



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Πού οφείλεται η αέναη μετατόπιση των τεκτονικών πλακών, η οποία μεταβάλλει σε βάθος χρόνου την επιφάνεια του πλανήτη μας; Πώς προκαλούνται οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις; Ποιοι παράγοντες διαμορφώνουν και επηρεάζουν το γήινο κλίμα και πώς σχετίζονται με το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου; Η παράσταση του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, με τίτλο «Ο Ζωντανός Πλανήτης», προσφέρει εμπειριστατωμένα και θεαματικά τις απαντήσεις σε αυτά και σε αρκετά άλλα ερωτήματα, που σχετίζονται με τον βομβαρδισμό του πλανήτη μας από αστεροειδείς και κομήτες, όπως επίσης και με τις ηφαιστειακές εκρήξεις σε άλλους κόσμους του Ηλιακού Συστήματος.



Οδηγός Παράστασης

Ο Ζωντανός πλανήτης





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΕΩΝ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

Ο ζωντανός πλανήτης

ΔΙΟΝΥΣΗ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΥ
Διευθνή Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΘΗΝΑ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

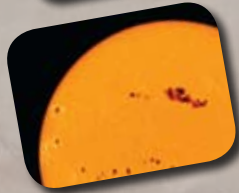


Πρόλογος 4

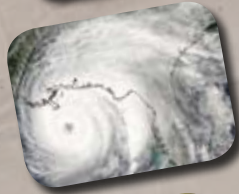
1. Εισαγωγή: «Γένεση»..... 7



2. Η Γήινη Ατμόσφαιρα, ο Καιρός και το Κλίμα 13



3. Η Προστασία της Μαγνητόσφαιρας 23



4. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου 33



5. Τεκτονικές Πλάκες και Σεισμοί..... 43



6. Τα Ηφαίστεια και το Δακτυλίδι της Φωτιάς 53



7. Κάτω από τα πέπλα της Αφροδίτης 61



8. Διαστημικά Ηφαίστεια 69



9. Διαστημικοί Εισβολείς..... 77



10. Επίλογος: «Κατακλυσμός;»..... 85

Ενδεικτική Βιβλιογραφία 94

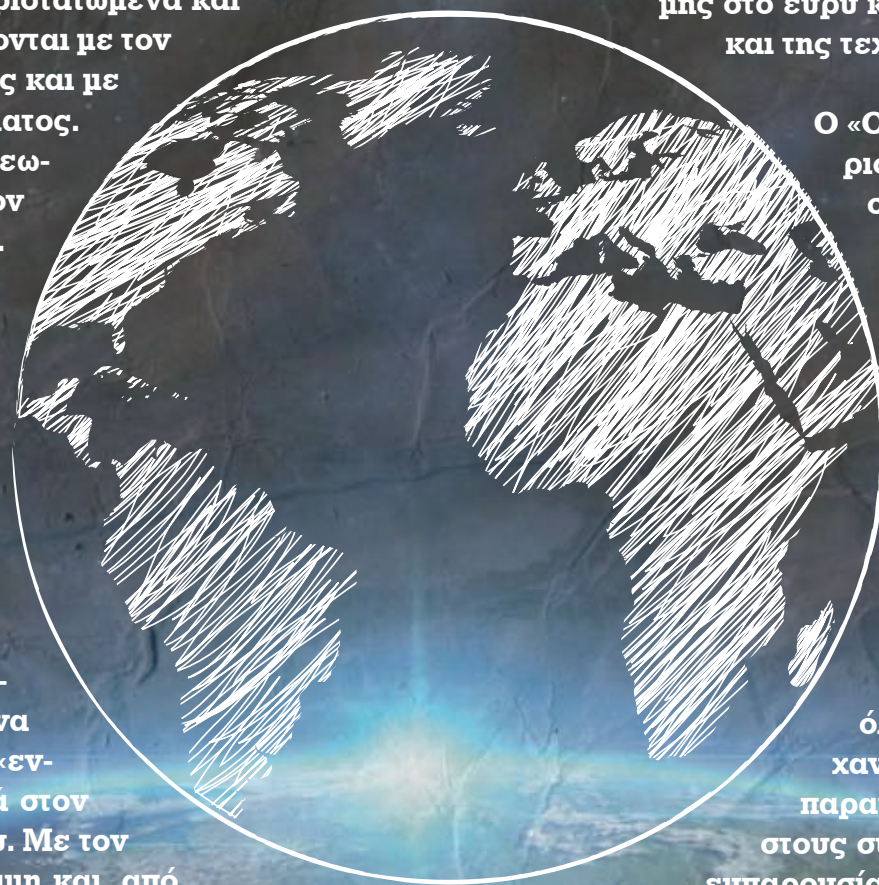
Συντελεστές της Παράστασης..... 96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Πού οφείλεται η αέναη μετατόπιση των τεκτονικών πλακών, η οποία μεταβάλλει σε βάθος χρόνου την επιφάνεια του πλανήτη μας; Πώς προκαλούνται οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις; Ποιοι παράγοντες διαμορφώνουν και επηρεάζουν το γήινο κλίμα και πώς σχετίζονται με το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου; Η παράσταση του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, με τίτλο «Ο Ζωντανός Πλανήτης», προσφέρει εμπειριστατωμένα και θεαματικά απαντήσεις σε αυτά και σε αρκετά άλλα ερωτήματα, που σχετίζονται με τον βομβαρδισμό του πλανήτη μας από αστεροειδείς και κομήτες, όπως επίσης και με τις ηφαιστειακές εκρήξεις σε άλλους κόσμους του Ηλιακού μας Συστήματος. Δεν πρέπει, άλλωστε, να ξεχνάμε ότι χάρη στις πολύπλοκες βιοχημικές, γεωλογικές και κλιματολογικές διεργασίες δισεκατομμυρίων ετών, σ' αυτόν τον «ευλογημένο» από τη φύση «βράχο», εμφανίσθηκε και εξελίχθηκε η ζωή. Σήμερα, με τη βοήθεια των εκατοντάδων δορυφόρων που θέσαμε σε τροχιά γύρω του, συνεχίζουμε να αποκρυπτογραφούμε τα μυστικά του, ανακαλύπτοντας τις απαντήσεις στην ατμόσφαιρα που τον περιβάλλει, σε κάθε ωκεανό και ήπειρο, βαθιά στο εσωτερικό του, αλλά και στα πέρατα του Ηλιακού Συστήματος.

Όπως ήταν εμφανές στους πάνω από 3.000.000 θεατές που έχουν παρακολουθήσει τα τελευταία 10 χρόνια τις ψηφιακές μας παραστάσεις, το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο είναι ένα μέσο ψυχαγωγικής επιμόρφωσης, το οποίο, με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας, δεν έχει πλέον κανέναν αντίζηλο. Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας σε σχέση με τα άλλα σχετικά συστήματα είναι η δυνατότητα να δημιουργεί την αίσθηση της ενσωμάτωσης στον εικονικό χώρο. Η ιδέα της «ενσωμάτωσης» είναι ακριβώς η αίσθηση ότι ο θεατής βρίσκεται πραγματικά στον προβαλλόμενο κόσμο, περιβαλλόμενος από τις εικόνες και τους ήχους του. Με τον τρόπο αυτόν το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο μπορεί να προσφέρει ισοδύναμη και, από κάποιες πλευρές, ανώτερη εμπειρία από την περιήγηση στον πραγματικό χώρο.

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, περιλαμβάνει όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει,



προκειμένου να αφηγηθεί την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Σήμερα θεωρούμε τον ρόλο του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου ιδιαίτερα ζωτικό, αφού έχει ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της επιστημονικής επιμόρφωσης του κοινού της χώρας μας. Είναι ένα επιστημονικό κέντρο με τη σημαντική αποστολή να γνωστοποιήσει τα επιτεύγματα της επιστήμης στο ευρύ κοινό και να το διαφωτίσει σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογίας.

Ο «Οδηγός» αυτός, όπως και οι προηγούμενοι, αποσκοπεί στην παρουσίαση περισσότερων πληροφοριών απ' όσες θα ήταν δυνατόν να παρουσιαστούν σ' ένα σενάριο 40 λεπτών, αν και, ακόμη κι εδώ, δεν είναι δυνατόν να δώσουμε όλες τις πιθανές απαντήσεις και πληροφορίες που ίσως κάποιος θα ήθελε να αποκτήσει γύρω από τα διάφορα θέματα που παρουσιάζονται. Παρ' όλα αυτά, ελπίζουμε ότι το περιεχόμενό του θα βοηθήσει τους επισκέπτες μας να αποκομίσουν μεγαλύτερα οφέλη από την παρακολούθηση της νέας μας παράστασης, αφού ο ρόλος του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου είναι ιδιαίτερα ζωτικός για την εκλαΐκευση της επιστήμης στη χώρα μας.

Κλείνοντας, θέλω να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Αλέξη Δηληβοριά για τη βοήθειά του στη συγγραφή του «Οδηγού» αυτού, καθώς επίσης και για την επιμέλεια που είχε στην επιλογή των φωτογραφιών και για τις εξηγηματικές τους λεζάντες. Ευχαριστίες οφείλω τέλος και σε όλους του φίλους-συνεργάτες της δημιουργικής μας ομάδας που συμμετείχαν στην διαμόρφωση της νέας μας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος «Οδηγού», καθώς επίσης και στους συναδέλφους του Εκδοτικού Τμήματος, οι οποίοι δημιούργησαν μια ακόμη ευπαρουσίαστη έκδοση.

Διονύσης Π. Σιμόπουλος
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



1. Εισαγωγή: «Γένεση»

Πριν από πέντε δισεκατομμύρια χρόνια η περιοχή αυτή του Διαστήματος ήταν γεμάτη από άμορφα, πολύχρωμα σύννεφα αερίων και σκόνης. Ύλη διασκορπισμένη από κοινά άστρα ή εκτοξευμένη στην περιοχή αυτή από απόμακρα εκρηγνύόμενα άστρα. Σύννεφα αερίων και σκόνης που πλανιόνταν στο κενό και αναμειγνύονταν με άλλα σύννεφα σχηματίζοντας έτσι θύλακες μεγαλύτερης πυκνότητας, που προσέλκυαν όλο και περισσότερη ύλη με τη δύναμη της βαρύτητάς τους.

Εκατομμύρια χρόνια πέρασαν έως ότου κάποια μικρή αστάθεια, που ίσως ήταν η έκρηξη ενός κοιτινού άστρου, τάραξε την ισορροπία του νεφελώματος, με αποτέλεσμα την συμπύκνωσή του προς το κέντρο. Καθώς η βαρύτητα έσπρωχνε τα άτομα όλο και πιο κοντά το ένα στο άλλο, οι συγκρούσεις τους παρήγαν θερμότητα. Βαθιά μέσα στα σύννεφα αυτά η θερμοκρασία ανέβαινε αργά αλλά σταθερά. Σ' ένα πολύ μικρό τμήμα του νεφελώματος αυτού η βαρύτητα επενεργούσε και δούλευε ακατάπαυστα συγκεντρώνοντας όλο και περισσότερη ύλη για να σχηματίσει αργότερα ένα απλό κτρινωπό άστρο, που μια μέρα θα το ονόμαζαν **Ήλιο**.

Τα άτομα του νεφελώματος κινούνταν με χαώδη τρόπο, προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο συνδυασμός των κινήσεών τους, όμως, έδωσε στο σύννεφο αυτό μια μικρή, αλλά συγκεκριμένη φορά περιστροφής. Εκεί που η ταχύτητα της περιστροφής ήταν μεγάλη, τα άτομα κρατήθηκαν στις τροχιές τους, χωρίς η βαρύτητα να μπορέσει να τα τραβήξει προς το κέντρο, όπου σχηματιζόταν το άστρο. Έτσι, το ακανόνιστο διαστημικό σύννεφο πήρε σιγά-σιγά τη μορφή ενός περιστρεφόμενου δίσκου. Από τη μία άκρη στην άλλη, ο πρωτοπλανητικός αυτός αεριώδης δίσκος είχε διάμετρο δύο περίπου τρισεκατομμυρίων χιλιομέτρων, και με την πάροδο του χρόνου στα εξωτερικά του στρώματα δημιουργήθηκαν μικρότερες δίνες και ζώνες, σαν τους κύκλους που σχηματίζει ένα βότσαλο όταν πέφτει στα ήσυχα νερά μιας λίμνης.

