

Διαστημικός Καιρός
Γροσδούλη Παναγιώτα 58523

ΕΡΓΑΣΙΑ 1

ΑΣΚΗΣΗ 1 Ανίχνευση σωματιδίων

α) Για το όργανο της παρακάτω εικόνας υπολογίστε τη μέση ενέργεια κάθε καναλιού (ανιχνευτή στερεάς κατάστασης).

Η απόσταση του μέσου κάθε ανιχνευτή από την είσοδο του οργάνου δίνεται (σε mm) από τον παρακάτω πίνακα:

Κανάλι	1	2	3	4	5	6	7	8
Απόσταση	8.1	10.2	12.2	14.1	16.1	17.9	19.7	21.5

Για φορτισμένα σωματίδια που κινούνται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς δίνεται από

$$R = \frac{mu}{qB} \text{ και η κινητική ενέργεια } E = \frac{1}{2} mu$$

$$\text{από τις δύο εξισώσεις εξαλείφοντας την ταχύτητα } E = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

Φυσικές σταθερές

$$q = 1.602e-19 \quad \# C$$

$$m_e = 9.109e-31 \quad \# kg$$

$$B = 0.16 \quad \# T (1600 G)$$

υπολογίστηκε η ενέργεια για τις οκτώ αποστάσεις των καναλιών και μετατράπηκε σε keV:

$$E_{kev} = \frac{E_j}{q * 10^3}$$

Ο πίνακας με τη μέση ενέργεια κάθε καναλιού είναι:

Κανάλι Απόσταση R $E(kev)$
(mm)

1 8.1 147.7

2	10.2	234.2
3	12.2	335.1
4	14.1	447.5
5	16.1	583.5
6	17.9	721.3
7	19.7	873.6
8	21.5	1040.6

η μέση ενέργεια αυξάνεται περίπου ως R^2

(β) Ενεργειακό εύρος κάθε καναλιού

Για τον υπολογισμό του ενεργειακού εύρους ΔE κάθε καναλιού, ορίστηκαν πρώτα τα όρια σε απόσταση R:

Κανάλι	$\Delta E(\text{keV, από τύπο})$
1	76.6
2	93.9
3	106.9
4	124.0
5	137.3
6	145.1
7	159.7
8	174.2

Οι θεωρητικά υπολογισμένες τιμές είναι πολύ κοντά στις δοθείσες τιμές του πίνακα της εκφώνησης

(γ) Διαφορική ροή σωματιδίων

```

CR = np.array([5607, 2461, 1932, 1347, 906, 721, 523, 398], dtype=float)
dE_tab = np.array([72, 90, 106, 120, 132, 144, 150, 162], dtype=float) # από εκφώνηση/μέρος (β)
G = np.array([0.281, 0.328, 0.342, 0.343, 0.332, 0.316, 0.303, 0.287], dtype=float)

phi = CR / (G * dE_tab) # διαφορική ροή

for i, ph in enumerate(phi, start=1):
    print(f"Κανάλι {i}: Φ ≈ {ph:.3f} s⁻¹ cm⁻² sr⁻¹ keV⁻¹")

```

Κανάλι	CR	(ΔΕ) (keV)	(G) (cm(^2) sr keV)	Φ
1	5607	72	0.281	277.1
2	2461	90	0.328	83.4
3	1932	106	0.342	53.3
4	1347	120	0.343	32.7
5	906	132	0.332	20.7
6	721	144	0.316	15.8
7	523	150	0.303	11.5
8	398	162	0.287	8.6

Η ροή μειώνεται μονοτονικά με την ενέργεια

Κανάλι 1: $\Phi \approx 277.135 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 2: $\Phi \approx 83.367 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 3: $\Phi \approx 53.294 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 4: $\Phi \approx 32.726 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 5: $\Phi \approx 20.674 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 6: $\Phi \approx 15.845 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 7: $\Phi \approx 11.507 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Κανάλι 8: $\Phi \approx 8.560 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ keV}^{-1}$

