικοποίηση και εκτέλεση εντολών. Ένα σφάλμα στην IU μπορεί να προκαλέσει απώλεια ελέγχου, καθυστέρηση λειτουργιών και μόνιμη βλάβη.

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων:



Τα αποτελέσματα για τον περιοδικό ρυθμό σφαλμάτων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή διατηρείται σταθερά στο 3.8e-06.



Πίνακας μέσου ρυθμού σφαλμάτων:

	Rates	/device /day	/device
Heavy ions rate (in-flare)	6.14e-02	336.92	
Heavy ions rate (out-of-flare)	1.88e-03	10.29	
Protons rate (in-flare)	6.63e-04	3.63	
Protons rate (out-of-flare)	6.63e-04	3.63	
Total rate (in-flare)	6.21e-02	340.55	
Total rate (out-of-flare)	2.55e-03	13.96	

Τα βαριά ιόντα είναι η κύρια αιτία του σφάλματος, με την επίδρασή τους να είναι πάρα πολύ αυξημένη. Η επίδραση των πρωτονίων είναι μικρότερη αλλά εξακολουθεί να είναι υπολογίσιμη.

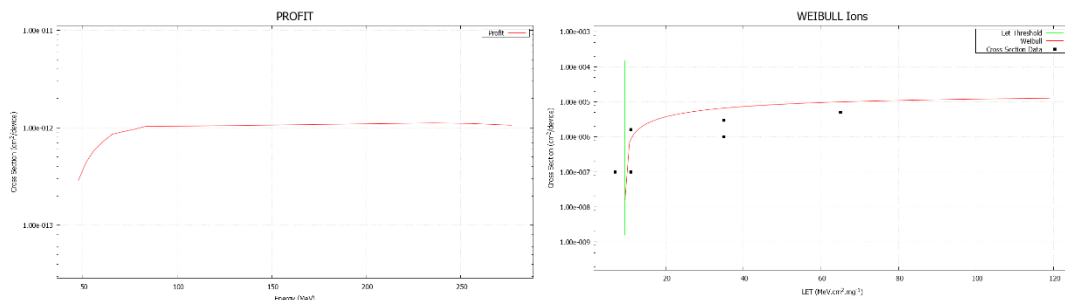
Το εξάρτημα είναι ιδιαίτερα ευάλωτο κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλάμψεων. Αναμένονται 340 σφάλματα, σχεδόν ένα κάθε 2 εβδομάδες! Ενώ παραμένει ευάλωτο και σε συνθήκες ηρεμίας με τα αναμενόμενα σφάλματα κατά την διάρκεια της αποστολής να ανέρχονται στα 14.

Επιπλέον σημειώνεται ότι και το περιοδικό σφάλμα σε αυτήν την περίπτωση είναι 2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα.

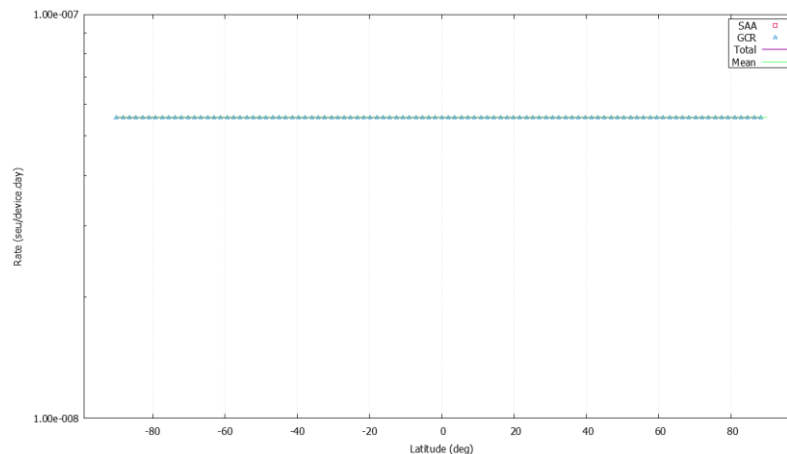
Spacecraft Controller - LEON3 FPU

Η Floating Point Unit (FPU) του επεξεργαστή LEON3 είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση υπολογισμών κινητής υποδιαστολής. Αυτή η μονάδα είναι κρίσιμη σε συστήματα που απαιτούν ακριβείς υπολογισμούς, όπως η πλοήγηση, η επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες, και οι υπολογισμοί τροχιάς. Οπότε ένα σφάλμα στη FPU μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στην αποστολή ή την πλοήγηση.