Στο μεταξύ ο πυρήνας του νέφους είχε φτάσει τη θερμοκρασία των 15 εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου. Οι πυρηνικές αντιδράσεις είχαν ήδη αρχίσει να μεταστοιχειώνουν το αέριο υδρογόνο σε αέριο

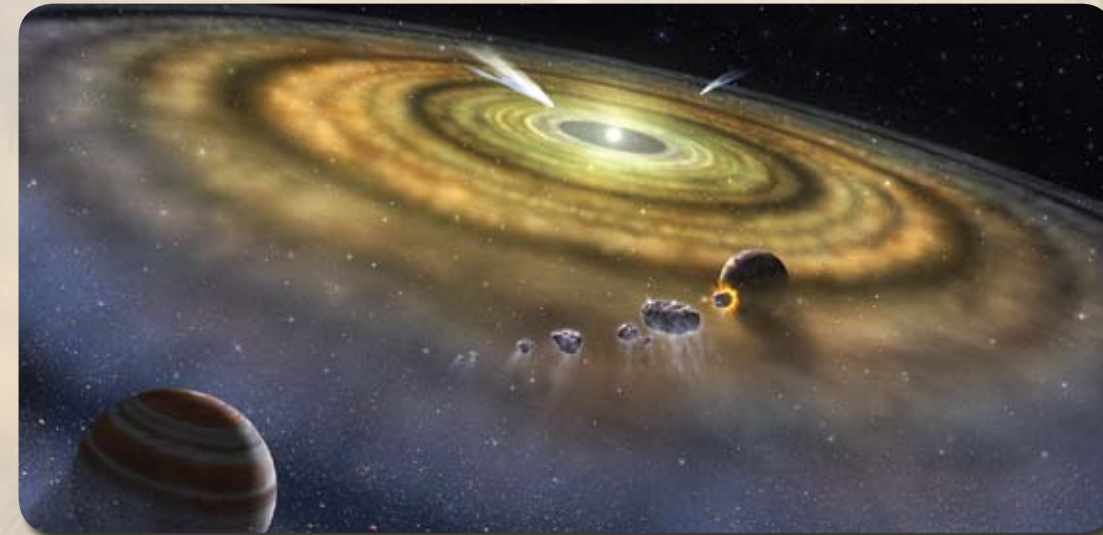
ήλιο και να μετατρέπουν, κάθε δευτερόλεπτο, 4 εκατομμύρια τόνους ύλης σε ενέργεια. Ο Ήλιος είχε πάρει πια τη θέση του ανάμεσα στα άλλα άστρα του Γαλαξία μας, ενώ οι διάφορες ζώνες υλικών που είχαν σχηματιστεί γύρω του, άρχισαν σιγά-σιγά να συμπύσσονται και να συμπυκνώνονται σχηματίζοντας μικρές και μεγάλες υπέρθερμες αεριώδεις σφαίρες, που έσερναν πίσω τους, σαν τεράστιοι κομήτες, τα υπολείμματα των αερίων, από τα οποία σχηματίστηκαν.

Από τα ακρισιμοποίητα υλικά σκόνης και αερίων που περιέβαλλαν τον Ήλιο δημιουργήθηκαν μικρότερα σώματα. Τα σχηματιζόμενα σώματα δεν απέκτησαν ποτέ την κατάλληλη μάζα για να λάμπουν κάποτε σαν άστρα. Έτσι η διόγκωσή τους σταμάτησε, παρέμειναν σκοτεινά και έγιναν πλανήτες. Παρ' όλα αυτά, τα αέρια και η σκόνη που απέμειναν, δεν κατέληξαν όλα στους πλανήτες και τους δορυφόρους τους. Δισεκατομμύρια κομμάτια βράχων (οι πλανητοειδείς ή αστεροειδείς) διέφυγαν από τη σύλληψη των πλανητών.

Δεκάδες εκατομμύρια χρόνια πέρασαν από τότε, και οι υπερθερμασμένες σφαίρες των πλανητών άρχισαν να κρυώνουν. Σιγά-σιγά το ηλιακό φως σαν μανιασμένος άνεμος απομάκρυνε τα υπολείπόμενα αέρια, ενώ τα υλικά που είχαν παραμείνει σε τροχιά γύρω από τους πλανήτες συμπυκνώθηκαν σχηματίζοντας τους δορυφόρους τους. Κοντά στον Ήλιο τα υλικά ήταν λιγότερα, και έτσι σχηματίστηκαν μικρότεροι πλανήτες. Πιο έξω, οι μεγαλύτερες μάζες των πλανητών κατόρθωσαν να συγκρατήσουν σημαντικό μέρος από το υδρογόνο και ήλιο που εμπεριείχε το γενεσιουργό νεφέλωμα, και μετατράπηκαν έτσι σε αεριώδεις γίγαντες.

Πριν από 4,2 δισεκατομμύρια χρόνια, μια πύρινη πλανητική σφαίρα, στο μέγεθος του Άρη, συγκρούστηκε με τη Γη μας και αφομοιώθηκε από αυτήν, διασκορπίζοντας συγχρόνως στο Διάστημα τεράστιες ποσότητες διάπυρων υλικών, που μέσα σε 24 ώρες ενώθηκαν σχηματίζοντας τον αρχέγονο δορυφόρο μας. Επί εκατοντάδες εκατομμύρια

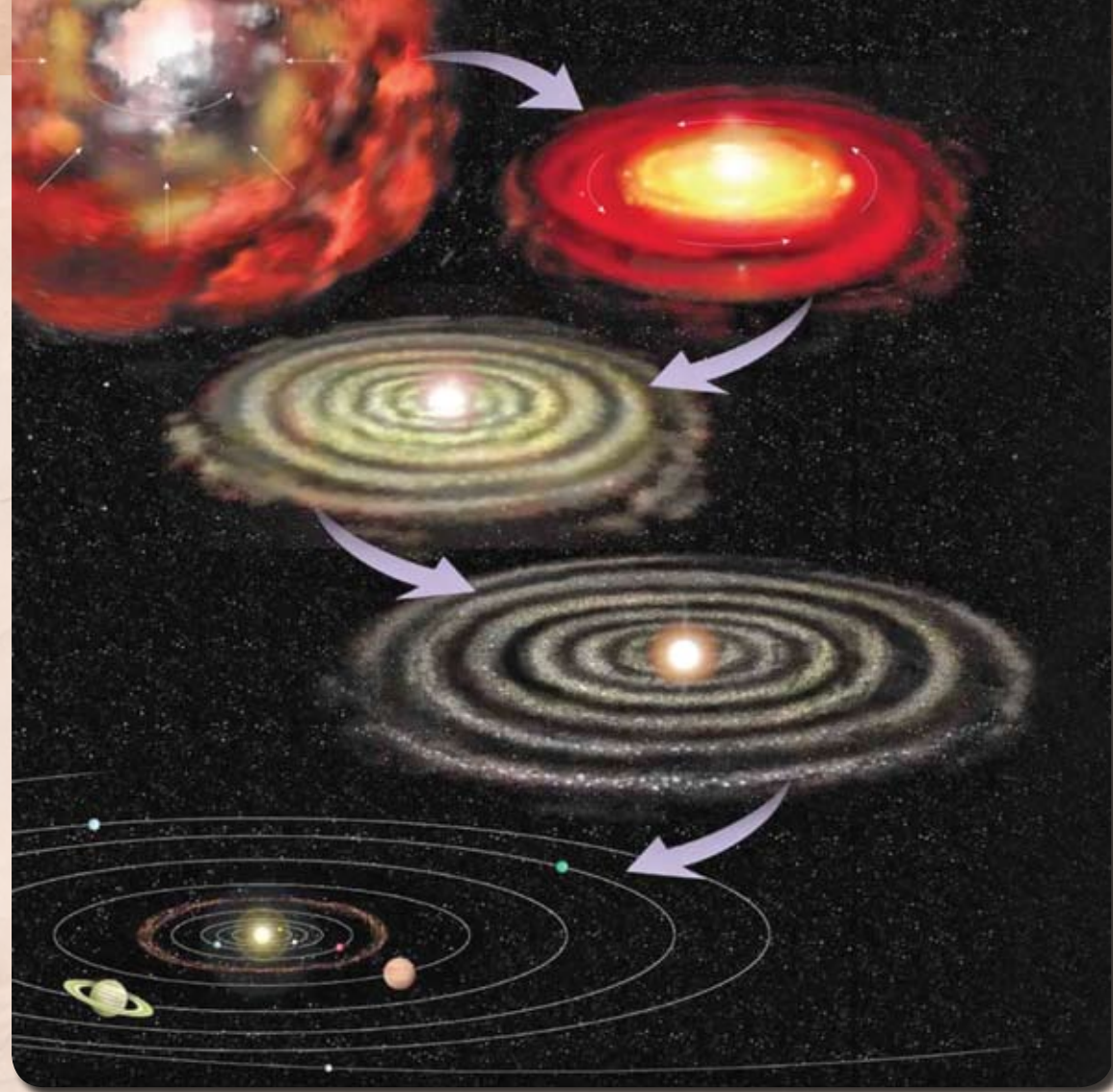
χρόνια μετά τη δημιουργία της Σελήνης ένας συνεχής βομβαρδισμός μετεωριτών χτυπούσε αλύπτητα την συνεχώς ψυχόμενη επιφάνειά της, σχηματίζοντας χιλιάδες κρατήρες. Ο βομβαρδισμός, όμως, αυτός είχε καταλαγιάσει πλέον όταν, πριν από 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια η επιφάνεια του δορυφόρου μας άρχισε να καλύπτεται με λάβα



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του πρωτοπλανητικού δίσκου.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του σχηματισμού της Σελήνης (American Museum of Natural History).



Τα κύρια στάδια σχηματισμού του Ηλιακού Συστήματος.

που ανέβλυζε ήρεμα στην επιφάνεια από το εσωτερικό του, γεμίζοντας με νέα υλικά τους περισσότερους κρατήρες που είχαν σχηματιστεί, και δημιουργώντας έτσι τις τεράστιες πεδιάδες που σήμερα αποκαλούμε «θάλασσες». 800 εκατομμύρια χρόνια αργότερα όλες οι «θάλασσες» είχαν σχηματιστεί. Έκτοτε, και εκτός από τη σύγκρουση ορισμένων μικρών μετεωριτών, τίποτε δεν έχει ταραξεί την επιφάνεια της Σελήνης.

Εκατομμύρια χρόνια πέρασαν από τότε και η Γη άρχισε να κρυώνει. Τεράστιες χαράδρες παραμόρφωναν την επιφάνεια, ενώ οι εκρήξεις των ηφαιστειών υπενθύμιζαν τη μεγάλη θερμότητα που ήταν φυλακισμένη στο εσωτερικό της. Μαζί με τη λάβα των ηφαιστειακών εκρήξεων, τεράστιες ποσότητες αερίων αναδύθηκαν στην επιφάνεια. Άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, μεθάνιο, και υδρατμοί περιέβαλαν τη Γη σχηματίζοντας την

πρώτη της ατμόσφαιρα, μian ατμόσφαιρα τελείως διαφορετική απ' αυτήν που γνωρίζουμε σήμερα.

Την εποχή εκείνη η επιφάνεια του νεογέννητου πλανήτη μας βρίσκονταν σε θερμογενή, ημίρρευστη κατάσταση. Από τον ουρανό, χιλιάδες μικρά και μεγάλα μετέωρα, βομβάρδιζαν συνεχώς από την μια άκρη στην άλλη, τον νεαρό μας πλανήτη. Τα απομεινάρια αυτά της αρχικής δημιουργίας, γεμάτα από πλούσια κοιτάσματα οργανικών μορίων και παγωμένου νερού, εμπλούτισαν ακόμη περισσότερο τη χημική αφθονία της πρωτογενούς Γης μας. Η επιφάνεια της Γης μετατράπηκε σε πεδίο μάχης γεμάτο συντρίμια, βάραθρα και κρατήρες επί κρατήρων. Αλλά και κάτω από την επιφάνειά της η Γη άλλαζε. Διάφορα ραδιενεργά στοιχεία, που σήμερα βρίσκονται αιχμαλωτισμένα στο εσωτερικό της, απελευθέρωναν πυρηνικά σωματίδια, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο θερμότητα ικανή να λιώσει τα έγκατά της. Από τις σχισμές του φλοιού, τα λιωμένα βράχια άνοιγαν δρόμο προς τα πάνω. Ξεπιδώντας στην επιφάνεια σαν ηφαίστεια διασκόρπιζαν ολόγυρά τους λάβα και καυτά αέρια αλλάζοντας το συνεχώς τοπίο.

Μαζί με τη λάβα των ηφαιστειακών εκρήξεων, τεράστιες ποσότητες αερίων βγήκαν στην επιφάνεια της Γης σχηματίζοντας την πρώτη της ατμόσφαιρα. Κι έτσι βαθμιαία, σε μια περίοδο δεκάδων εκατομμυρίων χρόνων, όπως προαναφέρθηκε η Γη άρχισε να κρυώνει και οι πυκνές ποσότητες ατμού που σκέπαζαν τον πλανήτη μας δημιούργησαν τις πρώτες βροχές. Οι βροχές συνεχίστηκαν κατακλυσμιαίες για εκατομμύρια χρόνια μέχρις

ότου η επιφάνεια της Γης είχε κρυώσει αρκετά, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό των πρώτων θαλασσών και ωκεανών.

