



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

ΟΔΗΓΟΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

# Διαστημικές Καταιγίδες και Βόρειο Σέλας

Η ψηφιακή παράσταση του Ευγενιδείου Πλανηταρίου «Διαστημικές Καταιγίδες και Βόρειο Σέλας» σας προσκαλεί σε ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με τα πιο εντυπωσιακά και βίαια καιρικά φαινόμενα του Ηλιακού μας συστήματος: από τους ανέμους στον Ποσειδώνα που πνέουν με ταχύτητες 2.000 km/h, στον γιγάντιο αντικυκλώνα του Δία, που στο εσωτερικό του θα χωρούσε τουλάχιστον δύο πλανήτες σαν την Γη μας, αλλά και στην Αφροδίτη, τον θερμότερο και πλέον άnuδρο πλανήτη. Οι ηλιακές καταιγίδες, από την άλλη, μπορούν να βραχυκυκλώσουν τους τηλεπικοινωνιακούς μας δορυφόρους και να προκαλέσουν εκτεταμένες διακοπές στην ηλεκτροδότηση. Παράλληλα, όμως, αλληλεπιδρώντας με το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη μας, δίνουν το έναυσμα για την δημιουργία ενός από τα ομορφότερα φαινόμενα της φύσης: του Πολικού Σέλαος.





ΧΡΥΣΟΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ  
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΟΔΗΓΟΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ



**ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ**  
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

Αθήνα 2016

## Περιεχόμενα

Πρόλογος ..... 4



Εισαγωγή: Τα Καιρικά Φαινόμενα στη Γη ..... 6



Κεφάλαιο 1: Πλανητικά Καιρικά Φαινόμενα ..... 10



Κεφάλαιο 2: Ηλιακή Δραστηριότητα και  
Πολικό Σέλας ..... 18

Βιβλιογραφία ..... 28

Συντελεστές Παράστασης ..... 29

## Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, συμβάλλει στην επιστημονική επιμόρφωση του κοινού της χώρας μας με πολλούς τρόπους, πρωτίστως όμως με τις ψηφιακές του παραγωγές. Από την έναρξη της λειτουργίας του το 2003, χρησιμοποιεί όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί τα επιτεύγματα και την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Μέσα από τις παραστάσεις του Πλανηταρίου το ευρύ κοινό ενημερώνεται για τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και διαφωτίζεται σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Το Βόρειο Σέλας, ένα από τα πιο όμορφα και εντυπωσιακά φαινόμενα που μπορεί να δει κάποιος πάνω στη Γη, είναι ένα από τα προσφιλέστερα θέματα για το κοινό του Πλανηταρίου μας. Στο παρελθόν, μάλιστα, κατά τη διάρκεια των ειδικών εκδηλώσεων που πραγματοποιούνται δωρεάν τις ημέρες των Ισημεριών και των ηλιοστασίων, προβάλαμε ξένες παραστάσεις σχετικές με αυτό το θέμα με τεράστια επιτυχία. Εξίσου περιζήτητα για το κοινό που μας επισκέπτεται είναι και τα θέματα που σχετίζονται με τα καιρικά φαινόμενα σε άλλους πλανήτες, καθώς και οι διαστημικές καταιγίδες και το πώς αυτές επηρεάζουν τον πλανήτη μας. Από πολύ καιρό τώρα θέλαμε να δημιουργήσουμε μία δική μας παράσταση γι' αυτά τα φαινόμενα.

Στην παράσταση «Διαστημικές Καταιγίδες και Βόρειο Σέλας» ξεκινάμε με μία σύντομη εισαγωγή για τα καιρικά φαινόμενα στην Γη, και πώς αυτά ενεργοποιούνται εξαιτίας του άνισου τρόπου που ο πλανήτης μας θερμαίνεται από τον Ήλιο. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε καιρικά φαινόμενα που επικρατούν σε άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος και έχουν παρατηρηθεί και καταγραφεί με τηλεσκόπια και διαστημικές αποστολές, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Έτσι μαθαίνουμε για τις εντυπωσιακές περιστρεφόμενες καταιγίδες στον Δία και στον Κρόνο, καθώς και για τους βιαιότερους ανέμους στο Ηλιακό μας σύστημα, οι οποίοι έχουν καταγραφεί στον Ποσειδώνα, ενώ διαπιστώνουμε ότι σε αντίθεση με την Γη, τα καιρικά φαινόμενα σ' αυτούς τους πλανήτες δεν ενεργοποιούνται τόσο από τον Ήλιο, όσο από την εσωτερική τους θερμότητα. Στην Αφροδίτη, αντιθέτως, θα διαπιστώσουμε πώς η υπέρπυκνη και γεμάτη διοξείδιο του άνθρακα ατμόσφαιρά της οδήγησε σε ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που την μετέτρεψε στον θερμότερο και πλέον άνυδρο πλανήτη του Ηλιακού μας συστήματος. Η παράσταση ολοκληρώνεται με μία σύντομη παρουσίαση των διαφορετικών εκφάνσεων της ηλιακής δραστηριότητας, με έμφαση στον ηλιακό άνεμο, στις στεμματικές εκτινάξεις μάζας και στο πώς αυτές δίνουν το έναυσμα για την ενεργοποίηση των διαστημικών γεωμαγνητικών καταιγίδων, οι οποίες έχουν άμεση επίδραση στις τηλεπικοινωνίες και στο

ηλεκτρικό δίκτυο πάνω στη Γη, προκαλώντας πολλές φορές εκτεταμένες διακοπές με καταστροφικά αποτελέσματα. Ταυτόχρονα όμως, με την αλληλεπίδρασή τους με το μαγνητικό πεδίο της Γης, που λειτουργεί σαν ασπίδα απέναντι σ' αυτές τις βίαιες εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας, οι καταιγίδες αυτές δημιουργούν το πανέμορφο φαινόμενο του Πολικού Σέλαος.

Η παράσταση «Διαστημικές Καταιγίδες και Βόρειο Σέλας», μία ακόμα παραγωγή του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, έρχεται να καλύψει αυτό το θέμα με επιστημονικό τρόπο, συμπεριλαμβάνοντας όλα τα τεκμηριωμένα στοιχεία που έχουμε μέχρι σήμερα στη διάθεσή μας. Ο Οδηγός αυτός ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν σε μία παράσταση 40 μόλις λεπτών και τα οποία προσφέρουν μία πιο ολοκληρωμένη και σαφή εικόνα για τα καιρικά φαινόμενα τόσο στη Γη όσο και σε άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος. Έτσι, το πρώτο κεφάλαιο ξεκινά με την συνοπτική παρουσίαση των μηχανισμών που διαμορφώνουν τα καιρικά φαινόμενα στη Γη. Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζεται στα αντίστοιχα φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί σε άλλους πλανήτες, καθώς και στους μηχανισμούς ενεργοποίησής τους, ενώ το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην Ηλιακή δραστηριότητα, τις Ηλιακές καταιγίδες και τον μηχανισμό δημιουργίας του Πολικού Σέλαος.

Θεωρούμε ότι τα θέματα που έχουμε συμπεριλάβει σε αυτόν τον Οδηγό, καθώς και η σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται, συμπληρώνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα όσα παρουσιάζονται στην παράσταση και ευελπιστούμε ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα τόσο για τον δάσκαλο και τον μαθητή όσο και για τον κάθε ενδιαφερόμενο. Ο συγκεκριμένος Οδηγός Παράστασης, καθώς και όλοι οι προηγούμενοι, έχουν αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, στην Ενότητα «Παραστάσεις», και διατίθενται ελεύθερα για κάθε ενδιαφερομένο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Αλέξη Δεληβοριά, αστρονόμο του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, για τη συγγραφή, καθώς και όλους τους συναδέλφους του Εκδοτικού τμήματος του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλεια του παρόντος Οδηγού. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους συνεργάτες της δημιουργικής μας ομάδας που συμμετείχαν στη δημιουργία της νέας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος Οδηγού.

*Μάνος Κιτσώνας*

Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Τα Καιρικά Φαινόμενα στη Γη

Ο καιρός καθημερινά μεταβάλλεται. Η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, η ηλιοφάνεια και η νεφοκάλυψη, η βροχή και το χιόνι, με δυο λόγια όλες εκείνες οι ατμοσφαιρικές «μεταβλητές» που επικρατούν τοπικά σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, διαμορφώνοντας τα καιρικά φαινόμενα, δεν είναι ποτέ οι ίδιες. Σε τελική ανάλυση, όμως, η ενεργοποίηση των καιρικών φαινομένων απαιτεί ενέργεια και η ενέργεια αυτή δεν είναι άλλη από την θερμότητα που ο πλανήτης μας προσλαμβάνει από τον Ήλιο.

Εικόνα της Γης που ελήφθη από τον δορυφόρο Deep Space Climate Observatory της NASA στις 6 Ιουλίου 2015 (φωτογρ. NASA).

Τα καιρικά φαινόμενα, δηλαδή, δεν είναι τίποτε άλλο από διαφορετικές εκφάνσεις του τρόπου με τον οποίο η γήινη ατμόσφαιρα «αντιδρά» στον άνισο τρόπο που ο πλανήτης μας θερμαίνεται από τον Ήλιο. Πραγματικά, το σφαιρικό σχήμα της Γης, η κλίση του άξονα περιστροφής της και η αέναη εναλλαγή της μέρας με την νύχτα συμβάλλουν ώστε το ημισφαίριο του πλανήτη μας που βλέπει προς τον Ήλιο, να θερμαίνεται περισσότερο στην περιοχή των τροπικών και πολύ λιγότερο στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και στους πόλους.

Επειδή, λοιπόν, η Γη μας θερμαίνεται με άνισο τρόπο από τον Ήλιο, καμία περιοχή της δεν έχει ακριβώς την ίδια θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση και υγρασία. Έτσι, σε κάποιες περιοχές ο αέρας θερμαίνεται περισσότερο και, καθώς η κινητική ενέργεια των μορίων του αυξάνει, η πυκνότητά του μειώνεται, με αποτέλεσμα να κινείται ανοδικά, δημιουργώντας χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση. Αντιθέτως, ο ψυχρός και πυκνότερος αέρας κινείται καθοδικά, δημιουργώντας υψηλή ατμοσφαιρική πίεση. Η ροή του αέρα από μία περιοχή υψηλής σε μία περιοχή χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης προκαλεί τους τοπικούς ανέμους. Σε παγκόσμια κλίμακα, από την άλλη, επειδή η περιοχή εκατέρωθεν του ισημερινού λαμβάνει περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τις περιοχές που περιβάλλουν τους πόλους, δημιουργούνται οριζόντιες διαφορές θερμοκρασίας που με την σειρά τους προκαλούν διαφορές στην πίεση της ατμόσφαιρας, ενεργοποιώντας έτσι την ροή των θερμών τροπικών ανέμων προς τους πόλους. Αντιθέτως, ο παγωμένος πολικός άνεμος κατευθύνεται προς τον ισημερινό. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η περιστροφή του

πλανήτη μας εκτρέπει τους ανέμους αυτούς από την αρχική τους πορεία, οι οποίοι έτσι αποκλίνουν προς τα δεξιά της αρχικής τους κατεύθυνσης στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Τα ρεύματα του αέρα, με την σειρά τους, ενεργοποιούν τα επιφανειακά ωκεάνια ρεύματα, όπως το Gulf Stream που πηγάζει από τον Κόλπο του Μεξικού και μεταφέρει τα θερμά νερά των τροπικών προς τις βόρειες θάλασσες.

