



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

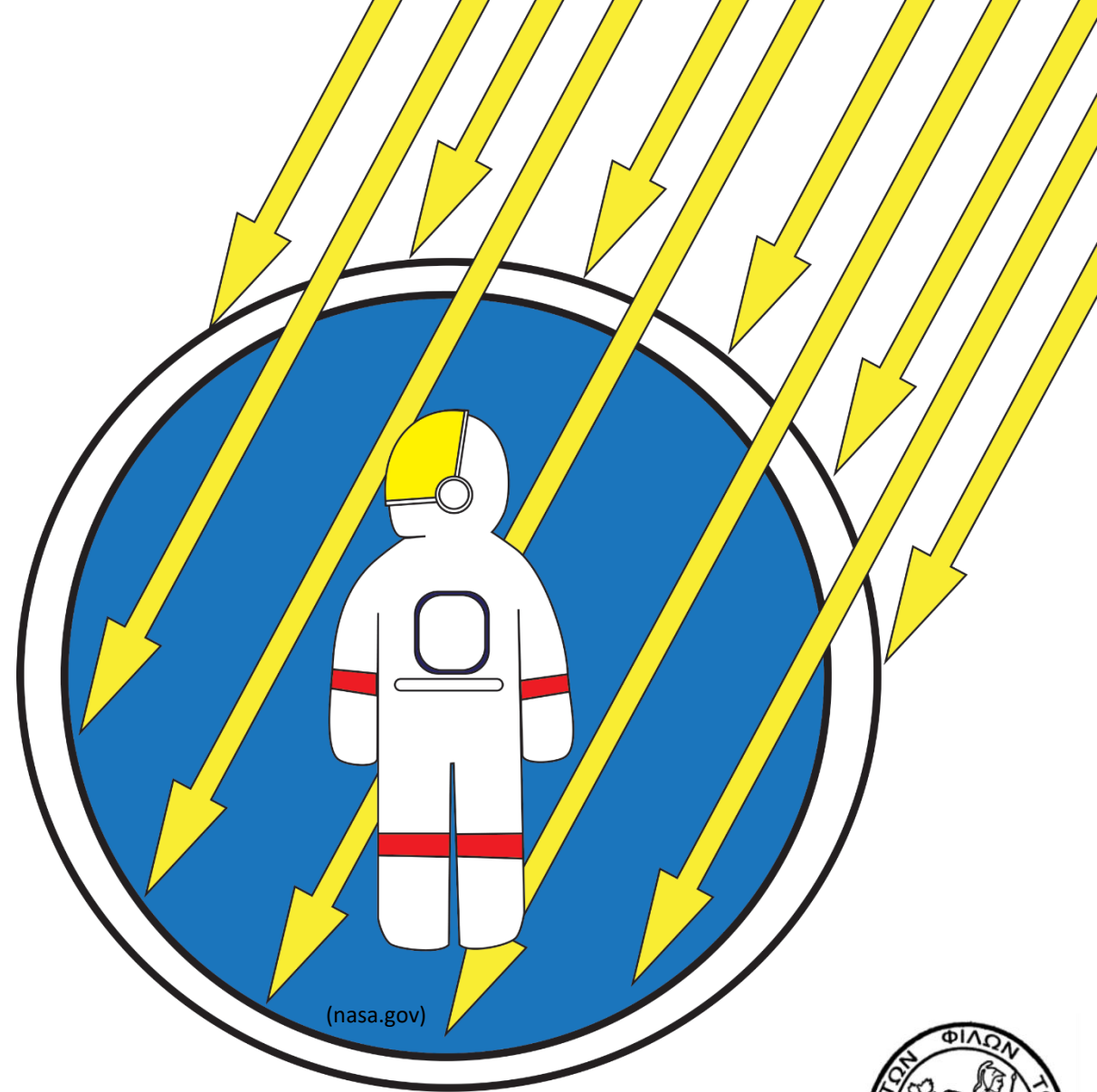
A.Ne.Mo.S
Athens Neutron Monitor Station (A.Ne.Mo.S.)



Επίδραση Διαστημικού Καιρού στην ανθρώπινη υγεία

Αναστασία Τεζάρη

Φυσικός, Διδάκτωρ Ιατρικής Φυσικής, ΕΚΠΑ
Επιστημονικός Συνεργάτης, Τμήμα Φυσικής, ΕΚΠΑ
Φυσικός, ΚΕΤ, Ίδρυμα Ευγενίδου



Εταιρεία των Φίλων του Λαού – Λαϊκό Πανεπιστήμιο
24/3/2022

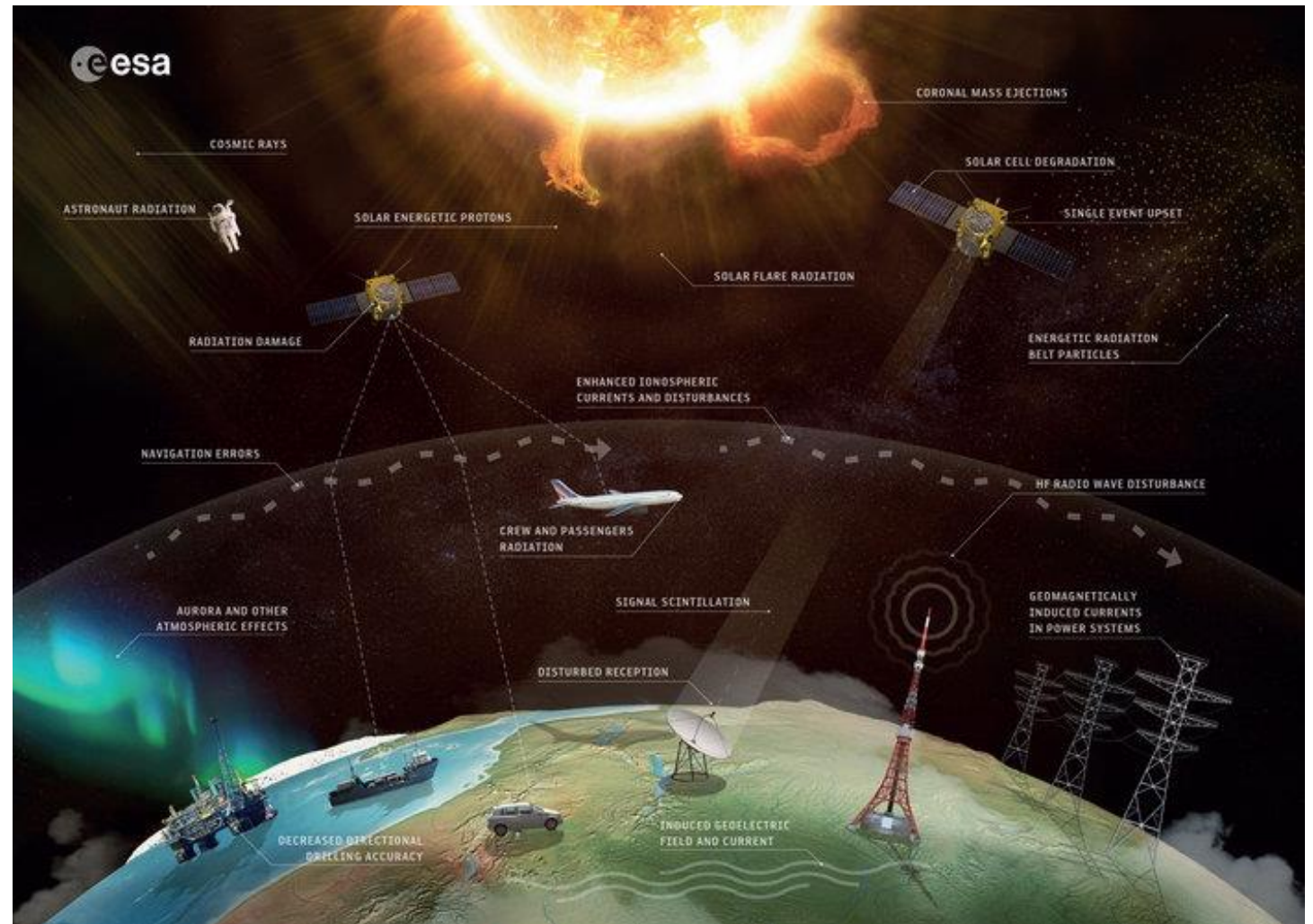


Επισκόπηση

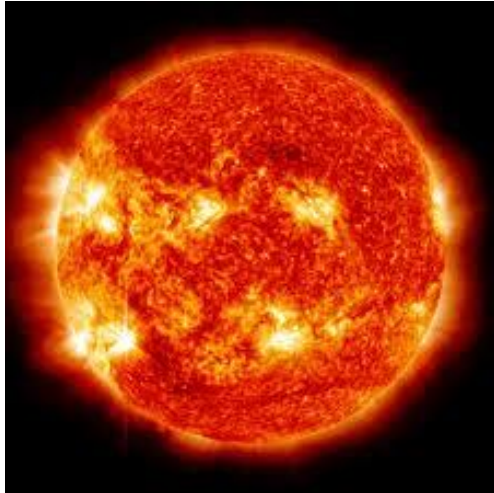
- Διαστημικός Καιρός και Κοσμική Ακτινοβολία
- Ακτινοβολίες και Ακτινοπροστασία
- Έκθεση σε Κοσμική Ακτινοβολία
- Εργαλείο DYASTIMA / DYASTIMA-R
- Δοσιμετρικοί Υπολογισμοί
- Συμπεράσματα

Διαστημικός Καιρός

Συνθήκες στον Ήλιο και στο διαστημικό περιβάλλον που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και την αξιοπιστία των διαστημικών και επίγειων τεχνολογικών συστημάτων και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή ή υγεία.

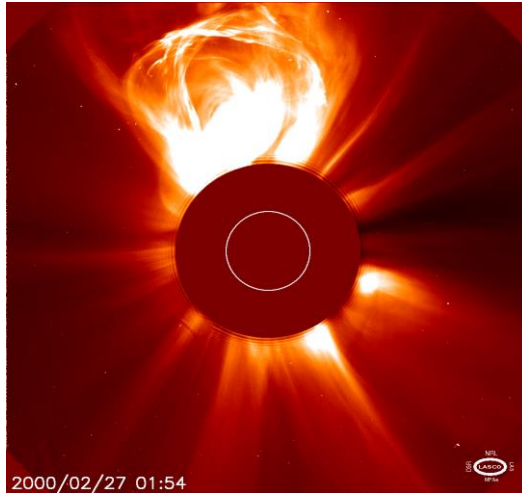


«Οδηγοί» του Διαστημικού Καιρού



(space.com)

Ηλιακή έκλαμψη

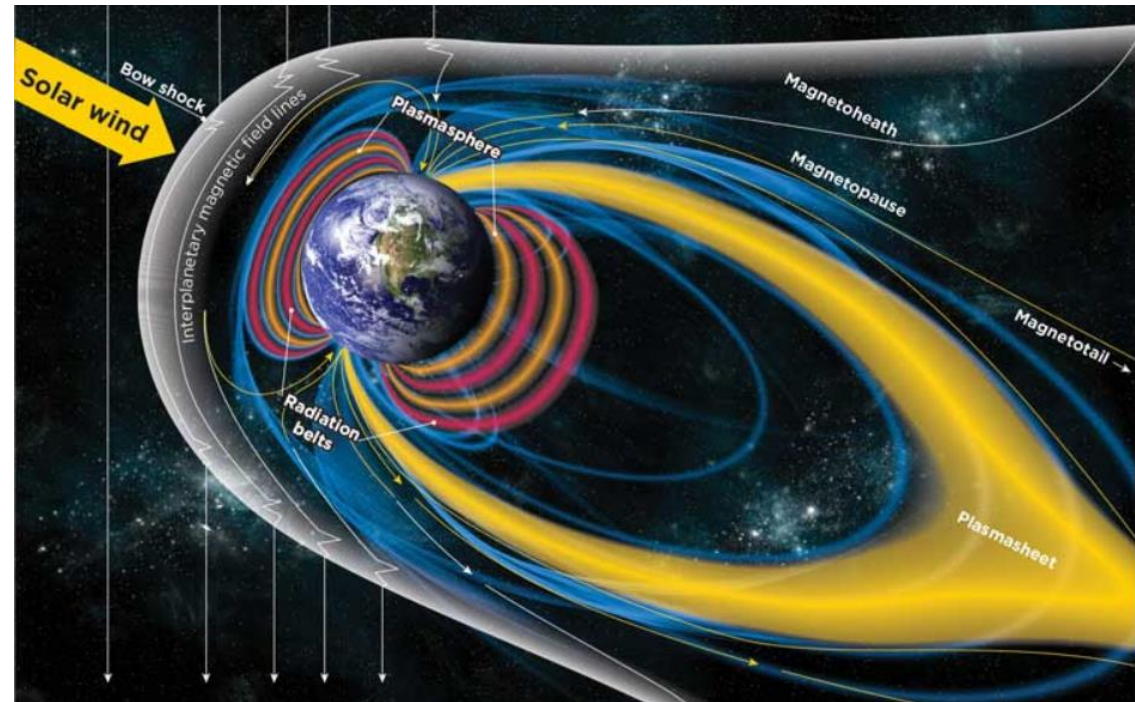


2000/02/27 01:54

(apod.nasa.gov)

Στεμματική εκπομπή
μάζας

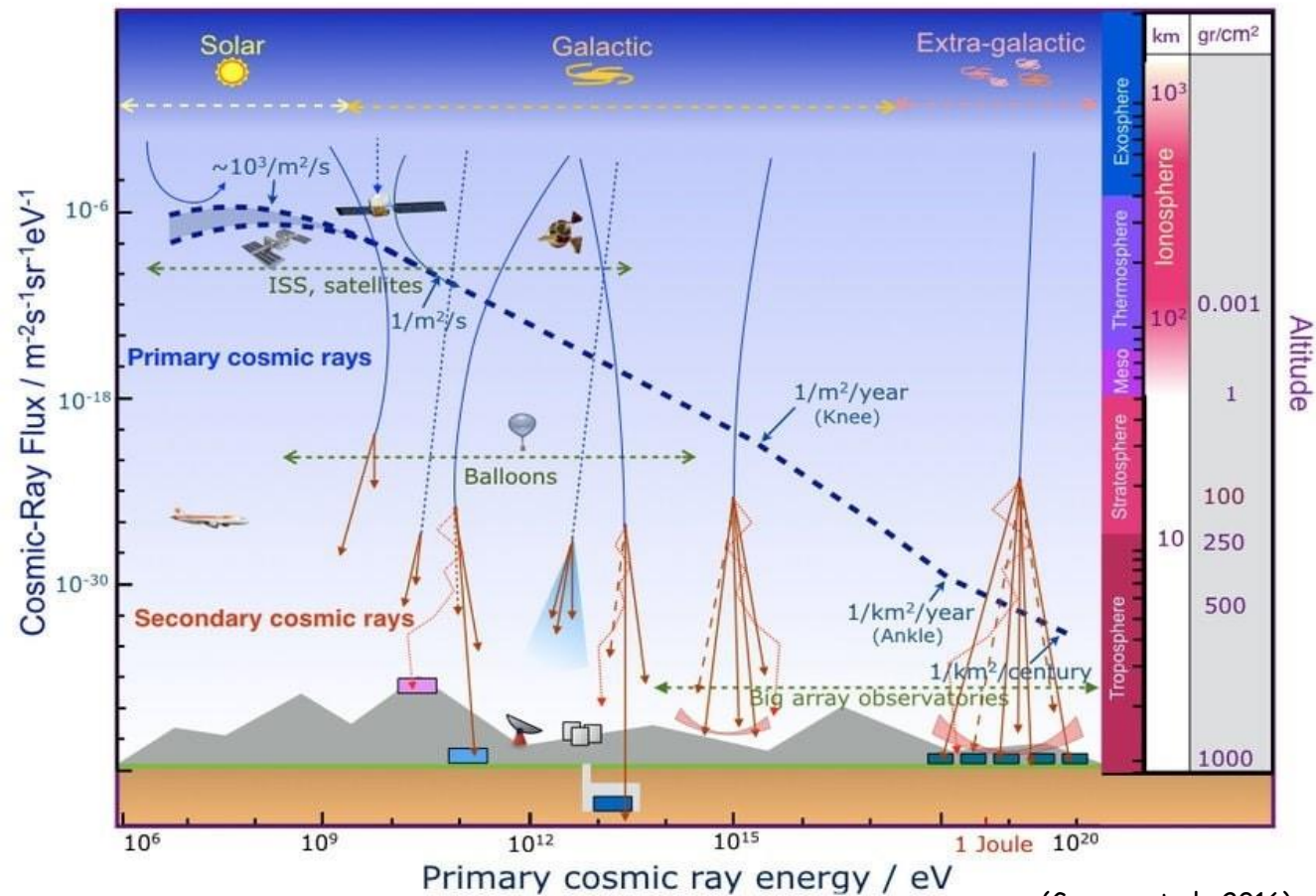
Μαγνητόσφαιρα της Γης



(explore.ucalgary.ca)

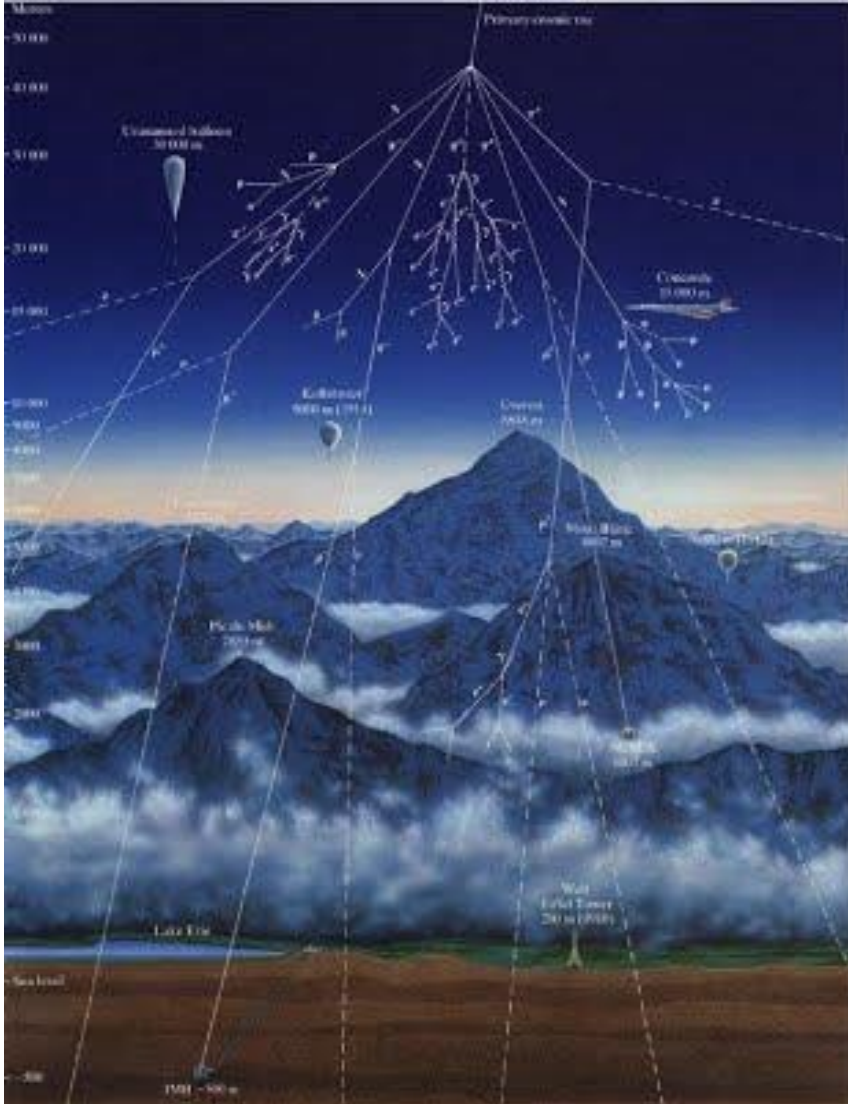
Κοσμική Ακτινοβολία

- ❑ Σωματίδια πολύ υψηλών ενεργειών ($10^6 - 10^{21}$ eV).
- ❑ Ηλιακή, γαλαξιακή ή εξωγαλαξιακή προέλευση.
- ❑ 90% πρωτόνια, 9% σωματίδια-α και 1% βαρύτεροι πυρήνες.