Εξακόσια, περίπου, εκατομμύρια χρόνια μετά τη γέννηση της Γης, μέσα στις κλιαρές θάλασσες και τους ωκεανούς άρχισε να δημιουργείται κάτι τόσο μυστηριώδες όσο και υπέροχο. Οι υπεριώδεις ακτινοβολίες του Ήλιου και οι συνεχείς ηλεκτρικές εκκενώσεις των κεραυνών, βοήθησαν σιγά-σιγά τα διάφορα χημικά συστατικά που έπεσαν με τη βροχή να δημιουργήσουν όλο και πιο πολύπλοκες χημικές ενώσεις, σχηματίζοντας έτσι αμινοξέα και πρωτεΐνες. Τα χημικά αυτά συστατικά ενώθηκαν σε τυχαίους συνδυασμούς άπειρες φορές, έως ότου, πριν από 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, δημιουργήθηκε ένα μόριο που μπορούσε να αντιγράψει τον εαυτό του: ήταν ο πρώτος ζωντανός οργανισμός που γεννήθηκε στη Γη.

Στα πρώτα στάδια η εξέλιξη της ζωής ήταν αργή. Επί 2 δισεκατομμύρια χρόνια η διαδικασία της αναπαραγωγής των πρωτόγονων βακτηριδίων συνεχιζόταν, έως ότου τα βακτηρίδια έμαθαν να χρησιμοποιούν το ηλιακό φως και το διοξείδιο του άνθρακα για τροφή και να αποβάλλουν το οξυγόνο κατά την πρώτη φωτοσυνθετική διαδικασία. Το αποβαλλόμενο οξυγόνο άλλαξε σιγά-σιγά την ατμόσφαιρα της Γης, σχηματίζοντας συγχρόνως ένα λεπτό στρώμα όζοντος, που παρεμπόδιζε την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου να φτάσει στην επιφάνεια, δίνοντας έτσι την ευκαιρία να γεννηθούν οι πρώτες πολυκύτταρες μορφές ζωής πριν από 700 περίπου εκατομμύρια χρόνια.





2. Η Γήινη Ατμόσφαιρα, ο Καιρός και το Κλίμα

Καθημερινά, ο καιρός σε κάθε περιοχή του πλανήτη μεταβάλλεται. Η θερμοκρασία, η πίεση, η ηλιοφάνεια και η νεφοκάλυψη, η βροχή και το χιόνι, με δυο λόγια όλες εκείνες οι ατμοσφαιρικές «μεταβλητές» που επικρατούν σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και σε μια συγκεκριμένη περιοχή του πλανήτη, διαμορφώνοντας τις καιρικές συνθήκες, δεν είναι ποτέ οι ίδιες. Το κλίμα, από την άλλη, δεν είναι παρά ο μέσος όρος των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε μεγάλο βάθος χρόνου. Όπως γνωρίζουμε σήμερα, με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου έχουν σημειωθεί σημαντικές και αρκετές φορές ακραίες κλιματικές μεταβολές, ενώ σύμφωνα με τα ως τώρα δεδομένα, τα τελευταία χρόνια λαμβάνει χώρα μία ακόμη παγκόσμια κλιματική αλλαγή, που σε αντίθεση με τις προηγούμενες, δεν έχει φυσικά αίτια, αλλά είναι ανθρωπογενής.

Το κλίμα δεν είναι το ίδιο στις διάφορες περιοχές του πλανήτη μας και μεταβάλλεται ανάμεσα σε δύο άκρα: στο θερμό και υγρό κλίμα των τροπικών και στο παγωμένο και ξηρό κλίμα της Αρκτικής. Σε γενικές γραμμές, όμως, ο πλανήτης μας είναι «ευλογημένος» από τη Φύση, διαθέτοντας ένα σχετικά ήπιο κλίμα, που επέτρεψε, μεταξύ άλλων, να πραγματοποιηθεί και το μεγάλο άλμα, εκείνο της ζωής. Στη γειτονική μας Αφροδίτη, αντίθετα, οι επιφανειακές θερμοκρασίες αγγίζουν τους 465°C, αρκετά υψηλές ώστε να μπορούν να λιώσουν ακόμη και τον μόλυβδο, ενώ στον Άρη, τον τέταρτο και τελευταίο από τους βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος, η μέση επιφανειακή θερμοκρασία πέφτει στους -63°C.

Τι είναι αυτό που καθιστά το γήινο περιβάλλον τόσο ήπιο και κατά συνέπεια τόσο ευνοϊκό για την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής, σε αντίθεση με την «κόλαση» της Αφροδίτης και την παγωνιά του Άρη; Αναμφίβολα, η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει τη Γη, η οποία αποτελείται κατά κύριο λόγο από άζωτο και οξυγόνο, καθώς και άλλα αέρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μεθάνιο, όζον, υδρατμούς κ.λπ., είναι μία από τις ουσιαστικότερες διαφορές της από τους άλλους πλανήτες. Η πρώτη πυκνή ατμόσφαιρα του πλανήτη μας σχηματίστηκε στα πρώτα στάδια της εξέλιξής του, χάρη στους υδρατμούς και τα αέρια που διέφευγαν από το εσωτερικό του με τις ηφαιστειακές εκρήξεις ή που απελευθερώνονταν κατά τη συντριβή κομητών και αστεροειδών στην επιφάνειά του. Συνολικά η γήινη ατμόσφαιρα εκτείνεται σε ύψος που φτάνει τα 10.000 km και αποτελείται από 5 στοιβάδες: την **τροπόσφαιρα**, τη **στρατόσφαιρα**, τη **μεσόσφαιρα**, τη **θερμόσφαιρα** και την **εξώσφαιρα**.

Η τροπόσφαιρα, που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης στο ύψος των 10-15 km (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος), είναι η κατώτερη στοιβάδα της γήινης ατμόσφαιρας, η οποία εμπεριέχει το 85% της συνολικής της μάζας, καθώς και το 99% της συνολικής υγρασίας, ενώ σ' αυτήν εκδηλώνεται η συντριπτική πλειονότητα των καιρικών φαινομένων. Με σύσταση που αποτελείται κυρίως από οξυγόνο και άζωτο, αναμειγμένη με «αέρια του θερμοκηπίου», όπως, υδρατμούς, CO₂, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου κ.ά., η τροπόσφαιρα συμβάλλει καταλυτικά στη «φυσική» θέρμανση του πλανήτη μας. Πάνω από την τροπόσφαιρα και σε ύψος που φτάνει τα περίπου 50 km εκτείνεται η στρατόσφαιρα. Εδώ εκτείνεται και η στοιβάδα του όζοντος, η φυσική «ασπίδα» του πλανήτη μας, που μας προστατεύει από τις βλαβερές συνέπειες της ακτινοβολίας του Ήλιου. Η μεσόσφαιρα, που ακολουθεί, είναι η στοιβάδα της ατμόσφαιρας για την οποία γνωρίζουμε τα λιγότερα, καθώς μετεωρολογικά μπαλόνια και αεριοθούμενα δεν φτάνουν σ' αυτό το ύψος, ενώ οι τεχνητοί δορυφόροι κινούνται σε μεγαλύτερες τροχιές, ξεκινώντας από την επόμενη στοιβάδα, τη θερμόσφαιρα. Η εξώσφαιρα, τέλος, η τελευταία και πλέον αραιή στοιβάδα της γήινης ατμόσφαιρας, είναι η ζώνη μετάβασης προς το Διάστημα.

Η «κλιματική μηχανή» της Γης ενεργοποιείται από τον Ήλιο και ειδικότερα από τον άνισο τρόπο με τον οποίο τη θερμαίνει. Εν μέρει, δηλαδή, από την αέναν εναλλαγή της μέρας με τη νύχτα και της μιας εποχής με την άλλη, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την κλίση του άξονα περιστροφής της. Επειδή στην περιοχική εκατέρωθεν του Ισημερινού οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν περισσότερο



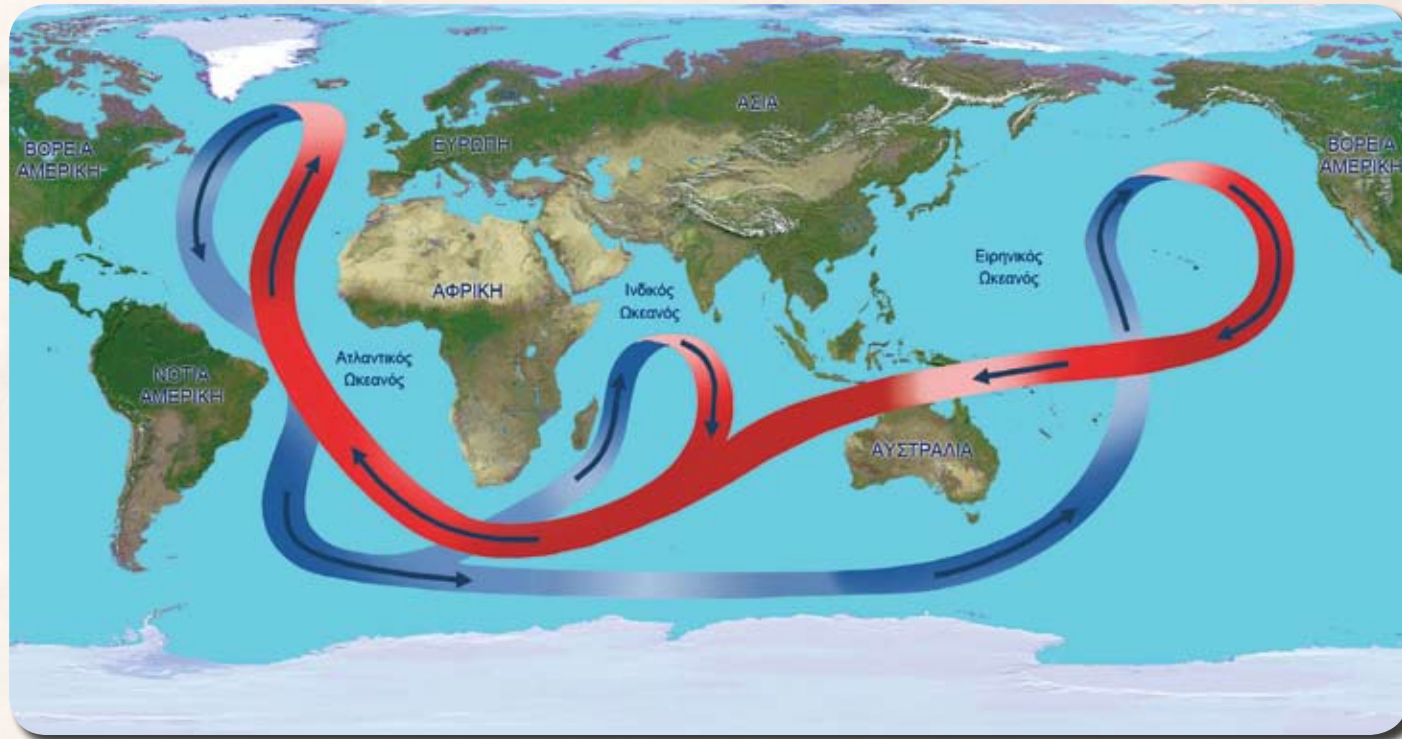
Οι βραχώδεις πλανήτες Άρης [φωτογρ. NASA, J. Bell (Cornell U.), M. Wolf (SSI)], Γη (φωτογρ. NASA/NOAA) και Αφροδίτη (φωτογρ. NASA/JPL).

κάθετα προς την επιφάνεια της Γης από οπουδήποτε αλλού, ο αέρας και τα επιφανειακά στρώματα του νερού των ωκεανών θερμαίνονται περισσότερο, με αποτέλεσμα ο θερμαινόμενος αέρας, καθώς και οι υδρατμοί που προκαλούνται από την εξάτμιση των νερών, να ανέρχονται προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Εκεί ψύχονται, ενώ οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε σύννεφα, για να πέσουν εντέλει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή της βροχής ή του χιονιού.

Η άνιση, όμως, κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, εκτός από την εξάτμιση των νερών, προκαλεί και τους ανέμους. Ο άνεμος δεν είναι τίποτε άλλο από αέρας σε κίνηση, που προκαλείται εξαιτίας της διαφορετικής ατμοσφαιρικής πίεσης από τη μια περιοχή στην άλλη. Επειδή ο θερμός αέρας έχει χαμηλότερη πυκνότητα, έχει την τάση να

ανέρχεται στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τον ψυχρό αέρα, που «βυθίζεται» προς το έδαφος. Έτσι, ο αέρας που βρίσκεται στους τροπικούς θερμαίνεται περισσότερο από την ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου ανέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα, κινούμενος προς τους πόλους, όπου ψύχεται, για να επιστρέψει προς τον ισημερινό. Η περιστροφή της Γης, όμως, «περιπλέκει» αυτή την ροή των ανέμων προς τους πόλους, εκτρέποντάς τους προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο.

