

*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      # C
m_e = 9.109e-31    # kg
B = 0.16           # T (1600 G)
```

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

$$E_{kev} = \frac{E_1}{q * 10^3}$$

Ο πίνακας με τη μέση ενέργεια κάθε καναλιού είναι:

Κανάλι	Απόσταση R (mm)	$E(keV)$
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 ΔΕ 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 διθείσες 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:8.3f} s⁻¹ cm⁻² sr⁻¹ keV⁻¹")
```

Κανάλι	CR	(ΔE) (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

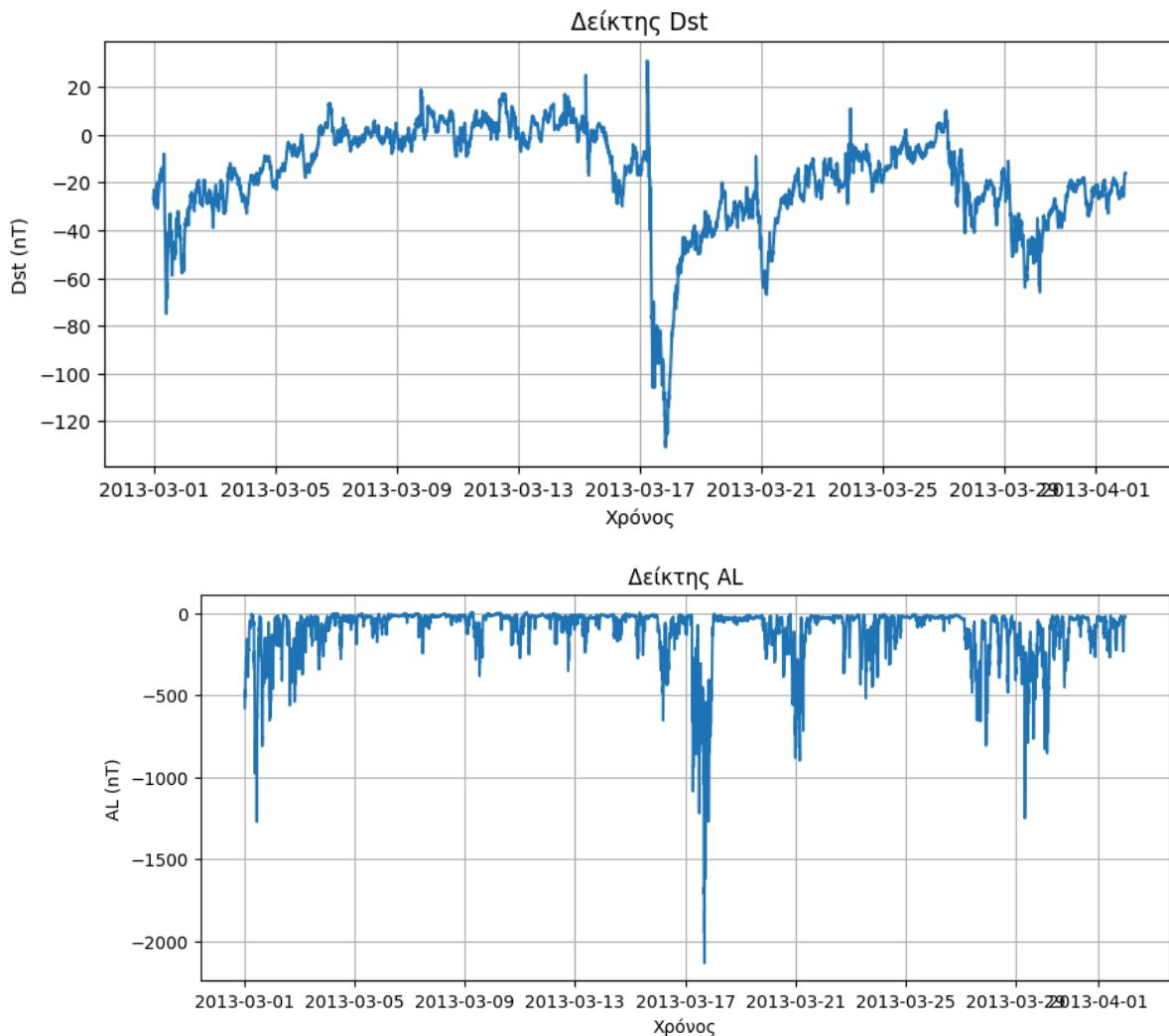
Με βάση το αρχείο Indices.mat φορτώθηκαν οι πενταεπτες τιμές: του δείκτη Dst (nT), που ποσοτικοποιεί την ένταση του δακτυλιοειδούς ρεύματος στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα, του δείκτη AL (nT), που συνδέεται με τα ρεύματα στην περιοχή του αυγοειδούς ρεύματος