Άσκηση 2 – Αναγνώριση γεωμαγνητικών διαταραχών

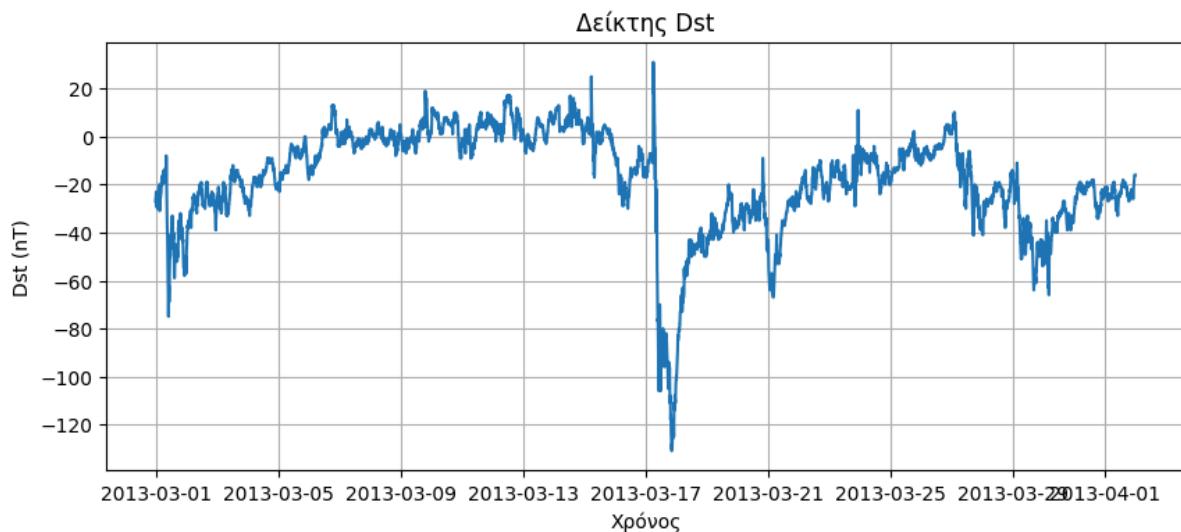
(α) Χρονικά προφίλ Dst και AL

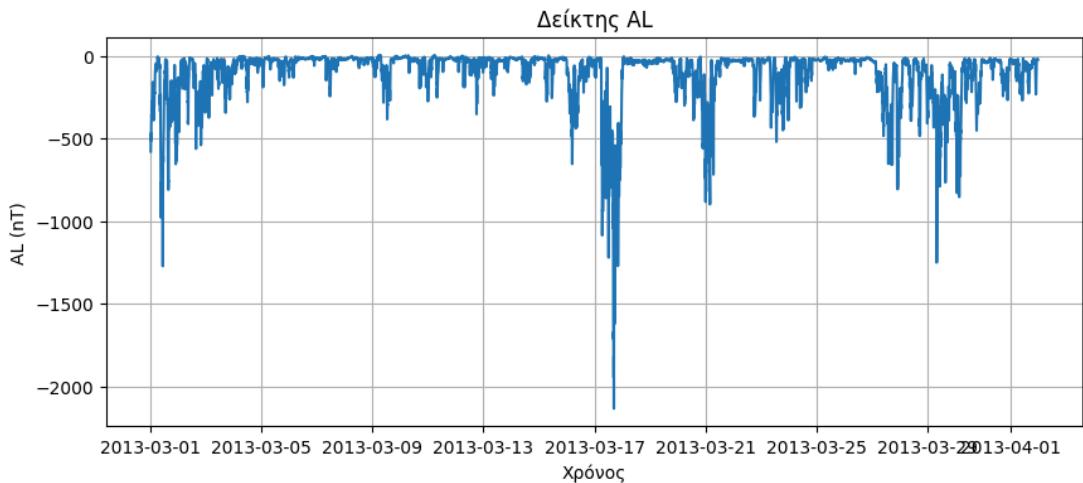
Με βάση το αρχείο Indices.mat φορτώθηκαν οι πενταλεπτες τιμές:
του δείκτη Dst (nT), που ποσοτικοποιεί την ένταση του δακτυλιοειδούς
ρεύματος στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα,
του δείκτη AL (nT), που συνδέεται με τα ρεύματα στην περιοχή του αυγοειδούς
ρεύματος

Από το διάγραμμα του Dst φαίνεται ότι:

σε ήρεμες συνθήκες ο δείκτης κυμαίνεται κοντά στο 0 nT,
κατά τη διάρκεια καταιγίδων εμφανίζονται έντονες αρνητικές αποκλίσεις (π.χ.
κάτω από -50 nT).