Οι άνεμοι και τα ωκεάνια ρεύματα τείνουν να εξισορροπήσουν τις θερμοκρασίες παντού στην υφήλιο, μεταφέροντας θερμότητα από τις θερμές ισημερινές περιοχές που «βλέπουν» προς τον Ήλιο προς τα ψυχρότερα γεωγραφικά πλάτη που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον πόλο, αλλά και προς την πλευρά του πλανήτη μας που «βλέπει» μακριά από τον Ήλιο. Καθοριστικό και αναπόσπαστο ρόλο στην διαμόρφωση των καιρικών φαινομένων διαδραματίζει ο επονομαζόμενος **κύκλος του νερού**. Ο κύκλος του νερού ή υδρολογικός κύκλος είναι η αέναη ανακύκλωση και μεταφορά του νερού από την ξηρά στους ωκεανούς, μέσω των τρεχούμενων υδάτων, εν συνεχεία από τους ωκεανούς και τα επιφανειακά νερά στην ατμόσφαιρα, μέσω της εξάτμισης, και εντέλει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης, μέσω της συμπύκνωσης και κατακρήμνισης. Κάποιες φορές, όμως, όταν η θερμοκρασία στους τροπικούς φτάνει σε ακραία ύψη, σχηματίζονται οι τυφώνες. Οι άνεμοι σ' αυτές τις τρομακτικές κυκλικές θύελλες επιταχύνουν την εξάτμιση των ζεστών επιφανειακών νερών και, καθώς απορροφούν όλο και περισσότερη θερμότητα από τον ωκεανό, η ταχύτητά τους αυξάνει συνεχώς, υπερβαίνοντας ορισμένες φορές ακόμη και τα 250 km/h.

Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι τυφώνες, μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες καταστροφές. Γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι τα καιρικά φαινόμενα σε κάποιους άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος είναι κατά πολύ βιαιότερα, ενώ και οι εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας οδηγούν συχνά σε διαστημικές καταιγίδες απίστευτης ισχύος. Οι καταιγίδες αυτές αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη μας, δίνοντας το έναυσμα για την δημιουργία ενός από τα ομορφότερα φαινόμενα της φύσης: του Πολικού Σέλαος. Έτσι, στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα περιγράψουμε

με συντομία τα καιρικά φαινόμενα που έχουμε παρατηρήσει σε άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο θα περιγράψουμε τις διαφορετικές εκφάνσεις της ηλιακής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένων και των βιαιότερων φαινομένων που είναι δυνατόν να εκδηλωθούν στο Ηλιακό μας σύστημα, όπως είναι οι ηλιακές εκλάμψεις και οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας. Το κεφάλαιο αυτό και ο μικρός αυτός Οδηγός ολοκληρώνονται με μία σύντομη παρουσίαση του μηχανισμού δημιουργίας του Πολικού Σέλαος ◀



Ο τυφώνας *Χαίγαν* σε σύνθεση εικόνων που ελήφθησαν από δορυφόρους της Ιαπωνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και του Ευρωπαϊκού οργανισμού EUMETSAT (φωτογρ. JMA, EUMETSAT).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Πλανητικά Καιρικά Φαινόμενα

Δύο είναι τα βασικά προαπαιτούμενα για την δημιουργία καιρικών φαινομένων σε έναν πλανήτη: η ύπαρξη ατμόσφαιρας εντός της οποίας μπορούν αυτά να εκδηλωθούν και μία πηγή ενέργειας που θα τα ενεργοποιήσει. Η ενεργοποίηση των καιρικών φαινομένων στον πλανήτη μας προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία που θερμαίνει με άνισο τρόπο την επιφάνειά του. Δεδομένου, όμως, ότι η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ήλιου μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης, όσο μακρύτερα από τον Ήλιο βρίσκεται ένας πλανήτης τόσο μικρότερη είναι και η θερμότητα που προσλαμβάνει. Όπως θα δούμε στην συνέχεια, σε κάποιους πλανήτες η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την ενεργοποίηση των καιρικών φαινομένων δεν προέρχεται τόσο από τον Ήλιο, όσο από την εσωτερική τους θερμότητα.

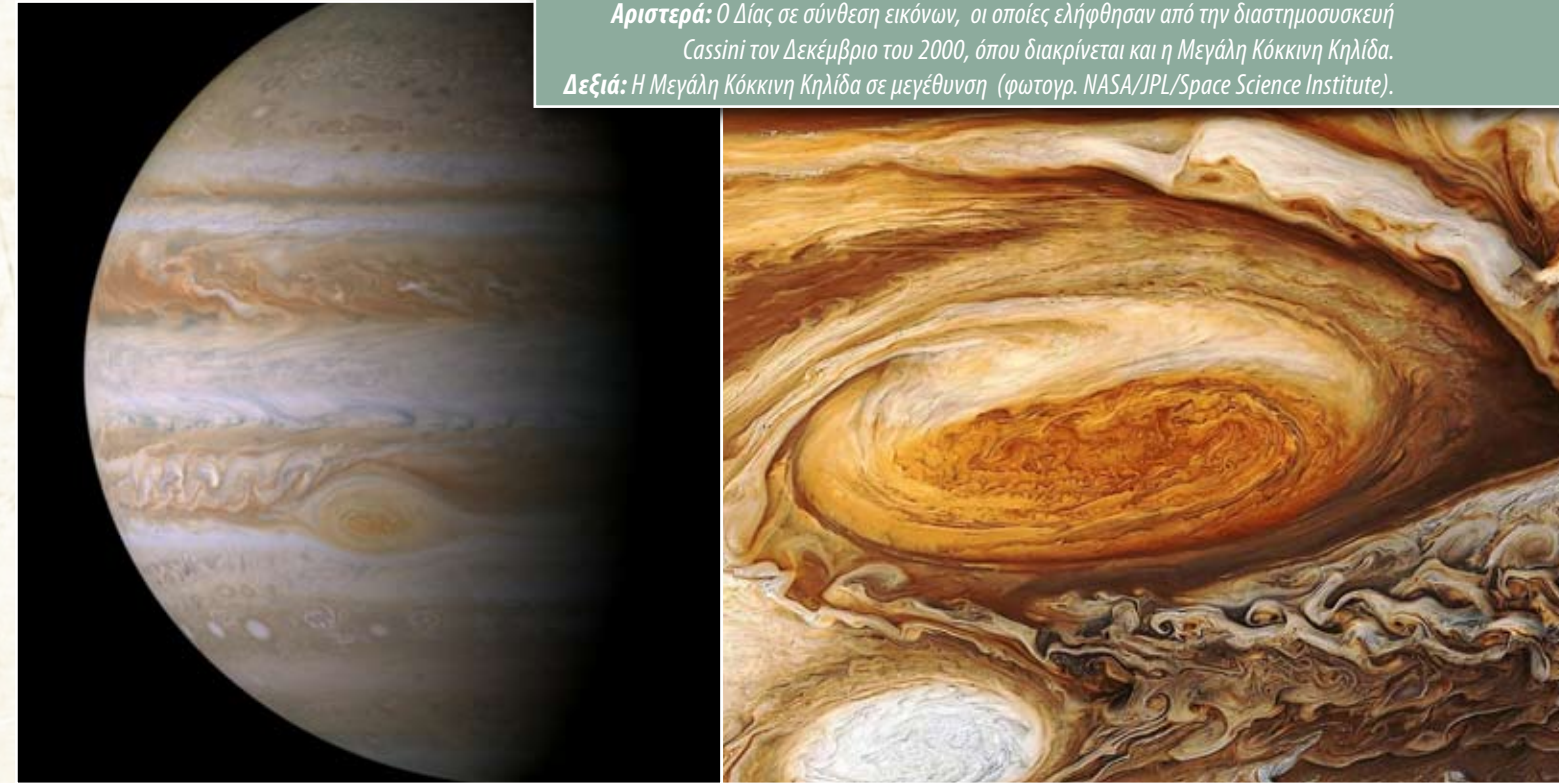
Καλλιτεχνική αναπαράσταση της επιφάνειας της Αφροδίτης  
(φωτογρ. J. Whatmore).

**Π**ραγματικά, κάθε πλανήτης διαθέτει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό και μία εσωτερική πηγή ενέργειας. Η ενέργεια αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο σε 4 φυσικές διεργασίες, οι οποίες επιδρούν συμπληρωματικά η μία στην άλλη, καθ' όλη την διάρκεια της γεωλογικής του εξέλιξης. Η **πρώτη** απ' αυτές είναι η βαρυτική συστολή, το γεγονός δηλαδή ότι κατά τα πρώτα κυρίως στάδια του σχηματισμού τους, οι πλανήτες συσσωρεύουν όλο και μεγαλύτερες ποσότητες ύλης και, καθώς η μάζα τους αυξάνεται, η βαρυτική έλξη προς το κέντρο τους μεγαλώνει. Αυτό, όμως, έχει ως αποτέλεσμα την μικρή συρρίκνωση του πλανήτη και κατά συνέπεια την μετατροπή μέρους της βαρυτικής του ενέργειας σε θερμότητα. Ο **δεύτερος** μη-

χανισμός παραγωγής θερμότητας στο εσωτερικό ενός πλανήτη οφείλεται στο γεγονός ότι τα πρωτοπλανητικά «έμβρυα» από τα οποία προήλθαν οι πλανήτες ήταν αρχικά σε ρευστή κατάσταση, γεγονός που επέτρεψε στα βαρύτερα μέταλλα να «βυθιστούν» προς το κέντρο τους, μετατρέποντας την βαρυτική δυναμική τους ενέργεια σε θερμότητα. Ο βομβαρδισμός των πλανητών από αναρίθμητους αστεροειδείς και κομήτες στα πρώτα κυρίως στάδια της εξέλιξης του Ηλιακού μας συστήματος, είναι ο **τρίτος** φυσικός μηχανισμός που μπορεί να αυξήσει την εσωτερική τους θερμότητα, ενώ ο **τελευταίος** σχετίζεται με την φυσική διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων που εμπεριέχει. Παρόλ' αυτά, όσον αφορά στον Ερμή, στην Αφροδίτη,



Ο βομβαρδισμός των πλανητών του Ηλιακού μας συστήματος από αναρίθμητους αστεροειδείς και κομήτες στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους συνέβαλε στην αύξηση της εσωτερικής τους θερμότητας.