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: $Dst_{min} = -106 \text{ nT}, T = 735310.4340277778$, $datetime = 2013-03-17 10:24:59.999998$

Καταιγίδα 2: $Dst_{min} = -75 \text{ nT}, T = 735294.4236111111$, $datetime = 2013-03-01 10:10:00.000001$

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

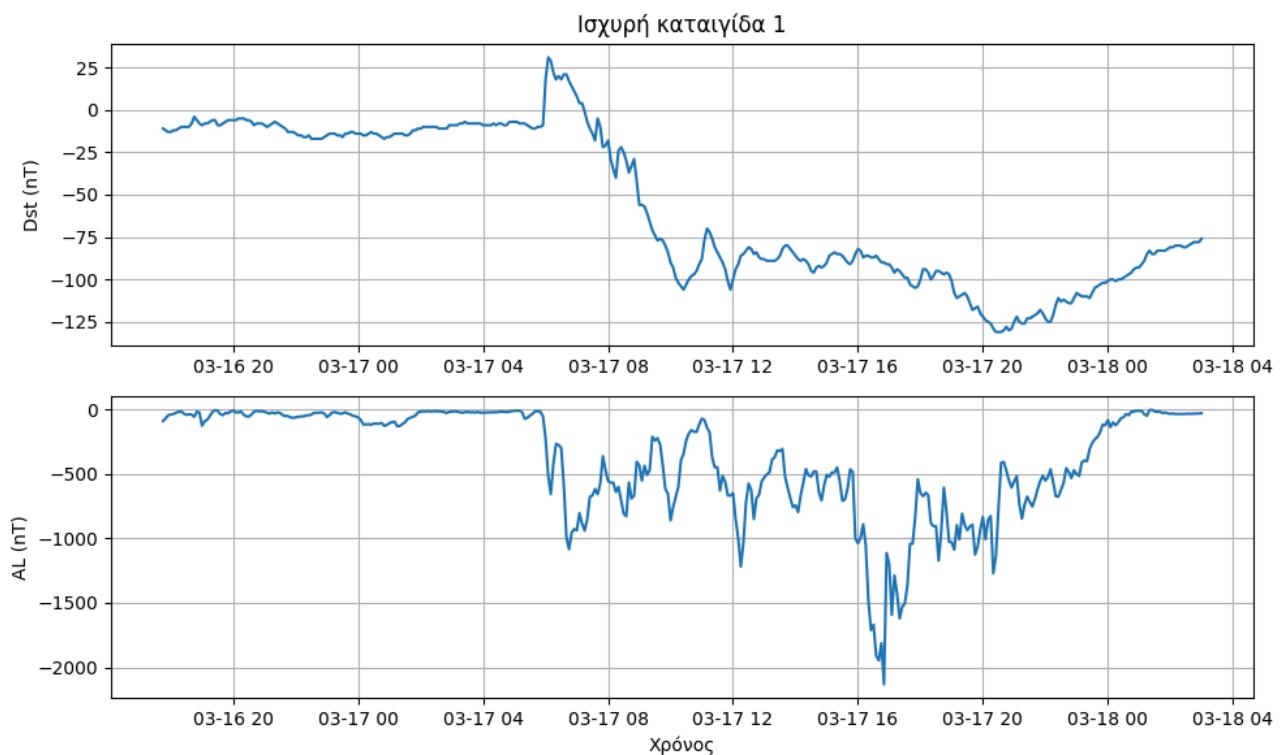
Για κάθε ισχυρή καταιγίδα κατασκευάστηκε τοπικό διάγραμμα με “παράθυρο” $\pm N$ χρονικών βημάτων γύρω από το ελάχιστο, τόσο για τον Dst όσο και για τον AL .