Οι άνεμοι, με τη σειρά τους, ενεργοποιούν τα επιφανειακά ωκεάνια ρεύματα, όπως το Γκολφ Στρημ, που μεταφέρει τα θερμά νερά των τροπικών προς τις βόρειες θάλασσες, όπου εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών και των πάγων, ψύχονται και η περιεκτικότητά τους σε αλάτι αυξάνει. Γι'



Σχηματική αναπαράσταση της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας, που συμβάλλει στη ρύθμιση του κλίματος. Το μπλε χρώμα αντιστοιχεί σε βαθιά ψυχρά ρεύματα, ενώ το κόκκινο σε επιφανειακά θερμά ρεύματα (NASA/JPL).

αυτό και βυθίζονται στον βόρειο Ατλαντικό, σχηματίζοντας ένα βαθύ παγωμένο ρεύμα που ρέει προς τα νότια. Το ρεύμα αυτό, όσο κινείται προς τον Ισημερινό, σταδιακά θερμαίνεται και ανέρχεται προς την επιφάνεια, για να καταλήξει στην Ανταρκτική. Εκεί, ξαναψυχραίνεται, βυθίζεται σε μεγαλύτερα βάθη και, αφού περιπλεύσει την παγωμένη ήπειρο, χωρίζεται στα δύο: ένα τμήμα του κινείται βόρεια προς τον Ινδικό ωκεανό και ένα άλλο συνεχίζει ανατολικά προς τον Ειρηνικό.

Τα δύο αυτά ωκεάνια ρεύματα, όσο κινούνται προς θερμότερα κλίματα, θερμαίνονται, και ανε-

βαίνουν εκ νέου προς την επιφάνεια, προτού «σμίξουν» ξανά, για να ολοκληρώσουν τον κύκλο τους στον βόρειο Ατλαντικό. Αυτή η ωκεάνια κυκλοφορία, μέσα από την οποία μεταφέρεται θερμότητα σ' ολόκληρο τον πλανήτη, συμβάλλει καθοριστικά στη ρύθμιση του κλίματος, «καθαρίζοντας» παράλληλα την ατμόσφαιρα από το CO₂ και εμπλουτίζοντας τα νερά των ωκεανών με οξυγόνο. Σε συνδυασμό με τα ρεύματα του αέρα, τις παλίρροιες, το ανάγλυφο του εδάφους, αλλά και του ωκεάνιου πυθμένα, τα ωκεάνια ρεύματα συμβάλλουν ώστε να εξισορροπούνται όσο είναι δυνατόν οι θερμοκρασίες παντού στην υφήλιο.

Τι είναι, όμως, αυτό που περισσότερο από οτιδήποτε άλλο καθορίζει ότι η μέση θερμοκρασία του πλανήτη μας παραμένει σε τέτοια επίπεδα, ώστε να επιτρέπει την ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή; Είναι άραγε η απόστασή του από τον Ήλιο; Αναμφίβολα, η απόσταση ενός πλανήτη από το άστρο του είναι ο καθοριστικός παράγοντας που προσδιορίζει τη μέση θερμοκρασία του, δεν είναι όμως ο μοναδικός. Γιατί, αν ήταν έτσι, η Αφροδίτη, που βρίσκεται μακρύτερα απ' τον Ήλιο απ' ό,τι ο Ερμής, θα έπρεπε να έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες από τον εσώτατο πλανήτη του Ηλιακού μας Συστήματος. Εκτός αυτού, σύμφωνα με τα διαθέσιμα γεωλογικά ευρήματα, οι ωκεανοί που κάλυπταν τον αρχέγονο πλανήτη μας στα πρώτα στάδια της εξέλιξής του, πρέπει να ήταν σε ρευστή κατάσταση. Δεδομένου, όμως, ότι η φωτεινότητα του Ήλιου δεν υπερέβαινε τότε το 70% της σημερινής, η μέση θερμοκρασία του πρέπει να ήταν πολύ χαμηλή για να διατηρήσει τους ωκεανούς ρευστούς. Αυτό, λοιπόν, που συνέβαλε στην αύξηση της θερμοκρασίας του δεν ήταν αποκλειστικά η «σωστή» απόστασή του από τον Ήλιο, αλλά και κάτι άλλο. Οι περισσότεροι επιστήμονες σήμερα συμφωνούν ότι αυτό το «κάτι άλλο», που και τότε αλλά και τώρα θερμαίνει τον πλανήτη μας, είναι το επονομαζόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Πραγματικά, χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης θα ήταν -18°C και ο πλανήτης μας θα ήταν παγωμένος.

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος και φτάνει στη Γη ανακλάται στο Διάστημα ή απορροφάται από την ατμόσφαιρά της, όπως συμβαίνει με τις ακτίνες Χ ή με τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία,

που απορροφάται από την ασπίδα του όζοντος. Επειδή, όμως, η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής στην Ηλιακή ακτινοβολία που αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, επιτρέπει στο ορατό φως του Ήλιου να τη διασχίσει ανεμπόδιστα, το οποίο, φτάνοντας στην επιφάνειά της, τη θερμαίνει. Το έδαφος, στη 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. Διότι, τα αέρια του θερμοκηπίου που εμπριέχει, κατά βάση CO₂ και υδρατμοί, την παγιδεύουν, «φυλακίζοντας» παράλληλα και τη θερμική ενέργεια που της αντιστοιχεί έτσι, ώστε ο πλανήτης μας να είναι αρκετά θερμότερος απ' όσο θα ήταν χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα και τόσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία.

Γιατί, όμως, η γήινη ατμόσφαιρα εξελίχθηκε με τόσο διαφορετικό τρόπο από την ατμόσφαιρα της Αφροδίτης ή του Άρη; Όπως θα δούμε, η υπέρυθρη ατμόσφαιρα της Αφροδίτης «πνίγεται» στην κυριολεξία από τεράστιες ποσότητες CO₂, εξαιτίας ενός ανεξέλεγκτου και αυτοτροφοδοτούμενου φαινομένου του θερμοκηπίου, που ανέβασε τη μέση θερμοκρασία της στα ύψη. Η ατμόσφαιρα στον Άρη, αντίθετα, παρόλο που αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από CO₂, είναι τόσο αραιή και κατά συνέπεια το φαινόμενο του θερμοκηπίου στον Άρη είναι τόσο εξασθενημένο, που δεν κατάφερε να διατηρήσει τη θερμοκρασία του σε υψηλότερα επίπεδα. Επομένως, η απάντηση στο

ερώτημα γιατί η ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια το κλίμα αυτών των τριών πλανητών εξελίχθηκε τόσο διαφορετικά σχετίζεται με τις ποσότητες των αερίων του θερμοκηπίου που εμπεριέχει ο κάθε πλανήτης: στην Αφροδίτη είναι πολύ μεγάλες, στον Άρη πολύ μικρές και στη Γη ακριβώς αυτές που πρέπει.

Όπως συχνά συμβαίνει στην επιστημονική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων, με κάθε νέα απάντηση που δίνεται, ένα νέο ερώτημα προκύπτει. Σ' αυτή την περίπτωση, το επόμενο ερώτημα που ευλόγως τίθεται είναι το εξής: γιατί η συσσώρευση του CO₂ είναι τόσο διαφορετική στην ατμόσφαιρα του κάθε πλανήτη; Το στοιχείο εκείνο που, κατά κύριο λόγο, διαφοροποιεί τη Γη από την Αφροδίτη και τον Άρη, είναι ότι ο πλανήτης μας διαθέτει έναν τεράστιο πλανητικό «θερμοστάτη» που, όταν λειτουργεί σωστά, μειώνει τη θερμοκρασία του κάθε φορά που αυξάνει υπερβολικά, και την αυξάνει όποτε μειώνεται «επικίνδυνα». Αυτός ο πολύπλοκος θερμοστάτης βασίζεται στην αλληλοσυμπληρούμενη λειτουργία τριών τουλάχιστον φυσικών μηχανισμών: του κύκλου του νερού, του κύκλου του άνθρακα και της γεωτεκτονικής δραστηριότητας.

Ο **κύκλος του νερού** ή **υδρολογικός κύκλος**, είναι απλώς 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 κατακρήμισης. Για παράδειγμα, τα χιόνια που λιώνουν το καλοκαίρι σε μια περιοχή

του πλανήτη γεμίζουν μια λίμνη, που τροφοδοτεί ένα ρυάκι, το οποίο «χύνεται» σ' ένα ποτάμι, που με τη σειρά του εκβάλλει στις θάλασσες και στους ωκεανούς του πλανήτη. Στη συνέχεια, μέσω της εξάτμισης, το νερό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ως υδρατμός, όπου και συμπυκνώνεται σε σύννεφα, για να επιστρέψει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή της βροχής ή του χιονιού.

Ο κύκλος του νερού, με τη σειρά του, συμβάλλει στη λειτουργία του κύκλου του άνθρακα, δηλαδή του βασικού μηχανισμού, με τον οποίο ανακυκλώνεται ο άνθρακας και κατά συνέπεια η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό που συμβαίνει είναι το εξής: το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα της Γης μεταφέρεται μέσω της βροχής στην επιφάνειά της. Εκεί κάποιο ποσοστό του απορροφάται από τα επιφανειακά πετρώματα, ενώ κάποιο άλλο αλληλεπιδρά μ' αυτά, αποδεσμεύοντας ασβέστιο, για να καταλήξει μέσω της διάβρωσης στους ωκεανούς. Οι τρισεκατομμύρια μικροοργανισμοί που αποτελούν το πλαγκτόν δεσμεύουν στη συνέχεια CO₂ και ασβέστιο, με τα οποία κατασκευάζουν τους μικροσκοπικούς εξωσκελετούς τους. Όταν όμως αυτοί οι αναρίθμητοι μικροοργανισμοί ολοκληρώσουν τον κύκλο της ζωής τους, τα νεκρά τους σώματα, μαζί με τα αποθέματά τους σε άνθρακα, καταλήγουν στον ωκεάνιο πυθμένα, όπου και συσσωρεύονται το ένα πάνω στο άλλο, για να μετατραπούν με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου σε πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος. Στην ξηρά, από την άλλη, ο άνθρακας που έχει δεσμευθεί από τα φυτά και τα ζώα του πλανήτη, καταλήγει στο έδαφος, όταν αυτά πεθάνουν και αποσυντεθούν. Κάποιο ποσοστό του επανακάμπτει στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο καταλήγει στο



Τα βασικά στάδια του υδρολογικού κύκλου (USGS).

εσωτερικό του γίνιου φλοιού, όπου μετατρέπεται σε ορυκτούς υδρογονάνθρακες.