**Αριστερά:** Ο Δίας σε σύνθεση εικόνων, οι οποίες ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Cassini τον Δεκέμβριο του 2000, όπου διακρίνεται και η Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα.  
**Δεξιά:** Η Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα σε μεγέθυνση (φωτογρ. NASA/JPL/Space Science Institute).

στην Γη και στον Άρη, η θερμότητα που ενεργοποιεί τα καιρικά τους φαινόμενα οφείλεται πρωτίστως στην ακτινοβολία του Ήλιου, ενώ θα δούμε πιο κάτω ότι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και από την σύσταση της ατμόσφαιράς τους και κατά συνέπεια από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη, με εξαίρεση τον Ουρανό, οι αέριοι γίγαντες του Ηλιακού μας συστήματος εκλύουν τουλάχιστον διπλάσια θερμότητα απ' όση προσλαμβάνουν από τον Ήλιο και κατά συνέπεια τα καιρικά φαινόμενα σ' αυτούς ενεργοποιούνται κυρίως από την θερμότητα που συνεχίζουν να εκλύουν από τα βάθη τους. Η θερμική ακτινοβολία του Δία, για παράδειγμα, οφείλεται πρωτίστως στο φαινόμενο

της βαρυτικής συστολής, δηλαδή στην αργή του συμπίεση κάτω από το ίδιο του το βάρος, μέσω της οποίας μέρος της βαρυτικής του ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή, σε συνδυασμό με την ταχύτατη περιστροφή του Δία γύρω από τον άξονά του, έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση ανέμων, οι οποίοι παρασέρνουν τα νέφη αμμωνίας που βρίσκονται στην ατμόσφαιρά του σε κατευθύνσεις παράλληλες προς τον ισημερινό του. Έτσι, σχηματίζονται χαρακτηριστικές ζώνες, οι οποίες κινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις σε σχέση με τις γειτονικές τους. Στις περιοχές, μάλιστα, όπου γειτονικές ζώνες εφάπτονται, μπορούν να σχηματιστούν τεράστιες δίνες, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την Μεγάλη Κόκκι-



νη Κηλίδα, μία ταχύτατα περιστρεφόμενη θύελλα, που μαίνεται εδώ και τουλάχιστον 300 χρόνια. Ο γιγάντιος αυτός αντικυκλώνας, που στο εσωτερικό του θα χωρούσε τουλάχιστον δύο πλανήτες σαν την Γη μας, περιστρέφεται με ταχύτητα που φτάνει ακόμη και τα 650 km/h.

Ο Κρόνος είναι ένας άλλος πλανήτης που ενεργοποιεί τα καιρικά του φαινόμενα χάρη στην εσωτερική του θερμότητα. Επειδή, όμως, ο Κρόνος έχει μικρότερη μάζα από τον Δία, το πιθανότερο είναι ότι η αρχέγονη θερμότητα που συσσωρεύτηκε στο εσωτερικό του, έχει ήδη διαχυθεί στο Διάστημα. Γι' αυτό και πολλοί αστρονόμοι θεωρούν ότι η περίσσεια θερμότητας που συνεχίζει να εκλύει ο Κρόνος οφείλεται στις σταγόνες ηλίου που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρά του και πέφτουν προς το εσωτερικό του, μετατρέποντας τη δυναμική τους ενέργεια σε κινητική και εντέλει διά μέσου της τριβής σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή ενεργοποιεί κατά καιρούς μεγάλες δίνες στον «άρχοντα των δαχτυλιδιών» του Ηλιακού μας συστήματος. Το 1981-82, για παράδειγμα, οι διαστημοσυσσκευές Voyager ανακάλυψαν μία παράξενη εξαγωνική δίνη, ενώ η ανάλυση των δεδομένων που συνέλεξε το τροχιακό αστεροσκοπείο Cassini οδήγησε το 2006 στην ανακάλυψη μιας άλλης πολικής δίνης, στον νότιο πόλο του πλανήτη αυτή την φορά, με ανέμους που αγγίζουν τα 550 km/h.

Το βαθύ μπλε των επιφανειακών νεφών του Ποσειδώνα, από την άλλη, προσδίδει στον πλανήτη αυτόν μία φαινομενικά γαλήνια όψη. Κι όμως, στον παγωμένο αυτόν γίγαντα έχουν καταγραφεί οι ισχυρότεροι άνεμοι από κάθε άλλο ουράνιο σώμα του Ηλιακού μας συστήματος. Τεσσεράμισι δισεκατομμύρια χιλιόμετρα μακριά από τον Ήλιο, η ακτινοβολία του άστρου μας δεν επαρκεί ώστε να ενεργο-

ποιήσει τους βίαιους αυτούς ανέμους. Η εσωτερική θερμότητα, όμως, που εκλύει ο Ποσειδώνας, σχεδόν τριπλάσια απ' αυτήν που προσλαμβάνει από τον Ήλιο, ενεργοποιεί ανέμους με ταχύτητες που υπερβαίνουν ακόμη και τα 2.000 km/h. Μία από τις υποθέσεις που έχουν προταθεί, προκειμένου να ερμηνευτεί η περίσσεια της θερμότητας που αποβάλλει ο Ποσειδώνας, σε σχέση μ' αυτήν που προσλαμβάνει από τον Ήλιο, σχετίζεται με τις τεράστιες πιέσεις που επικρατούν βαθιά στο εσωτερικό του. Εξαιτίας των πιέσεων αυτών, τα άτομα του άνθρακα που εμπεριέχει ο Ποσειδώνας συμπιέζονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας διαμάντια, τα οποία πέφτουν προς τον πυρήνα του σαν χαλάζι, μετατρέποντας την δυναμική τους ενέργεια σε θερμότητα.

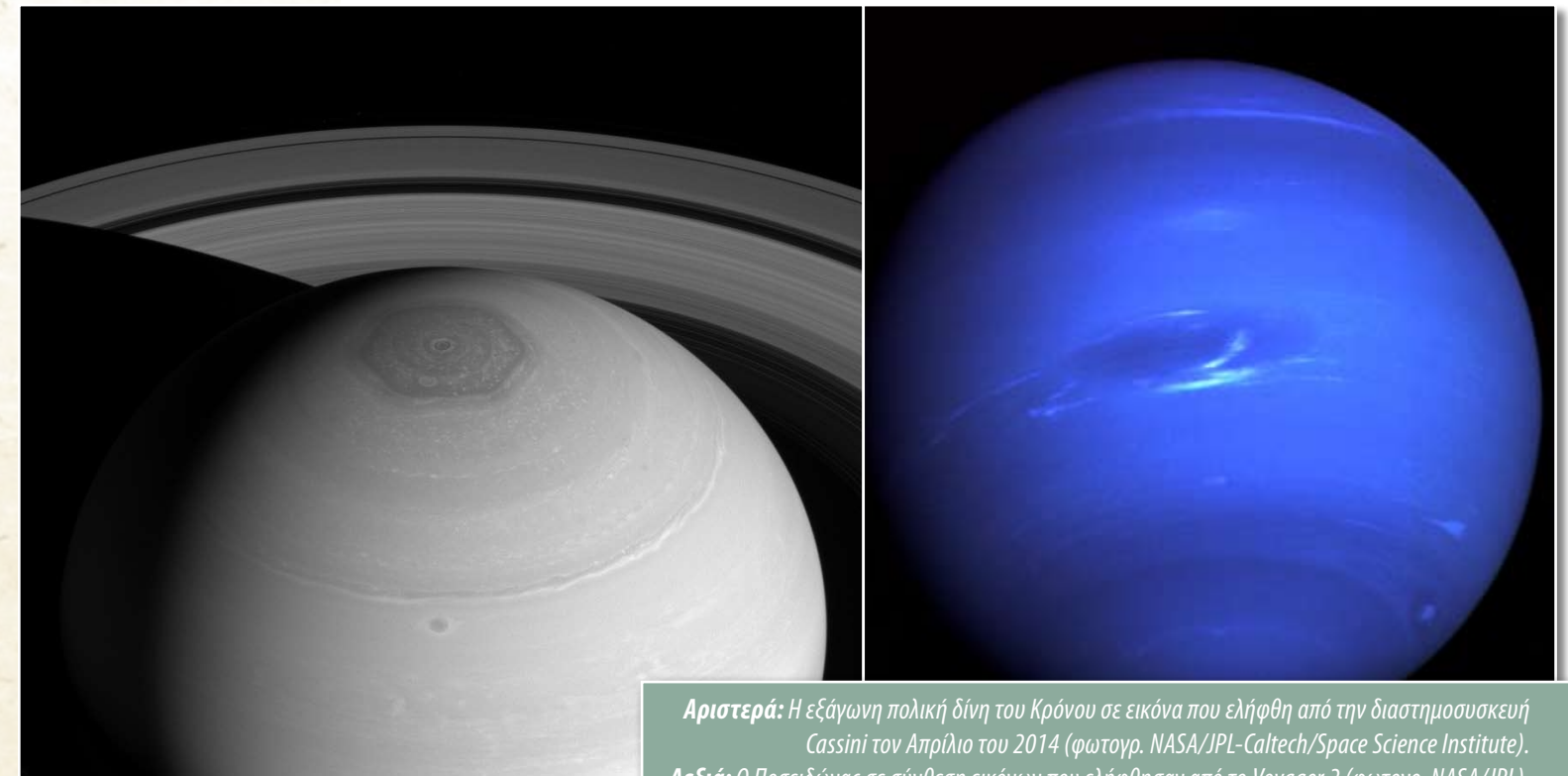
Επιστρέφοντας, τώρα, στους βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, η μέση επιφανειακή τους θερμοκρασία καθορίζεται από τρεις παράγοντες: την μέση απόστασή τους από τον Ήλιο, την ανακλαστικότητα της επιφάνειάς τους και την ατμόσφαιρα που τους περιβάλλει. Προφανώς, όσο πλησιέστερα είναι ένας πλανήτης προς τον Ήλιο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που προσλαμβάνει. Από την άλλη, όμως, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφά σε σχέση μ' αυτό που ανακλά στο Διάστημα δεν καθορίζεται μόνο από τα υλικά της επιφάνειάς του, αλλά και από την έκταση της νεφοκάλυψης. Πραγματικά, ενώ η παρουσία πυκνών νεφών μπορεί να συμβάλει στην μείωση της θερμοκρασίας ενός πλανήτη, ανακλώντας μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να συμβάλει και στην αύξηση της θερμοκρασίας του, παγιδεύοντας μέρος της θερμικής ενέργειας που επανεκπέμπει το έδαφός του, το οποίο θερμαίνεται από τον Ήλιο.