(Garzon et al., 2016)

Ατμοσφαιρικοί Καταιγισμοί



Δευτερογενής Κοσμική Ακτινοβολία

Αδρονική συνιστώσα

- πρωτόνια, νετρόνια
- πολύ σταθερή
- Επίγειοι μετρητές νετρονίων



1-2%

Μιονική συνιστώσα

- μίονια και νετρίνα
- πάρα πολύ διεισδυτική
- Ανιχνευτές μιονίων



80%

Ηλεκτρομαγνητική συνιστώσα

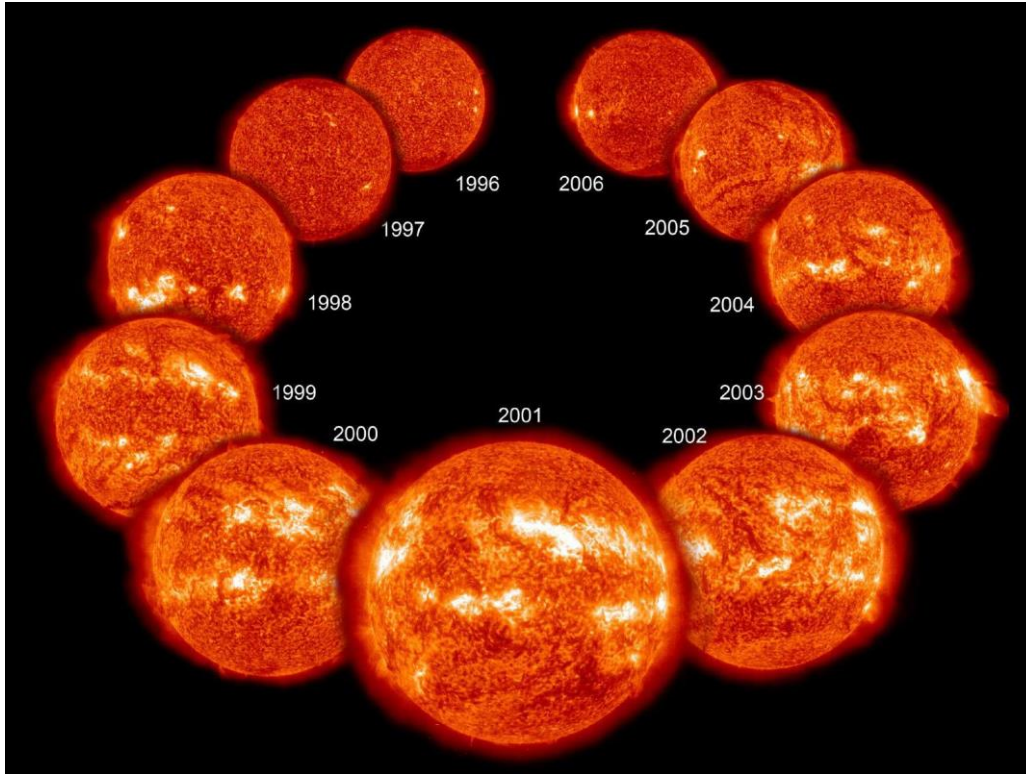
- ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια
- εκτεταμένες συστοιχίες ανιχνευτών



18%

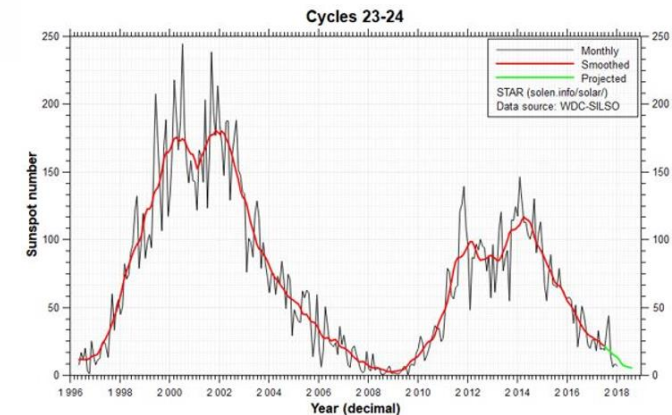
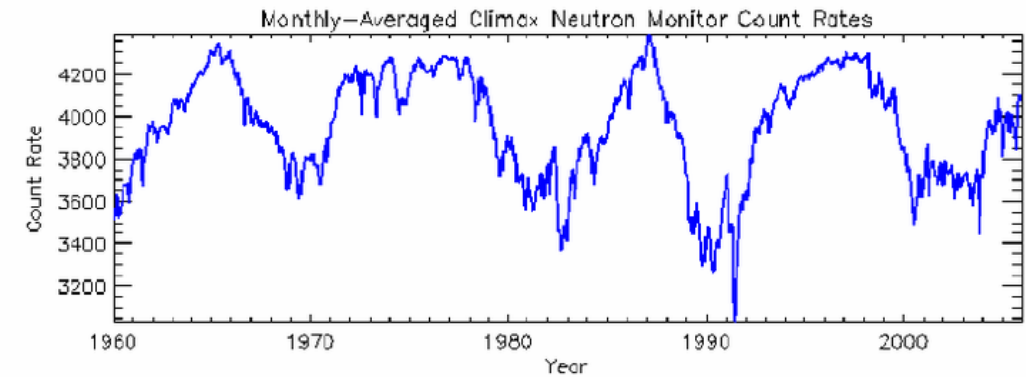
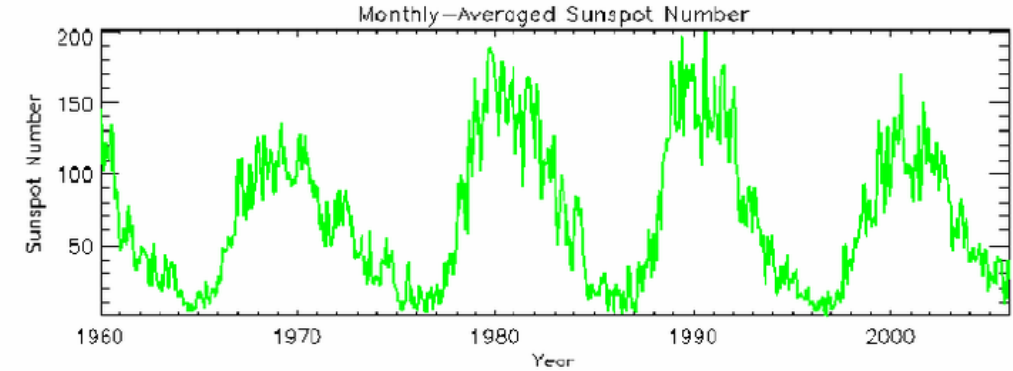
στην επιφάνεια της θάλασσας.

Ηλιακή Διαμόρφωση



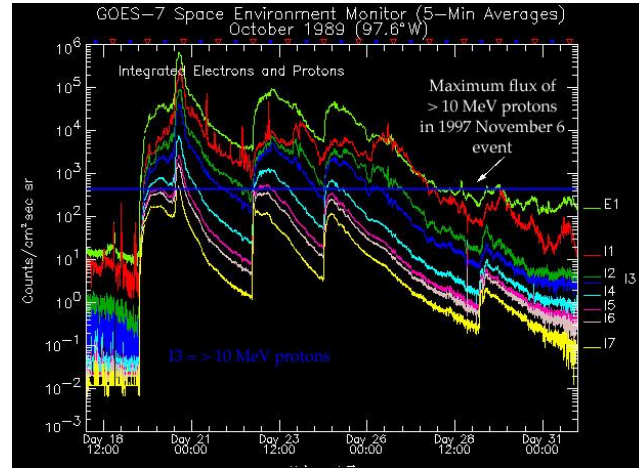
(nasa.gov)

- ❑ 11-ετής ηλιακός κύκλος
- ❑ Αρνητική συσχέτιση ηλιακής δραστηριότητας και έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας

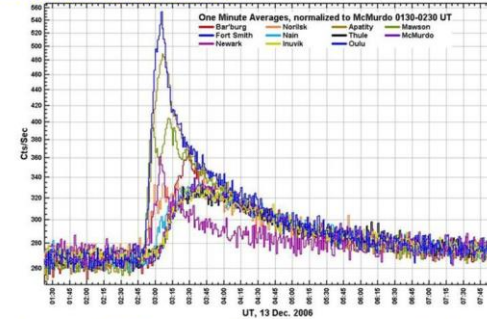


Φαινόμενα Διαστημικού Καιρού

Ηλιακά Ενεργητικά Σωματίδια (SEP)



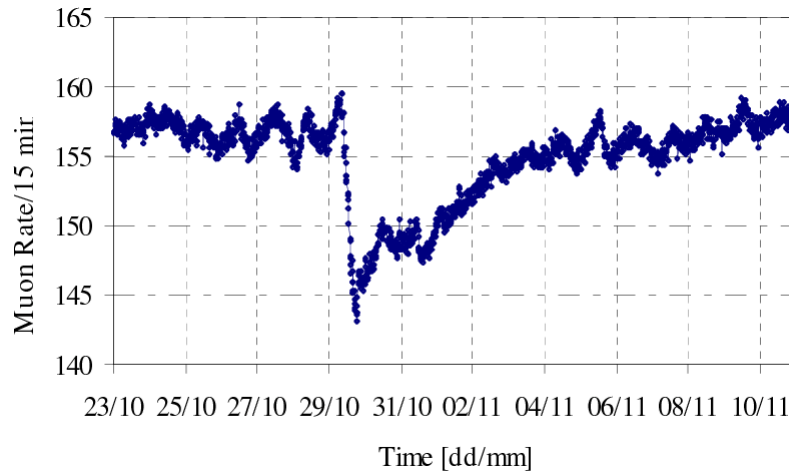
Neutron Monitor Observations of the December 13, 2006 Ground Level Enhancement (GLE)



This "maverick" GLE occurred near solar minimum, but it was a large event, exceeding a 100% increase at Oulu

Επίγειες Επαυξήσεις Κοσμικής Ακτινοβολίας (GLE)

Μειώσεις Forbush



Μαγνητοσφαιρικά γεγονότα

Ηλιακές Καταιγίδες

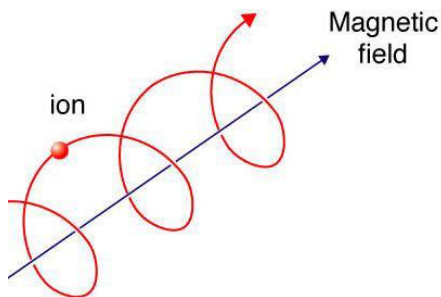
Scale	Description	Effect	Physical measure (Flux level of ≥ 10 MeV particles)	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
S 5	Extreme	<p>Biological: Unavoidable high radiation hazard to astronauts on EVA (extra-vehicular activity); passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p>Satellite operations: Satellites may be rendered useless, memory impacts can cause loss of control, may cause serious noise in image data, star-trackers may be unable to locate sources; permanent damage to solar panels possible.</p> <p>Other systems: Complete blackout of HF (high frequency) communications possible through the polar regions, and position errors make navigation operations extremely difficult.</p>	10^5	Fewer than 1 per cycle
S 4	Severe	<p>Biological: Unavoidable radiation hazard to astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p>Satellite operations: May experience memory device problems and noise on imaging systems; star-tracker problems may cause orientation problems, and solar panel efficiency can be degraded.</p> <p>Other systems: Blackout of HF radio communications through the polar regions and increased navigation errors over several days are likely.</p>	10^4	3 per cycle
S 3	Strong	<p>Biological: Radiation hazard avoidance recommended for astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p>Satellite operations: Single-event upsets, noise in imaging systems, and slight reduction of efficiency in solar panel are likely.</p> <p>Other systems: Degraded HF radio propagation through the polar regions and navigation position errors likely.</p>	10^3	10 per cycle
S 2	Moderate	<p>Biological: Passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to elevated radiation risk.</p> <p>Satellite operations: Infrequent single-event upsets possible.</p> <p>Other systems: Small effects on HF propagation through the polar regions and navigation at polar cap locations possibly affected.</p>	10^2	25 per cycle
S 1	Minor	<p>Biological: None.</p> <p>Satellite operations: None.</p> <p>Other systems: Minor impacts on HF radio in the polar regions.</p>	10	50 per cycle

Μαγνητικές Καταιγίδες

Scale	Description	Effect	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
G 5	Extreme	<p>Power systems: Widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage.</p> <p>Spacecraft operations: May experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites.</p> <p>Other systems: Pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 9	4 per cycle (4 days per cycle)
G 4	Severe	<p>Power systems: Possible widespread voltage control problems and some protective systems will mistakenly trip out key assets from the grid.</p> <p>Spacecraft operations: May experience surface charging and tracking problems, corrections may be needed for orientation problems.</p> <p>Other systems: Induced pipeline currents affect preventive measures, HF radio propagation sporadic, satellite navigation degraded for hours, low-frequency radio navigation disrupted, and aurora has been seen as low as Alabama and northern California (typically 45° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 8, including a 9-	100 per cycle (60 days per cycle)
G 3	Strong	<p>Power systems: Voltage corrections may be required, false alarms triggered on some protection devices.</p> <p>Spacecraft operations: Surface charging may occur on satellite components, drag may increase on low-Earth-orbit satellites, and corrections may be needed for orientation problems.</p> <p>Other systems: Intermittent satellite navigation and low-frequency radio navigation problems may occur, HF radio may be intermittent, and aurora has been seen as low as Illinois and Oregon (typically 50° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 7	200 per cycle (130 days per cycle)
G 2	Moderate	<p>Power systems: High-latitude power systems may experience voltage alarms, long-duration storms may cause transformer damage.</p> <p>Spacecraft operations: Corrective actions to orientation may be required by ground control; possible changes in drag affect orbit predictions.</p> <p>Other systems: HF radio propagation can fade at higher latitudes, and aurora has been seen as low as New York and Idaho (typically 55° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 6	600 per cycle (360 days per cycle)
G 1	Minor	<p>Power systems: Weak power grid fluctuations can occur.</p> <p>Spacecraft operations: Minor impact on satellite operations possible.</p> <p>Other systems: Migratory animals are affected at this and higher levels; aurora is commonly visible at high latitudes (northern Michigan and Maine).</p>	Kp = 5	1700 per cycle (900 days per cycle)

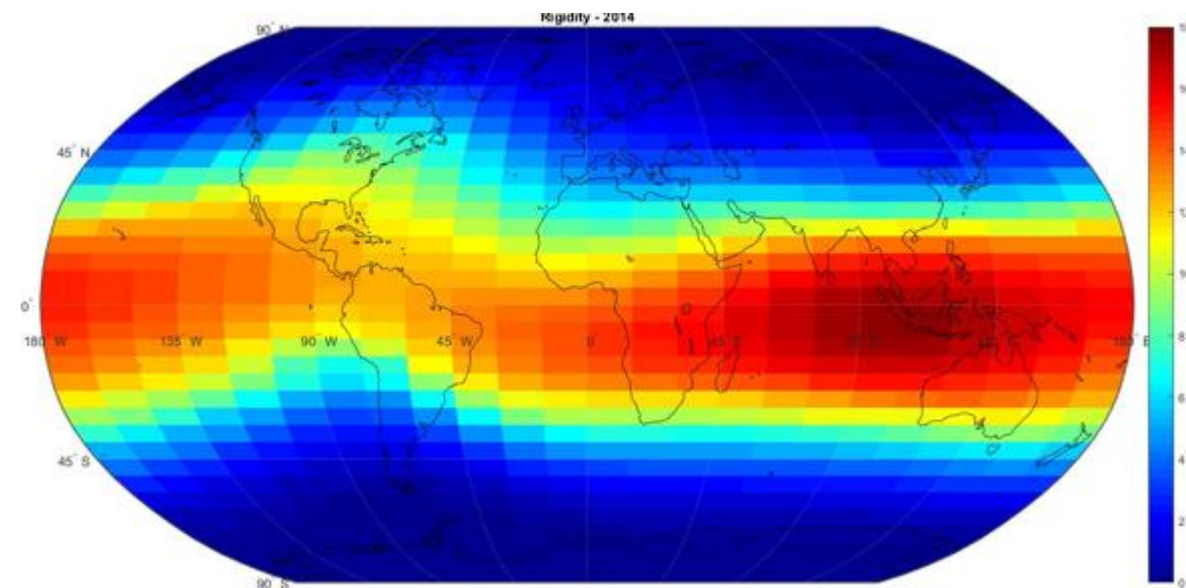
Μαγνητική Δυσκαμψία

Καθορίζει την τροχιά που διαγράφει ένα φορτισμένο σωματίδιο κατά τη διέλευσή του μέσα από το διαπλανητικό και γήινο μαγνητικό πεδίο μέχρι τελικά να καταγραφεί στην επιφάνεια της Γης.



Κατώφλι κατακόρυφης μαγνητικής δυσκαμψίας R_c

Η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να έχει ένα πρωτογενές κατακόρυφο σωματίδιο ώστε να μπορεί να καταγραφεί σε ένα συγκεκριμένο τόπο.



$$0 \text{ GV} \leq R_c \leq 17 \text{ GV}$$



Πόλοι

Ανοικτές δυναμικές γραμμές



Ισημερινός

Υψηλή θωράκιση

Ακτινοβολία στο Διαστημικό και Ατμοσφαιρικό Χώρο



(nasa.gov)

**Γαλαξιακή
Κοσμική
Ακτινοβολία**



Μόνιμο
υπόβαθρο

**Σωματίδια
παγιδευμένα στην
Μαγνητόσφαιρα**



Μόνο μέσα στη γήινη
μαγνητόσφαιρα

**Ηλιακά Ενεργητικά
Σωματίδια**



Έκτακτα γεγονότα,
ιδιαίτερα επικίνδυνα

**Υπεριώδης
Ακτινοβολία**



Λιγότερο ενεργητικά
σωματίδια



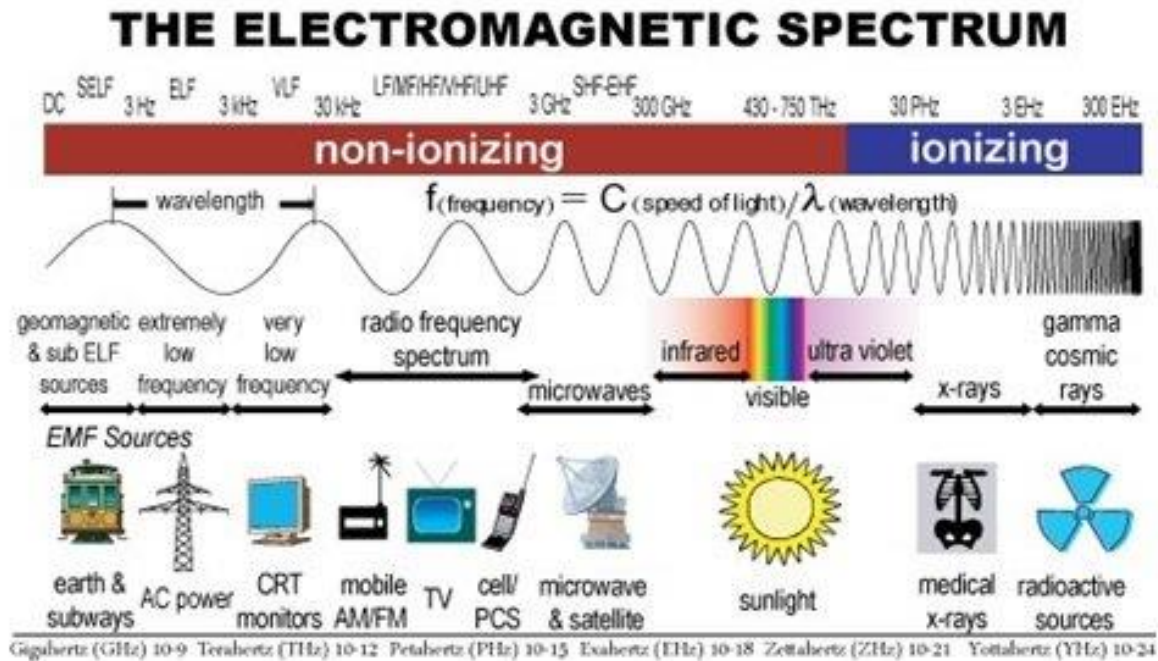
**Ιονίζουσα
Ακτινοβολία**

Ιδιαίτερα επικίνδυνη για τον άνθρωπο!



**Μη Ιονίζουσα
Ακτινοβολία**

Είδη Ακτινοβολιών

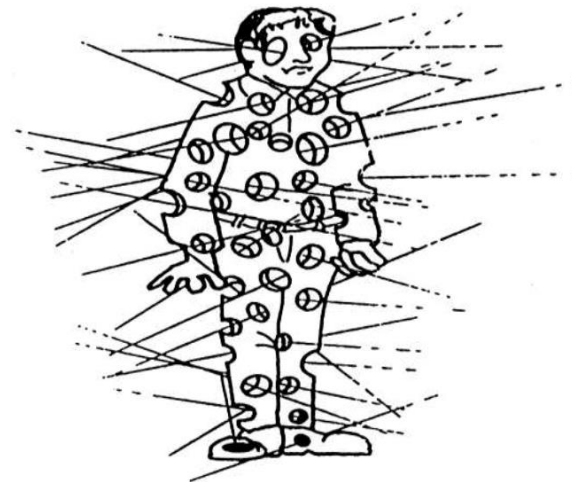


Ιονίζουσα ακτινοβολία: μεταφέρει μεγάλη ενέργεια και διεισδύοντας μέσα στην ύλη, προκαλεί ιονισμό και διασπάει τους χημικούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων.

Κυριότερες ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι η ακτινοβολία-α, η ακτινοβολία-β, οι ακτίνες-Χ και οι ακτίνες-γ (ΕΕΑΕ). Η κοσμική ακτινοβολία αποτελεί επίσης ιονίζουσα ακτινοβολία.