Εδώ παρεμβαίνει ο τρίτος μηχανισμός του πλανητικού μας θερμοστάτη, που δεν είναι άλλος από τη γεωτεκτονική δραστηριότητα. Όπως θα εξηγήσουμε αναλυτικότερα, η επιφάνεια της Γης δεν είναι μονοκόμματη, αλλά αποτελείται από μικρές και μεγάλες τεκτονικές πλάκες, που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Εξ αιτίας της κίνησης των τεκτονικών πλακών, τα πετρώματα που απορρόφησαν το ατμοσφαιρικό CO₂ είναι δυνατό να εισχωρήσουν βαθιά στο υπέδαφος, όπου χάρη στις τεράστιες θερμοκρασίες και πιέσεις το αποδεσμεύουν. Από τα βάθη του φλοιού της Γης, τέλος, το CO₂ επι-

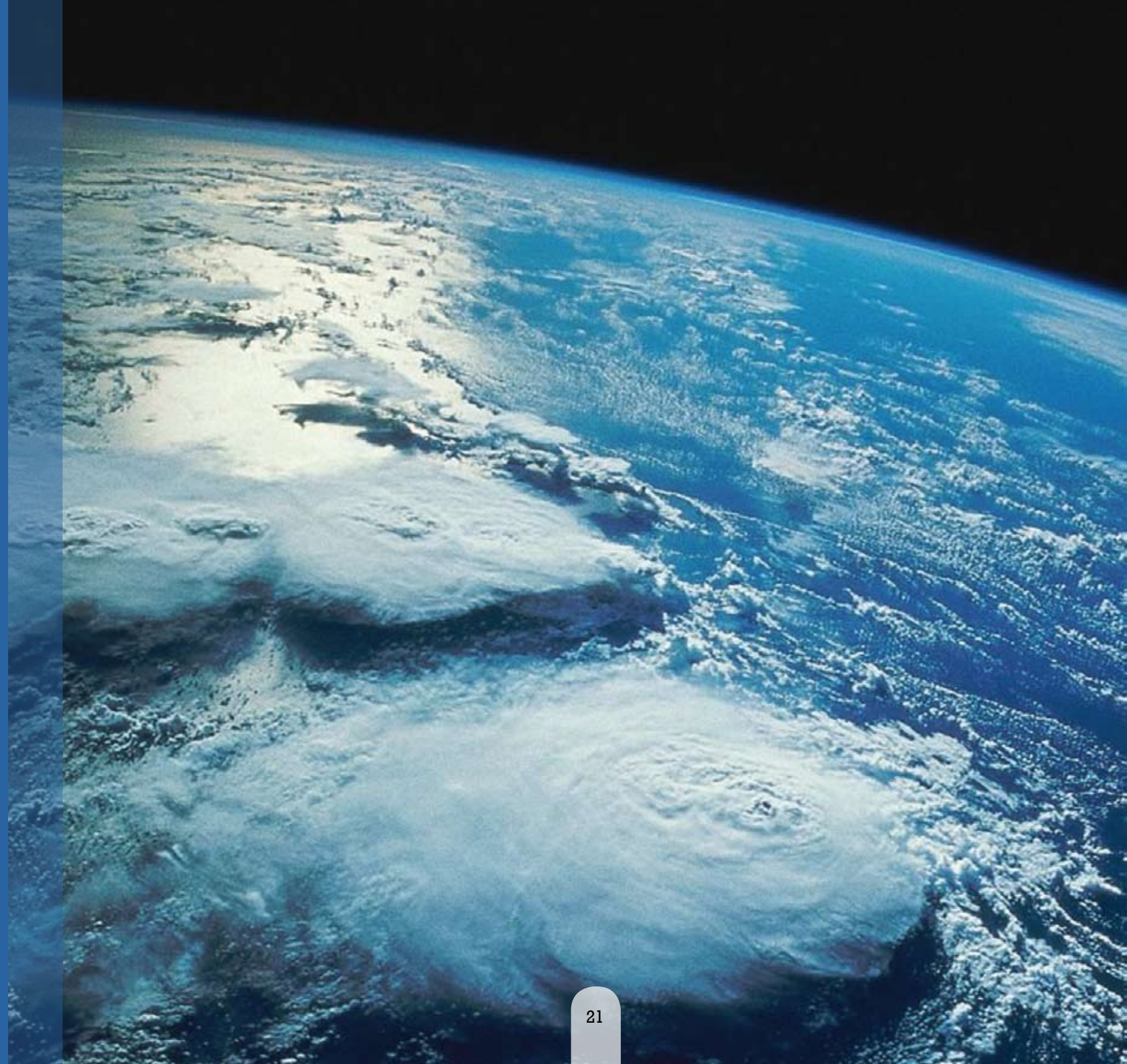
στρέφει στην ατμόσφαιρα μέσα από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Με δύο λόγια, ο κύκλος του άνθρακα, με τη συμβολή του κύκλου του νερού, απομακρύνει το CO₂ από τη γήινη ατμόσφαιρα και το μεταφέρει στους ωκεανούς και στον γήινο φλοιό, απ' όπου επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Η μεγάλη, λοιπόν, διαφορά του πλανήτη μας από την Αφροδίτη και τον Άρη είναι ότι ο πλανητικός θερμοστάτης των δύο αυτών πλανητών είναι «χαλασμένος». Σύμφωνα με τους περισσότερους αστρονόμους, τόσο η Αφροδίτη όσο και ο Άρης στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους θα πρέπει να εμπεριείχαν μεγάλες ποσότητες νερού. Στην

Αφροδίτη, όμως, εξαιτίας του ανεξέλεγκτου φαινομένου του θερμοκηπίου, το νερό που αρχικά υπήρχε σε υγρή μορφή, μετατράπηκε σε υδρατμούς και ανήλθε στις ανώτερες στοιβάδες της ατμόσφαιρας. Επειδή η Αφροδίτη, σε αντίθεση με τη Γη, δεν έχει μαγνητικό πεδίο που θα την προστατεύει από τον ηλιακό άνεμο, ούτε όμως και ασπίδα όζοντος που θα την προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου, οι υδρατμοί διασπάστηκαν με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας σε υδρογόνο και οξυγόνο. Έτσι, το ελαφρύτερο υδρογόνο παρασύρθηκε στο Διάστημα από τον ηλιακό άνεμο, ενώ το οξυγόνο σχημάτισε ενώσεις με άλλα στοιχεία. Κάπως έτσι, η Αφροδίτη έχασε εντελώς τα αποθέματά της σε νερό και μετατράπηκε στον άνυδρο πλανήτη που γνωρίζουμε. Χωρίς όμως την παρουσία νερού, το CO₂ που συσσωρευόταν στην ατμόσφαιρά της από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, δεν μπορούσε να επιστρέψει στο έδαφος, όπως συμβαίνει στη Γη. Στον Άρη, αντίθετα, η έλλειψη ηφαιστειακής δραστηριότητας σημαίνει ότι η κάποτε πυκνή ατμόσφαιρά του σταμάτησε να εμπλουτίζεται με CO₂, ενώ μεγάλο μέρος απ' αυτό που εμπεριείχε, θα πρέπει να μεταφέρθηκε με την επίδραση του

νερού στο υπέδαφος και να παρασύρθηκε στο Διάστημα από τον ηλιακό άνεμο.

Είναι αλήθεια ότι ο ακριβής μηχανισμός που ρυθμίζει σε βάθος χρόνου το κλίμα του πλανήτη μας δεν είναι απολύτως κατανοητός σε όλες του τις λεπτομέρειες. Ένας, ίσως, από τους λόγους που συμβαίνει αυτό να είναι και η πληθώρα των παραγόντων που, αλληλεπιδρώντας ο ένας με τον άλλο, ρυθμίζουν το κλίμα σε βάθος χρόνου. Η μεταβαλλόμενη κλίση του άξονα περιστροφής της Γης, η απόστασή της από τον Ήλιο, οι αλληλεξαρτώμενοι κύκλοι του άνθρακα και του νερού, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ και υδρατμούς, η γεωτεκτονική δραστηριότητα, η αέναη κυκλοφορία των αέριων και ωκεάνιων ρευμάτων και αυτή ακόμη η παρουσία της ζωής διαμόρφωσαν και συνεχίζουν να διαμορφώνουν τις κλιματικές μεταβολές του πλανήτη μας καθ' όλη τη διάρκεια της γεωλογικής του ιστορίας. Από την έναρξη, όμως, της βιομηχανικής επανάστασης και μετά, σ' αυτούς τους παράγοντες προστέθηκε άλλος ένας. Κι αυτός δεν είναι άλλος από τις εκατοντάδες χιλιάδες τόνους CO₂ που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.





3. Η Προστασία της Μαγνητόσφαιρας

Όλα τα καιρικά φαινόμενα του πλανήτη μας συμβαίνουν στο κατώτερο στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας, την τροπόσφαιρα, η οποία εκτείνεται μέχρι ύψους περίπου 11 km πάνω από τη γήινη επιφάνεια. Καιρικά φαινόμενα έχουμε και στο Διάστημα! Παρόλο που ο διαστημικός καιρός και οι ηλιακές καταιγίδες δεν μοιάζουν με τις γήινες καταιγίδες, είναι εξ ίσου ενδιαφέροντα φαινόμενα, τα οποία βρίσκονται στην κορυφή του επιστημονικού ενδιαφέροντος πολλών νέων αστρονόμων και συνδέονται άμεσα με τη δραστηριότητα του Ήλιου.

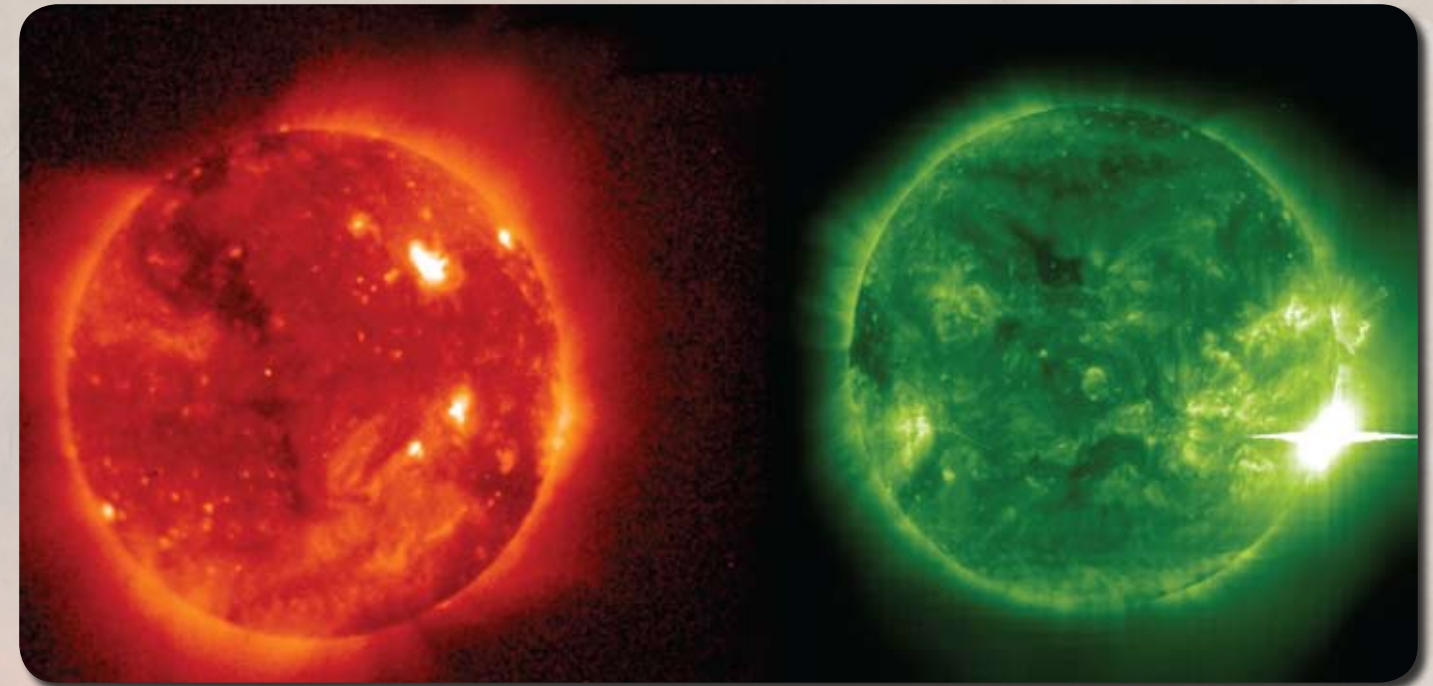
Όλες οι πρόσφατες παρατηρήσεις μάς πληροφορούν ότι η δραστηριότητα αυτή βρίσκεται σε έξαρση, αφού ήδη προσεγγίζουμε στο μέγιστο ενός ηλιακού κύκλου που επαναλαμβάνεται κάθε 11 περίπου χρόνια. Στη διάρκεια των εξάρσεων αυτών της ηλιακής δραστηριότητας στην ορατή επιφάνεια του Ήλιου, που ονομάζεται **φωτόσφαιρα**, εμφανίζονται αυξημένες ποσότητες **σκοτεινών κελίδων**. Οι σκοτεινές αυτές κελίδες είναι περιοχές με θερμοκρασία 3.000°C και γι' αυτό φαίνονται σκοτεινές, σε αντίθεση με τη γύρω περιοχή της φωτόσφαιρας, που έχει διπλάσια θερμοκρασία.

Το μέγεθος των κελίδων μπορεί να ξεπεράσει πολλές φορές τη διάμετρο της Γης μας. Οι ηλιακές κελίδες συχνά εμφανίζονται σε ζεύγη, τα οποία δημιουργούν μαγνητικά πεδία με διάρκεια αρκετών εβδομάδων. Η συστηματική τους καταγραφή άρχισε το 1749, αν και η πρώτη παρατήρησή τους έγινε από τον **Γαλιλαίο** (1564–1642) με το μικρό του τηλεσκόπιο. Λέγεται μάλιστα ότι ο περίφημος εκείνος αστρονόμος έχασε το φως του εξ αιτίας αυτών του των παρατηρήσεων. Ο επαναλαμβανόμενος πάντως 11-ετής κύκλος αυξομείωσης του αριθμού των κελίδων ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά πολύ αργότερα, πριν από 150 περίπου χρόνια.