Ο δείκτης AL είναι γενικά αρνητικός και παρουσιάζει απότομες αρνητικές
“βυθίσεις” κατά τη διάρκεια υποκαταιγίδων (substorms), οι οποίες
αντανακλούν ενίσχυση των ρευμάτων στην ουρά της μαγνητόσφαιρας.





(β) Εντοπισμός γεωμαγνητικών καταιγίδων & ισχυρότερων επεισοδίων

Για τον εντοπισμό καταιγίδων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Υπολογισμός τοπικών ελαχίστων του Dst με argrelextrema(DST, np.less, order=6).

Επιλογή όσων τοπικών ελαχίστων ικανοποιούν: $Dst < -50 \text{ nT}$, που αποτελεί τυπικό όριο για γεωμαγνητική καταιγίδα.

Ομαδοποίηση των υποψήφιων ελαχίστων σε επεισόδια: δύο ελάχιστα θεωρούνται ότι ανήκουν στην ίδια καταιγίδα αν απέχουν λιγότερο από 6 ώρες. Για κάθε επεισόδιο, επιλέγεται το βαθύτερο ελάχιστο ως χαρακτηριστικό της καταιγίδας.

Με αυτήν τη μέθοδο βρέθηκαν 4 επεισόδια καταιγίδων συνολικά, και οι δύο ισχυρότερες είναι:

Καταιγίδα 1:

$Dst_{min} \approx -106 \text{ nT}$ σε χρόνο περίπου 2013-03-17 10:25 UT. Πρόκειται για ισχυρή γεωμαγνητική καταιγίδα, αφού $Dst < -100 \text{ nT}$.

Καταιγίδα 2:

$Dst_{min} \approx -75 \text{ nT}$ σε χρόνο περίπου 2013-03-01 10:10 UT. Αυτή κατατάσσεται ως μέτρια καταιγίδα, στο πεδίο $-100 < Dst \leq -50 \text{ nT}$.

Στο διάγραμμα φαίνονται πολλαπλές απότομες αρνητικές αιχμές κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, που αντιστοιχούν σε υποκαταιγίδες συνδεδεμένες με διαδικασίες επανασύνδεσης στην ουρά της μαγνητόσφαιρας.

Από τον google colab

Υποψήφιες καταιγίδες ($Dst < -50 \text{ nT}$): 16

Συνολικά επεισόδια καταιγίδων (ομαδοποιημένα): 4

Δύο ισχυρότερες καταιγίδες:

Καταιγίδα 1: Dst_min = -106 nT, T = 735310.4340277778, datetime = 2013-03-17 10:24:59.999998

Καταιγίδα 2: Dst_min = -75 nT, T = 735294.4236111111, datetime = 2013-03-01 10:10:00.000001

(γ) Κατασκευάστε μια νέα γραφική παράσταση των δεικτών, γύρω από κάθε ισχυρή γεωμαγνητική καταιγίδα που εντοπίσατε (σύνολο 2)

Για κάθε ισχυρή καταιγίδα κατασκευάστηκε τοπικό διάγραμμα με “παράθυρο” $\pm N$ χρονικών βημάτων γύρω από το ελάχιστο, τόσο για τον Dst όσο και για τον AL.