Η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη, όμως, παίζει ακόμη

πιο καθοριστικό, αλλά και σύνθετο ρόλο στην διαμόρφωση των καιρικών συνθηκών. Η έκταση και η πυκνότητα της ατμόσφαιρας που περιβάλλει έναν πλανήτη καθορίζονται από 4 παράγοντες: την βαρύτητα του πλανήτη, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την θερμοκρασία της ατμόσφαιράς του και την ύπαρξη ή μη πλανητικού μαγνητικού πεδίου.

Πραγματικά, όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα και κατά συνέπεια η **βαρυτική έλξη ενός πλανήτη**, τόσο πιο δύσκολα μπορούν να διαφύγουν τα μόρια που την αποτελούν στο Διάστημα. Αντιθέτως, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του, τότε τα μόρια της ατμόσφαιράς του μπορούν να αποκτήσουν αρκετή κινητική ενέργεια, ώστε τα ελαφρύτερα απ' αυτά

να διαφεύγουν ευκολότερα από την βαρυτική του έλξη. Με άλλα λόγια, η βαρύτητα και η θερμοκρασία δρουν αντίθετα η μία στην άλλη. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος για τον οποίο οι αέριοι γίγαντες του Ηλιακού μας συστήματος, έχοντας πολύ μεγαλύτερες μάζες και πολύ μικρότερες θερμοκρασίες από τους βραχώδεις πλανήτες, συγκρατούν γύρω τους πυκνή και μεγάλης έκτασης ατμόσφαιρα, η οποία αποτελείται κυρίως από τα ελαφρύτερα στοιχεία υδρογόνο και ήλιο. Αντιθέτως, ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης, όντας αρκετά μικρότεροι και θερμότεροι από τους αέριους γίγαντες, συγκρατούν γύρω τους πιο αραιές ατμόσφαιρες, οι οποίες απαρτίζονται κυρίως από βαρύτερα μόρια, όπως το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα.



**Αριστερά:** Η εξαγωγή πολική δίνη του Κρόνου σε εικόνα που ελήφθη από την διαστημοσυσσκευή Cassini τον Απρίλιο του 2014 (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute).  
**Δεξιά:** Ο Ποσειδώνας σε σύνθεση εικόνων που ελήφθησαν από το Voyager 2 (φωτογρ. NASA/JPL).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί εδώ ότι η εγγύτητα ενός πλανήτη στον Ήλιο δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που διαμορφώνει την μέση θερμοκρασία του. Για του λόγου το αληθές, υπενθυμίζουμε ότι η Αφροδίτη έχει υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τον Ερμή, παρόλο που η ακτίνα της τροχιάς της είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στο **φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Πραγματικά, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα ενός πλανήτη (όπως υδρατμοί και CO<sub>2</sub>), τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παγιδεύει. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην Γη, ανακλάται στο Διάστημα ή απορροφάται από την ατμόσφαιρά της, όπως συμβαίνει με τις ακτίνες Χ, αλλά και με την βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία, που απορροφάται από την ασπίδα του όζοντος. Επειδή, όμως, η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ήλιου που αντιστοιχεί στο ορατό φως, η ακτινοβολία αυτή την διασχίζει ανεμπόδιστα και, φτάνοντας στην επιφάνεια του πλανήτη μας, την θερμαίνει. Το έδαφος, στην συνέχεια, επανεκπέμπει θερμότητα με την μορφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ενώ, όμως, η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής, όπως είπαμε, στην ορατή ακτινοβολία, δεν ισχύει το ίδιο για την υπέρυθρη. Αυτό οφείλεται στα αέρια του θερμοκηπίου που εμπεριέχει, τα οποία την παγιδεύουν, «φυλακίζοντας» παράλληλα και την θερμική ενέργεια που της αντιστοιχεί. Γι' αυτό και ο πλανήτης μας είναι αρκετά θερμότερος απ' όσο θα ήταν χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η ύπαρξη ατμόσφαιρας, λοιπόν, περιορίζει τον ρυθμό με τον οποίο ένας πλανήτης αποβάλλει θερμότητα, αυξάνοντας την **θερμοκρασία** του,

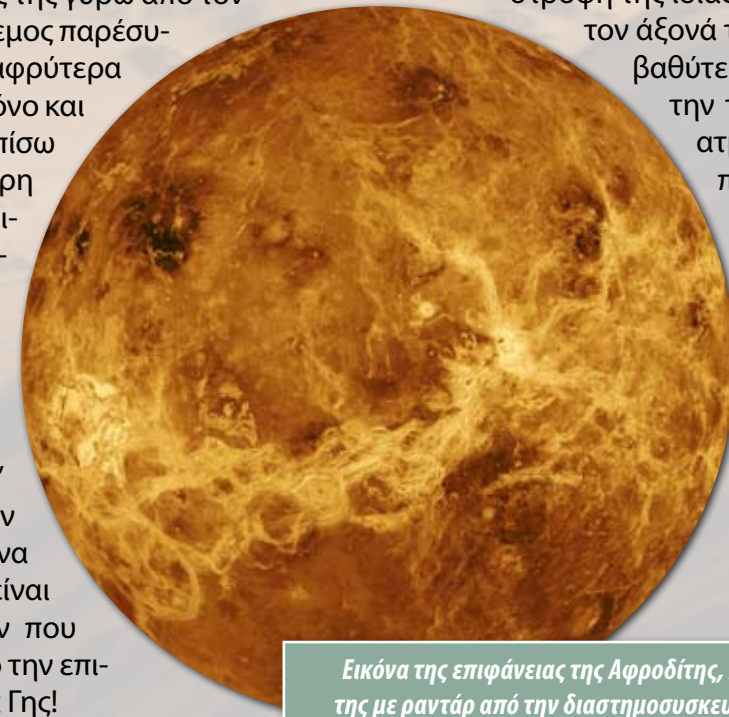
ενώ συμβάλλει και στην πιο ομοιόμορφη κατανομή της σ' ολόκληρη την επιφάνεια του πλανήτη και συνεπώς στην καλύτερη εξισορρόπηση των θερμοκρασιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι η σχεδόν παντελής απουσία ατμόσφαιρας στον Ερμή προκαλεί τις πιο ακραίες θερμοκρασιακές εναλλαγές από την ημέρα στην νύχτα από οποιονδήποτε άλλον πλανήτη του Ηλιακού μας συστήματος. Πραγματικά, η θερμοκρασία στο ημισφαίριο του Ερμή που «βλέπει» προς τον Ήλιο ανέρχεται στους 427°C, την ίδια στιγμή που η θερμοκρασία στο αντίθετο ημισφαίριο βυθίζεται στους -173°C. Από την άλλη, όμως, ακριβώς επειδή ο Ερμής δεν διαθέτει ατμόσφαιρα, δεν εκδηλώνονται καιρικά φαινόμενα σ' αυτόν. Ο Άρης, αντιθέτως, περιβάλλεται από μια πολύ αραιή ατμόσφαιρα, γι' αυτό και οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις από την ημέρα στην νύχτα είναι αρκετά μικρότερες και δεν υπερβαίνουν τους 100°C. Επιπλέον, δεδομένου ότι η αραιανή ατμόσφαιρα είναι τόσο αραιή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν παίζει σχεδόν κανένα ρόλο στην θέρμανση του πλανήτη, όπως συμβαίνει στον πλανήτη μας και στην Αφροδίτη. Αυτή, όμως, η θερμοκρασιακή διαφορά από την ημέρα στην νύχτα ενεργοποιεί ανέμους, οι οποίοι κάποιες φορές μπορούν να εξελιχθούν σε αμμοθύελλες, που ενίοτε καλύπτουν ολόκληρο τον πλανήτη για μήνες κάτω από το σκονισμένο τους πέπλο.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την σύσταση της ατμόσφαιρας ενός πλανήτη είναι η **ύπαρξη του μαγνητικού πεδίου** που ενδεχομένως παράγει στο εσωτερικό του. Χωρίς αυτό το μαγνητικό πεδίο, τα ενεργητικά σωματίδια του ηλιακού ανέμου, τα οποία συγκρούονται με τα ελαφρύτερα στοιχεία που βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς του, τους προσ-

δίδουν τέτοιες ταχύτητες, που είναι ευκολότερο γι' αυτά να διαφύγουν από την βαρυτική έλξη του πλανήτη τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα που αποσαφηνίζει τον σύνθετο τρόπο με τον οποίο η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη διαμορφώνει τα καιρικά του φαινόμενα αποτελεί η Αφροδίτη, ο πλανήτης που θεωρούσαμε κάποτε ότι ήταν ο δίδυμος πλανήτης της Γης μας. Τα πυκνά νέφη θειικού οξέος που την καλύπτουν, ανακλούν το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνειά της, καθιστώντας την Αφροδίτη το λαμπρότερο σώμα στον νυχτερινό ουρανό, μετά την Σελήνη φυσικά. Επιπλέον, επειδή η Αφροδίτη, σε αντίθεση με τον πλανήτη μας, δεν διαθέτει εσωτερικά παραγόμενο μαγνητικό πεδίο (πιθανότατα εξαιτίας της πολύ αργής περιστροφής της γύρω από τον άξονά της), ο ηλιακός άνεμος παρέσυρε στο Διάστημα τα ελαφρύτερα στοιχεία, όπως το υδρογόνο και το οξυγόνο, αφήνοντας πίσω του μια εντελώς άνυδρη ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από CO<sub>2</sub> και είναι πλέον τόσο πυκνή, ώστε η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνειά της είναι 92 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν που επικρατεί στην επιφάνεια της Γης ή, για να το πούμε διαφορετικά, είναι περίπου η ίδια μ' αυτήν που επικρατεί 1 km κάτω από την επιφάνεια των ωκεανών της Γης!