Μεταξύ αυτών που μάθαμε έκτοτε είναι και το γεγονός ότι οι ηλιακές κελίδες σηματοδοτούν τις τοποθεσίες όπου το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου διαπερνά την επιφάνεια και εξωθεί καυτά αέρια προς τα πάνω μέσα στην ηλιακή ατμόσφαιρα. Με ειδικά φίλτρα το άστρο της ημέρας μετατρέπεται σε πολύχρωμο μωσαϊκό με φλογισμένους πίδακες υλικών, ενώ με τη βοήθεια ενός φίλτρου ακτίνων X, ο ενεργός Ήλιος είναι ακόμη πιο εντυπωσια-

κός. Η κανονικά φωτισμένη επιφάνειά του φαίνεται να είναι σκοτεινή, ενώ οι περιοχές γύρω από τις ηλιακές κελίδες είναι κατάφωτες από τις ακτίνες X που εκπέμπουν. Από τις περιοχές αυτές πηγάζουν και οι ηλιακές εκλάμψεις που εκτινάσσονται με τη βιαιότητα εκατομμυρίων βομβών υδρογόνου. Τα πυρακτωμένα τους αέρια εκσφενδονίζονται στον διαπλανητικό χώρο σαν πύρινες γλώσσες που ξεδιπλώνονται με τέτοια δύναμη, ώστε πολλές φορές χάνονται στο Διάστημα ακολουθώντας ορισμένες γραμμές μαγνητικών δυνάμεων, που σχηματίζονται στα ζευγάρια των ηλιακών κελίδων.

Πάνω από την κατώτερη ηλιακή ατμόσφαιρα βρίσκεται μία λεπτή μεταβατική ζώνη, όπου η θερμοκρασία συνεχώς αυξάνεται από τους 20.000 έως τους 1.000.000°C, ενώ πάνω από την περιοχή αυτή βρίσκεται το **στέμμα**, η εξωτερική στοιβάδα της ατμόσφαιρας του Ήλιου, που εκτείνεται σε απόσταση 3.500.000 km και έχει θερμοκρασία που πλησιάζει τα 2.000.000°C. Σ' αυτήν τη θερμοκρασία τα άτομα του υδρογόνου (που αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο) συγκρούονται μεταξύ τους με τέτοια βιαιότητα, ώστε διαλύονται κυριολεκτικά στα «εξ ων συνετέθησαν» σχηματίζοντας ένα μείγμα ελεύθερων φορτισμένων σωματιδίων (πρωτονίων και ηλεκτρονίων), που ονομάζεται πλάσμα. Με τη βοήθεια των εκλάμψεων τρισεκατομμύρια τόνοι πλάσματος εκπέμπονται στο Διάστημα από ορισμένες κυρίως περιοχές της ηλιακής ατμόσφαιρας, που ονομάζονται **τρύπες** του στέμματος, σχηματίζοντας έτσι τον **ηλιακό άνεμο** ο οποίος κινείται με μέση ταχύτητα 400 km/s, αν και η ταχύτητά του μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 800 km/s.



Αριστερά, η πρώτη εικόνα ακτίνων X του Ήλιου, που ελήφθη από τον δορυφόρο GOES-15 (φωτογρ. NASA/NOAA/ Lockheed Martin) και δεξιά, εικόνα της ισχυρής ηλιακής έκλαμψης της 4^{ης} Νοεμβρίου 2003, που ελήφθη από τη διαστημοσυσκευή SOHO (φωτογρ. ESA/NASA).

Η αυξημένη, όμως, δραστηριότητα του Ήλιου στις περιόδους μέγιστης παρουσίας των ηλιακών κελίδων, όπως συμβαίνει τα τελευταία δύο χρόνια, εμφανίζει επίσης και μία έξαρση στην εκτίναξη τεραστίων ποσοτήτων ηλιακής μάζας στο Διάστημα. Σ' αυτά τα φαινόμενα, άλλωστε, οφείλεται και η εμφάνιση των μαγνητικών καταιγίδων που πλήττουν τη Γη μας κατά καιρούς. Μετά από ένα ταξίδι 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων, τα φορτισμένα αυτά σωματίδια από τον Ήλιο φτάνουν στη Γη μας σε τέσσερεις περίπου ημέρες. Κι ενώ στην περίπτωση των πλανητών Αφροδίτης και Άρη η επίδραση του ηλιακού ανέμου στην επιφάνεια και την ατμόσφαιρά τους είχε ως αποτέλεσμα τη σταδια-

κή απογύμνωσή τους από τα τεράστια αποθέματα νερού που είχαν, στη Γη μας η καταστροφική αυτή συνέπεια έχει αποφευχθεί, χάρη στην ύπαρξη της γίνης μαγνητόσφαιρας, η οποία κάνει τον πλανήτη μας να μοιάζει μ' έναν τεράστιο μαγνήτη.

Από την αρχαιότητα, άλλωστε, γνωρίζαμε ότι στην περίπτωση δύο διαφορετικών μαγνητών οι δύο όμοιοι πόλοι απωθούνται, ενώ οι δύο αντίθετοι έλκονται, κάτι που συμβαίνει σ' ολόκληρη τη γύρω περιοχή του μαγνήτη που ονομάζεται **μαγνητικό πεδίο** και εντοπίζεται από ορισμένες μαγνητικές γραμμές που εκτείνονται καμπυλωτά από τον έναν πόλο στον άλλον. Το 1821, όμως, ανακαλύφθηκε

ότι και τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγουν μαγνητικές δυνάμεις, κι απ' αυτήν την ανακάλυψη ο **Αντρέ Μαρί Αμπέρ** (1775–1836) κατόρθωσε να διαπιστώσει ότι η βασική φύση του μαγνητισμού δεν σχετιζόταν με μαγνητικούς πόλους και σιδερένιους μαγνήτες, αλλά με τη ροή ηλεκτρικών ρευμάτων. Σήμερα μάλιστα οι ισχυρότεροι μαγνήτες στον κόσμο δημιουργούνται από διατάξεις με την απ' ευθείας ροή ηλεκτρικών ρευμάτων, που σχηματίζουν τους τεραστίες δύναμης ηλεκτρομαγνήτες.

Κάτι παρόμοιο λοιπόν συμβαίνει και με τη Γη, της οποίας το εσωτερικό είναι σε υπέρθερμη ρευστή κατάσταση, οπότε και οποιοσδήποτε σιδερένιος μαγνήτης και αν υπήρχε, θα είχε χάσει τον μαγνητισμό του λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που υφίστανται εκεί. Ο μεταλλικός αυτός πυρήνας της Γης, όμως, είναι ηλεκτρικά αγωγίμος και μ' αυτόν τον τρόπο η Γη μας μπορεί να παρομοιαστεί με μια τεράστια ηλεκτρική γεννήτρια. Έτσι, η ροή των ηλεκτρικών ρευμάτων που δημιουργούνται εκεί είναι ο λόγος που γύρω από τη Γη σχηματίζεται το μαγνητικό της πεδίο. Με την έλευση της διαστημικής εποχής και με τις έρευνες που έκαναν οι πρώτοι δορυφόροι **Explorer 1** και **Explorer 3** ανακαλύψαμε το 1958 τις δύο ζώνες ακτινοβολιών που περιβάλλουν τη Γη μας, οι οποίες ονομάστηκαν **ζώνες Βαν-Άλεν**. Έτσι αρχίσαμε να κατανοούμε την πολυπλοκότητα των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που λειτουργούν στο γήινο περιβάλλον, που ονομάστηκε το 1959 **μαγνητόσφαιρα**.

Στην επιφάνεια της Γης, όμως, οι διάφορες μαγνητικές δυνάμεις δεν παίζουν σχεδόν κανέναν ρόλο, γιατί απλούστατα τα πάντα γύρω μας, ακόμη και το οξυγόνο και το άζωτο που αναπνέουμε,

είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Όλα, άλλωστε, τα άτομα στη Γη αποτελούνται από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένα πρωτόνια, έτσι ώστε το ηλεκτρικό τους φορτίο να αλληλοαναιρείται. Όμως, 100 km πάνω από την επιφάνεια της Γης το περιβάλλον είναι τελείως διαφορετικό. Στα ακραία αυτά όρια της γήινης ατμόσφαιρας οι ακτίνες X και οι υπεριώδεις ακτινοβολίες του Ήλιου θερμαίνουν την περιοχή, αναγκάζοντας έτσι τα διάφορα άτομα που βρίσκονται εκεί να αποβάλουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Μ' αυτόν τον τρόπο τα απογυμνωμένα αυτά άτομα αποκτούν ένα θετικό φορτίο και ονομάζονται **ιόντα**. Τα θετικά αυτά ιόντα και τα απελευθερωμένα ηλεκτρόνια έχουν την ιδιότητα να αντιδρούν και να κατευθύνονται πλήρως από τις μαγνητικές δυνάμεις που περιβάλλουν τη Γη. Η όλη, άλλωστε, δομή του γήινου μαγνητικού πεδίου προσδιορίζει άμεσα τη συμπεριφορά και την κίνηση των σωματιδίων που έχει αιχμαλωτίσει.

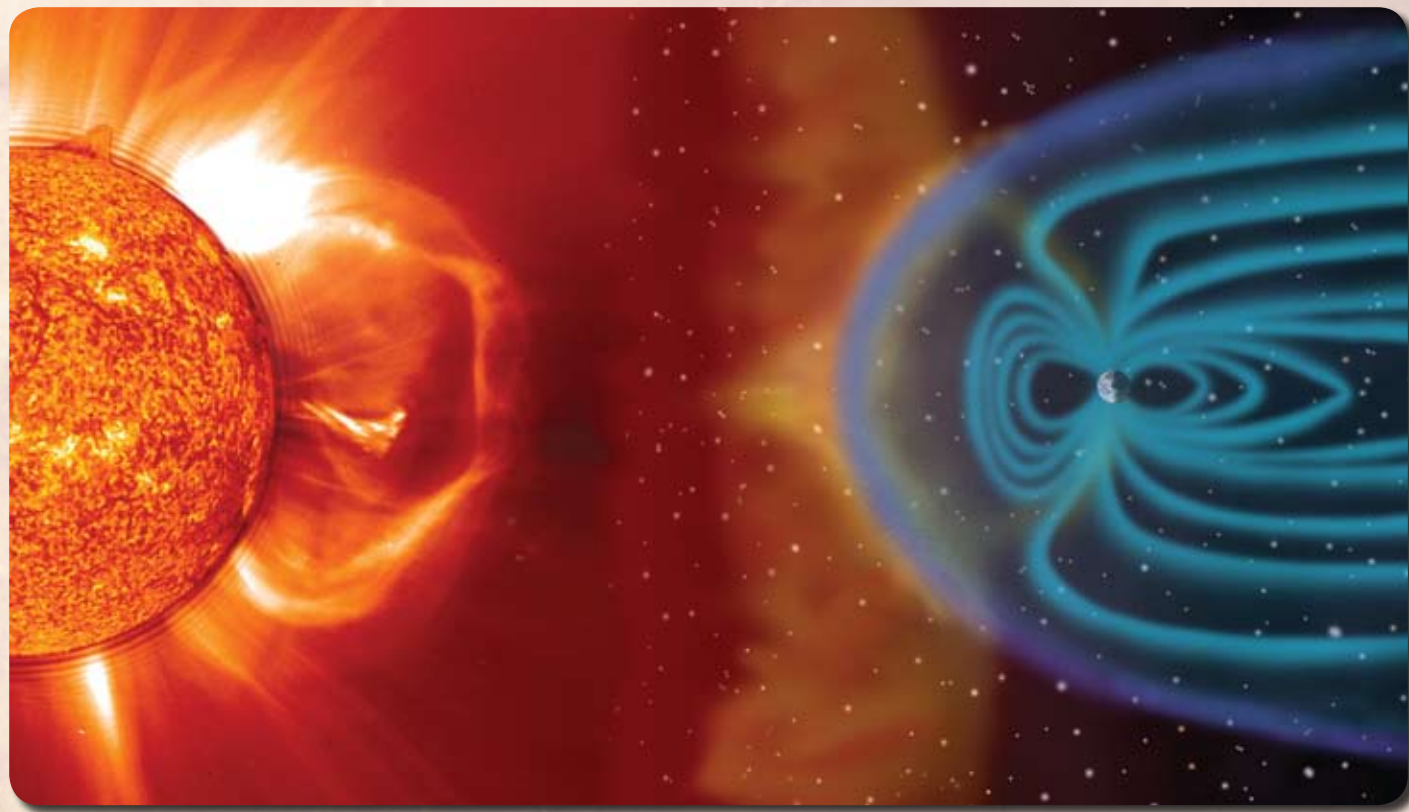
Ο άξονας του μαγνητικού πεδίου της Γης, που ενώνει τους δύο μαγνητικούς της πόλους, έχει μια κλίση σε σχέση με τον γεωγραφικό άξονα της περιστροφής της, που φτάνει τις 12° περίπου. Έτσι ο γεωγραφικός πόλος δεν συμπίπτει με τον μαγνητικό πόλο της Γης, ενώ τα τελευταία 300 χρόνια έγινε επίσης αντιληπτό ότι οι μαγνητικοί αυτοί πόλοι μετακινούνται με την πάροδο του χρόνου με ρυθμό που φτάνει τα 11 km τον χρόνο και με κατεύθυνση, προς το παρόν, τον βόρειο γεωγραφικό πόλο. Όπως αποδεικνύεται πάντως από τις γεωλογικές μας μελέτες, τα πράγματα δεν ήταν πάντα έτσι, γιατί στο παρελθόν είχαμε ακόμη και αναστροφές του γήινου μαγνητικού πεδίου. Τα τελευταία πέντε εκατομμύρια χρόνια είχαμε συνολικά 25 τέτοιες αναστροφές, όταν ο



βόρειος μαγνητικός πόλος γίνονταν νότιος και το αντίστροφο. Η τελευταία αναστροφή των μαγνητικών πόλων έγινε πριν από 720.000 χρόνια και είναι βέβαιο ότι το φαινόμενο αυτό θα επαναληφθεί στο μέλλον.