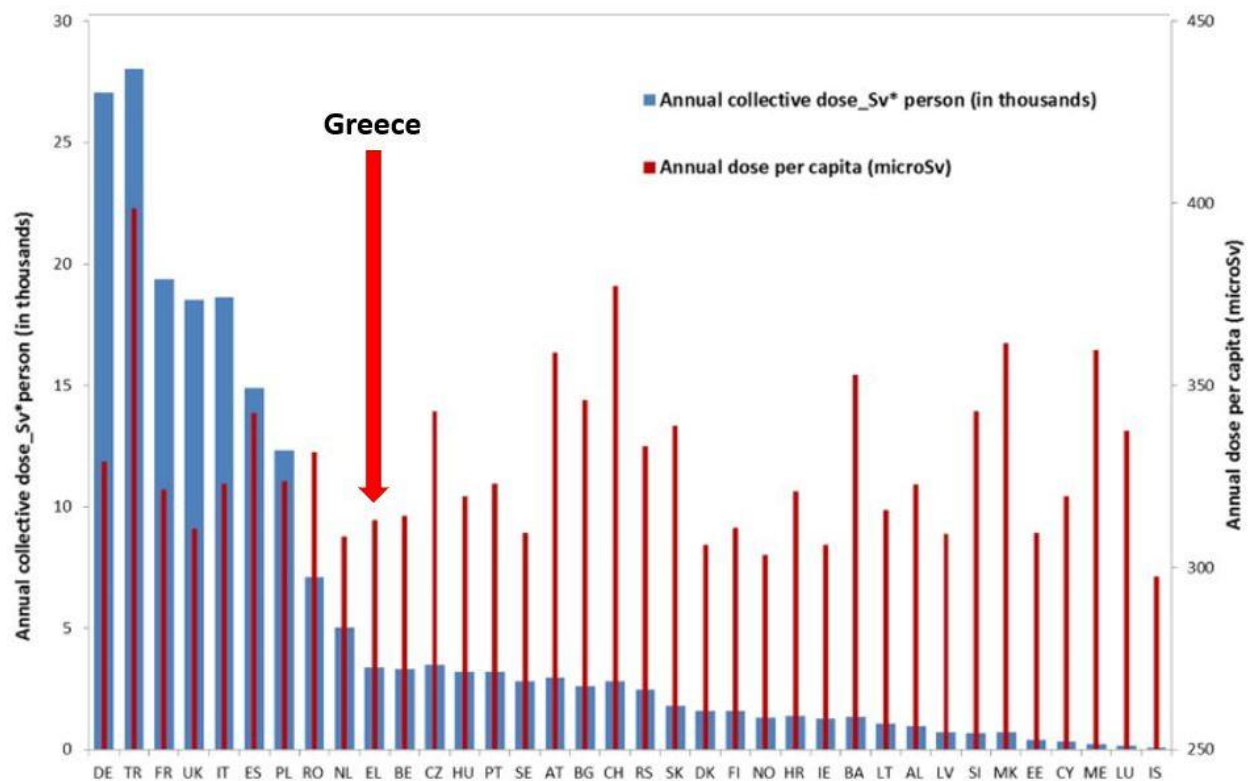
Μη ιονίζουσα ακτινοβολία: (αλλιώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) μεταφέρει ένα σχετικά μικρό ποσό ενέργειας, με αποτέλεσμα να μην προκαλεί ιονισμό της ύλης.

Σχετικά με τις πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας, οι κυριότερες πηγές φυσικής ακτινοβολίας είναι η κοσμική ακτινοβολία, η ακτινοβολία του εδάφους της Γης, το ραδόνιο και τα ραδιονουκλίδια μέσα στις τροφές.

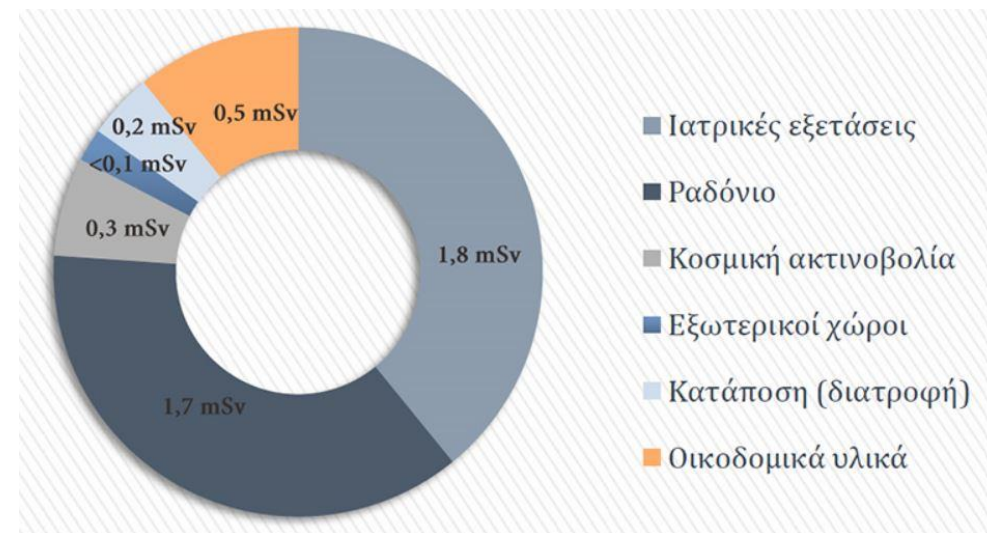


100.000 σωματίδια/h διαπερνούν το σώμα μας στην επιφάνεια της θάλασσας.

Έκθεση σε Ακτινοβολίες

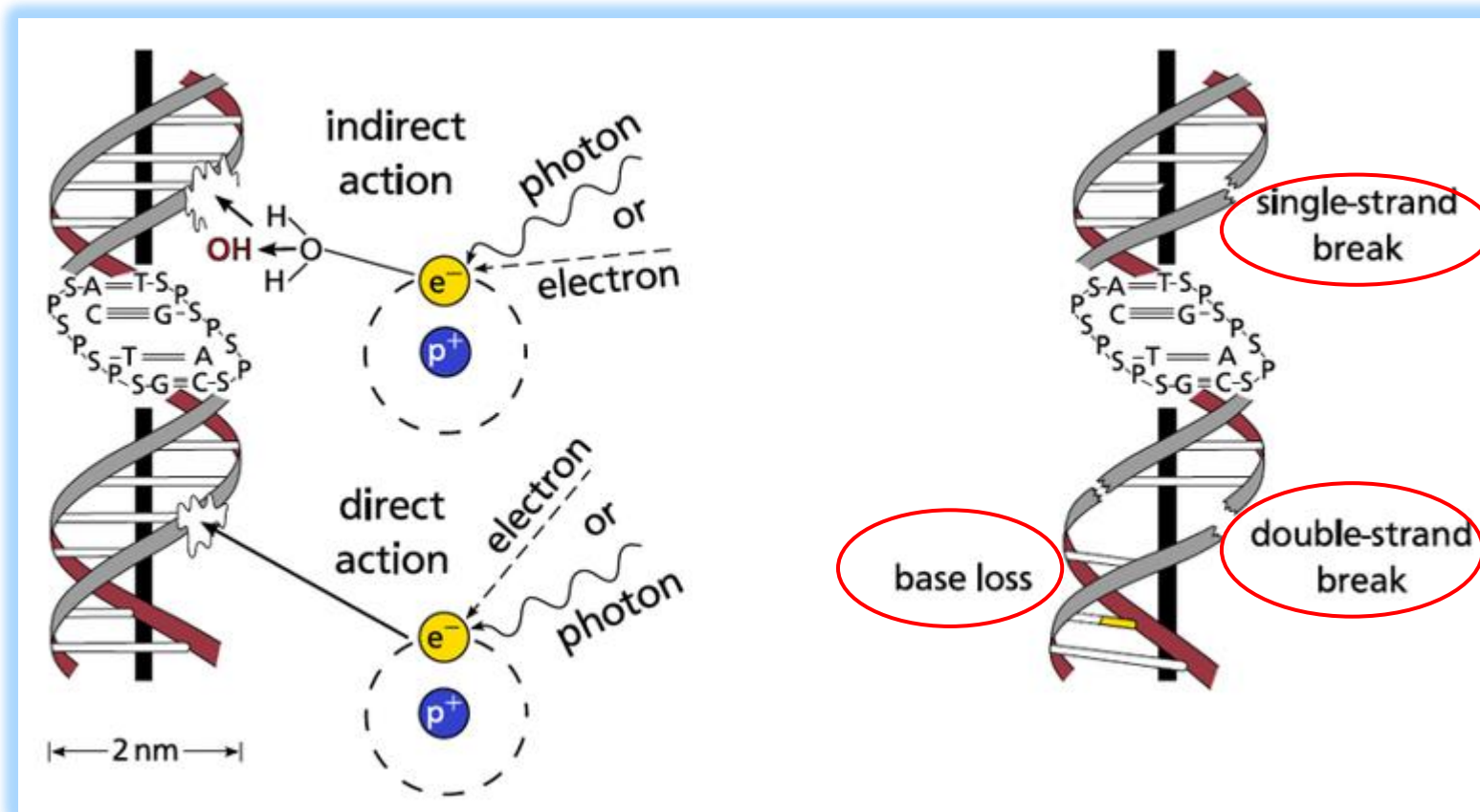


Ετήσια συλλογική ενεργός δόση και μέση σταθμισμένη ως προς τον πληθυσμό ετήσια ενεργός δόση ανά άτομο λόγω κοσμικής ακτινοβολίας για τις χώρες της ΕΕ.



Εκτίμηση της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας που δέχεται ο κάτοικος της Ελλάδας από φυσικές και τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

Άμεση και έμμεση βλάβη από ακτινοβολία στο DNA

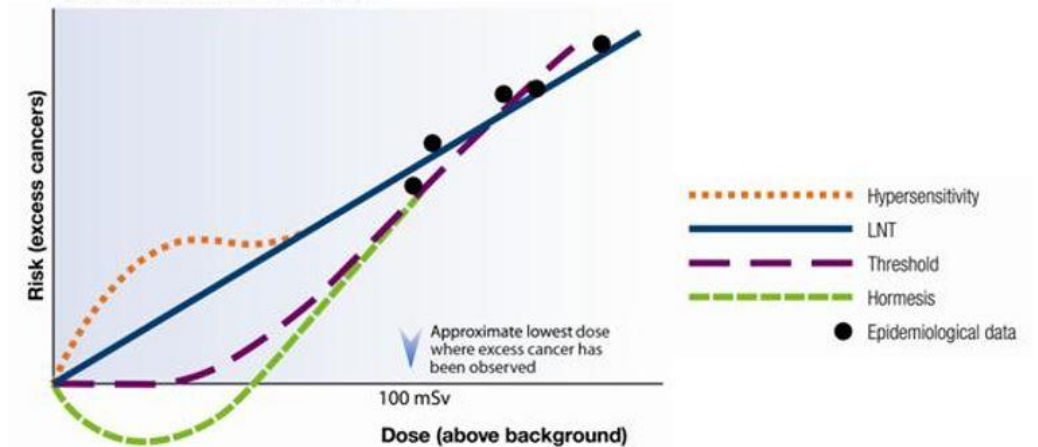
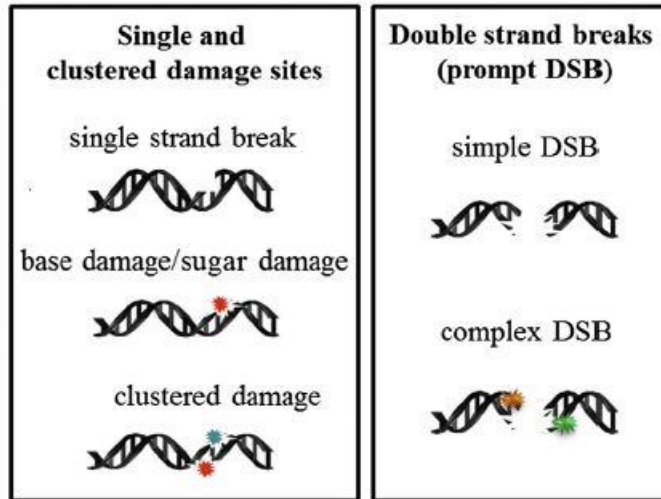
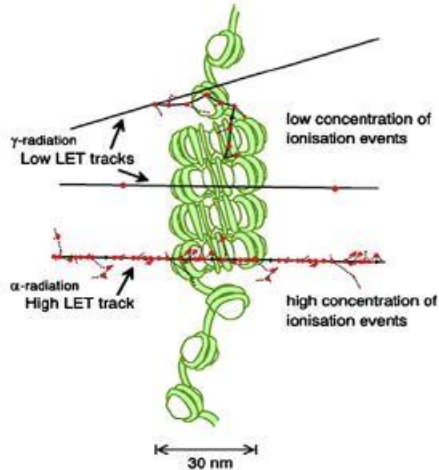
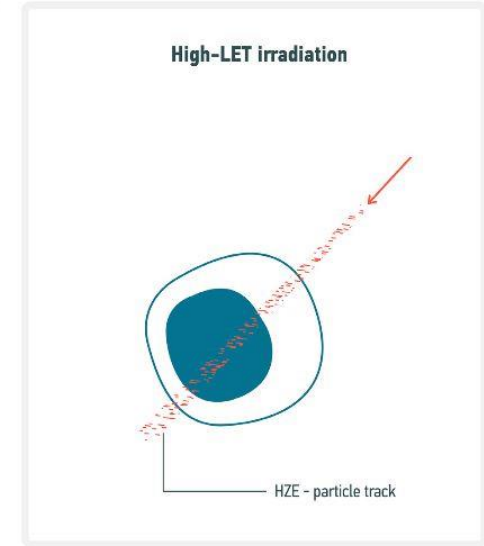
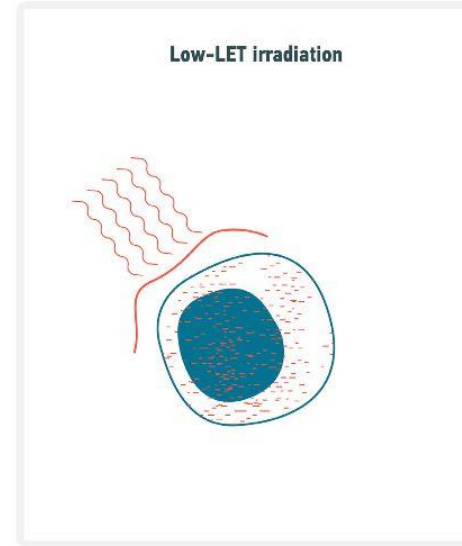


Bert, 2012

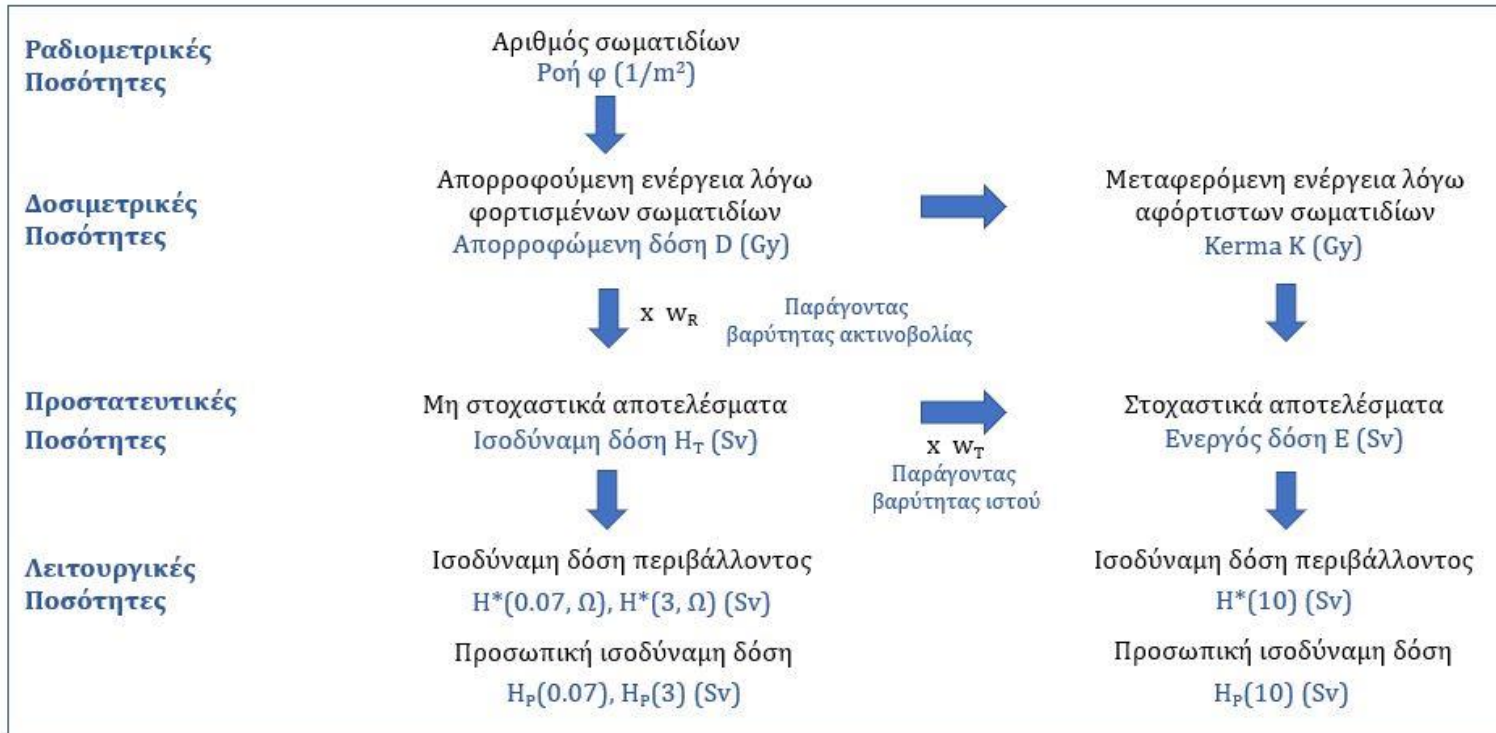
Η άμεση βλάβη προκαλείται από την εναπόθεση ενέργειας σε απευθείας χτυπήματα από ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται σε διεργασίες ιονισμού. Οι ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου (OH), που σχηματίζονται με ιονισμό στην υδρόλυση του νερού, μπορούν να προκαλέσουν έμμεση βλάβη στο DNA σε χημικές αντιδράσεις.

Βλάβες από ακτινοβολίες διαφορετικού LET

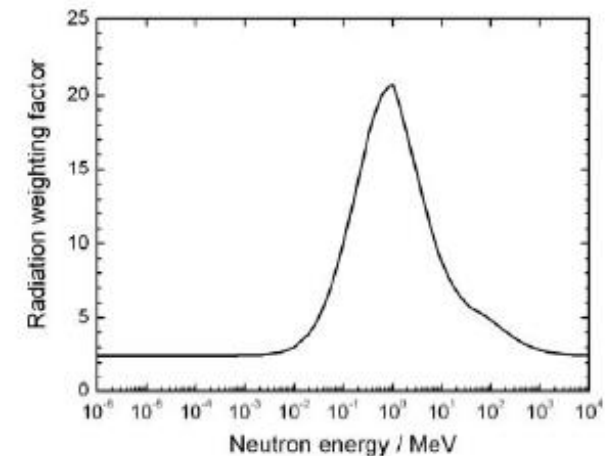
- ❑ χαμηλό LET (φωτόνια, ηλεκτρόνια και υψηλοενεργειακά πρωτόνια): προκαλούν λιγότερη βλάβη
- ❑ υψηλό LET (χαμηλοενεργειακά πρωτόνια, νετρόνια, σωματία α καθώς και βαρύτερα σωματία): προκαλούν σοβαρή βλάβη γιατί οι συγκρούσεις με τα ηλεκτρόνια του μέσου απέχουν μικρές αποστάσεις μεταξύ τους με αποτέλεσμα να εναποτίθεται σημαντικότερη ποσότητα ενέργειας.