Κι όμως, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνειά της αρκεί για να την θερμάνει σε θερμοκρασίες υψηλότερες και απ' αυτές ακόμη που επικρατούν στον Ερμή. Αυτό συμβαίνει διότι η υπέρπυκνη και γεμάτη CO<sub>2</sub> ατμόσφαιρα της Αφροδίτης παγιδεύει την ηλιακή θερμότητα, ενεργοποιώντας ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο του θερμοκηπίου που ανεβάζει την θερμοκρασία της στα ύψη. Με επιφανειακές θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 450°C, η Αφροδίτη είναι ο θερμότερος και πλέον άνυδρος πλανήτης του Ηλιακού μας συστήματος. Το πυκνό στρώμα νεφών θειικού οξέος που την καλύπτει σε υψόμετρο 45–70 km πάνω από την επιφάνειά της κινείται με ταχύτητες που αγγίζουν τα 370 km/h. Χάρη σε αυτές τις ταχύτητες, ολόκληρη η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης περιστρέφεται γύρω από τον πλανήτη σε μόλις 4 γήινες ημέρες, όταν η περιστροφή της ίδιας της Αφροδίτης γύρω από τον άξονά της διαρκεί 243 ημέρες. Το βαθύτερο, όμως, αίτιο για αυτήν την ταχύτατη περιστροφή της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης παραμένει άγνωστο, όπως άγνωστος εξακολουθεί να παραμένει και ο μηχανισμός που ενεργοποιεί τις μεγάλες περιστροφόμενες δίνες που έχουν εντοπιστεί στους πόλους της ◀



Εικόνα της επιφάνειας της Αφροδίτης, που βασίστηκε στην απεικόνισή της με ραντάρ από την διαστημοσυσκευή Magellan και σε δεδομένα της διαστημοσυσκευής Pioneer Venus Orbiter της NASA (φωτογρ. NASA/JPL).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ηλιακή Δραστηριότητα και Πολικό Σέλας

Παρόλη τη φαινομενική του ηρεμία, ο Ήλιος είναι ένα πολύ «δραστήριο» άστρο. Πραγματικά, η ασταμάτητη ροή του ηλιακού ανέμου, οι ηλιακές κηλίδες, οι προεξοχές και οι εκλάμψεις, οι τεράστιες εκροές ύλης από το στέμμα του και η παραγωγή ενέργειας στο εσωτερικό του είναι ορισμένα μόνο από τα φαινόμενα που συνεχίζουν να μελετούν οι αστρονόμοι στη προσπάθειά τους να αποκρυπτογραφήσουν τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας.

Στεμματική εκτίναξη μάζας, όπως απεικονίστηκε στις 20 Ιουνίου 2013 από το διαστημικό αστεροσκοπείο Solar Dynamics Observatory (SDO) της NASA (φωτογρ. NASA/SDO).

Ο Ήλιος είναι ένα συνηθισμένο άστρο του Γαλαξία μας, με μικρή σχετικά μάζα, που γεννήθηκε πριν από περίπου 5 δισ. χρόνια, μέσα από την βαρυτική κατάρρευση ενός νέφους αερίων και σκόνης. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών του νέφους, κυρίως υδρογόνο και ήλιο, σχημάτισαν τον Ήλιο, ενώ τα ελάχιστα υλικά που περίσσεψαν, «συμπυκνώθηκαν» στους πλανήτες, τους δορυφόρους και τα άλλα ουράνια σώματα που απαρτίζουν το Ηλιακό μας σύστημα.

Ο Ήλιος είναι μία τεράστια μάζα υπέρθερμου πλάσματος, δηλαδή θετικά φορτισμένων πρωτονίων και άλλων ατομικών πυρήνων, καθώς και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων. Από το κέντρο μέχρι την επιφάνειά του, ο Ήλιος αποτελείται από τρεις ομόκεντρες περιοχές: τον πυρήνα, την ζώνη ακτινοβολίας και την ζώνη μεταφοράς. Ο **πυρήνας** του Ηλίου, που εκτείνεται στο ένα πέμπτο περίπου της ακτίνας του, αναπτύσσει στο κέντρο του θερμοκρασίες που φτάνουν τους 15 εκατ. °C. Όλη η θερμότητα και το ορατό φως που εκπέμπει ο Ήλιος προς τη Γη δεν είναι παρά ένα ελάχιστο ποσοστό της συνολικής ενέργειας που απελευθερώνουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης, οι οποίες μετατρέπουν το υδρογόνο του πυρήνα του σε ήλιο. Η μεταφορά της ενέργειας αυτής μέσα από τον πυρήνα και την **ζώνη ακτινοβολίας** επιτυγχάνεται με την βοήθεια της ακτινοβολίας, δηλαδή ενεργητικών φωτονίων. Όταν, όμως, η ενέργεια αυτή φτάσει στην **ζώνη μεταφοράς**, η σχετικά χαμηλότερη θερμοκρασία που επικρατεί εκεί λειτουργεί ως φράγμα, που εμποδίζει την περαιτέρω μεταφορά της ενέργειας μέσω της ακτινοβολίας. Από την περιοχή αυτή και μέχρι την επιφάνειά του, η ενέργεια που παράγεται στο κέντρο του Ήλιου, μεταφέρεται με τη βοήθεια θερμομαγμών ρευμάτων, τα οποία συμπαρασύρουν τε-

ράστιες φυσαλίδες καυτού πλάσματος, παρόμοιες με τις φυσαλίδες που συμπαρασύρονται προς την επιφάνεια χυλού που κοχλάζει.

Η ατμόσφαιρα του Ήλιου χωρίζεται και αυτή σε τρεις περιοχές, η κατώτερη από τις οποίες ονομάζεται **φωτόσφαιρα** και έχει πάχος περίπου 400 km. Οι θερμοκρασίες της, αν και αισθητά χαμηλότερες, αφού μόλις που φτάνουν τους 6.000 °C, είναι ικανές να εξαερώσουν ακόμα και μέταλλα. Πάνω από τη φωτόσφαιρα εκτείνεται η **χρωμόσφαιρα** με πάχος περίπου 1.700 km και με θερμοκρασία που αυξάνει από τους 6.000 °C στους περίπου 20.000 °C. Η εξώτατη στοιβάδα της ατμόσφαιρας του Ήλιου, που είναι ορατή κατά την διάρκεια των ολικών ηλιακών εκλείψεων, ονομάζεται **στέμμα**. Η θερμοκρασία του ηλιακού στέμματος κυμαίνεται μεταξύ 1–2 εκατ. °C, αν και τοπικά μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη. Η βαθύτερη αιτία γι' αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες του ηλιακού στέμματος δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητή.

Τεράστιες ποσότητες φορτισμένων σωματιδίων ξεχύνονται ορμητικά από το στέμμα του Ήλιου προς όλες τις κατευθύνσεις σε μια ασταμάτητη ροή, που σχηματίζει τον ηλιακό άνεμο. Ο ηλιακός άνεμος «παρασέρνει» μέρος από το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου στο Διάστημα, σχηματίζοντας το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο, το οποίο φτάνει μέχρι τα πέρατα του Ηλιακού μας συστήματος. Ο ηλιακός άνεμος και το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο του Ήλιου αλληλεπιδρούν με τα μαγνητικά πεδία των άλλων πλανητών, προκαλώντας φαινόμενα όπως οι γεωμαγνητικές καταιγίδες και η εμφάνιση του βόρειου και του νότιου πολικού Σέλαος.

Ο Ήλιος παράγει στο εσωτερικό του ένα ασθε-

νές διπολικό μαγνητικό πεδίο, παρόμοιο δηλαδή μ' αυτό του πλανήτη μας, με έναν βόρειο και έναν νότιο μαγνητικό πόλο. Εκτός όμως από αυτό το «γενικό» μαγνητικό πεδίο, παρατηρούνται περιοχές στην επιφάνεια του Ήλιου, στις οποίες εμφανίζονται ισχυρότατα και πολύπλοκα τοπικά μαγνητικά πεδία, τα οποία μεταβάλλονται με τον χρόνο και μπορούν να συσσωρεύουν τεράστια ποσά ενέργειας. Σχεδόν όλα τα ηλιακά φαινόμενα και σίγουρα τα βιαιότερα από αυτά οφείλονται σ' αυτά τα τοπικά μαγνητικά πεδία και στην εκρηκτική απελευθέρωση της ενέργειας που συσσωρεύουν. Το

πώς ακριβώς παράγει ο Ήλιος το μαγνητικό του πεδίο δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητό και αποτελεί σήμερα πεδίο ενδελεχούς έρευνας.

Σε γενικές γραμμές, πάντως, ο μηχανισμός ενεργοποίησης του βασίζεται σε παραλλαγές της θεωρίας του ηλεκτρικού δυναμώ, σύμφωνα με την οποία η κίνηση ενός ηλεκτρικά αγωγίμου ρευστού στο εσωτερικό ενός μαγνητικού πεδίου, επάγει την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος, που με την σειρά του παράγει ακόμη περισσότερο μαγνητικό πεδίο. Με άλλα λόγια, όπως περίπου η κίνηση ηλεκτρι-



Το ηλιακό στέμμα, όπως φωτογραφήθηκε στην διάρκεια της ολικής έκλειψης Ηλίου στις 22 Ιουλίου 2009, πάνω από τα Νησιά Μάρσαλ (φωτογρ. © 2009 Miloslav Druckmüller, Peter Aniol, Vojtech Rušin, Ľubomír Klocok, Karel Martišek, Martin Dietzel).

κού φορτίου δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο, έτσι και η σύνθετη κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων του ηλιακού πλάσματος ενεργοποιεί το ασθενές γενικό μαγνητικό πεδίο του Ήλιου. Οι λεπτομέρειες, ωστόσο, αυτού του μηχανισμού υπερβαίνουν τους ειδικότερους στόχους αυτού του Οδηγού Παράστασης.