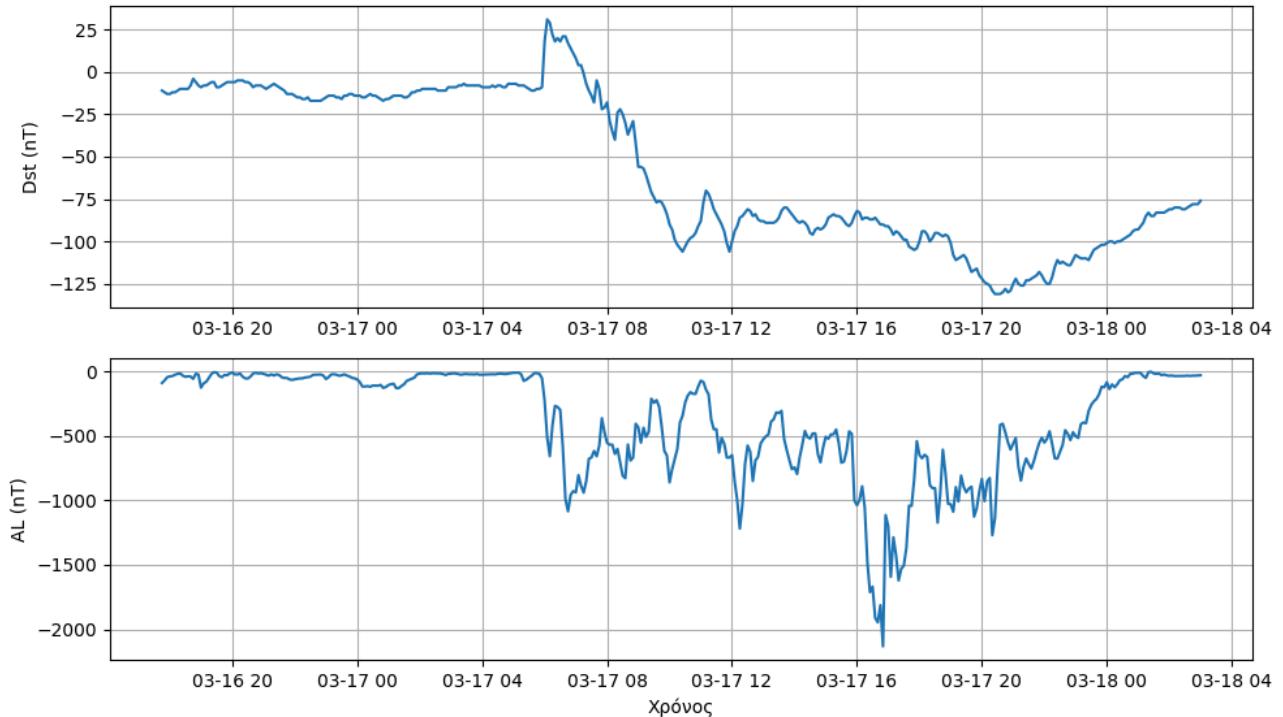
Από τα διαγράμματα:

στον Dst φαίνεται καθαρά η απότομη πτώση (main phase) και η αργή ανάκαμψη (recovery phase),

στον AL εμφανίζονται πολλαπλές και έντονες αρνητικές αιχμές κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης, που υποδηλώνουν ισχυρή υποκαταιγιδική δραστηριότητα.

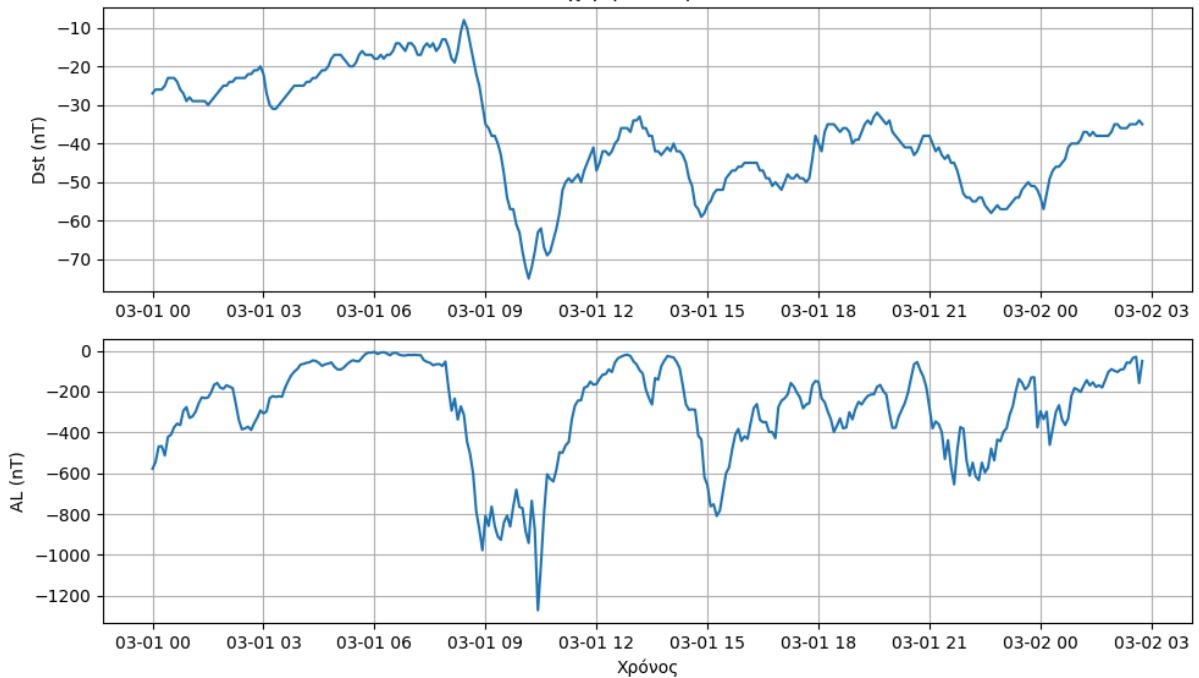
Τα διαγράμματα αυτά τεκμηριώνουν τη “δομή” της καταιγίδας σε επίπεδο