Από τα διαγράμματα:

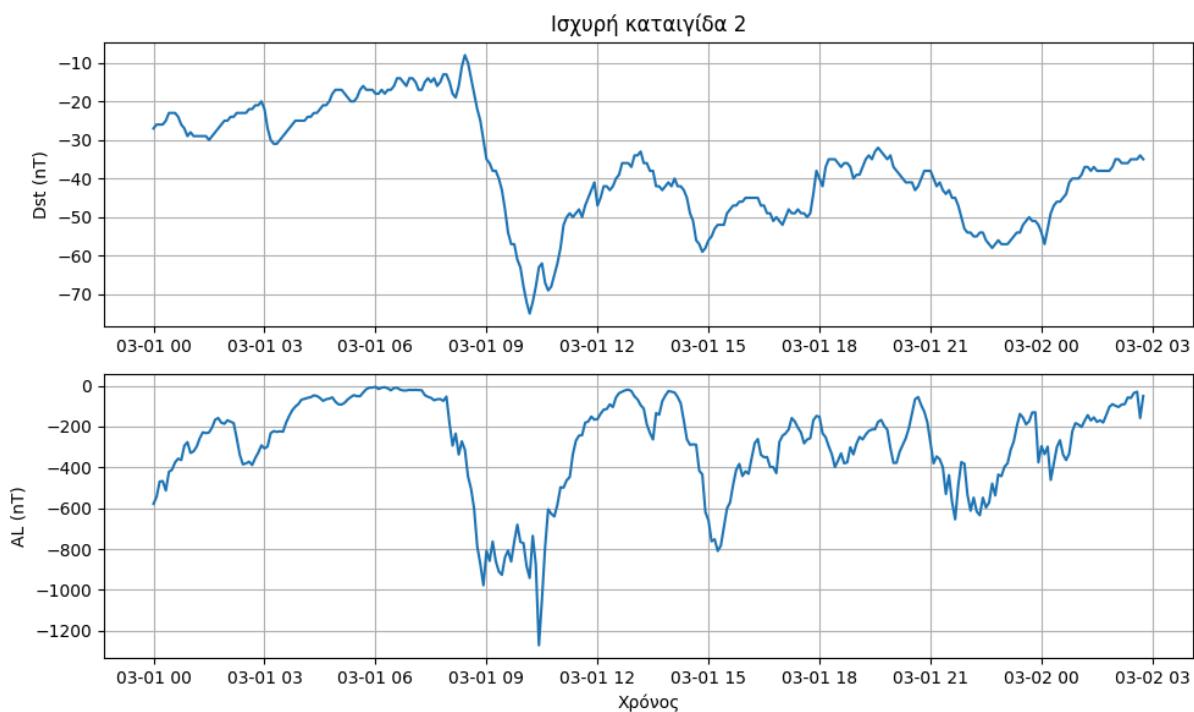
στον Dst φαίνεται καθαρά η απότομη πτώση (main phase) και η αργή ανάκαμψη (recovery phase),

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



δακτυλιοειδούς ρεύματος (Dst) και ρεύματος (AL).



(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.