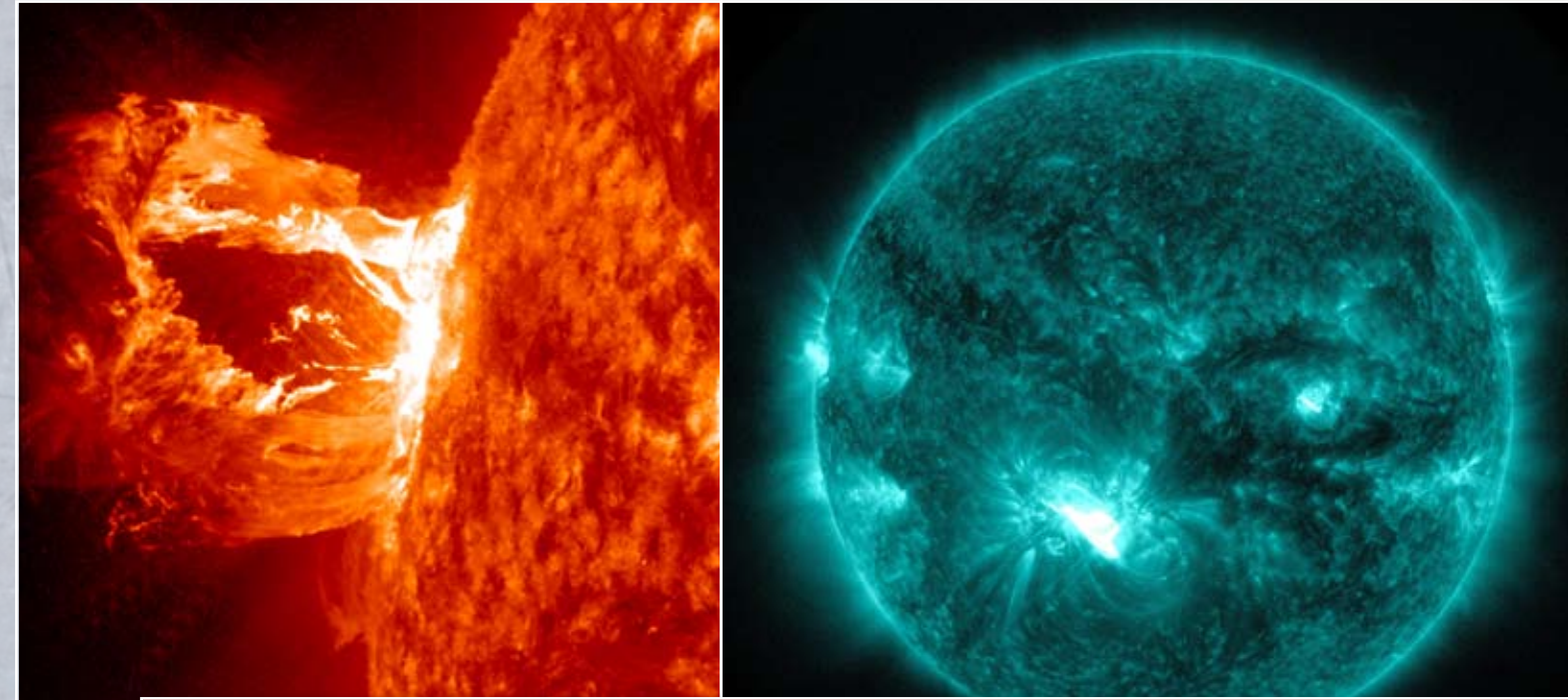
Τα τοπικά μαγνητικά πεδία του Ήλιου, αντιθέτως, οφείλονται κατά πολύ στην διαφορική περιστροφή του Ήλιου, στο γεγονός δηλαδή ότι ο Ήλιος περιστρέφεται ταχύτερα στην περιοχή εκατέρωθεν του ισημερινού, απ' όσο στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και στους πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δυναμικές γραμμές\* του μαγνητικού πεδίου να παραμορφώνονται και να «ξεχειλίζουν» στην περιοχή του ισημερινού. Με την πάροδο του χρόνου, η περιστροφή του Ήλιου, αλλά και η σύνθετη κίνηση του φορτισμένου πλάσματος μέσω των θερμοαγωγών ρευμάτων, δημιουργεί περιοχές όπου οι δυναμικές γραμμές συστρέφονται η μία γύρω από την άλλη, την ίδια στιγμή που η πυκνότητά τους αυξάνει όλο και πιο πολύ. Σ' αυτές τις περιοχές, δηλαδή, όπου σχηματίζονται μαγνητικές «πλεξούδες» από πυκνές και περιπλεγμένες μαγνητικές γραμμές, η ένταση του μαγνητικού πεδίου και η μαγνητική ενέργεια που αποθηκεύει, αυξάνονται τόσο πολύ, ώστε το στρεβλωμένο πλέον μαγνητικό πεδίο διαπερνά τα ανώτερα στρώματα της ηλιακής ατμόσφαιρας και «αναδύεται» στην επιφάνεια του Ήλιου, σχηματίζοντας μαγνητικές «αψίδες», απ' τις οποίες διέρχονται ηλεκτρικά ρεύματα τεράστιας έντασης.

Σ' αυτές τις περιοχές σχηματίζονται και οι **ηλιακές κηλίδες**. Αυτά τα ψυχρότερα, και γι' αυτό σκοτεινότερα «στίγματα» στην φωτόσφαιρα του Ήλιου, εμφανίζονται συνήθως σε ζεύγη και σε μία ζώνη εκατέρωθεν του ηλιακού ισημερινού, σε ομάδες ευθυγραμμισμένες σε μία κατεύθυνση, από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Σε κάθε τέτοιο ζεύγος, η ηλιακή κηλίδα που βρίσκεται προς τα δυτικά έχει σχεδόν πάντα αντίθετη πολικότητα από την κηλίδα που βρίσκεται προς τα ανατολικά. Επιπλέον, οι ομάδες κηλίδων στο βόρειο ημισφαίριο του Ήλιου ευθυγραμμίζονται με μία πολικότητα, η οποία είναι αντίθετη από αυτήν που επικρατεί στο νότιο ημισφαίριο.

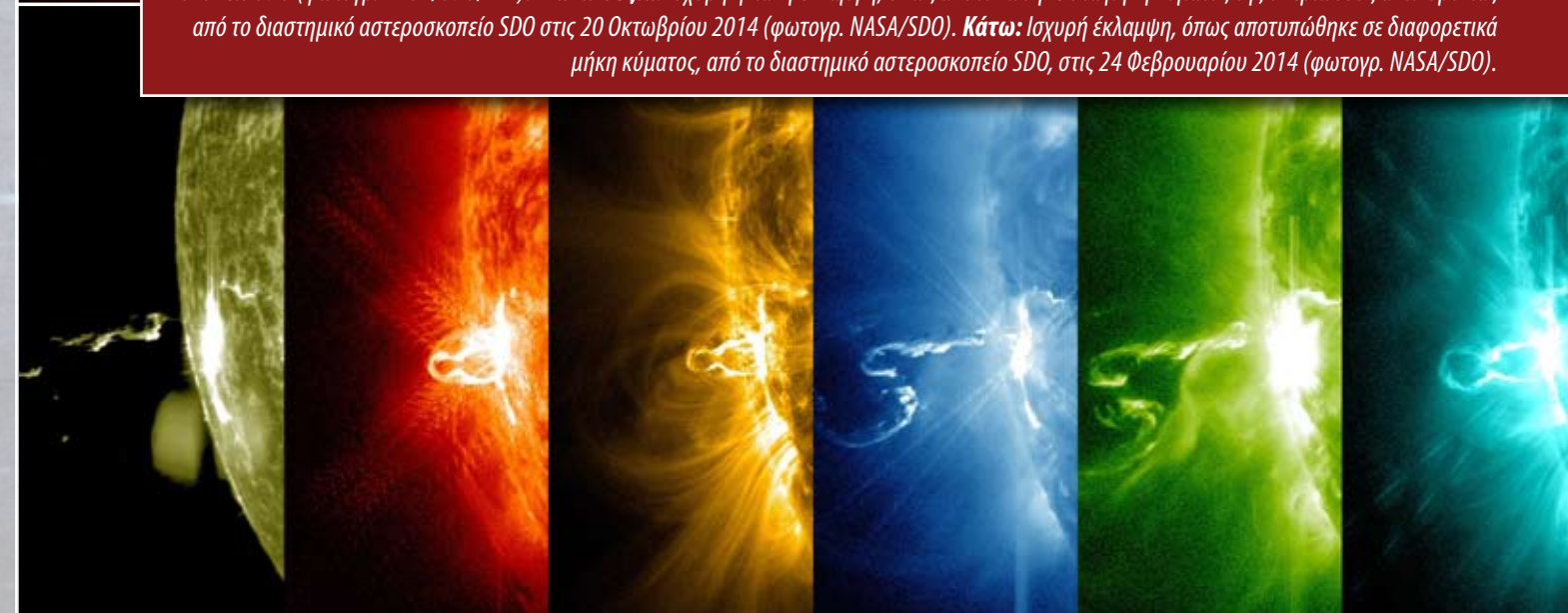
Οι **ηλιακές προεξοχές**, από την άλλη, είναι μεγάλες φωτεινές δομές που σχηματίζονται καθώς τα φορτισμένα σωματίδια του θερμού πλάσματος ρέουν κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του στρεβλωμένου μαγνητικού πεδίου. Οι προεξοχές εκτείνονται από την φωτόσφαιρα προς το στέμμα του Ήλιου και έχουν μήκος εκατοντάδων χιλιάδων χιλιομέτρων, ενώ η διάρκεια της ζωής τους μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες. Κάποιες φορές, όμως, όταν η στρεβλωμένη δομή των τοπικών μαγνητικών πεδίων καθίσταται ασταθής, οι προεξοχές «ξεδιπλώνονται» βίαια, απελευθερώνοντας το θερμό πλάσμα που έρεε κατά μήκος των δυναμικών γραμμών τους. Σ' αυτήν την περίπτωση, η διάρκεια ζωής τους δεν υπερβαίνει την μισή ώρα.

Οι ηλιακές εκλάμψεις και οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας, τέλος, συγκαταλέγονται ανάμεσα στα βιαι-

\* Οι δυναμικές γραμμές είναι νοητές γραμμές που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση ενός μαγνητικού (ή άλλου) πεδίου, έτσι ώστε σε κάθε σημείο τους η ένταση του πεδίου να είναι εφαπτόμενη. Όσο πυκνότερες είναι οι δυναμικές γραμμές σε μία συγκεκριμένη περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου σ' αυτήν.



**Πάνω αριστερά:** Εκρηκτική προεξοχή συνοδευόμενη από ηλιακή έκλαμψη, σε εικόνα που ελήφθη στις 16 Απριλίου 2012 από το διαστημικό αστροσκοπείο SDO (φωτογρ. NASA/SDO/AIA). **Πάνω δεξιά:** Ισχυρή ηλιακή έκλαμψη, όπως αποτυπώθηκε στα μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας από το διαστημικό αστροσκοπείο SDO στις 20 Οκτωβρίου 2014 (φωτογρ. NASA/SDO). **Κάτω:** Ισχυρή έκλαμψη, όπως αποτυπώθηκε σε διαφορετικά μήκη κύματος, από το διαστημικό αστροσκοπείο SDO, στις 24 Φεβρουαρίου 2014 (φωτογρ. NASA/SDO).