Βασικά Μεγέθη Ακτινοπροστασίας



Είδος ακτινοβολίας	w_R
Φωτόνια (γ και X) όλων των ενεργειών	1
Ηλεκτρόνια (β) και μίονια όλων των ενεργειών	1
Πρωτόνια και φορτισμένα μίονια	2
Σωματία α , θραύσματα σχάσης, βαρέα ιόντα	20
Νετρόνια, με $E_n < 1\text{MeV}$	$2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
Νετρόνια, με $1\text{MeV} \leq E_n \leq 50\text{MeV}$	$5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$
Νετρόνια, $E_n > 50\text{MeV}$	$2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}$



Καταστάσεις Έκθεσης

- Επαγγελματική έκθεση
- Δημόσια έκθεση
- Ιατρική έκθεση

Αστροναύτες
Πληρώματα αεροσκαφών

↓

Επαγγελματική έκθεση
σε ακτινοβολίες

Αρχές Ακτινοπροστασίας

- Τεκμηρίωση (Justification)
- Βελτιστοποίηση (As Low As Reasonably Achievable - ALARA)
- Καθορισμός ορίων δόσεων (Individual Dose Limits)

Scale	Classification	Dose Rate Interval [$\mu\text{Sv/h}$]	Additional Exposure
D 0	Quiet	$\dot{E}_{sol} < 5$	Variation of the natural background at cruising altitudes
D 1	Nominal	$5 \leq \dot{E}_{sol} < 10$	Natural background at high latitudes up to FL400
D 2	Minor	$10 \leq \dot{E}_{sol} < 20$	Natural background at high latitudes between about FL400 and FL600
D 3	Moderate	$20 \leq \dot{E}_{sol} < 40$	Average dose rate inside the ISS, threshold for FAA radiation alert
D 4	Strong	$40 \leq \dot{E}_{sol} < 80$	Average dose rate during an Extra-Vehicular Activity (EVA) on the ISS
D 5	Severe	$80 \leq \dot{E}_{sol} < 160$	FAA recommended monthly limit for pregnant women likely to be exceeded on a long-haul flight

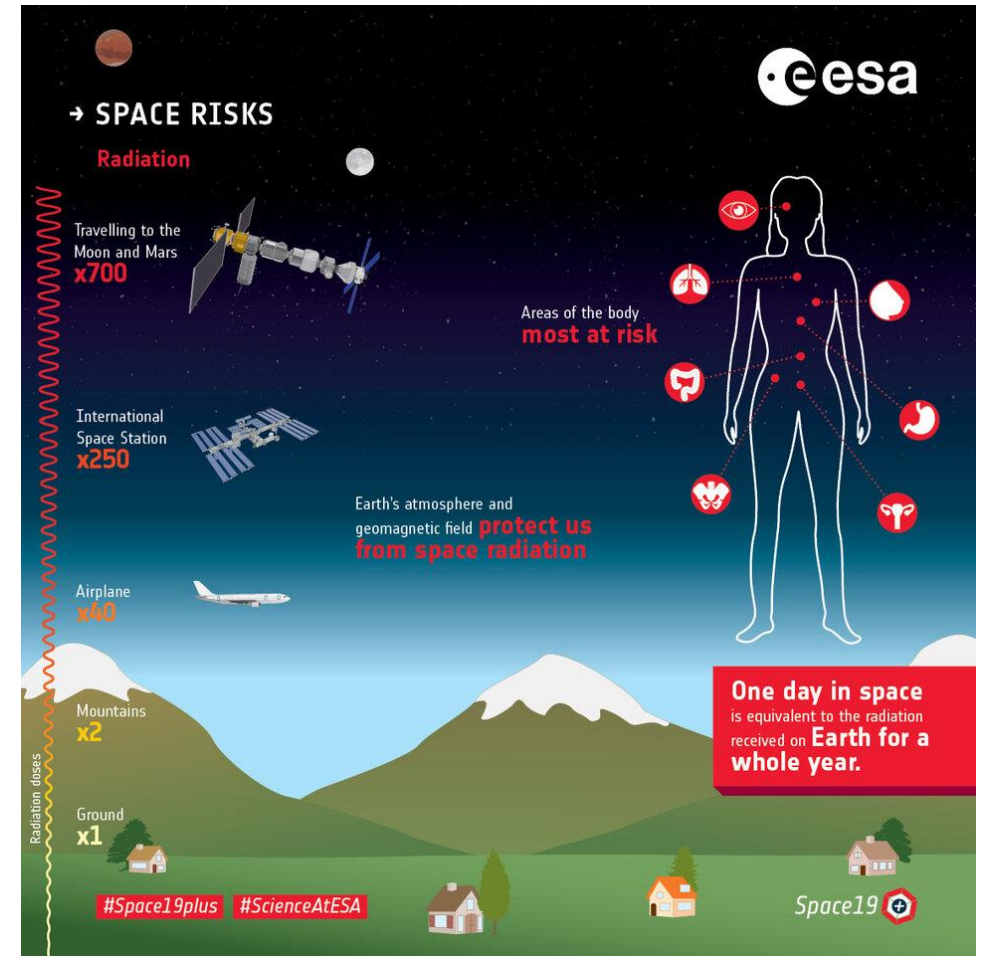
Έκθεση σε Κοσμική Ακτινοβολία (I)

Παράγοντας	Εύρος Μεταβολής	Εντός Μαγνητόσφαιρας
Υψόμετρο	Παράγοντας 1000	Από το επίπεδο της θάλασσας έως τα 80000 <i>ft</i>
Γεωγραφικό Πλάτος	Παράγοντας 2	Υψηλότερο στα πολικά γεωγραφικά πλάτη
Ηλιακός Κύκλος	Παράγοντας 2	Υψηλότερο στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη
SPEs	Μεταβλητό	Υψηλότερα στα πολικά γεωγραφικά πλάτη, έκτακτα γεγονότα

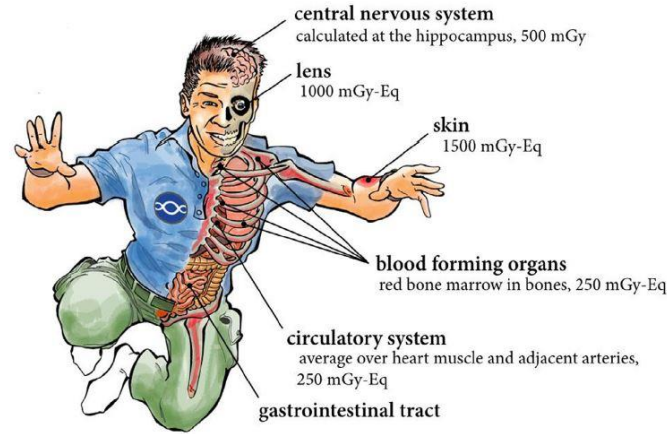
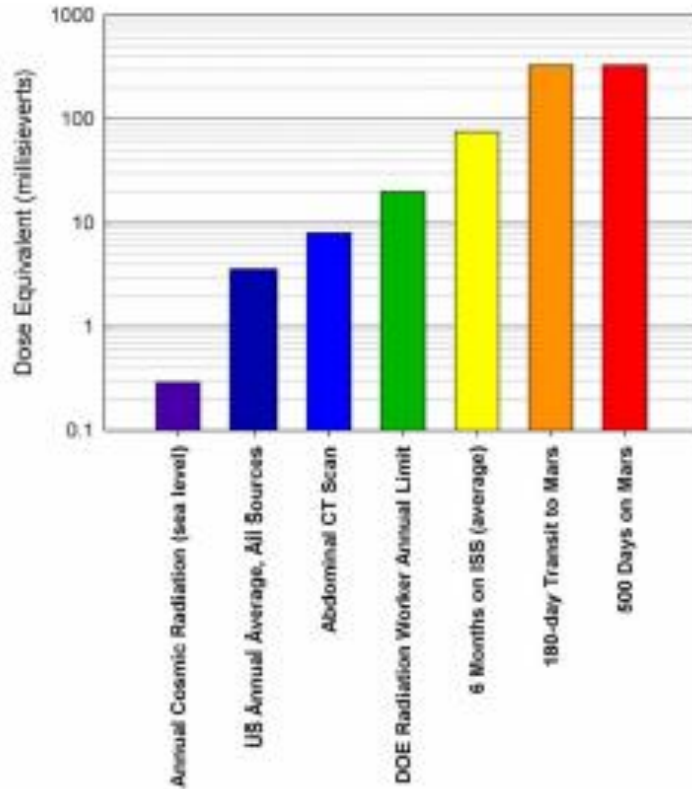
Type of flight	Total effective dose (μSv)	Average dose rate ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
Transatlantic flight: Paris–New York	60	6.8
Transequatorial flight: Colombo–Jakarta	9.7	2
Transpolar flight: Beijing–Chicago	82	6.8

~ 10 ακτινογραφίες θώρακα για καταιγίδα S4

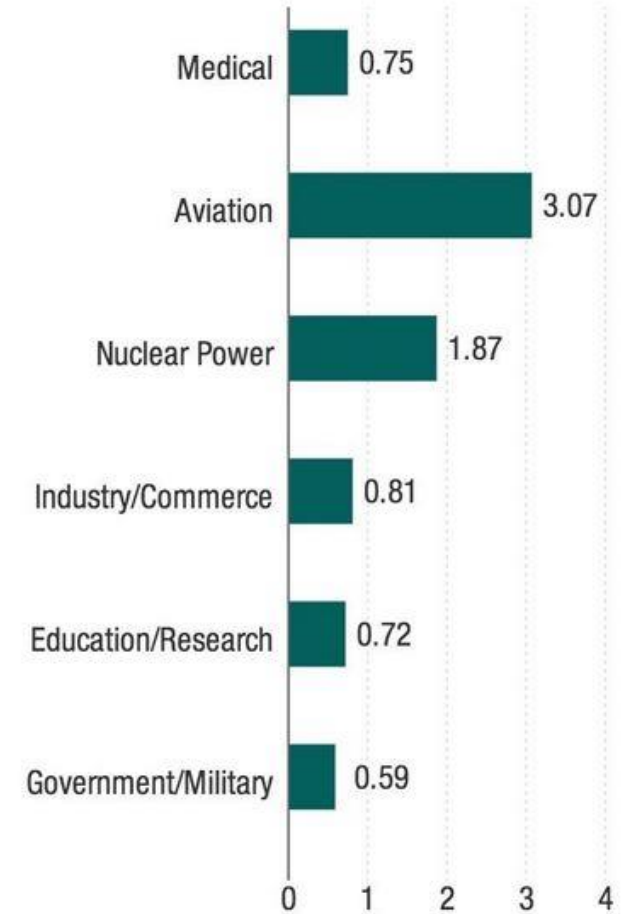
~ 100 ακτινογραφίες θώρακα για καταιγίδα S5



Έκθεση σε Κοσμική Ακτινοβολία (II)

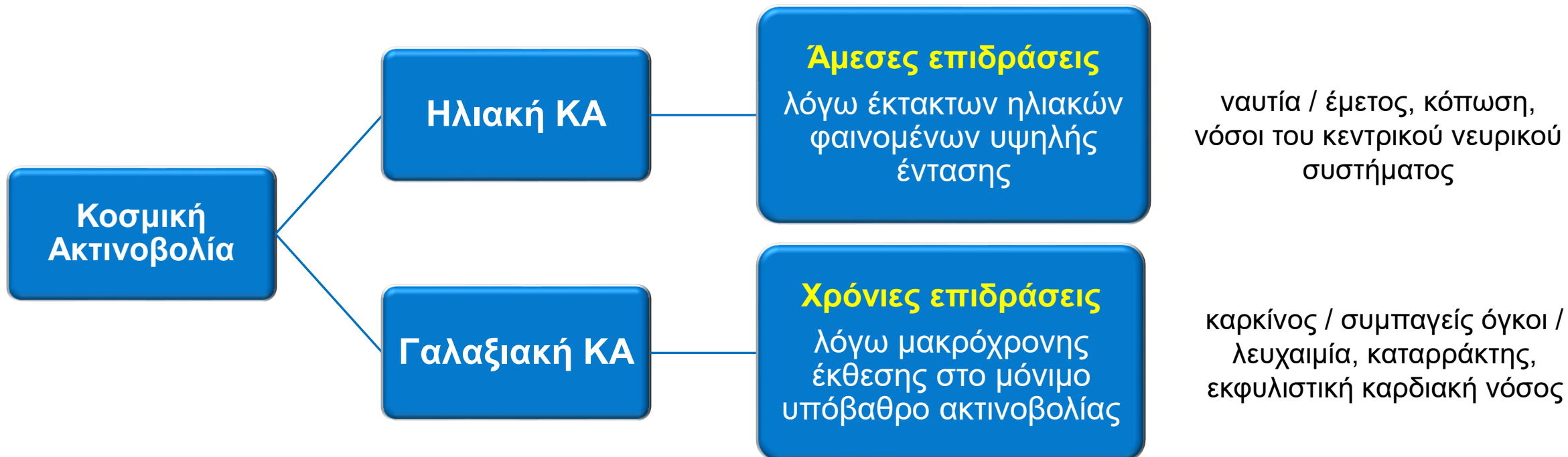


Annual Effective Dose (mSv)

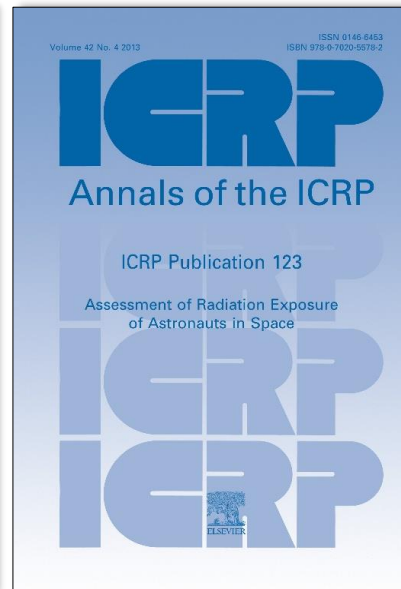
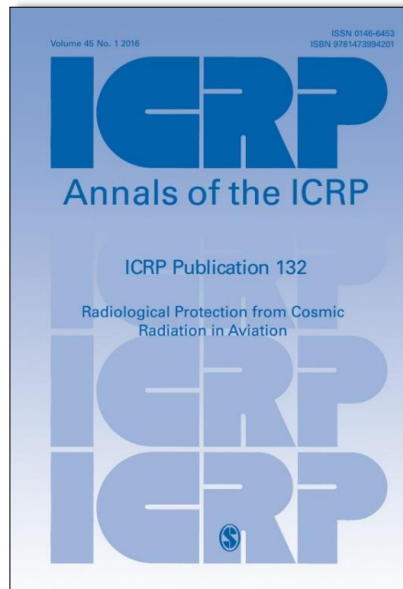


Αποστολή	Δόση ακτινοβολίας
Space Shuttle Mission 41-C (8 ημέρες σε τροχιά γύρω από τη Γη στα 460 km)	5.59 mSv
Apollo 14 (9 ημέρες στη Σελήνη)	11.4 mSv
Skylab 4 (87 ημέρες σε τροχιά γύρω από τη Γη στα 473 km)	178 mSv
Αποστολή στον ISS (έως 6 μήνες σε τροχιά γύρω από τη Γη στα 353 km)	160 mSv
Εκτιμώμενη αποστολή στον Άρη (3 έτη)	1200 mSv

Επιπτώσεις Κοσμικής Ακτινοβολίας στην Υγεία



Πρωτόκολλα Ακτινοπροστασίας για Κοσμική Ακτινοβολία



- ICRP Pub. 60 (1991)
- EC 96/29/EURATOM (1996).**
- ICRP Pub. 75 (1997)
- ICRU Rep. 84 (2010).
- EC 2013/59/EURATOM (2013) .**
- ICRP Pub. 123 (2013).
- ICRP Pub. 132 (2016).
- ICNIRP (2007).

Article 10
Special protection during pregnancy and breastfeeding

1. As soon as a pregnant woman informs the undertaking, in accordance with national legislation and/or national practice, of her condition, the protection of the child to be born shall be comparable with that provided for members of the public. The conditions for the pregnant woman in the context of her employment shall therefore be such that the equivalent dose to the child to be born will be as low as reasonably achievable and that it will be unlikely that this dose will exceed 1 mSv during at least the remainder of the pregnancy.
2. As soon as a nursing woman informs the undertaking of her condition she shall not be employed in work involving a significant risk of bodily radioactive contamination.

Article 42
Protection of air crew

Each Member State shall make arrangements for undertakings operating aircraft to take account of exposure to cosmic radiation of air crew who are liable to be subject to exposure to more than 1 mSv per year. The undertakings shall take appropriate measures, in particular:

- to assess the exposure of the crew concerned,
- to take into account the assessed exposure when organizing working schedules with a view to reducing the doses of highly exposed aircrew,
- to inform the workers concerned of the health risks their work involves,
- to apply Article 10 to female air crew.

Όρια Δόσεων Έκθεσης σε Κοσμική Ακτινοβολία

Πληρώματα Αεροσκαφών

Μέγεθος	Όρια δόσεων για επαγγελματική έκθεση	Όρια δόσεων για έκθεση κοινού
Ενεργός δόση	20 mSv ανά χρόνο, κατανεμημένο σε διακριτές περιόδους των 5 ετών, χωρίς καμία χρονιά να υπερβαίνει τα 50mSv. (Σε περίπτωση δήλωσης εγκυμοσύνης, η δόση στο έμβρυο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1mSv για το υπόλοιπο της εγκυμοσύνης.)	1 mSv σε ένα χρόνο (Σε ειδικές περιπτώσεις, επιτρέπεται μία υψηλότερη τιμή για μία μεμονωμένη χρονιά με την προϋπόθεση ότι η μέση τιμή σε 5 χρόνια δεν υπερβαίνει το 1mSv ανά χρόνο.)
Ισοδύναμη δόση (οφθαλμοί)	20 mSv ανά χρόνο, κατανεμημένο σε διακριτές περιόδους των 5 ετών, χωρίς καμία χρονιά να υπερβαίνει τα 50mSv	15 mSv σε ένα χρόνο
Ισοδύναμη δόση (δέρμα)	500 mSv σε ένα χρόνο	50 mSv σε ένα χρόνο
Ισοδύναμη δόση (χέρια / πόδια)	500 mSv σε ένα χρόνο	-

Αστροναύτες

Ηλικία (έτη)	25	35	45	55
Άντρας	1.50 Sv	2.50 Sv	3.25 Sv	4.00 Sv
Γυναίκα	1.00 Sv	1.75 Sv	2.50 Sv	3.00 Sv

	Διάρκεια Έκθεσης	Αιμοποιητικά Όργανα (βάθος 0.01 cm)	Οφθαλμοί (βάθος 0.01 cm)	Δέρμα (βάθος 0.01 cm)
Αστροναύτες	30 ημέρες	0.25 Sv	1.0 Sv	1.5 Sv
	Ετησίως	0.50 Sv	2.0 Sv	3.0 Sv
	Σταδιοδρομία	1 – 4 Sv	4.0 Sv	6.0 Sv
Κοινό	Ετησίως	0.001 Sv	0.015 Sv	0.05 Sv

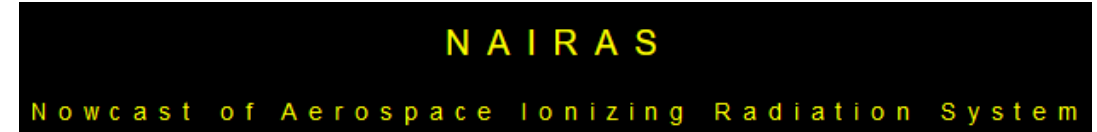
Μοντέλα εκτίμησης δόσης λόγω Κοσμικής Ακτινοβολίας



(Bottollier-Depois et al., 2009)



(Latocha et al., 2009)



(Mertens et al., 2013)

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 航路線量計算システム

JISCARD

航空機での宇宙線被ばく線量を計算表示するシステム
Japanese Internet System for Calculation of Aviation Route Doses

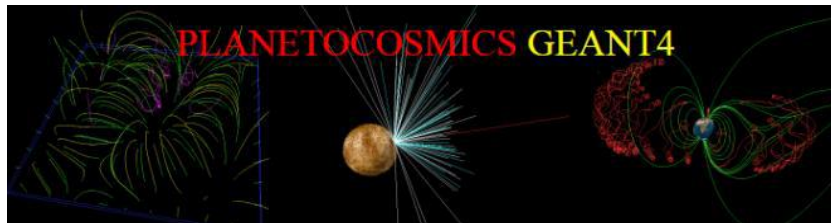
(Yasuda et al., 2008)



(Mares et al., 2004)



(Lewis et al., 2005)



(Desorgher et al., 2006)



CARI-7

(Copeland et al., 2017)



(Paschalis et al., 2014)

DYASTIMA

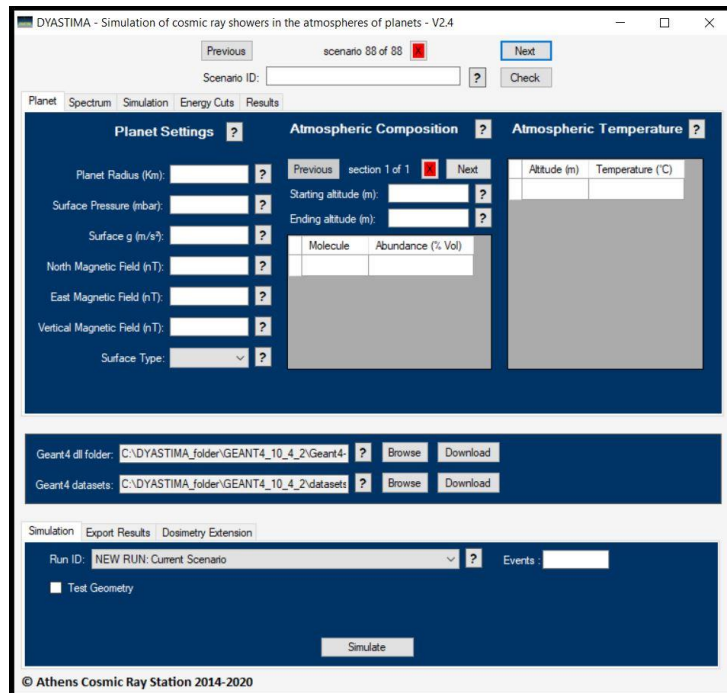
DYNAMIC ATMOSPHERIC SHOWER TRACKING INTERACTIVE MODEL APPLICATION

- ❑ Monte Carlo προσομοιώσεις των καταιγισμών δευτερογενών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ενός πλανήτη.
- ❑ Υλοποιήθηκε από την Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας ΕΚΠΑ.
- ❑ Βασισμένο στο πακέτο προσομοιώσεων