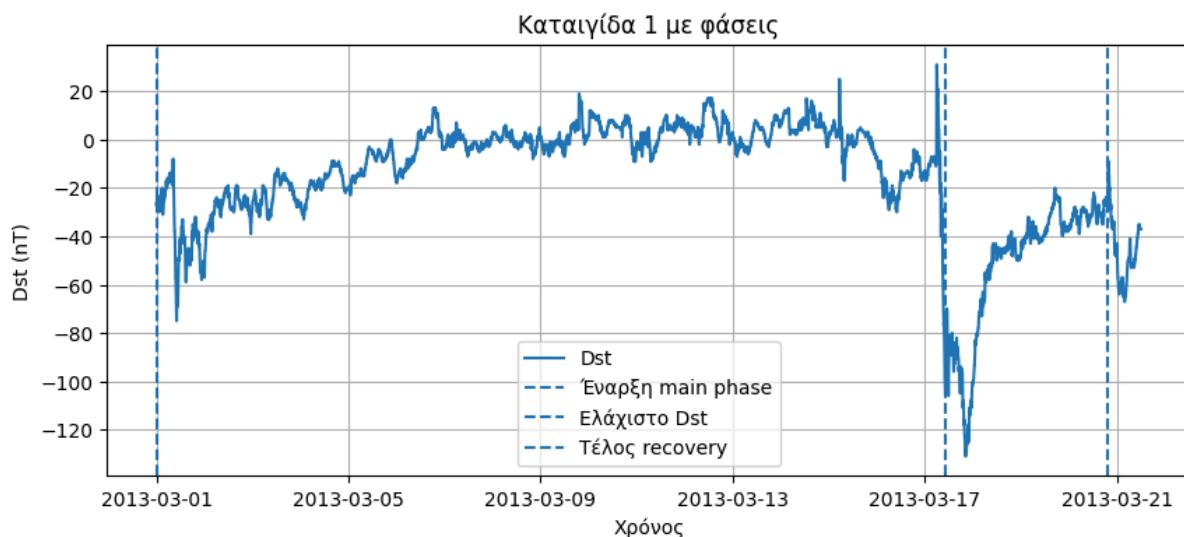
Για την κάθε καταιγίδα έγινε εκτίμηση των φάσεων με βάση τον Dst. Ως κριτήριο χρησιμοποιήθηκε ένα όριο “ηρεμίας” $Dst \approx -20$ nT:

Έναρξη main phase: πρώτη φορά που ο Dst πέφτει κάτω από το όριο αυτό πριν το ελάχιστο, Τέλος recovery phase: πρώτη φορά μετά το ελάχιστο που ο Dst ανεβαίνει ξανά πάνω από το ίδιο όριο.

Για τη μέτρια καταιγίδα ($Dst \approx -75$ nT, 1 Μαρτίου 2013) από τα αποτελέσματα: main phase: περίπου 10 ώρες μέχρι το ελάχιστο, recovery phase: περίπου 26 ώρες μέχρι την επαναφορά σε κοντά-ήρεμες τιμές, συνολική διάρκεια: περίπου 1.5 ημέρα.

Για την ισχυρή καταιγίδα ($Dst \approx -106$ nT, 17 Μαρτίου 2013) η γραφική παράσταση δείχνει: μια ταχεία πτώση του Dst (main phase) με διάρκεια τάξης πολλών ωρών (τυπικά $\sim 5\text{--}10$ ώρες μέχρι το ελάχιστο), μια παρατεταμένη φάση ανάκαμψης (recovery phase) διάρκειας περίπου 3–3.5 ημερών, μέχρι ο Dst να πλησιάσει πάλι τιμές κοντά στο 0 nT.

Η φυσική εικόνα είναι ότι: κατά την main phase ενισχύεται απότομα το δακτυλιοειδές ρεύμα λόγω εισροής ενεργητικών ιόντων στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα, κατά την recovery phase η σταδιακή διάχυση και απώλεια των σωματιδίων οδηγεί σε αργή εξασθένηση του ρεύματος και επιστροφή σε ήρεμες συνθήκες.





(ε) Ελέγχτε 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 της 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 $> 360 \text{ km/s}$), 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.