ότερα φαινόμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε εντός του Ηλιακού μας συστήματος. Ωστόσο, ο μηχανισμός σχηματισμού τους δεν μας είναι ακόμη απολύτως κατανοητός, ενώ και οι απόψεις για το αν τα φαινόμενα αυτά σχετίζονται μεταξύ τους δίστανται. Οι **ηλιακές εκλάμψεις** σηματοδοτούν την ξαφνική και εκρηκτική απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας που έχει συσσωρευτεί στα στρεβλωμένα τοπικά μαγνητικά πεδία της ηλιακής ατμόσφαιρας, ισοδύναμης με αυτήν χιλιάδων βομβών υδρογόνου. Οι εκλάμψεις εμφανίζονται κοντά στις ηλιακές κηλίδες και συχνά στη διαχωριστική γραμμή μεταξύ κηλίδων με αντίθετα μαγνητικά πεδία. Κατά την διάρκεια των ηλιακών εκλάμψεων, το περιβάλλον πλάσμα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν ακόμη και τους 20 εκατ. °C, παράγοντας έτσι μία «έκρηξη» ακτινοβολίας σ' ολόκληρο το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτά τα στρεβλωμένα μαγνητικά πεδία, ωστόσο, μπορούν να προκαλέσουν και μία εντελώς διαφορετική έκρηξη, μία έκρηξη που εκτινάσσει στο Διάστημα δισεκατομμύρια τόνους καυτού πλάσματος. Αυτές είναι οι **στεμματικές εκτινάξεις μάζας**, ένα τεράστιο νέφος μαγνητισμένου πλάσματος, το οποίο κινείται με ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 1,5 εκατ. km/h και μπορούν να φτάσουν στον πλανήτη μας σε 3–4 ημέρες.

Η συχνότητα και η ένταση όλων αυτών των ηλιακών φαινομένων αυξομειώνεται περιοδικά περίπου κάθε 11 χρόνια, διαμορφώνοντας αυτό που οι αστρονόμοι ονομάζουν **ηλιακό κύκλο**. Η βαθύτερη αιτία που συμβαίνει αυτό παραμένει άγνωστη. Με την έναρξη του ηλιακού κύκλου, ωστόσο, ο Ήλιος εισέρχεται σε μία περίοδο περιορισμένης δραστηριότητας, που ονομάζεται **ηλιακό ελάχιστο**. Όσο, όμως, πλησιάζουμε προς το **ηλιακό μέγιστο**, δηλαδή προς την κορύφωση της ηλιακής δραστη-

ριότητας, η συχνότητα και η ένταση αυτών των φαινομένων αυξάνεται όλο και πιο πολύ. Οι ηλιακές κηλίδες πολλαπλασιάζονται, οι εκλάμψεις και οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας εμφανίζονται όλο και συχνότερα και το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου αρχίζει να αλλάζει δραματικά. Η κορύφωση αυτών των ηλιακών φαινομένων σηματοδοτείται με την πλήρη αναστροφή της πολικότητας του Ήλιου. Με την έναρξη του νέου ηλιακού κύκλου, δηλαδή, τα νέα ζεύγη των ηλιακών κηλίδων που θα σχηματιστούν στην επιφάνειά του, θα έχουν αντίστροφη πολικότητα από αυτήν που είχαν προηγουμένως, ενώ το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τον βόρειο και νότιο μαγνητικό πόλο του Ήλιου.

Ευτυχώς, ο πλανήτης μας προστατεύεται από το δικό του μαγνητικό πεδίο, το οποίο λειτουργεί σαν ασπίδα, εκτρέποντας τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου και των άλλων εκφάνσεων της ηλιακής δραστηριότητας. Παρόλ' αυτά, η πίεση του ηλιακού ανέμου είναι τόσο μεγάλη, που παραμορφώνει την μαγνητική ασπίδα του πλανήτη μας. Έτσι, στην πλευρά του πλανήτη μας που βλέπει προς τον Ήλιο, το μαγνητικό πεδίο συμπιέζεται προς την επιφάνειά του, ενώ στην αντίθετη πλευρά επιμηκύνεται, σχηματίζοντας μία μαγνητική «ουρά» εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Όταν, όμως, οι ηλιακές εκρήξεις εκτινάσσουν στο Διάστημα τεράστιες ποσότητες φορτισμένων σωματιδίων, προσθέτοντας και την δική τους πίεση στην πίεση που ασκεί ο Ηλιακός άνεμος, η γήινη μαγνητόσφαιρα αποσταθεροποιείται ακόμη πιο πολύ. Κάποιες φορές η βιαιότητα αυτών των εκρήξεων είναι αδιανόητη. Μία τέτοια ηλιακή έκρηξη, που έχει καταγραφεί ποτέ, η ισχυρότερη σημειώθηκε την 1η Σεπτεμβρίου του 1859, γνωστή έκτοτε ως το **Συμβάν Carrington**, προς τιμήν του Άγγλου αστρονόμου που το παρατήρησε.



Απεικόνιση της γήινης μαγνητόσφαιρας και του τρόπου με τον οποίο παραμορφώνεται από την πίεση του ηλιακού ανέμου (φωτογρ. NASA/GSFC).

Το μέτωπο της έκρηξης, κινούμενο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 8 εκατ. km/h, έφτασε στον πλανήτη μας σε λιγότερο από ένα εικοσιτετράωρο. Οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας που απελευθερώθηκαν στην γήινη μαγνητόσφαιρα, επιτάχυναν αναρίθμητα φορτισμένα σωματίδια, τα οποία διέγειραν τα άτομα οξυγόνου και αζώτου της ατμόσφαιρας, βάφοντας τον νυχτερινό ουρανό με ένα απόκοσμο φως. Το Βόρειο και το Νότιο Σέλας, όπως είναι γνωστά αυτά τα παράξενα πέπλα φωτός, είναι συνήθως ορατά μόνο στις περιοχές που περιβάλλουν τους πόλους του πλανήτη μας. Εκείνο, όμως, το καλοκαιρινό βράδυ του 1859, το φαινόμενο ήταν ορατό μέχρι τους τροπικούς.

Το Πολικό Σέλας, δηλαδή, οφείλεται στην αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου με το μαγνητικό πεδίο της Γης, ενώ κορυφώνεται κατά την διάρκεια των ηλιακών εκρήξεων. Καθώς τα ηλιακά σωματίδια φτάνουν στην Γη μας, μεταφέρουν όλο και περισσότερη ενέργεια στο γήινο μαγνητικό πεδίο, το οποίο αποσταθεροποιείται. Στην συνέχεια, όμως, η γήινη μαγνητόσφαιρα επανέρχεται σε ισορροπία, μεταφέροντας μέρος της ενέργειας αυτής στα φορτισμένα σωματίδια που βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα της, τα οποία επιταχύνονται σε τεράστιες ταχύτητες. Τα σωματίδια αυτά, κυρίως ηλεκτρόνια, εισέρχονται στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας, ακολουθώντας τις γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου προς τις περιοχές των μαγνητικών του πόλων. Καθώς τα ηλεκτρόνια αυτά συγκρούονται με τα άτομα οξυγόνου και αζώτου της ατμόσφαιρας, τα διεγείρουν, δανείζοντάς τους λίγη από την αρχική τους ενέργεια. Στην συνέχεια, όμως, τα άτομα αυτά επανέρχονται στην πρότερη ενεργειακή τους κατάσταση, εκπέμποντας φως σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, που δίνουν στον ουρανό τα εντυπωσιακά χρώμα-

τα του Σέλαος που παρατηρούμε.

Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες καταγράφουν συστηματικά την ηλιακή δραστηριότητα, αφού η έγκαιρη προειδοποίηση για την διέλευση μίας ηλιακής καταιγίδας δεν συμβάλλει μόνο στην προστασία των τεχνητών μας δορυφόρων, αλλά προσφέρει και πολύτιμο χρόνο στους αστροναύτες που εργάζονται εκτός του Διαστημικού Σταθμού, προκειμένου να καταφύγουν στο εσωτερικό του. Παρόλο που οι ηλιακές καταιγίδες δεν είναι επικίνδυνες για την ζωή στην Γη, στην ηλεκτρονική εποχή στην οποία ζούμε, είμαστε πολύ πιο ευάλωτοι απ' ό,τι στο παρελθόν. Πραγματικά, τα ενεργητικά σωματίδια των ηλιακών καταιγίδων μπορούν να βραχυκυκλώσουν τους τηλεπικοινωνιακούς μας δορυφόρους και να απορρυθμίσουν τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που χρησιμοποιούμε.

Εκτός αυτού, οι μεγαλύτερες ηλιακές εκρήξεις μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες βλάβες στα επίγεια δίκτυα ηλεκτροδότησης, ακόμη και να οδηγήσουν σε γενικευμένο και πολύωρο μπλακάουτ, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την καθημερινότητά μας στις πολύβουες μητροπόλεις του πλανήτη μας. Είναι χαρακτηριστικό ότι μία ηλιακή έκρηξη που σημειώθηκε το 1989 βύθισε την ευρύτερη περιοχή του Κεμπέκ στο σκοτάδι για περισσότερες από 10 ώρες, επηρεάζοντας εκατομμύρια πολίτες. Μία ηλιακή έκρηξη αντίστοιχης ισχύος με εκείνη του 1859, θα προκαλούσε βλάβες δεκάδων δισεκατομμυρίων ευρώ. Ο πολιτισμός μας, που εξαρτάται πλέον τόσο πολύ από την ηλεκτρονική τεχνολογία, δεν έχει ακόμη θωρακιστεί επαρκώς, ώστε να αντεπεξέλθει στις ισχυρότερες απ' αυτές. Γι' αυτό και η έρευνα για την βαθύτερη κατανόηση του πλησιέστερου σε μας άστρου συνεχίζεται ◀

Το Βόρειο Σέλας, σε φωτογραφία που ελήφθη στην Αλάσκα (φωτογρ. U.S. Air Force, Senior Airman Joshua Strang).

## Βιβλιογραφία

- ▶ Baker, D., Ratcliff, T. *The 50 most extreme places in our solar system*, Belknap Press of Harvard University Press, c2010.
- ▶ Carlowicz, Michael J., Lopez, Ramon E. *Storms from the Sun: The Emerging Science of Space Weather*, Washington, DC: The National Academies Press, 2002.
- ▶ Coupe, R., *Το ηλιακό σύστημα*, Άγκυρα, 2008.
- ▶ Davis, N., *The Aurora Watchers Handbook*, University of Alaska Press, 1992.
- ▶ Garlick, M.A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- ▶ Golub, L., Pasachoff, J., *Nearest Star: the surprising science of our sun*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1999.
- ▶ Knipp, D. J., *Understanding space weather and the physics behind it* McGraw-Hill, 2011.
- ▶ Lang, K., Sun, *Earth and Sky*, Springer-Verlag, 1995.
- ▶ Liliensten, J., Bornarel, J., *Space Weather, Environment and Societies*, Springer, © 2006.
- ▶ Linacre, E., *Climates and weather explained*, Taylor & Francis/Routledge, 1997.
- ▶ Lopes, R. M.C., *Volcanic worlds: exploring the solar system's volcanoes*, Springer, Praxis, 2004.
- ▶ Moldwin, M., *An introduction to space weather*, Cambridge University Press, 2008.
- ▶ Phillips, K. J.H., *Guide to the sun*, Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- ▶ Potter, T. D., *Handbook of weather, climate, and water: dynamics, climate, physical meteorology, weather systems, and measurements*, Wiley/Interscience, 2003.
- ▶ Suess S.T., Tsurutani B.T. eds., *From the Sun - Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays*, American Geophysical Union, Washington, DC, USA, 1998.
- ▶ Whitehouse, D., *The sun: a biography*, Chichester, England: Wiley, 2005.
- ▶ Zirker, Jack B., *Journey from the center of the sun*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2002.
- ▶ Kamide, Y., Chian, A. (Eds.) *Handbook of the solar - terrestrial environment*, Springer, 2007.