Η ύπαρξη, όμως, της γήινης μαγνητόσφαιρας είναι για μας ιδιαίτερα ευεργετική, αφού λειτουργεί σαν ασπίδα ενάντια στον ηλιακό άνεμο και τα φορτισμένα σωματίδια που εκτοξεύονται από τον Ήλιο. Παρ' όλα αυτά, η ισχύς του ηλιακού ανέμου είναι τέτοια, ώστε στην ηλιόλουστη πλευρά της Γης το γήινο μαγνητικό πεδίο συμπέζεται προς την επιφάνεια της Γης, ενώ στη νυχτερινή πλευρά δημιουργείται μια μακριά μαγνητική ουρά σαν κομήτης, που έχει διάμετρο 30–60 γήινων ακτίνων και μήκος χιλίων.

Η τεράστια ηλιακή προεξοχή της 30^{ης} Μαρτίου 2010, όπως απεικονίστηκε από τη διαστημοσυσκευή SDO (φωτογρ. NASA/Goddard).



Σχηματική αναπαράσταση της γήινης μαγνητόσφαιρας [φωτογρ. SOHO (ESA & NASA)].

Έτσι, τα φορτισμένα σωματίδια που αποτελούν τον ηλιακό άνεμο, όταν φτάσουν στη Γη μας, αποκρούονται από τη γήινη μαγνητόσφαιρα και κατευθύνονται προς τους μαγνητικούς της πόλους, όπου αιχμαλωτίζονται και εξαναγκάζονται να μεταπηδούν από τη μία πολική περιοχή στην άλλη, επιταχυνόμενα συγχρόνως σχεδόν στην ταχύτητα του φωτός. Μ' αυτήν την ταχύτητα συγκρούονται με τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας και τα φορτισμένα σωματίδια που είναι εγκλωβισμένα εκεί κι έτσι τα σωματίδια του ηλιακού ανέμου, που γεννήθηκαν στα έγκατα του Ήλιου, διοχετεύουν τελικά την ενέργειά τους πάνω από

τους πόλους του πλανήτη μας. Η αλληλεπίδραση αυτή του ηλιακού ανέμου και του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι ο λόγος για την εμφάνιση του ωραιότερου «παιχνιδιού» της φύσης, κατά τη διάρκεια του οποίου σχηματίζονται μυστηριώδεις φωτεινές παραστάσεις, που αποτελούν το βόρειο και το νότιο Σέλας, σε ύψος που κυμαίνεται από 100–1.000 km.

Τα διάφορα χρώματα που παρατηρούμε στο Σέλας εξαρτώνται από τα χημικά στοιχεία της ιονόσφαιρας, με τα οποία συγκρούονται τα φορτισμένα από τον Ήλιο ηλεκτρόνια. Η όλη αυτή διαδικασία

γίνεται με έναν αρκετά πολύπλοκο τρόπο, με αποτέλεσμα ακόμη και σήμερα να μην είναι πλήρως κατανοητή, αν και η αρχή της διαλεύκανσής της άρχισε πριν από 150 περίπου χρόνια. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ανακαλύφθηκε, δηλαδή, ότι όταν διοχετεύαμε ηλεκτρικό ρεύμα μέσα σ' έναν σωλήνα που περιείχε κάποιο αέριο, μπορούσαμε να δημιουργήσουμε μία αναλαμπή με το φασματικό χρώμα, που είναι χαρακτηριστικό του δεδομένου αυτού αερίου. Με βάση αυτή την ιδιότητα, έχουμε σήμερα τις λάμπες φθορισμού και τις φωτεινές επιγραφές νέον.

Αυτό που συμβαίνει σ' αυτήν την περίπτωση είναι ότι τα ηλεκτρόνια του ηλεκτρικού ρεύματος συγκρούονται με τα άτομα που αποτελούν το αέριο και μ' αυτόν τον τρόπο τα «αναστατώνουν». Η τάση, όμως, που έχουν τα άτομα αυτά είναι να επανέλθουν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στην προηγούμενη σταθερή τους κατάσταση, και για να το επιτύχουν, αποβάλλουν μερική από την ενέργεια που πήραν από τη σύγκρουσή τους με τα ηλεκτρόνια. Η αποβολή της πρόσθετης αυτής ενέργειας παίρνει συγκεκριμένο χρώμα, που είναι χαρακτηριστικό για κάθε χημικό στοιχείο. Το Σέλας, λοιπόν, δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο, όταν τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τον ηλιακό άνεμο συγκρούονται με τα αέρια των ανώτερων στρωμάτων της γήινης ατμόσφαιρας. Είναι το ίδιο, δηλαδή, που συμβαίνει και στην περίπτωση της τηλεοπτικής μας οθόνης, όπου ροή ηλεκτρονίων προσκρούει την οθόνη σχηματίζοντας τις διάφορες τηλεοπτικές εικόνες. Έτσι και τα ηλεκτρόνια από τον Ήλιο συγκρούονται και «αναστατώνουν» τα άτομα και τα μόρια της γήινης ατμόσφαιρας, αναγκάζοντάς τα να εκπέμψουν το χαρακτηριστικό φως του είδους τους.

Το πρασινωπό χρώμα του Σέλαος, για παράδειγμα, προέρχεται από τη σύγκρουση των ηλεκτρονίων με το ατομικό οξυγόνο, που αποτελείται από ένα μόνο άτομο οξυγόνου, ενώ το μοριακό οξυγόνο που αναπνέουμε αποτελείται από δύο άτομα και το όζον από τρία. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις η σύγκρουση των ηλεκτρονίων με το οξυγόνο μάς δίνει και κόκκινους χρωματισμούς, ιδιαίτερα στα ανώτερα στρώματα της ιονόσφαιρας, και όταν τα επερχόμενα ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα, όπως συμβαίνει στη διάρκεια των μαγνητικών καταιγίδων του Ήλιου. Στις περιπτώσεις αυτές, τα ηλεκτρόνια εισχωρούν όλο και πιο βαθιά στην ατμόσφαιρα και συγκρούονται με περισσότερα είδη στοιχείων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή, αν και οι μελέτες συνεχίζονται με τη βοήθεια δορυφόρων στο Διάστημα και ειδικών παρατηρητηρίων στις βόρειες χώρες.

Φυσικά καμία περιγραφή, όσο γλαφυρή κι αν είναι, και καμία φωτογραφία δεν μπορεί να αποδώσει πλήρως τα πολύμορφα σχήματα, τις αποχρώσεις και το συνολικό υπερθέαμα που παρουσιάζεται στα έκθαμβα μάτια του άμεσου θεατή. Γι' αυτό, άλλωστε, η εμφάνιση του Σέλαος στον ουρανό ήταν ανέκαθεν για τους καλλιτέχνες πηγή ανεξάντλητης έμπνευσης, ενώ για τους περισσότερους ανθρώπους ήταν, και είναι, αντικείμενο απέραντου θαυμασμού και δέους. Διά μέσου των αιώνων συνδυάστηκε μάλιστα με υπερφυσικούς φόβους για το τέλος του κόσμου και ορισμένοι λαοί το έβλεπαν ως προσωποποίηση **χαρούμενων χορευτών**. Οι Βίκινγκς, από την άλλη, το θεωρούσαν ως αντανάκλαση των ασπίδων που κρατούσαν οι έφιππες Βαλκυρίες.

Το Σέλας είναι ένα φαινόμενο αρκετά συνηθισμένο στις περιοχές γύρω από τους δύο μαγνητικούς πόλους του πλανήτη μας, αν και μερικές φορές, σε περιόδους ιδιαίτερα έντονης ηλιακής δραστηριότητας, εμφανίζεται και σε νοτιότερες περιοχές, όπως η Ελλάδα. Στις αρχές του Απριλίου 2000, για παράδειγμα, ο ουρανός της βόρειας Ελλάδας πήρε μία βαθυκόκκινη απόχρωση, που οφειλόταν σ' αυτό ακριβώς το φαινόμενο που οι Ρωμαίοι ονόμαζαν **pluvia sanguinea** δηλ. **βροχή αίματος**. Ακόμη και ο **Αριστοτέλης** (384–322 π.Χ.) φαίνεται ότι είχε παρατηρήσει μία τέτοια εμφάνιση το 344 π.Χ. και το παρομοίασε με φλόγες στον ουρανό, ενώ ακόμη νωρίτερα ο **Αναξίμενης** (570–500 π.Χ.)

και ο **Ξενοφάνης** (560–470 π.Χ.) είχαν προσπαθήσει να μελετήσουν το ίδιο φαινόμενο με επιστημονικό τρόπο δίνοντάς του μία φυσική εξήγηση.

Η εμφάνιση των ηλιακών καταιγίδων, όμως, μπορεί να δημιουργήσει και μεγάλα προβλήματα. Στη σύγχρονη εποχή των ηλεκτρονικών συσκευών, των τεράστιων ηλεκτρικών δικτύων και των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, η μελέτη των ηλιακών καταιγίδων γίνεται όχι μόνο απαραίτητη, αλλά και επιτακτική. Διακόσιοι τουλάχιστον επικοινωνιακοί δορυφόροι βρίσκονται σήμερα σε γεωσύγχρονη τροχιά και μία μεγάλη μαγνητική καταιγίδα θα αύξανε σημαντικά την ταχύτητα των

επερχόμενων ηλεκτρονίων, πρωτονίων και ιόντων, που θα μπορούσαν δυνητικά να χτυπήσουν τους δορυφόρους αυτούς και να βραχυκυκλώσουν τα ηλεκτρονικά τους κυκλώματα θέτοντάς τους εκτός λειτουργίας. Το απλούστερο πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί είναι η ηλεκτρικά αρνητική φόρτιση του δορυφόρου που θα χτυπηθεί με εκατοντάδες ή και χιλιάδες βολτ, με αποτέλεσμα τη λανθασμένη μετάδοση πληροφοριών.

Επί πλέον, σε περιόδους αυξημένης ηλιακής δραστηριότητας μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα και στα επίγεια ηλεκτρικά δίκτυα, αφού στη διάρκεια έντονων μαγνητικών καταιγίδων τα ηλεκτρικά ρεύματα που δημιουργούνται σε ύψος 100 km μπορεί να φτάσουν τις μερικές εκατοντάδες χιλιάδες αμπέρ. Έτσι τα δίκτυα των ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών γραμμών υπερφορτίζονται με εκατοντάδες ή και χιλιάδες βολτ. Τα ρεύματα αυτά μπορούν να ενεργοποιήσουν διάφορα αυτόματα συστήματα και να προκαλέσουν ηλεκτρικά blackout σε μεγάλες περιοχές, όπως συνέβη στις μεσοδυτικές ΗΠΑ τον Οκτώβριο του 1980 και τον Απρίλιο του 1981.