Διαγράμματα μοντέλων πρωτονίων και ιόντων, σημειώνεται ότι έχει επιλεχθεί λειτουργία στα 80MHz και με απενεργοποιημένη cache:



Τα αποτελέσματα για τον περιοδικό ρυθμό σφαλμάτων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή διατηρείται σταθερά στο $5.5\text{e-}08$.



Πίνακας μέσου ρυθμού σφαλμάτων:

	Rates	/device /day	/device
Heavy ions rate (in-flare)	1.19e-04		0.65
Heavy ions rate (out-of-flare)	9.59e-06		0.053
Protons rate (in-flare)	3.18e-06		0.017
Protons rate (out-of-flare)	3.18e-06		0.017
Total rate (in-flare)	1.22e-04		0.67
Total rate (out-of-flare)	1.28e-05		0.07

Τα βαριά ιόντα είναι και σε αυτήν την περίπτωση η κύρια αιτία του σφάλματος, με την επίδραση τους είναι αυξημένη κατά τις ηλιακές εκλείψεις. Ενώ σε συνθήκες ηρεμίας η επίδραση τους είναι πολύ μικρή όπως και των πρωτονίων για όλες τις συνθήκες.

Το εξάρτημα δείχνει πολύ καλή αντοχή στο συγκεκριμένο σφάλμα για όλες τις συνθήκες, με τα αναμενόμενα σφάλματα να είναι σχεδόν αμελητέα σε συνθήκες ηρεμίας.

Αξιολόγηση ηλεκτρονικών

Ο συνολικός σκοπός των αναλύσεων είναι να κριθούν τα εξαρτήματα ως προς την ανοχή τους στην ακτινοβολία για να χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη αποστολή. Θέλουμε η λειτουργία του συνολικού συστήματος να είναι ομαλή και με τα ελάχιστα δυνατά σφάλματα και βλάβες.

ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ: Το εξάρτημα είναι εξαιρετικά ανθεκτικό ως προς τα σοβαρά σφάλματα τύπου SEFI, κάτω από 1 αναμενόμενο σφάλμα και ικανοποιητικά ανθεκτικό για τα απλά σφάλματα SEU, κάτω από 4. Οπότε το εξάρτημα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη αποστολή και αποτελεί μια καλή επιλογή.

ΜΝΗΜΗ: Το εξάρτημα αναλύθηκε για σφάλματα τύπου SEL και βρέθηκε ανθεκτικό σε ήρεμο περιβάλλον και λίγο ευάλωτο κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλάμψεων (7 αναμενόμενα σφάλματα). Συνεπώς και αυτό το εξάρτημα θεωρείται δυνατό να χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη αποστολή.

SPACECRAFT CONTROLLER: Παρόλο που το εξάρτημα εμφανίζει ικανοποιητική αντοχή για σφάλματα στους APB Register και LEON3 FPU, είναι πάρα πολύ ευάλωτο κατά τα σφάλματα LEON3 IU. Τα σφάλματα στην μονάδα εντολών είναι σοβαρά και σε πλήθος ακόμα και για

συνθήκες ηρεμίας. Για αυτό η χρήση του εξαρτήματος αυτού κρίνεται ως ακατάλληλη και μη δυνατή.

Συνολικά συγκρίνοντας τα 3 εξαρτήματα καταλληλότερο προκύπτει ο μικροελεγκτής MSP430FR5969-SP με ελάχιστα σφάλματα ακόμα και σε συνθήκες έκλειψης. Έπειτα ακολουθεί η μνήμη MRAM Freescale MR2A16A με σχετικά μικρό πλήθος σφαλμάτων. Ενώ ο Spacecraft Controller Atmel ATC18RHA κρίνεται ως το ακαταλληλότερο εξάρτημα, λόγω του τεράστιου πλήθους σφαλμάτων που προκύπτουν στην εξαιρετικά σημαντική μονάδα εντολών.

Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της βιβλιογραφικής αυτής εργασίας.

- [1] [*https://www.hellas-sat.net/coverage/hellas-sat-4/*](https://www.hellas-sat.net/coverage/hellas-sat-4/) (January,2025)
- [2] [*https://en.wikipedia.org/wiki/SaudiGeoSat-1/HellasSat-4*](https://en.wikipedia.org/wiki/SaudiGeoSat-1/HellasSat-4) (January,2025)
- [3] [*https://www.heavens-above.com/orbit.aspx?satid=44034*](https://www.heavens-above.com/orbit.aspx?satid=44034) (January,2025)
- [4] [*https://www.n2yo.com/satellite/?s=44034*](https://www.n2yo.com/satellite/?s=44034) (January,2025)
- [5] [*https://in-the-sky.org/spacecraft.php?id=44034*](https://in-the-sky.org/spacecraft.php?id=44034) (January,2025)