## Συντελεστές Παράστασης

**αφήγηση**  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΙΜΑΡΔΑΝΗΣ  
**narration**  
GREGORY PATRICK KARR  
**σκηνοθεσία**  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ  
**μουσική**  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ  
**επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης**  
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ  
**διεύθυνση παραγωγής**  
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ  
**σύμβουλος παραγωγής**  
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ  
**post-production video**  
ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ  
**σχεδιασμός ήχου**  
ΑΝΤΩΝΙΑ ΒΛΑΧΟΥ  
**graphic design**  
ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ  
**τεχνικοί πλανηταρίου**  
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ  
**τεχνικοί προβολής**  
ΛΟΥΚΑΣ ΑΡΜΠΙΛΙΑΣ  
ΔΩΡΟΣ ΓΙΔΟΠΟΥΛΟΣ  
ΚΩΣΤΑΣ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ  
**AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY**  
New York, NY  
*producer*  
SARAH DOWLAND  
*executive producer*  
ROSAMOND KINZLER  
*director of engineering*  
BENJY BERNHARDT

*lead technical directors*  
DOUGLAS HARSCH  
JON PARKER  
*technical directors*  
WES HOOVER  
ADITI KAPOOR  
*camera animation*  
CARMINE LAIETTA  
DYLAN MAXWELL  
*digital artists*  
ANTHONY PAITTI  
MARTIN BOKSAR  
ALEXANDRU POSTELNICU  
**CLARK PLANETARIUM**  
Salt Lake City, Utah  
*supervisor*  
MIKE MURRAY  
*production design*  
JOE STOHEL  
*lead animator*  
DAVID MERRELL  
*animators*  
JONATHAN DANSIE  
ANDREA DOUBEK  
CODY LAVERY  
ROBERT LAWRENCE  
DAVID MEINZER  
*additional animators*  
SPENCER CHRISTOPHERSON  
DON DAVIS  
AARON McEUEEN  
**EVANS & SUTHERLAND**  
Salt Lake City, Utah  
*supervisor*  
TERENCE MURTAGH  
*executive producers*  
NOBUTAKA GOTO



KIRK JOHNSON  
*principal photography*  
MARTY SISAM  
TERENCE MURTAGH  
*additional photography*  
NICHOLAS HOLDSWORTH  
GOTO, INC.  
*animation director*  
KEN CARLSON  
*additional animation*  
DON DAVIS  
*post-production*  
BRYCE BUCHANAN  
MICHAEL DAUT

**FULLDOMELAB IMMERSIVE MEDIA**

ChiangMai, Thailand  
*supervisor*  
YURIY GAPON  
*producers*  
GEORGIY AISTOV  
MAKSIM GOGOLEV  
ALEKSANDR SAMILENKO  
*graphics*  
YULIYA TATSKO  
OLGA NAZARENKO  
*animation*  
YURIY GAPON  
*programmer*  
ALEKSANDR BEREZOVSKY

**HELIOGRAPH PRODUCTIONS**

Byron Bay, Australia  
*supervisor*  
JOHN WEILEY  
*producers*  
JOHN WEILEY  
DR. ROBERT LATHER  
*directors of photography*  
TRISTAN MILANI  
MALCOLM LUDGATE  
ROBERT EATHER  
TOM COWAN

PETER COLEMAN  
PAUL REE

**MELRAY PICTURES**

Minneapolis, Minnesota  
*supervisors*  
BARRY KIMM  
MELISSA R. BUTTS  
*executive producers*  
ED CAPELLE  
MARK KRESSER  
*cinematographers*  
DENNIS BONI  
CORY BORST  
GENE MOFFETT  
SHEILA SMITH  
*animation & visual effects*  
LUKE PLOYHAR  
DANNY ROBASHKIN  
TYSON IBELE  
KEVIN WISDOM  
ALMOG MIZRAHI  
AARON DABELOW  
*post-production supervisor*  
LYNN ANDERSON

**MIRAGE 3D STUDIO**

The Hague, Netherlands  
*supervisor*  
ROBIN SIP  
*executive producers*  
SHELLEY KUO JOHANSEN  
ROBIN SIP  
*producer*  
GENE CHIU  
*actors*  
KIMME UTSI (Grandfather)  
ANDRE NYHEIM (Grandchild)  
*camera*  
ROBIN SIP  
*animation*  
PETER GEERTS  
MATHIJS BRUSSAARD

JOHANNES BEVELANDER  
STIJN VAN KOOPEREN

*modeling*  
RICK VAN REENEN  
JEROEN TANIS

**NATIONAL GEOGRAPHIC ENTERTAINMENT**

Washington, D.C.  
*vfx supervisor*  
ANTOINE DURR  
*producer*  
LAWRENCE GAY  
JINI DURR  
*executive producer*  
LISA TRUITT  
*co-procucer*  
ANDY YAMADA  
*effects technical directors*  
JOHN ARBALLO  
DANIELE COLAJACOMO  
CRAIG "X-RAY" HALPERIN  
DAVID KOESTER  
MICHAEL S. LAFAVE  
BENJAMIN LAIDLAW  
CHRISTOPHER ROMANO  
*compositing*  
RIMAS JUCHNEVICIUS

**SKY-SKAN**

Nashua, New Hampshire  
*supervisor*  
JACK WHITE  
*executive producer*  
STEVEN T. SAVAGE  
*producers*  
ANNETTE SOTHERAN-BARNETT  
SHAWN LAATSCH  
*time-lapse*  
STEVE SAVAGE  
KIRK PU'UOHOU-PUMMILL  
*animation*  
JOE JANCICS  
CHRISTOPHER PHILLIPS  
MICHAEL ZOLOTNITSKI

*composer*  
KEVIN BEAULIEU

**SPITZ CREATIVE MEDIA**

Chadds Ford, Pennsylvania  
*supervisor*  
THOMAS LUCAS  
*producers*  
MIKE BRUNO  
DONNA COX  
ROBERT PATTERSON  
BRADLEY THOMPSON  
*animation & vfx production*  
THEO A. ARTZ  
BILL CARR  
INNA LEONOV-KENNY  
BRADLEY THOMPSON  
WES THOMPSON  
*visualizations*  
GORAN STRAND  
STEVEN REILLY  
CASEY JOHNSON  
DAVE DENEEN  
WES THOMPSON  
ISABELLA BRUNO  
LEE PARKER  
CLINT WEISBROD

**fulldome & post-production video services**

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

**post-production audio services**

STARGAZER AUDIO  
Ιδρύματος Ευγενίδου

**θερμές ευχαριστίες**

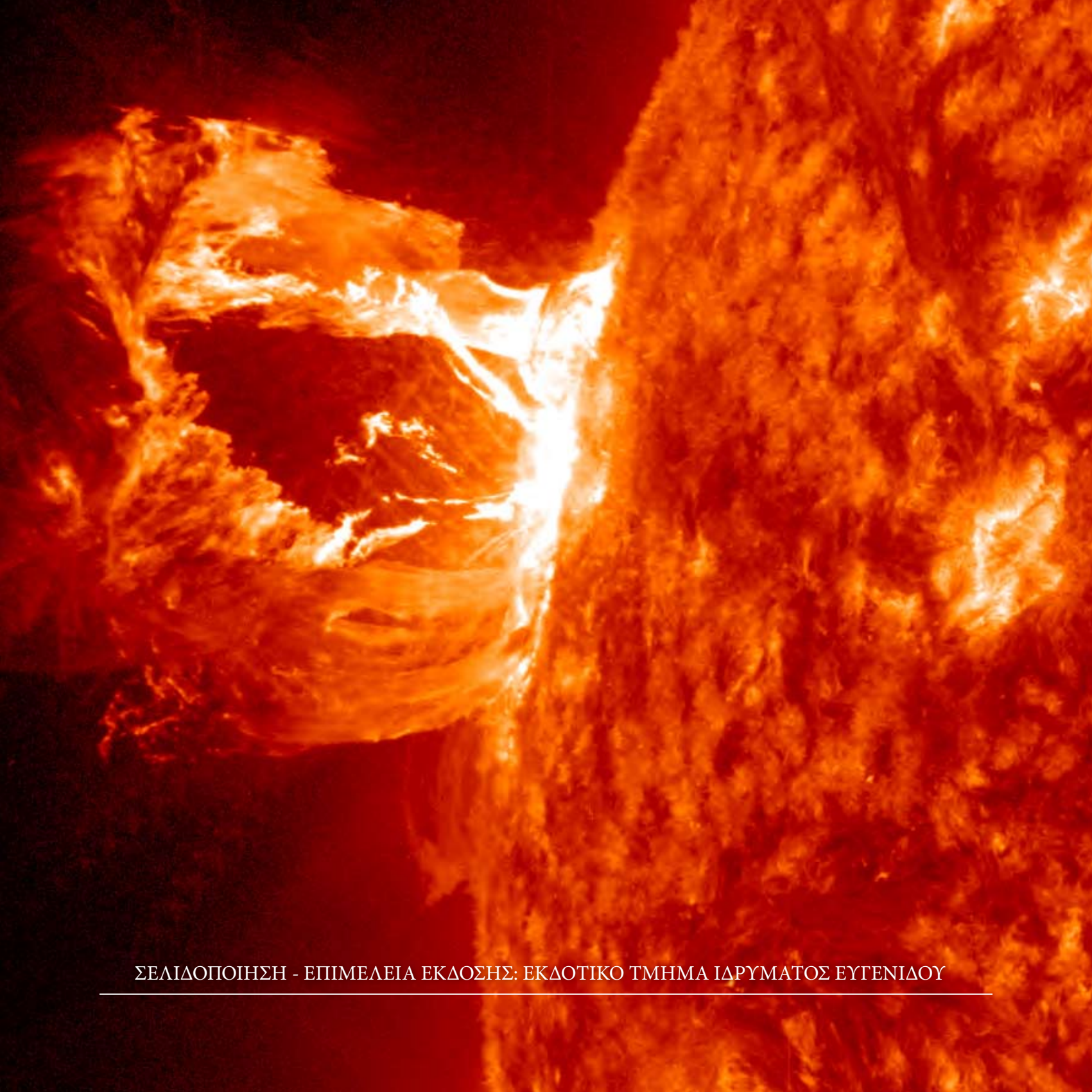
ESA  
NASA

**παραγωγή**



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

© 2016



ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

---