Ισχυρή καταιγίδα 1



δακτυλιοειδούς ρεύματος (Dst) και ρεύματος (AL).

Ισχυρή καταιγίδα 2



(δ) Με βάση τη μορφή της νέας γραφικής παράστασης του δείκτη Dst, αναγνωρίστε τις τρεις φάσεις της κάθε καταιγίδας και εκτιμήστε την αρχή και το τέλος τους.

Αρχικά η εκτίμηση των φάσεων της καταιγίδας έγινε με έναν απλούστερο αλγόριθμο, ο οποίος θεωρούσε ως έναρξη της main phase την πρώτη στιγμή που ο δείκτης Dst έπεφτε κάτω από το κατώφλι των -20 nT μέσα σε ολόκληρο το χρονικό εύρος των δεδομένων. Η προσέγγιση αυτή οδηγούσε σε μη ρεαλιστικά μεγάλες διάρκειες της main phase (της τάξης αρκετών ημερών). Για τον λόγο αυτόν ο αλγόριθμος αναθεωρήθηκε: η αναζήτηση της έναρξης και της λήξης των φάσεων περιορίστηκε σε ένα φυσικά εύλογο χρονικό παράθυρο γύρω από το ελάχιστο του Dst (± 24 ώρες), ενώ η έναρξη της main phase προσδιορίστηκε από το μέγιστο αρνητικό ρυθμό μεταβολής του δείκτη. Στην αναφορά παρατίθενται τόσο η αρχική όσο και η βελτιωμένη υλοποίηση, ώστε να είναι εμφανής η διαφορά στη μεθοδολογία.

Για την εκτίμηση των φάσεων της καταιγίδας χρησιμοποιήθηκε ένα χρονικό παράθυρο ± 24 ωρών γύρω από το ελάχιστο του δείκτη Dst. Η έναρξη της main phase ορίστηκε ως το σημείο με τη μεγαλύτερη αρνητική κλίση του Dst πριν από το ελάχιστο, ενώ το τέλος της recovery phase ορίστηκε ως η πρώτη στιγμή μετά το ελάχιστο που ο Dst επανέρχεται πάνω από το επίπεδο ηρεμίας (-20 nT).

Καταιγίδα 1 — 17 Μαρτίου 2013 (Dst_{min} $\backslash \text{min}$ = -106 nT)

Έναρξη main phase: 17 Μαρτίου 2013, 08:55 UT

Ελάχιστο Dst: 17 Μαρτίου 2013, 10:25 UT

Τέλος recovery phase: 20 Μαρτίου 2013, 10:25 UT

Διάρκειες:

Main phase: 1.5 ώρες

Recovery phase: 72.0 ώρες (~3.00 ημέρες)

Συνολική διάρκεια: 73.5 ώρες (~3.06 ημέρες)

Η καταιγίδα παρουσιάζει πολύ απότομη ενίσχυση του δακτυλιοειδούς ρεύματος (main phase ~1.5 h), ακολουθούμενη από παρατεταμένη φάση αποκατάστασης, χαρακτηριστική έντονης γεωμαγνητικής καταιγίδας.

