

**Σημαντική πρόοδος στην κατανόηση της δημιουργίας σχετικιστικών ηλεκτρονίων
στις ζώνες Βαν Άλεν (Van Allen)
Χρήστος Κατσαβριάς, Ιωάννης Α. Δαγκλής και Wen Li**

Τα ηλεκτρόνια της εξώτερης ζώνης Βαν Άλεν είναι ένας εξαιρετικά μεταβλητός σωματιδιακός πληθυσμός στο εγγύς διαστημικό περιβάλλον, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταιγίδων. Τα ηλεκτρόνια αυτά επιταχύνονται περιστασιακά σε υπερ-σχετικιστικές ενέργειες αρκετών εκατομμυρίων ηλεκτρονιοβόλτ (MeV), δηλαδή κινούνται με ταχύτητα παραπλήσια του φωτός.

Η τεράστια ταχύτητά τους, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια αυτά να διεισδύουν σε όργανα και υποσυστήματα δορυφόρων, οδηγώντας σε δυσλειτουργίες και παροδικές ή μόνιμες αστοχίες και μετατρέποντας τα υποατομικά σωματίδια σε «δολοφόνους δορυφόρων»

Μέχρι σήμερα, η δυναμική εξέλιξη των ηλεκτρονίων θεωρούνταν αποτέλεσμα λεπτής και πολύπλοκης ισορροπίας μεταξύ διαφόρων μηχανισμών επιτάχυνσης και απώλειας/καταστροφής τους, που σχετίζονται κυρίως με την αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων και ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διαφόρων συχνοτήτων.

Η αλληλεπίδραση αυτή των ηλεκτρονίων και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, εισάγει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα στο φαινόμενο, λόγω των διαφορετικών αιτιών δημιουργίας των κυμάτων και λόγω των διαφορετικών αποτελεσμάτων της επίδρασης κυμάτων στα ηλεκτρόνια.

Πρόσφατη έρευνα της Ομάδας Διαστημικής Φυσικής του ΕΚΠΑ, δημοσιευμένη στο έγκριτο περιοδικό *Journal of Geophysical Research – Space Physics*, υποδεικνύει ότι το αποτέλεσμα ενός γεωδιαστημικού επεισοδίου δεν εξαρτάται τόσο από την ανταγωνιστική επίδραση των διαφόρων κυμάτων, όσο από την ύπαρξη σημαντικά αυξημένου πληθυσμού ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας στην εσώτερη μαγνητόσφαιρα – με άλλα λόγια από τη διαθεσιμότητα «πρώτης ύλης» για τη δημιουργία σχετικιστικών ηλεκτρονίων.

Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα ανέδειξε έναν βαθμό επαναληψιμότητας, που περιλαμβάνει δύο διακριτές φάσεις. Όλα τα επεισόδια που αναλύθηκαν και μελετήθηκαν – ανεξαρτήτως αποτελέσματος – περιλαμβάνουν αρχικά μια φάση σημαντικών απωλειών σχετικιστικών ηλεκτρονίων, που αρχίζει τη στιγμή της μέγιστης συμπίεσης της μαγνητόσφαιρας από διαπλανητικές διαταραχές και διαρκεί περίπου 12 ώρες. Οι απώλειες είναι αποτέλεσμα συνέργειας μαγνητοσφαιρικής σκίασης (δηλαδή διαφυγής ηλεκτρονίων μέσω της μαγνητόπαυσης προς το διαπλανητικό διάστημα) και διάχυσης, η οποία ευνοείται από τις βαθμίδες πυκνότητας των ηλεκτρονίων και κάποια ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το σημαντικότερο, νέο αποτέλεσμα της μελέτης είναι ότι κατά τη δεύτερη φάση, που ακολουθεί τις απώλειες, ως ρυθμιστικός παράγοντας για την αύξηση σχετικιστικών ηλεκτρονίων αναδεικνύεται η εμφάνιση και διάρκεια υποκαταιγίδων. Η μελέτη συμπεραίνει ότι οι μαγνητοσφαιρικές υποκαταιγίδες πιθανότατα παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση σχετικιστικών ηλεκτρονίων χάρη στην ικανότητά τους να παρέχουν υπο-σχετικιστικά ηλεκτρόνια από τη μαγνητοουρά και το φύλλο πλάσματος προς την εσώτερη μαγνητόσφαιρα. Συνεπώς προτείνεται ότι η παρατεταμένη εκδήλωση ισχυρών υποκαταιγίδων είναι παράγοντας σημαντικότερος από το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού διαφόρων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τη δυναμική των ζωνών Βαν Άλεν.

Katsavrias, C., Daglis, I. A., & Li, W. (2019). On the statistics of acceleration and loss of relativistic electrons in the outer radiation belt: A superposed epoch analysis. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 124, 2755–2768.

<https://doi.org/10.1029/2019JA026569>