(Geant4 Collaboration 2003;2006;2016)



(Paschalis et al., 2014)

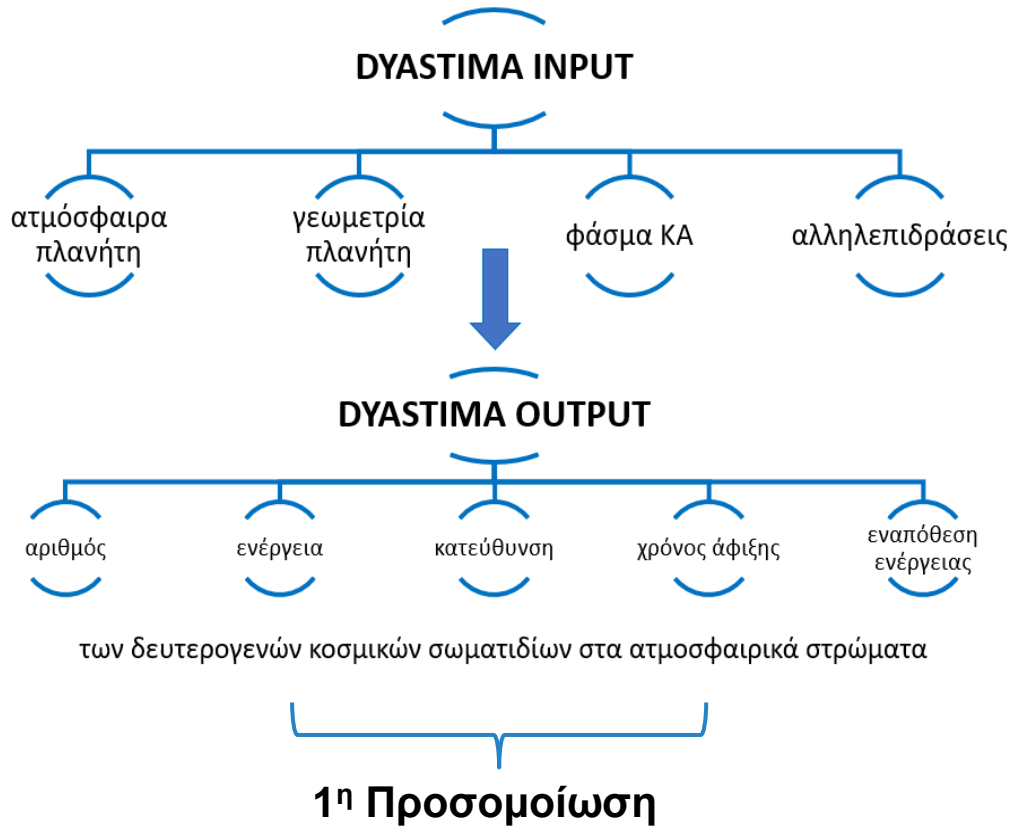


Σταθμός Κοσμικής Ακτινοβολίας Τμ. Φυσικής ΕΚΠΑ
<http://cosray.phys.uoa.gr/index.php/dyastima>

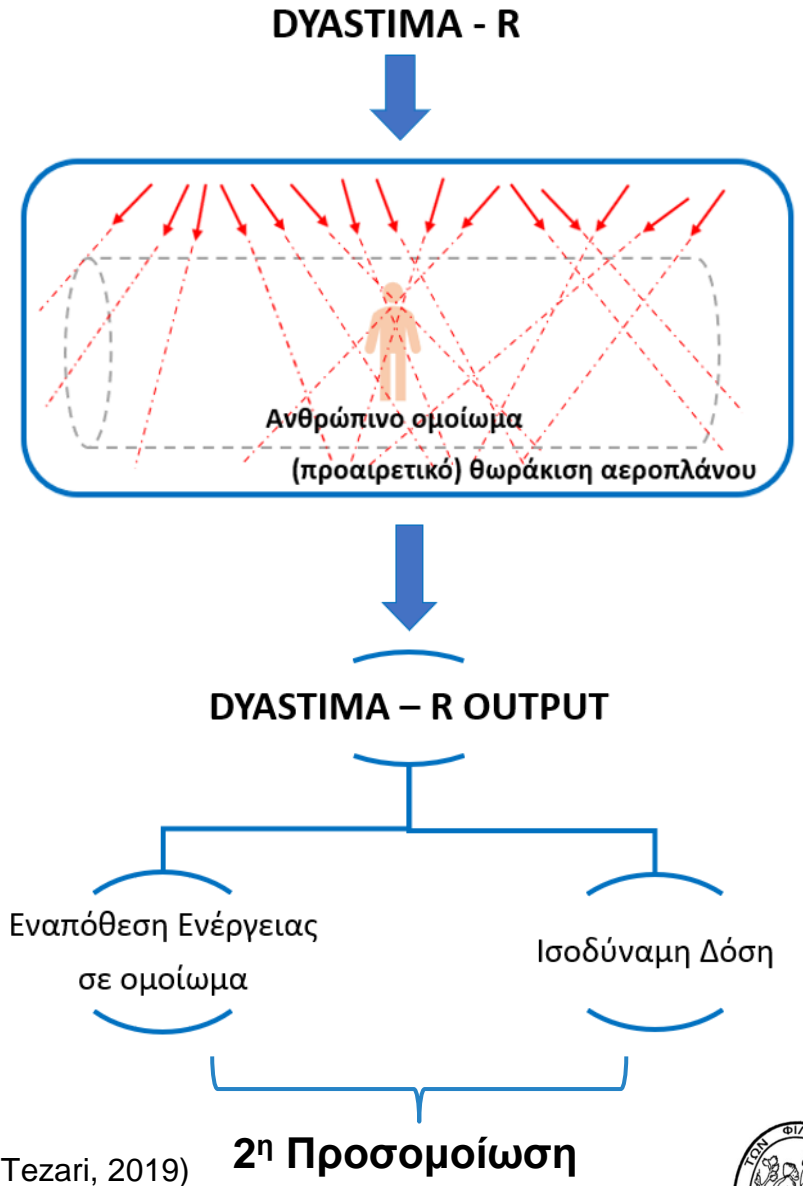
Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA)
<http://swe.ssa.esa.int/web/guest/dyastima-federated>

DYASTIMA-R

- ❑ Νέα επέκταση του DYASTIMA
- ❑ Δοσιμετρικοί υπολογισμοί για την αξιολόγηση της έκθεσης σε κοσμική ακτινοβολία των πληρωμάτων αεροσκαφών ή/και διαστημικών σκαφών.



Εστίαση σε σωματίδια σε συγκεκριμένο υψόμετρο



(Paschalis and Tezari, 2019)

Αξιολόγηση του DYASTIMA-R (I)

Στα πλαίσια του προγράμματος ESA SSA P3-SWE-III R-ESC, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του DYASTIMA / DYASTIMA-R, ώστε να γίνει “federated product” στο ESA SSA SWE R-ESC, όπου η Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας συμμετέχει ως expert group.

(ESA SSA P3 SWE-III Acceptance Test Report R.137, 2019)

Welcome to the SSA Space Weather Service Network
Please note that all SSA-SWE Services are under review/construction.

THE EUROPEAN SPACE AGENCY

Expert Service Centres / ESC Space Radiation / dyastima-federated

Federated products from the Cosmic Ray Group (NKUA)

A.Ne.Mo.S
ATHENS NEUTRON MONITOR STATION (A.NE.MO.S)

DYASTIMA

Home FAQ Database Request Publications Acknowledgments

Dynamic Atmospheric Shower Tracking Interactive Model Application

Dynamic Atmospheric Shower Tracking Interactive Model Application (DYASTIMA) is a standalone software application for the simulation of the cascades produced in the atmosphere of a planet due to cosmic rays propagation. It is implemented in Geant4 by the Athens Cosmic Ray Group. The input, provided by the user, can be easily parameterized via a very user friendly Graphical User Interface (GUI). The output of DYASTIMA provides all the necessary information about the cascade, such as number, direction, arrival time, energy, and energy deposit of the secondary particles at different tracking layers. With DYASTIMA-R extension, Monte Carlo simulations can be performed on the ICRU sphere (International Commission on Radiation Units and Measurements) or on a human phantom in order to perform radiation dose calculations.

Figure: Cosmic ray cascades in the atmosphere

In this web page the user can find all the necessary information about DYASTIMA, distributed in the following sections:

- "FAQ": Provides information about the most common issues. The link to DYASTIMA software is also available there.
- "Database": Provides results from previous runs of specific simulation scenarios.
- "Request": A form where the user is able to request a specific scenario run, not available in the database.
- "Publications": Provides a list of relevant publications as well as a link to the software user manual.
- "Acknowledgments": Acknowledgments and rules regarding the use of data.

SWE Portal [3.2.1], Copyright 2000 - 2021 © European Space Agency. All rights reserved.



Welcome to the SSA Space Weather Service Network
Please note that all SSA-SWE Services are under review/construction.

THE EUROPEAN SPACE AGENCY

Expert Service Centres / ESC Space Radiation / dyastima-federated

Federated products from the Cosmic Ray Group (NKUA)

A.Ne.Mo.S
ATHENS NEUTRON MONITOR STATION (A.NE.MO.S)

DYASTIMA

Home FAQ Database Request Publications Acknowledgments

Database

In this section, results of previous runs are provided. Each run corresponds to a specific simulation scenario, hence, specific conditions for the planet, the atmosphere, the cosmic ray spectra and the simulation parameters. A description of each simulation scenario is given along with the corresponding results.

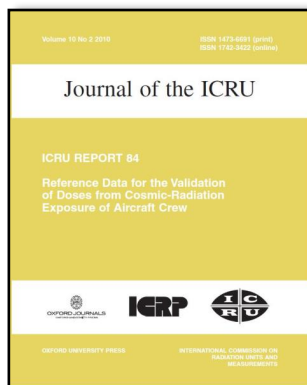
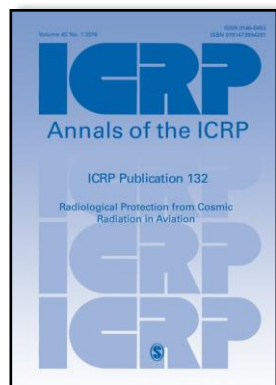
January 1998
January 2000
January 2002
Solar Minimum
Solar Maximum
Year 1996, cut-off 0GV
Year 1996, cut-off 2GV
Year 1996, cut-off 5GV
Year 1996, cut-off 8GV
Year 1996, cut-off 10GV
Year 1996, cut-off 1.5GV
Year 2001, cut-off 0GV
Year 2001, cut-off 2GV
Year 2001, cut-off 5GV
Year 2001, cut-off 8GV
Year 2001, cut-off 10GV
Year 2001, cut-off 1.5GV
Year 2006, cut-off 0GV
Year 2006, cut-off 2GV
Year 2006, cut-off 5GV
Year 2006, cut-off 8GV
Year 2006, cut-off 10GV
Year 2006, cut-off 1.5GV
Year 2009, cut-off 0GV
Year 2009, cut-off 5GV
Year 2009, cut-off 10GV
Year 2009, cut-off 1.5GV
Year 2014, cut-off 0GV
Year 2014, cut-off 2GV
Year 2014, cut-off 5GV
Year 2014, cut-off 8GV

Earth

SWE Portal [3.2.1], Copyright 2000 - 2021 © European Space Agency. All rights reserved.

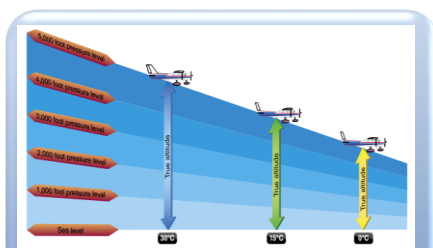
<http://swe.ssa.esa.int/web/guest/dyastima-federated>

Αξιολόγηση του DYASTIMA-R (II)



- ❑ Υπολογισμός $dH^*(10)/dt$ ($\mu\text{Sv/h}$).
- ❑ Σύγκριση με τα δεδομένα αναφοράς ICRU.
- ❑ Ανώτερη αποδεκτή απόκλιση: $\pm 30\%$.

(ICRU 84, 2010; ICRP 132, 2016)



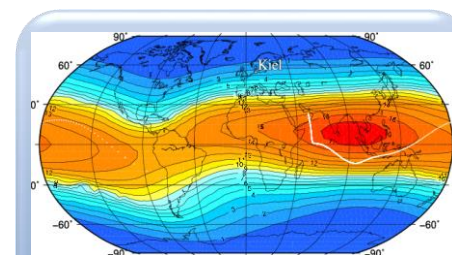
3 διαφορετικά υψόμετρα πτήσης

- FL310 (9.45 km)
- FL350 (10.67 km)
- FL390 (11.89 km)



3 διαφορετικές χρονικές περιόδους

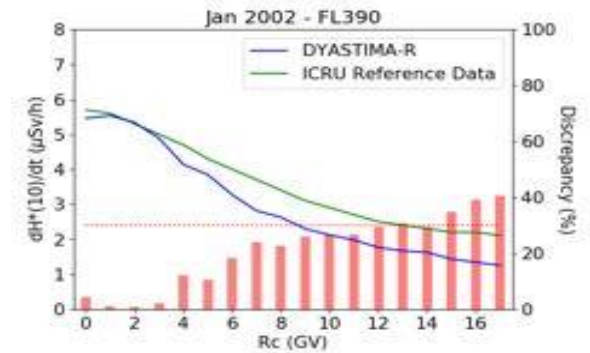
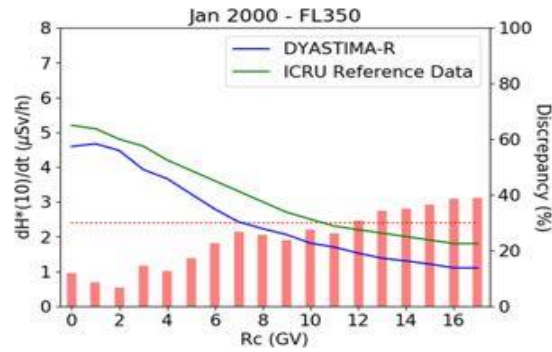
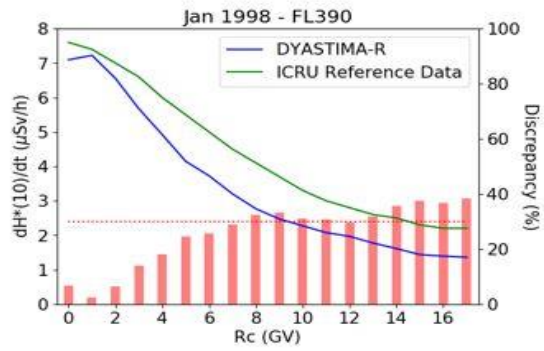
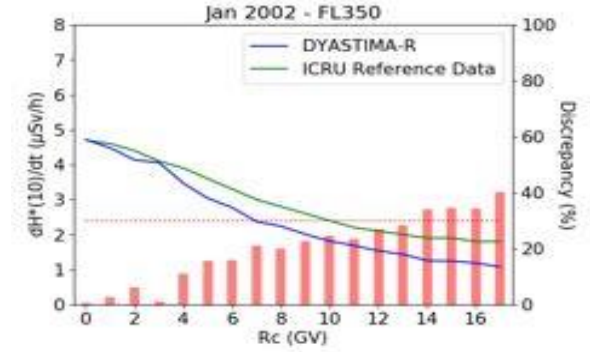
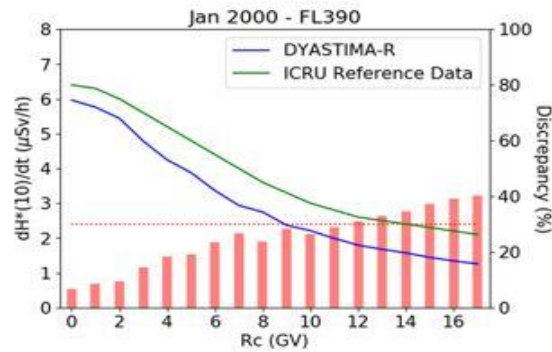
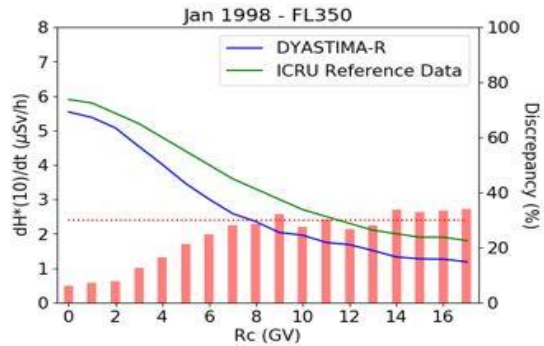
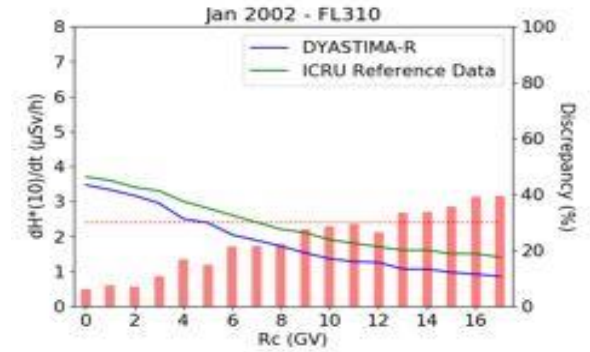
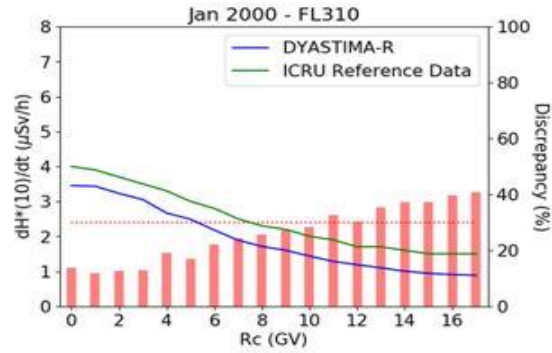
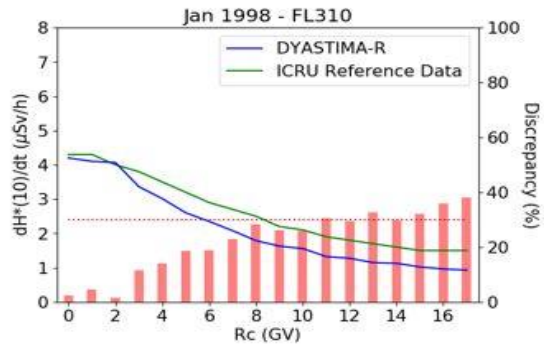
- Ιανουάριος 1998
- Ιανουάριος 2000
- Ιανουάριος 2002