Καταιγίδα 2 — 1 Μαρτίου 2013 (Dst_{min} $\backslash \text{min}$ = -75 nT)

Έναρξη main phase: 1 Μαρτίου 2013, 09:30 UT

Ελάχιστο Dst: 1 Μαρτίου 2013, 10:10 UT

Τέλος recovery phase: 2 Μαρτίου 2013, 11:50 UT

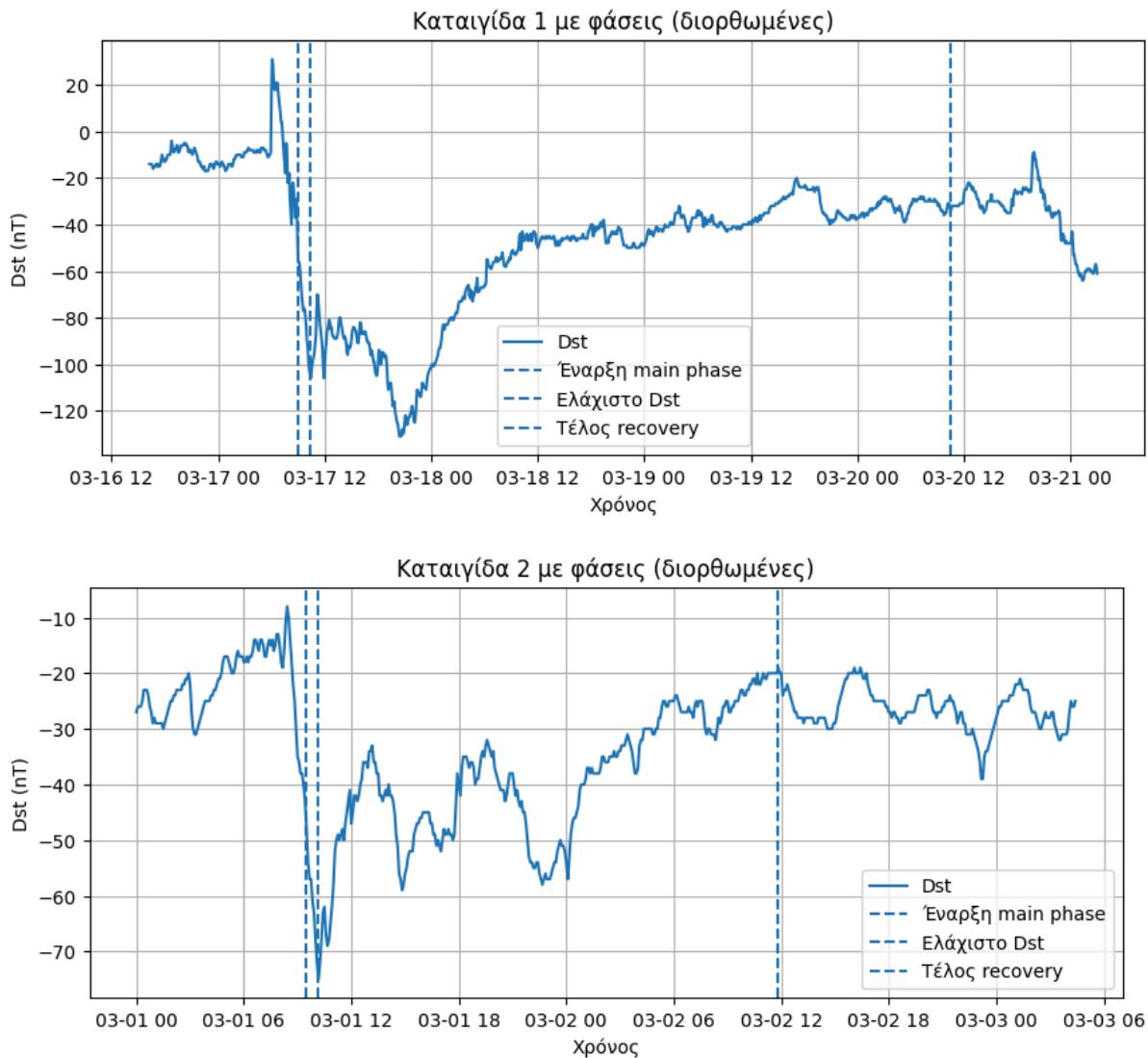
Διάρκειες:

Main phase: 0.7 ώρες

Recovery phase: 25.7 ώρες (~1.07 ημέρες)

Συνολική διάρκεια: 26.3 ώρες (~1.10 ημέρες)

Πρόκειται για καταιγίδα μέτριας έντασης, όπου η main phase είναι πολύ ταχεία, ενώ η recovery phase εμφανίζει διάρκεια χαρακτηριστική υποχώρησης ενός μεσαίου δακτυλιοειδούς ρεύματος.



(ε) Ελέγξτε τις συνθήκες που επικρατούσαν στον ηλιακό άνεμο (δηλαδή τις τιμές των κυριότερων παραμέτρων του) κατά τη διάρκεια της καταιγίδας.

Επισκεφθείτε την ιστοσελίδα του διαδικτυακού εργαλείου OMNIWeb , το οποίο δίνει την επιλογή να δημιουργήσετε γραφικές παραστάσεις.

Να συμπεριλάβετε διαγράμματα

- της ταχύτητας και πίεσης του ηλιακού ανέμου (flow speed and pressure),
- της κατακόρυφης συνιστώσας του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου (B_z GSM) για την ίδια χρονική περίοδο του προηγούμενου υπο ερωτήματος,
- και οποιασδήποτε άλλης μετρικής σας κινήσει το ενδιαφέρον.

Από το εργαλείο OMNIWeb λήφθηκαν δεδομένα ηλιακού ανέμου για το διάστημα: Από τις 15 Μαρτίου 2013 μέχρι τις 20 Μαρτίου 2013, αυτό πραγματοποιείται γιατί ώστε να καλύπτεται πλήρως η κύρια και η φάση αποκατάστασης της ισχυρής καταιγίδας της 17ης Μαρτίου.

Το αρχείο OMNI περιείχε (ανά λεπτό):

Έτος, ημέρα του έτους (DOY), ώρα, λεπτό,
μέτρο του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου $|B|$ (nT),
κατακόρυφη συνιστώσα B_z στο σύστημα GSM (nT),
ταχύτητα ηλιακού ανέμου V (km/s),
δυναμική πίεση P_{dyn} (nPa),
σε κάποιες περιπτώσεις και πυκνότητα, θερμοκρασία κ.λπ.

Για το υποσύνολο 15–20 Μαρτίου δημιουργήθηκαν διαγράμματα:

- Ταχύτητα ηλιακού ανέμου (V)

Παρατηρείται αυξημένη ταχύτητα (της τάξης > 360 km/s), συμβατή με άφιξη ρεύματος υψηλής ταχύτητας (high-speed stream) ή μετωπικού κύματος που προέρχεται από CME. Η αύξηση της ταχύτητας αυξάνει τη ροή ενέργειας προς τη μαγνητόσφαιρα.

- Δυναμική πίεση P_{dyn}

Οι τιμές της δυναμικής πίεσης είναι ενισχυμένες (περίπου 1.2–1.5 nPa ή και υψηλότερα σε στιγμές), υποδηλώνοντας συμπίεση της γήινης μαγνητόσφαιρας. Η συμπίεση οδηγεί σε απότομη πτώση του Dst (sudden commencement / αρχική φάση).

- Κατακόρυφη συνιστώσα B_z (GSM)

Ο B_z εμφανίζει παρατεταμένες αρνητικές τιμές, που είναι κρίσιμες για τη μαγνητόσφαιρα: νότια προσανατολισμένος B_z ευνοεί ισχυρή μαγνητική επανασύνδεση στην ημέρα-πλευρά της μαγνητόσφαιρας και αυξάνει την ενέργεια που εισάγεται στο σύστημα. Αυτό αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη ισχυρών γεωμαγνητικών καταιγίδων.