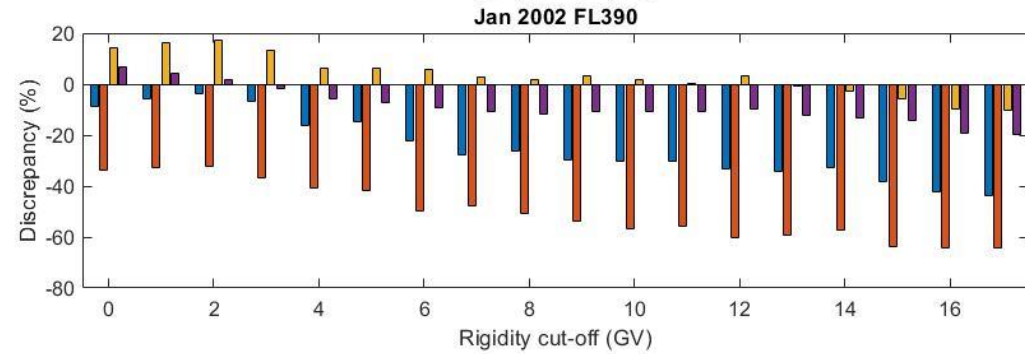
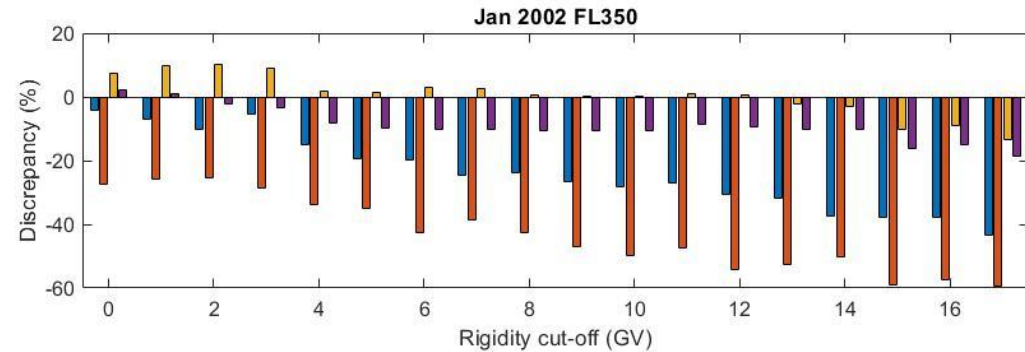
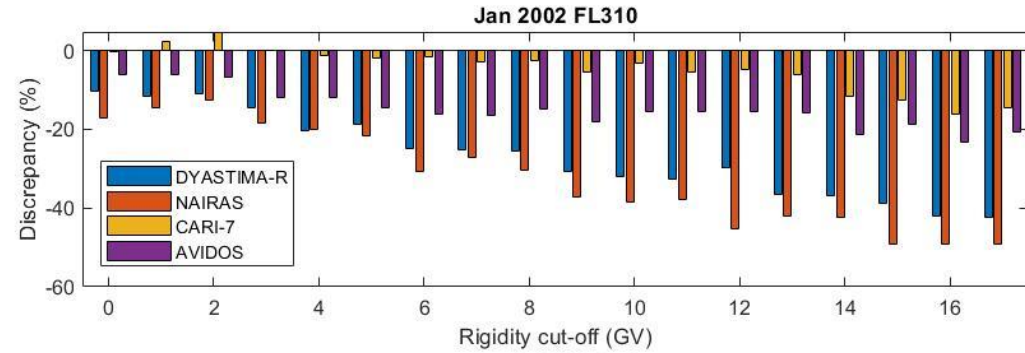
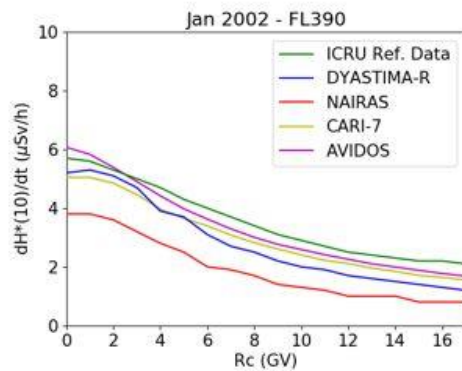
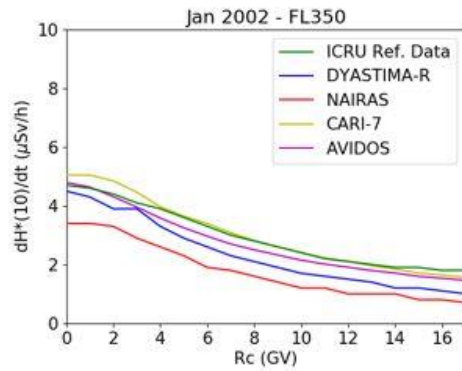
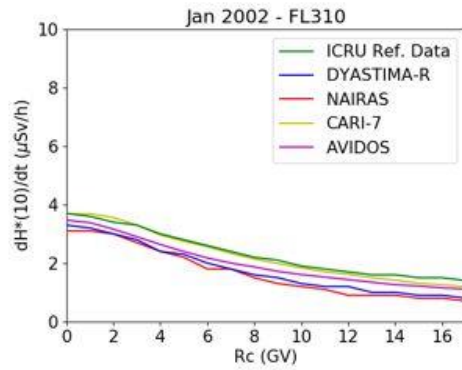
18 τιμές κατωφλίου μαγνητικής δυσκαμψίας

- $R_c = 0 \text{ GV} - 17 \text{ GV}$

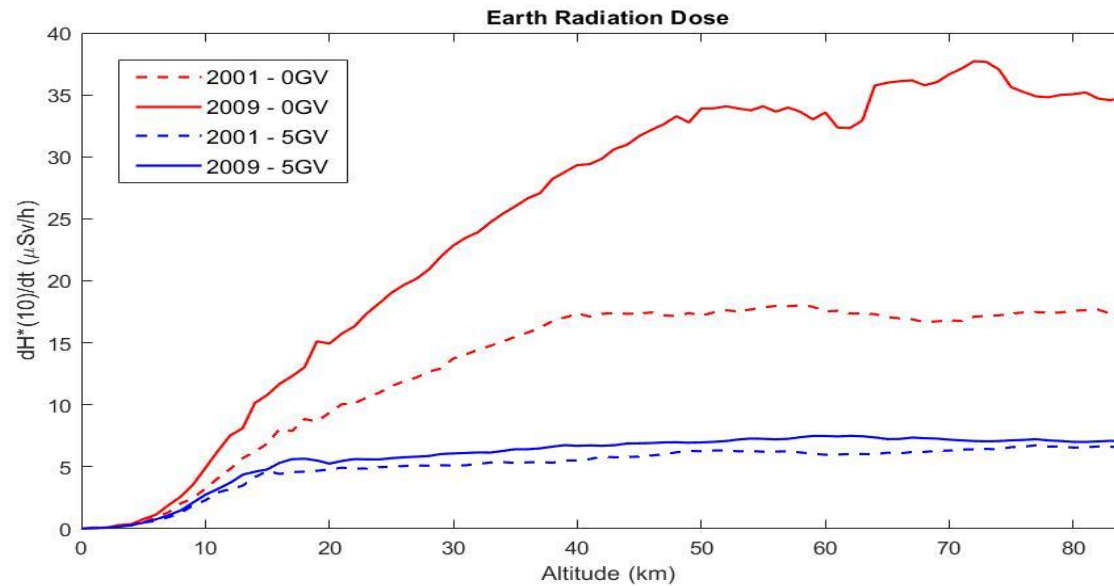
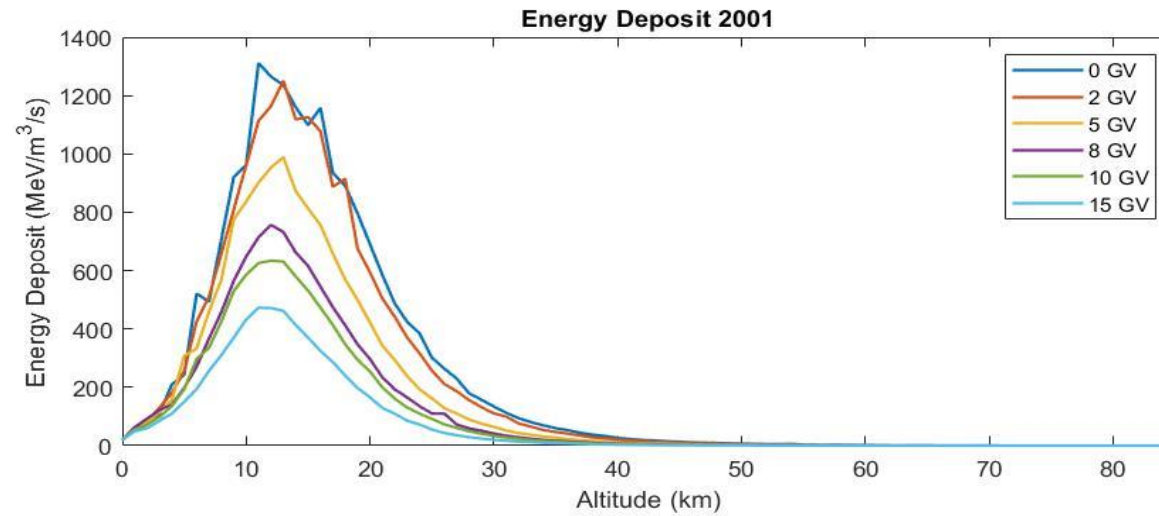
Αξιολόγηση του DYASTIMA-R (III)



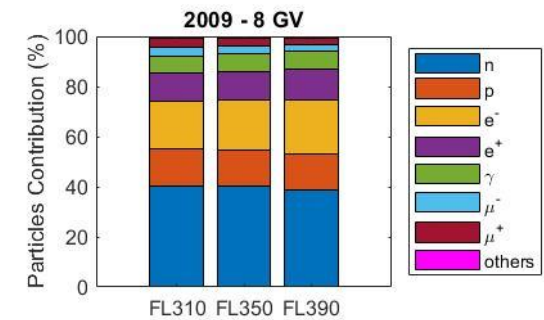
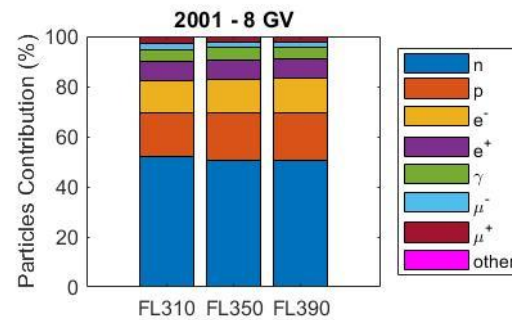
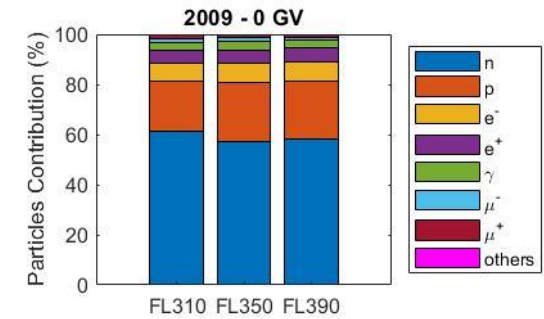
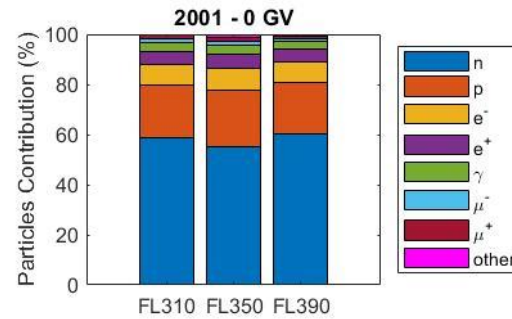
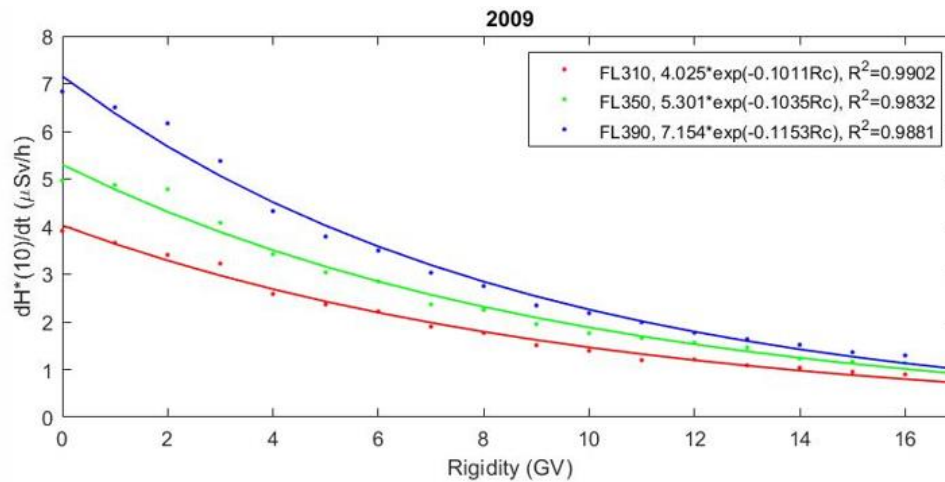
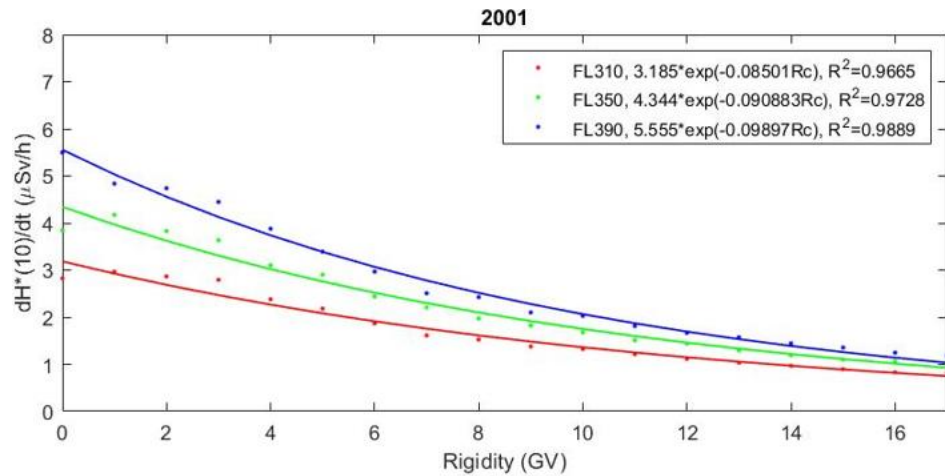
Συγκριτική Μελέτη



Δοσιμετρικοί υπολογισμοί - Γήινη ατμόσφαιρα



Δοσιμετρικοί υπολογισμοί - Υψόμετρα πτήσεων



- n 40%-60%, p 10%-20%, e⁻ / e⁺ / γ / μ μικρότερη συνεισφορά.
- 60%-80% της δόσης στα συνήθη ατμοσφαιρικά υψόμετρα πτήσης απαρτίζεται από σωματίδια υψηλής LET

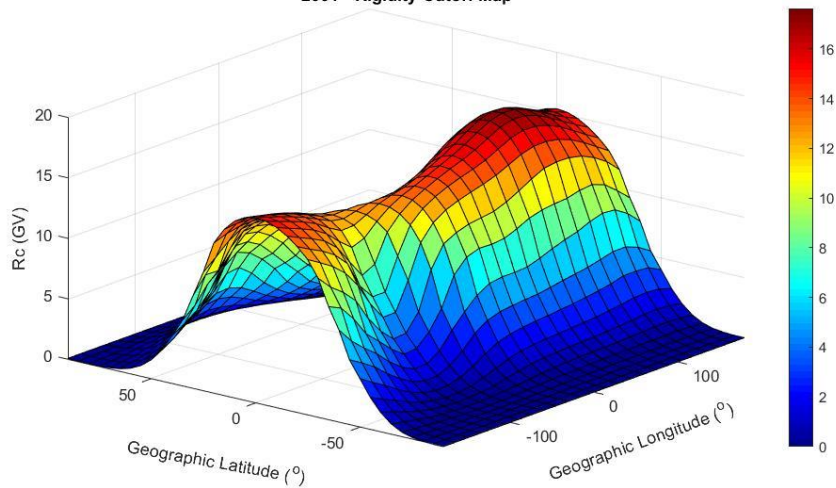
Κατανομή του ρυθμού δόσης εκθετική σε όλο το εύρος τιμών R_c .
 Η συμπεριφορά αυτή εμφανίζεται σε όλες τις φάσεις του ηλιακού κύκλου.

Δοσιμετρικοί υπολογισμοί - R_c

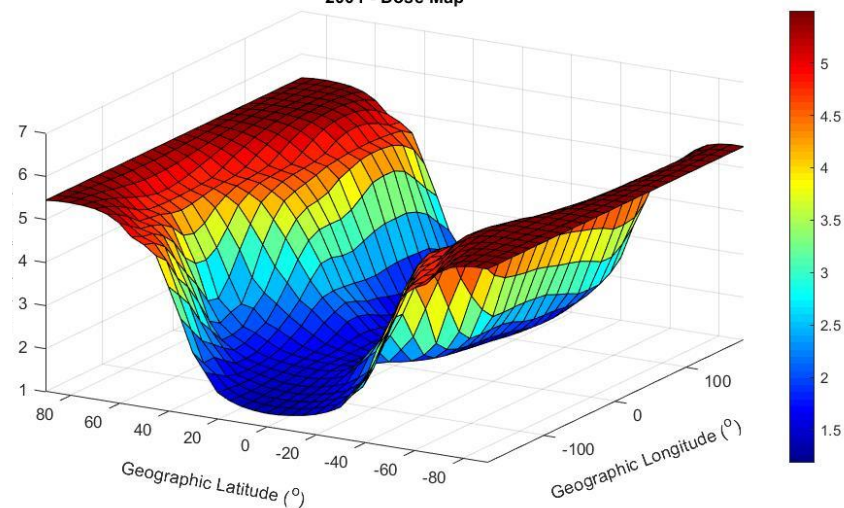
Μαγνητική Δυσκαμψία

Ρυθμός Δόσης

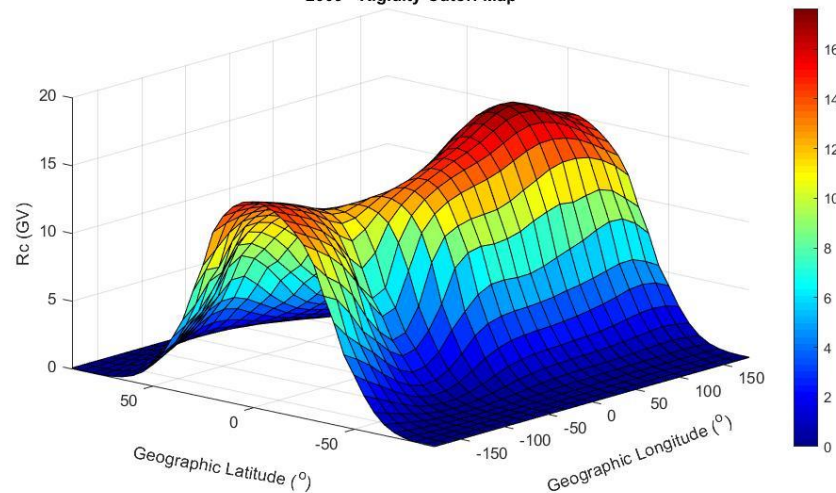
2001 - Rigidity Cutoff Map



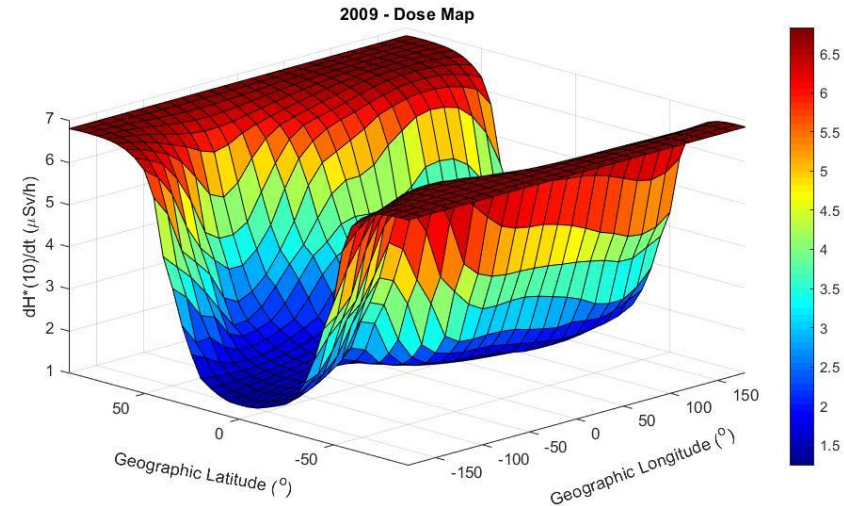
2001 - Dose Map



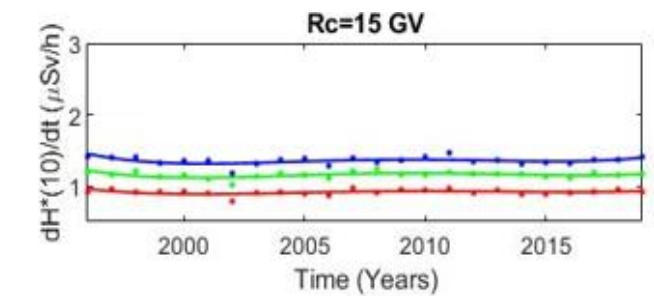
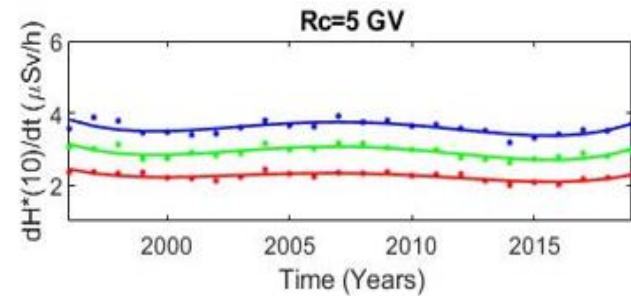
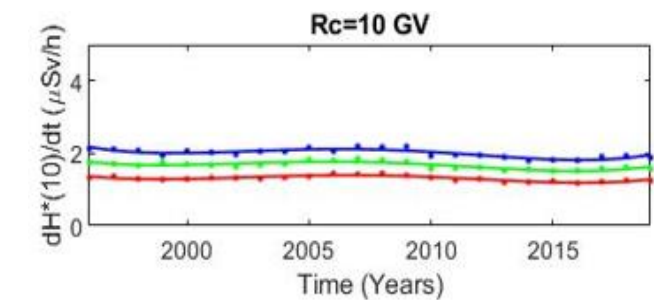
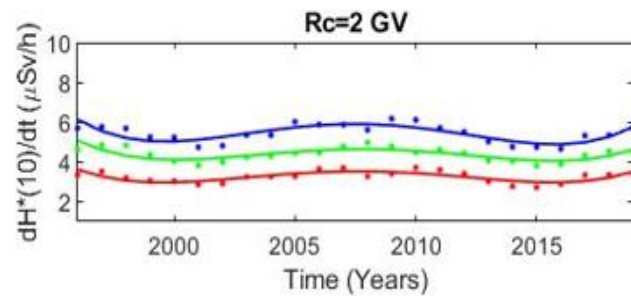
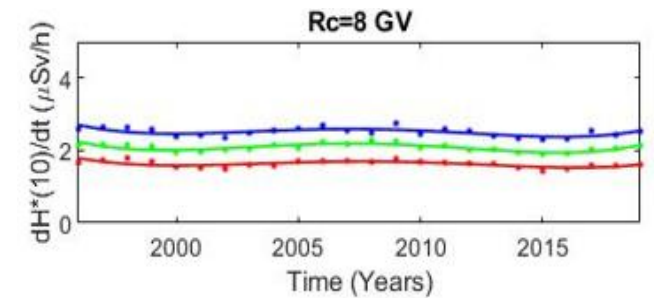
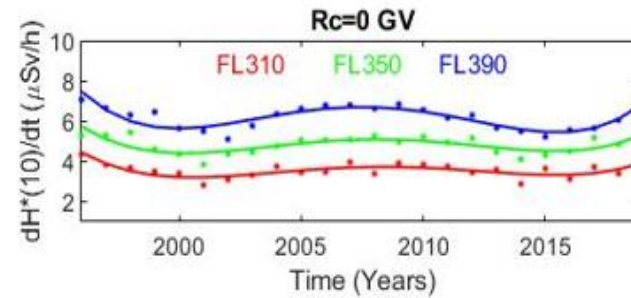
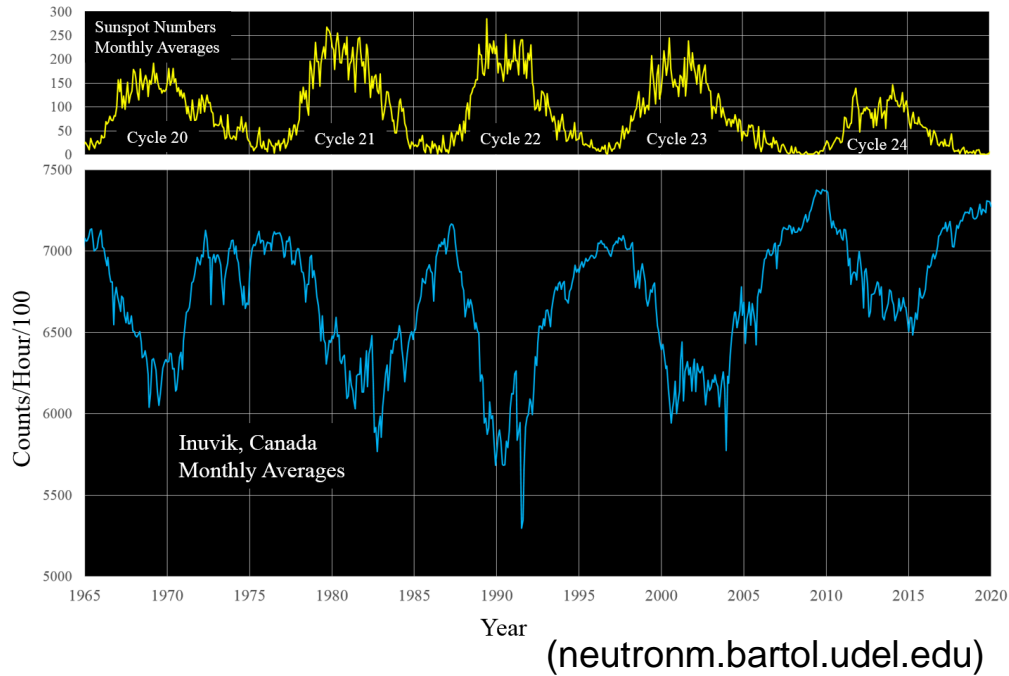
2009 - Rigidity Cutoff Map



2009 - Dose Map

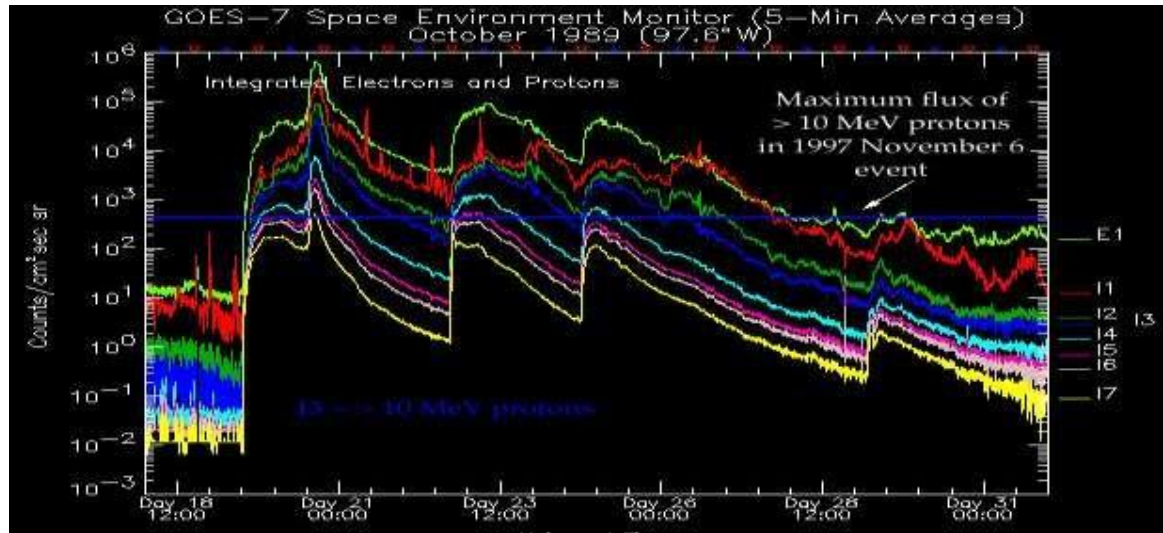


Δοσιμετρικοί υπολογισμοί - Ηλιακή δραστηριότητα



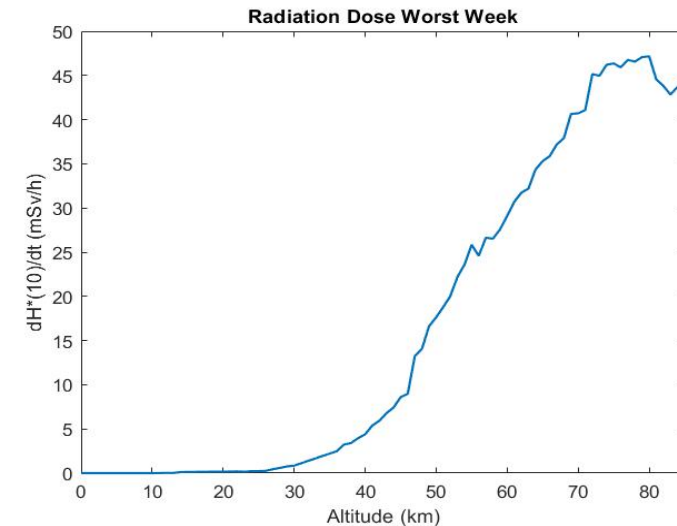
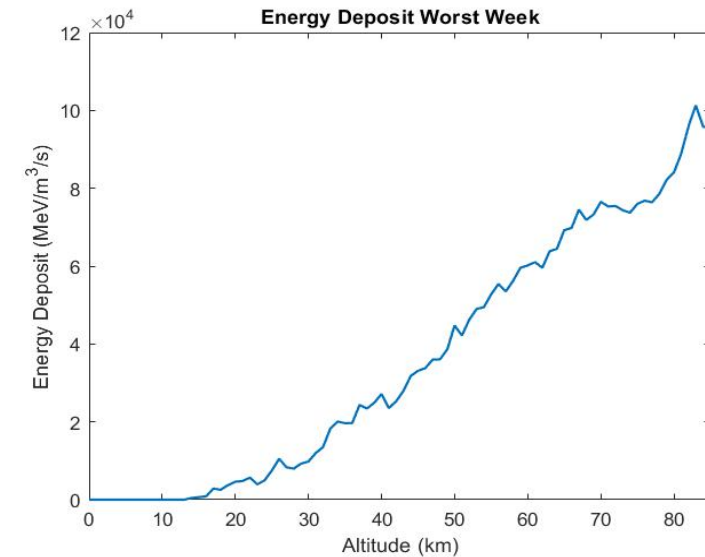
Δοσιμετρικοί υπολογισμοί - Χειρότερη περίπτωση

“Worst Week” (19-25/10/1989)



(Sharma, 2015)

- ❑ Ρυθμός δόσης έως και τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος.
- ❑ Σε μεγάλα ατμοσφαιρικά υψόμετρα. Δε φαίνεται να επηρεάζονται τα συνήθη ατμοσφαιρικά υψόμετρα πτήσης.



Εκτίμηση δόσεων σε αεροπορικές πτήσεις (I)

Η έκθεση σε μια πτήση εξαρτάται από:

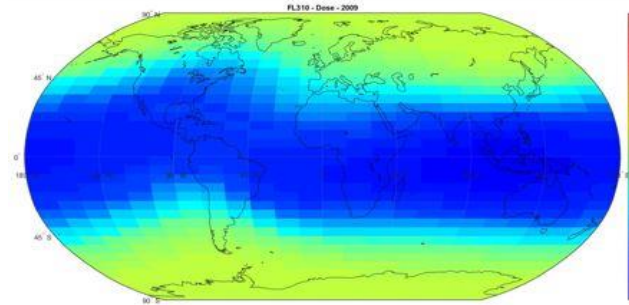
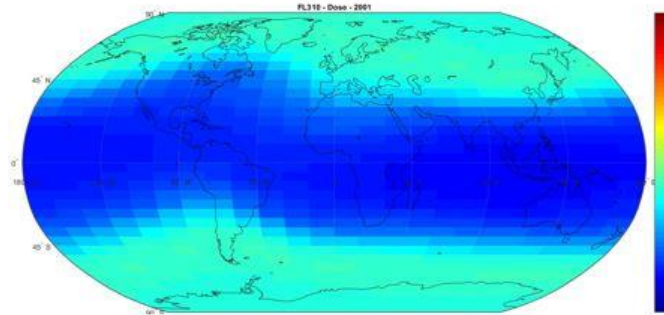
- Το υψόμετρο πτήσης,
- Τη διάρκεια πτήσης,
- Το γεωγραφικό πλάτος (R_c), και
- Τη φάση της ηλιακής δραστηριότητας.



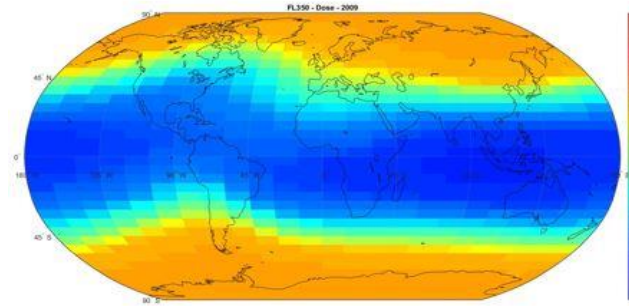
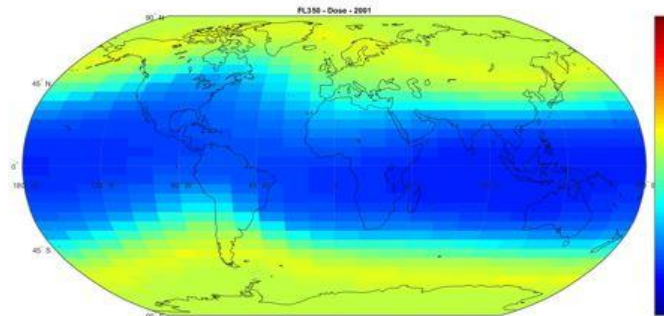
Εκτίμηση δόσεων σε αεροπορικές πτήσεις (II)

Ηλιακό Μέγιστο (2001)

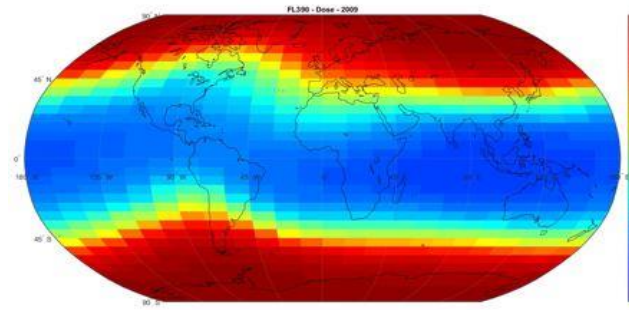
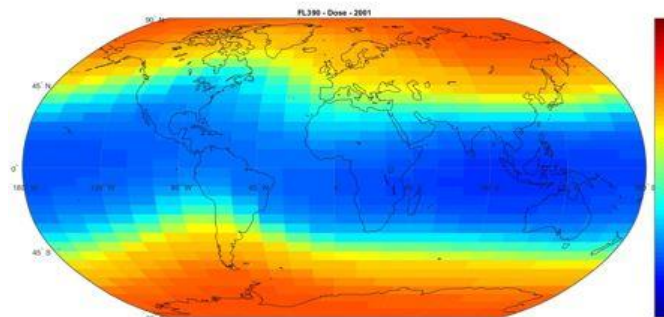
Ηλιακό Ελάχιστο (2009)



FL310



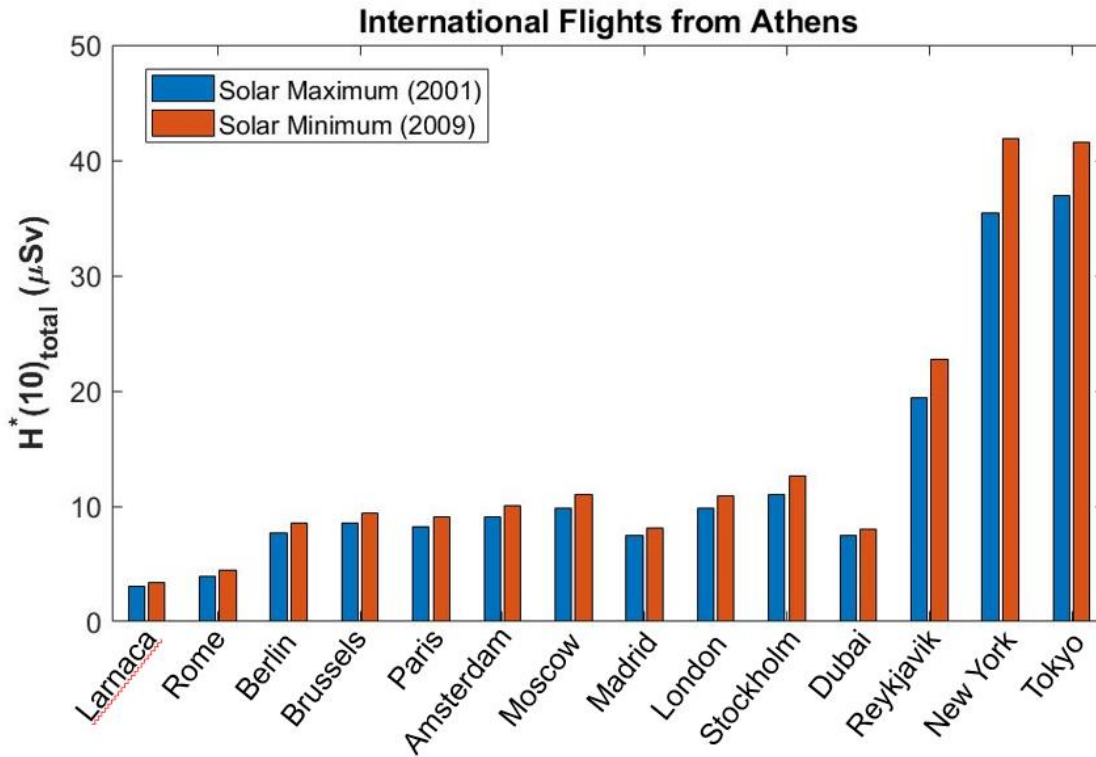
FL350



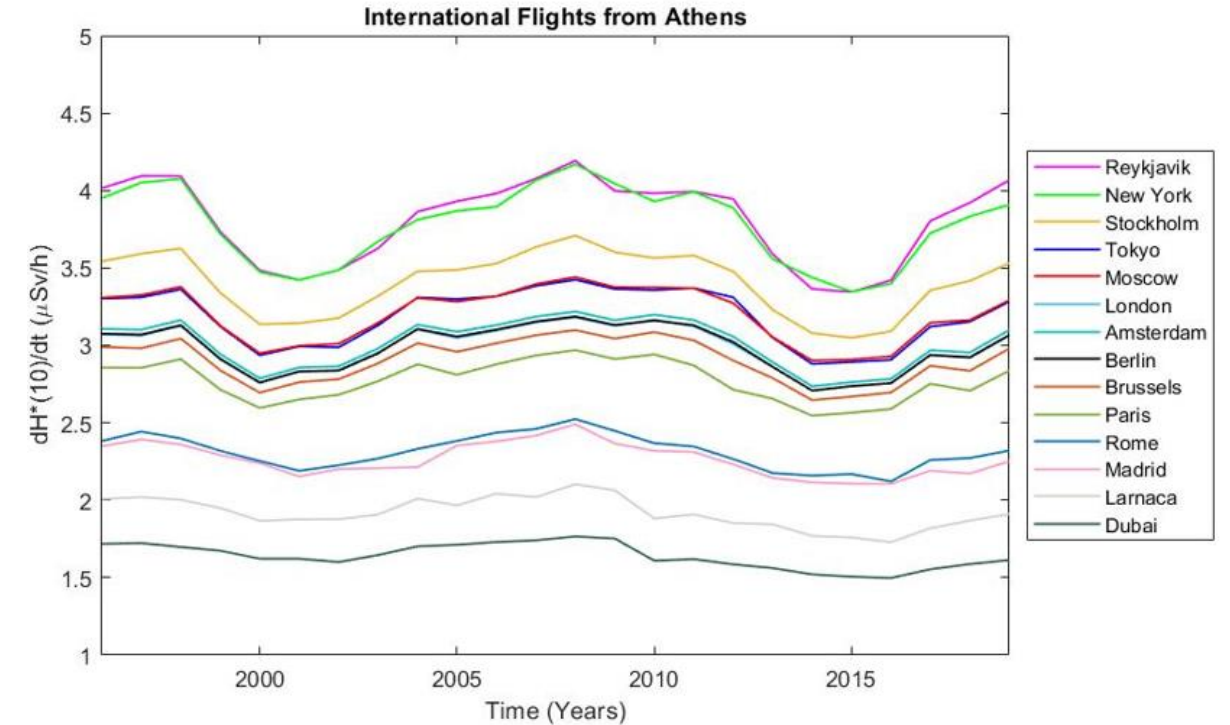
FL390

Εκτίμηση δόσεων σε αεροπορικές πτήσεις (III)

Με βάση τη διάρκεια πτήσης



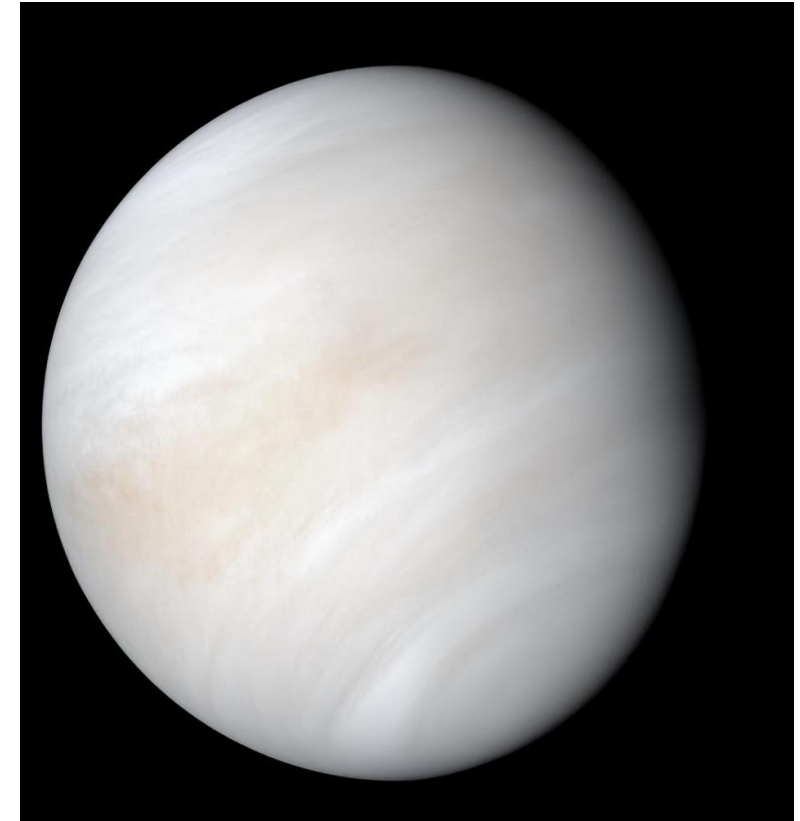
Με βάση τη τροχιά πτήσης



Υπολογισμοί δόσεων σε άλλους πλανήτες (I)

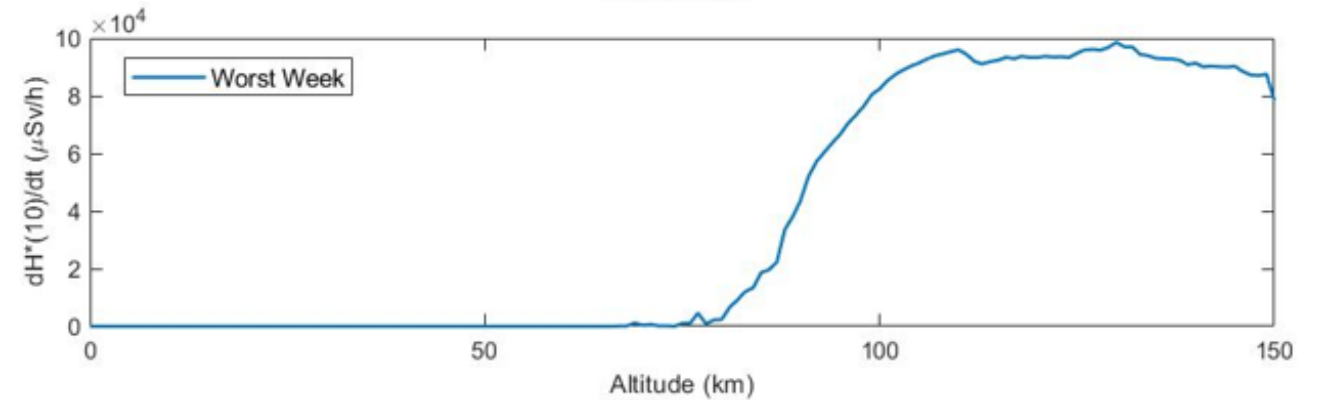
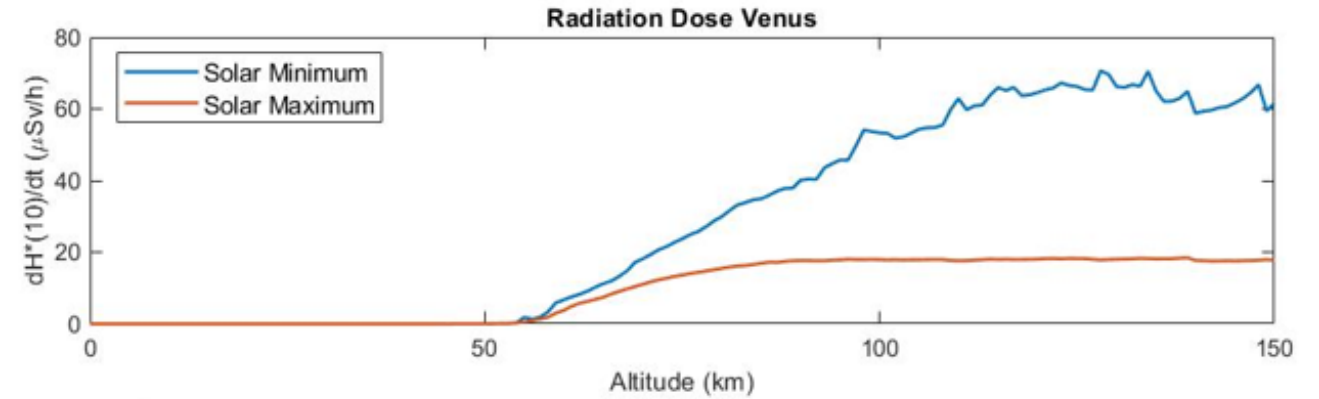
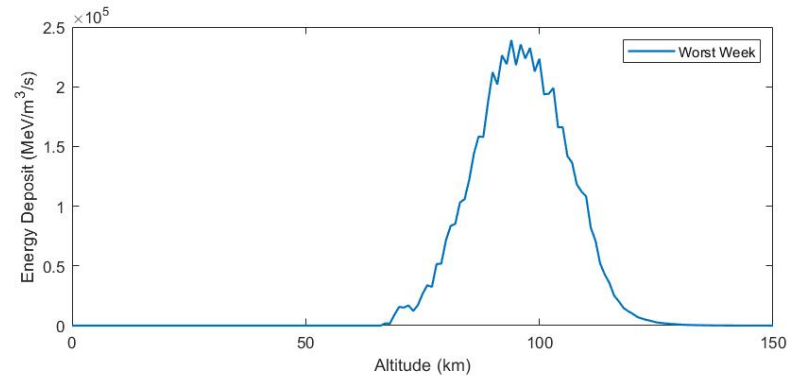
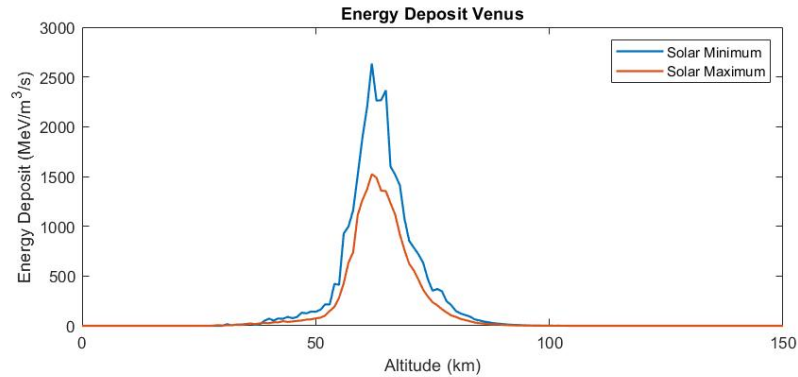
Η περίπτωση της Αφροδίτης

- ❑ Η Αφροδίτη είναι ο δεύτερος σε σειρά πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος και απέχει από τον Ήλιο 0.72 AU.
- ❑ Η χαμηλότερη ατμόσφαιρα της Αφροδίτης είναι περίπου 90 φορές πυκνότερη στην επιφάνεια σε σχέση με τη Γη.
- ❑ Η Αφροδίτη, σε αντίθεση με τη Γη, δεν έχει σημαντικό εγγενές μαγνητικό πεδίο.
- ❑ Πιθανή κατοικήσιμη ζώνη στα 43 - 62 km.



Υπολογισμοί δόσεων σε άλλους πλανήτες (I)

Η περίπτωση της Αφροδίτης

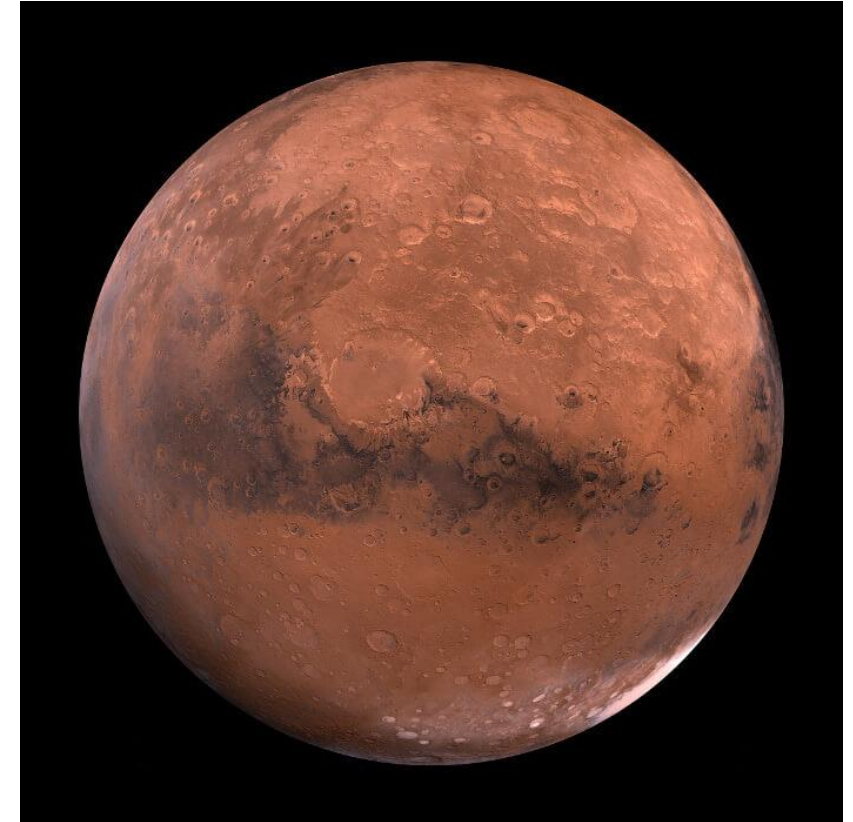


Πιθανή “κατοικήσιμη ζώνη” (43 - 62 km)

Υπολογισμοί δόσεων σε άλλους πλανήτες (II)

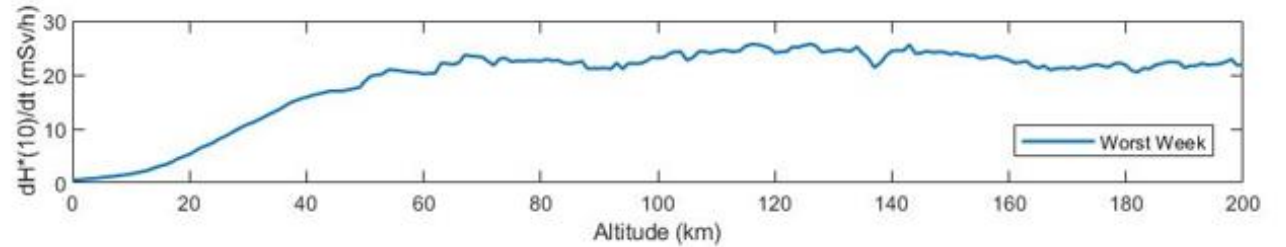
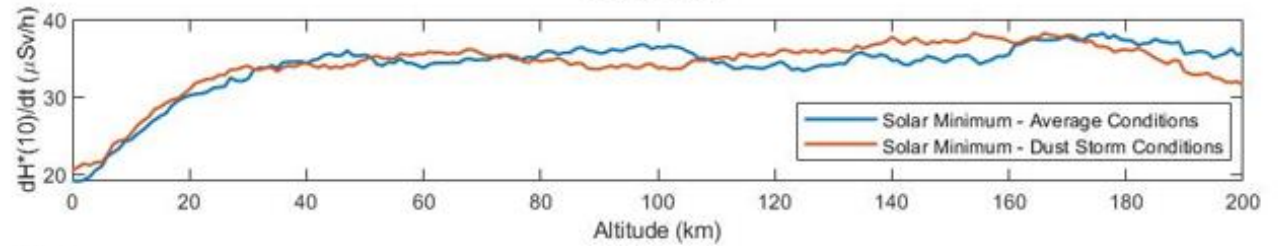
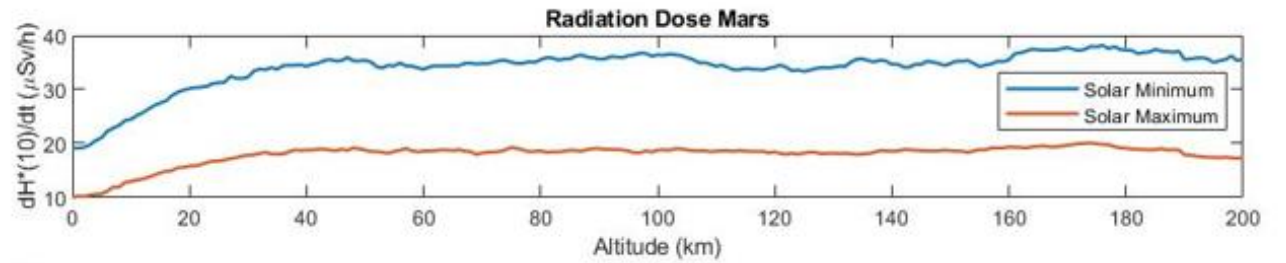
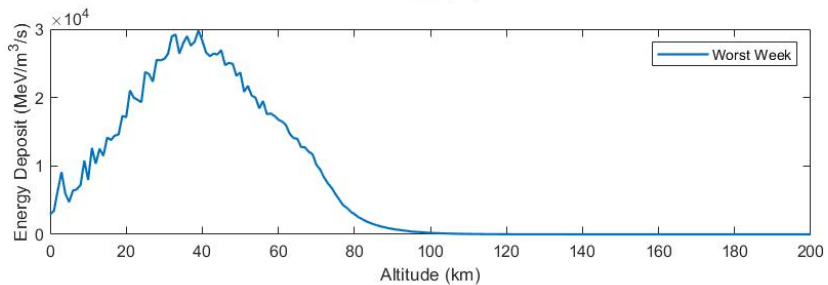
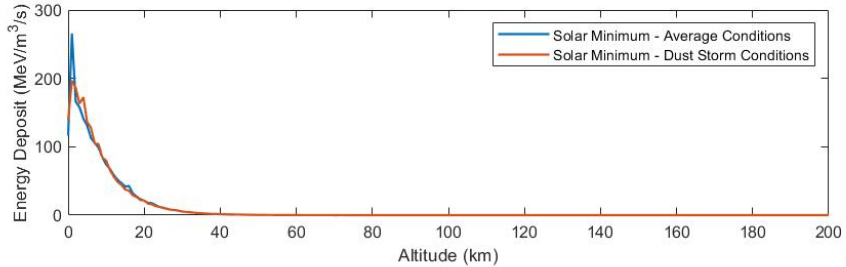
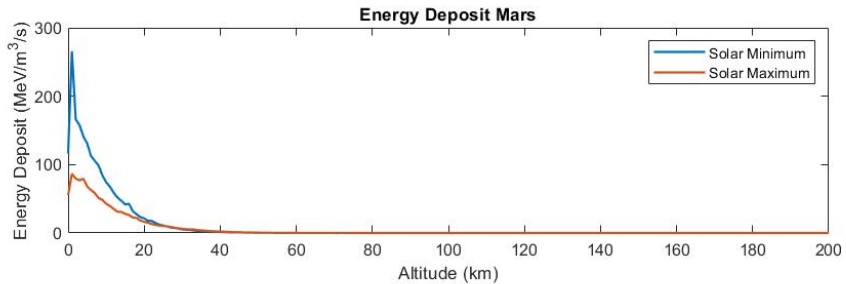
Η περίπτωση του Άρη

- ❑ Ο Άρης είναι ο τρίτος σε σειρά πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος και απέχει από τον Ήλιο 1.5 AU.
- ❑ Η ατμόσφαιρα του Άρη είναι ιδιαίτερα αραιή και διακατέχεται από έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες σκόνης.
- ❑ Ο Άρης σε αντίθεση με τη Γη, δεν έχει σημαντικό εγγενές μαγνητικό πεδίο.



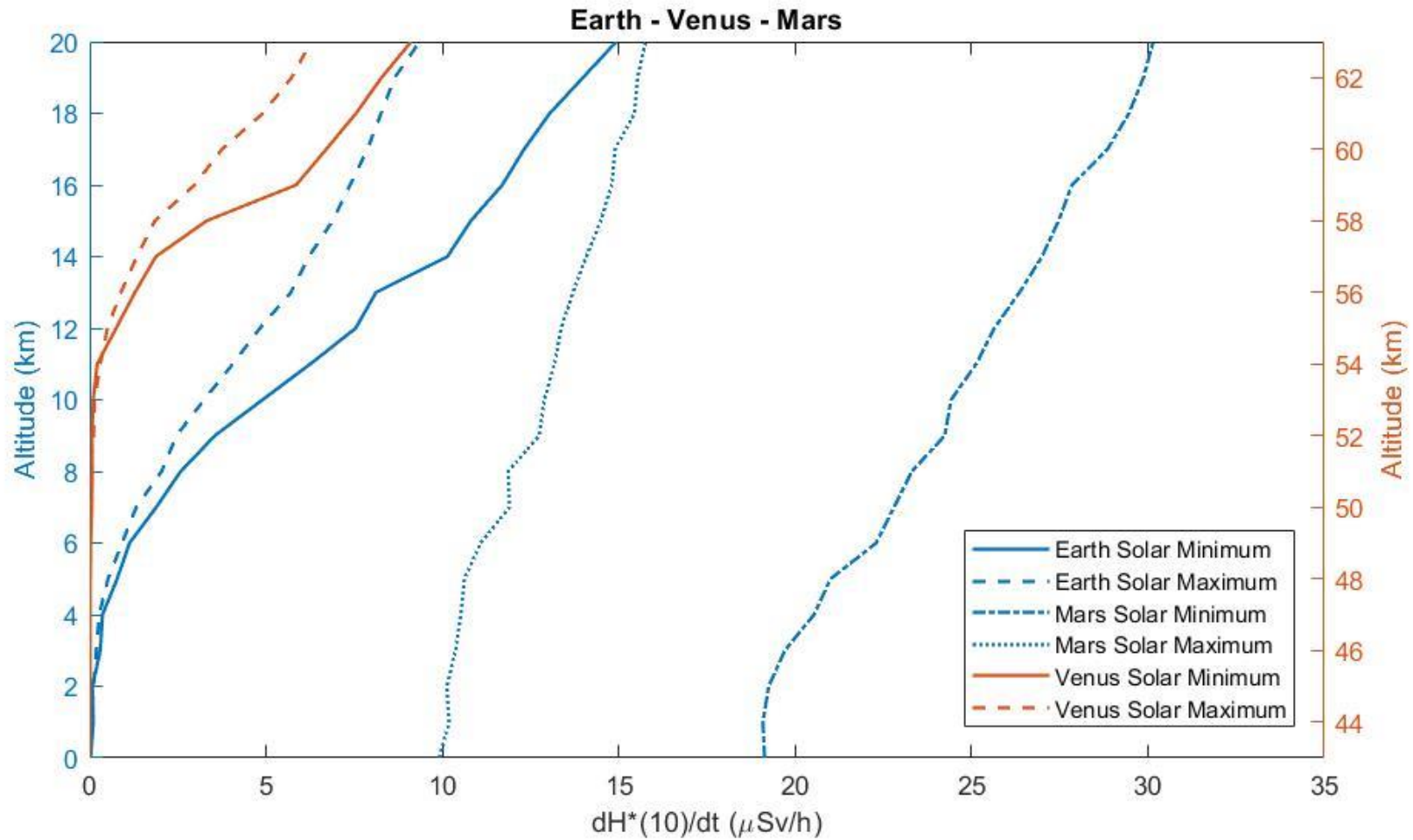
Υπολογισμοί δόσεων σε άλλους πλανήτες (II)

Η περίπτωση του Άρη



Υπολογισμοί δόσεων σε άλλους πλανήτες (III)

Σύγκριση με τη Γη



Κυριότερα Συμπεράσματα

- ❑ Η κοσμική ακτινοβολία είναι ιονίζουσα ακτινοβολία.
- ❑ Τα πληρώματα αεροσκαφών και οι αστροναύτες εκτίθενται επαγγελματικά σε κοσμική ακτινοβολία.
- ❑ Ο ρυθμός δόσης ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με την ηλιακή δραστηριότητα. Αυτό παρατηρείται τόσο στη Γη όσο και στην Αφροδίτη και στον Άρη.
- ❑ Οι πολικές περιοχές ($R_c=0$ GV) χαρακτηρίζονται από υψηλότερο ρυθμό δόσης και ενεργειακής εναπόθεσης, ενώ οι μεσαίου πλάτους και οι ισημερινές περιοχές ($R_c=17$ GV) από χαμηλότερες τιμές.
- ❑ Τα νετρόνια έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο ρυθμό δόσης (40-60%), ενώ γενικά το 60-80% της δόσης στα συνήθη ατμοσφαιρικά υψόμετρα πτήσης απαρτίζεται από σωματίδια υψηλής LET.
- ❑ Για την εκτίμηση της δόσης σε μία πτήση, καθοριστικό ρόλο παίζει η διαδρομή του αεροσκάφους, και όχι μόνο η διάρκεια.
- ❑ Ο ρυθμός δόσης κατά τη διάρκεια ενός έντονου ηλιακού γεγονότος μπορεί να είναι έως και 3 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος σε σχέση με ήρεμες συνθήκες τόσο στη Γη, όσο και στην Αφροδίτη και στον Άρη. Στην περίπτωση της Γης, δεν φαίνεται να επηρεάζονται τα συνήθη ατμοσφαιρικά υψόμετρα.
- ❑ Ο ρυθμός δόσης ακτινοβολίας στην πιθανή “κατοικήσιμη ζώνη” της Αφροδίτης είναι άμεσα συγκρίσιμος με αυτόν στην κατώτερη ατμόσφαιρα της Γης. Δεν ισχύει το ίδιο για τον Άρη, όπου παρατηρούνται πολύ υψηλότερες δόσεις.

Ευχαριστώ πολύ!

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ.

Πολλές ευχαριστίες στην ESA και το BIRA-IASB για την άριστη συνεργασία και υποστήριξη στο να γίνει το DYASTIMA ένα federated product στο πλαίσιο του ESA SSA P3-SWE-III R-ESC.



anatez@med.uoa.gr

atezari@eef.edu.gr