Μία τέτοια καταιγίδα μπορεί να καταστρέψει επίσης και τους τεράστιους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές, όπως έγινε στις 19 Δεκεμβρίου 1980. Το βράδυ εκείνο ένας μεγάλος μετασχηματιστής 735.000 βολτ στον Καναδά χρειάστηκε να αντικα-

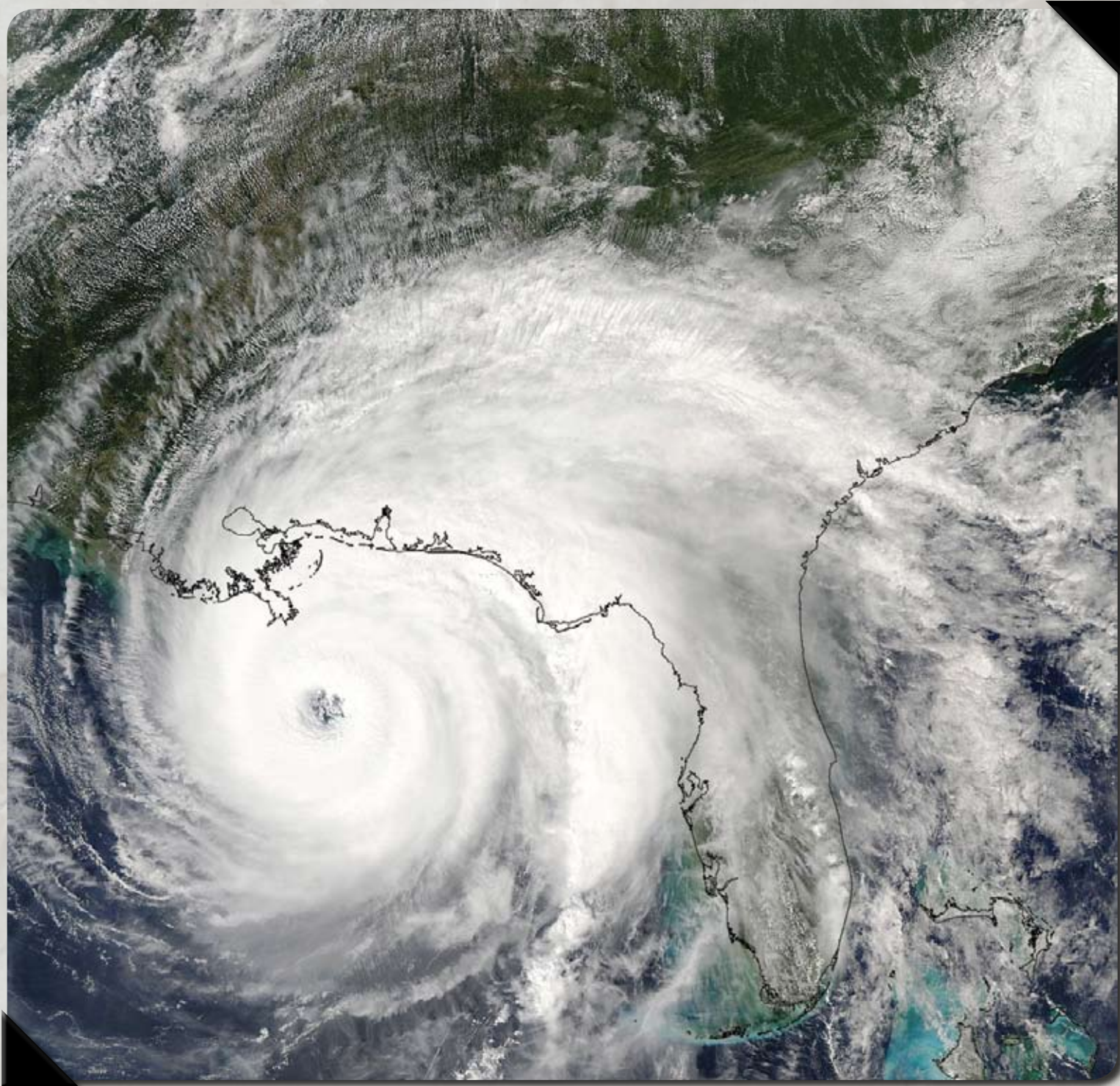
τασταθεί, πράγμα που επαναλήφθηκε και τον Απρίλιο του 1981. Παρόμοια προβλήματα, όμως, παρουσιάστηκαν και τον Μάρτιο του 1989, με εκτεταμένα ηλεκτροδοτικά προβλήματα, που απλώθηκαν από την Καλιφόρνια μέχρι τη Σουηδία, ενώ ολόκληρη η περιοχή του Κεμπέκ στον Καναδά βυθίστηκε στο σκοτάδι για δέκα περίπου ώρες.

Δεν είναι, όμως, μόνο η Γη μας που επηρεάζεται από τις ηλιακές καταιγίδες. Οι τέσσερις γιγάντιοι πλανήτες, Δίας, Κρόνος, Ουρανός και Ποσειδώνας, διαθέτουν κι αυτοί τεράστια μαγνητικά πεδία, ενώ τα μαγνητικά πεδία των μικρότερων γειτόνων μας είναι είτε ανύπαρκτα είτε πολύ περιορισμένα. Πρόσφατα, μάλιστα, το Διαστημικό Τηλεσκόπιο **Hubble** κατέγραψε υπέροχα δείγματα του Σέλαος να στεφανώνουν έντονα τους μαγνητικούς πόλους του Δία και του Κρόνου. Έτσι, τα τελευταία χρόνια η μελέτη των ηλιακών καταιγίδων με ειδικά όργανα στο Διάστημα, όπως αυτά που μεταφέρουν οι διαστημοσυσκευές **SOHO** και **Solar Dynamic Observatory**, μας έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ο ενδεκαετής κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας είναι φαινόμενο που χρειάζεται συνεχή και επισταμένη έρευνα.



Εντυπωσιακή εικόνα του Βόρειου Σέλαος.





4. Το φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Μπορείτε, άραγε, να φανταστείτε τον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας σκοτεινό και χωρίς σύννεφα, άνεμο ή βροχή; Μπορείτε να φανταστείτε τη Γη χωρίς την ατμόσφαιρα που μας προστατεύει από τις επικίνδυνες ακτινοβολίες του Ήλιου; Η Γη χωρίς ατμόσφαιρα θα ήταν ένας πλανήτης χωρίς ζωή, γιατί απλούστατα η γήινη ατμόσφαιρα είναι το κέλυφος εκείνο που προστατεύει και συντηρεί όλα τα είδη ζωής. Γι' αυτό, άλλωστε, η ποιότητα των συστατικών της ατμόσφαιρας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιβίωσή μας πάνω στο «Διαστημόπλοιο Γη». Την ποιότητα αυτή κατορθώσαμε τις τελευταίες δεκαετίες να ελέγχουμε με τη βοήθεια των διαφόρων «επιθεωρητών», που έχουμε τοποθετήσει στο Διάστημα και τους οποίους συνεχώς ανανεώνουμε. Αναφερόμαστε, φυσικά, στους ειδικούς δορυφόρους, οι οποίοι μας πληροφορούν καθημερινά για το τι συμβαίνει στην προστατευτική αυτή ασπίδα μας.



Ο δορυφόρος **ICESAT** εκτοξεύθηκε στις 12 Ιανουαρίου 2003 (φωτογρ. NASA).

Ένας τέτοιος «επιθεωρητής» εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2009, με σκοπό την χαρτογράφηση των εκπομπών CO₂ στη Γη και την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της όλης εξέλιξης της υπερθέρμανσης του πλανήτη μας. Δυστυχώς, όμως, η αποστολή του τροχιακού παρατηρητηρίου **OCO** (Orbiting Carbon Observatory), που είχε βάρος 450 kg και στοίχισε στη NASA 280 εκατομμύρια δολάρια, απέτυχε αμέσως μετά την εκτόξευσή του στις 24 Φεβρουαρίου 2009. Σε τροχιά, πάντως, παραμένει ένας παρόμοιος ιαπωνικός δορυφόρος **GOSAT**, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 23 Ιανουαρίου 2009, ενώ ένας ακόμη δορυφόρος της NASA ο **AQUA** έχει την ικανότητα της καταμέτρησης του CO₂, σε μικρότερη, όμως, έκταση απ' ό,τι ο OCO.

Στους δορυφόρους-επιθεωρητές της Γης, που βρίσκονται ήδη σε τροχιά, περιλαμβάνεται ο **AQUA**, ο οποίος από τον Μάιο του 2002 μελετά το όλο σύστημα ανακύκλωσης του νερού στον πλανήτη μας. Έχοντας μέγεθος λεωφορείου και βάρος τριών περίπου τόνων μεταφέρει έξι διαφορετικά όργανα ερευνών. Επί πλέον από το 2003 ο δορυφόρος **ICESAT** μελετά, μερικούς μόνο μήνες κάθε χρόνο, το πάχος των πάγων στους πόλους και στις ψηλές βουνοκορφές, ενώ το 2015 αναμένεται η αντικατάστασή του από έναν δεύτερο, πιο ανεπτυγμένο δορυφόρο. Ένας άλλος δορυφόρος, ο **AURA**, μελετά από το 2004 την περιεκτικότητα του όζοντος, την ποιότητα του αέρα και το κλίμα της Γης, ενώ ο **CLOUDSAT** από το 2006 μελετάει τα σύννεφα και τη σχέση τους με τις κλιματικές αλλαγές, προκειμένου να μας αποκαλύψει τους διάφορους μηχανισμούς που περιλαμβάνονται στην υπερθέρμανση του πλανήτη μας.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του δορυφόρου **OSTM** (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

Στις 20 Ιουνίου του 2008 ένας ιδιαίτερα ανεπτυγμένος δορυφόρος, ο **OSTM** (Ocean Surface Topography Mission), τοποθετήθηκε σε τροχιά, με στόχο την χαρτογράφηση της τοπογραφίας των ωκεανών, που είχαν αρχίσει από το 1992 δύο άλλοι δορυφόροι. Σκοπός των δορυφόρων αυτών είναι η στενή παρακολούθηση του ύψους των ωκεανών, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης που έχουν διάφορα ωκεάνια ρεύματα, καθώς και της θερμότητας, που είναι αποθηκευμένη στους ωκεανούς. Όλα αυτά θεωρούνται βασικά στοιχεία για την κατανόηση των αλλαγών που παρατηρούνται στο κλίμα της Γης και στην υπερθέρμανση του

πλανήτη μας, που οφείλονται στο επονομαζόμενο **φαινόμενο του θερμοκηπίου**.

Όπως είναι πλέον ευρέως γνωστό, το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως στην παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα, που στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα αυξήθηκε γεωμετρικά λόγω του άνθρακα και των παραγώγων του πετρελαίου που καταναλώθηκαν, ούτως ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου. Το διοξείδιο του άνθρακα έχει την ιδιότητα να αιχμαλωτίζει τη θερμότητα που έρχεται από τον Ήλιο, με αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας

του πλανήτη μας, αν και η αύξηση αυτή δεν είναι, προς το παρόν τουλάχιστον, σημαντική.

Στο ίδιο αυτό φαινόμενο, όμως, συμβάλλουν και οι διάφορες χημικές ουσίες, που είναι συλλογικά γνωστές με την ονομασία **κλωροφθορανθρακες**. Οι ουσίες αυτές στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας έχουν την ικανότητα να αιχμαλωτίζουν 10.000 φορές περισσότερη ηλιακή θερμότητα απ' όση έχει το διοξείδιο του άνθρακα. Συμβάλλουν έτσι σ' ένα ποσοστό μέχρι 15% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο σημειωτέον αν δεν ελεγχθεί σύντομα, είναι δυνατόν να αποτελέσει το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη μας. Υπάρχει δηλαδή κίνδυνος, αν τα επόμενα 50 χρόνια αυξηθεί η μέση θερμοκρασία της Γης κατά 2-3°, να λιώσουν μεγάλες ποσότητες των πολικών πάγων, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν όλες οι παραθαλάσσιες περιοχές, που είναι και οι πιο πυκνοκατοικημένες, με ανυπολόγιστες οικονομικές, κοινωνικές και οικολογικές επιπτώσεις.

Γι' αυτό, άλλωστε, τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στη στενή παρακολούθηση όλων αυτών των παραγόντων από ειδικούς δορυφόρους, οι οποίοι ως άλλοι «επιθεωρητές» μας ενημερώνουν για όσα συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, ενώ συγχρόνως καταβάλλεται προσπάθεια δημοσιοποίησης των διαφόρων μελετών και των αποτελεσμάτων τους, με στόχο την ευαισθητοποίηση του κοινού στα θέματα αυτά. Χάρη, μάλιστα, στη μεγάλη δημοσιότητα που έδωσαν τα Μέσα Μαζικής Επικοινωνίας στο θέμα της ύπαρξης «τρυπών» στο στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος, ο κόσμος άρχισε να συνειδητοποιεί επιτέλους τους κινδύνους που εγκυμονεί

η ρύπανση του περιβάλλοντος από την αλόγιστη χρήση ουσιών, οι οποίες, εδώ και δεκαετίες είναι αποδεδειγμένα υπεύθυνες για την άνευ προηγουμένου οικολογική καταστροφή που επιφέρουν στον πλανήτη μας.

Οι τελευταίες, μάλιστα, μελέτες για την καταστροφή της προστατευτικής ασπίδας του όζοντος, έφεραν στο προσκήνιο και άλλες παράλληλες επιδράσεις, που έχουν οι ουσίες αυτές στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, καθώς ανέρχονται προς τη στρατόσφαιρα. Γιατί έχει πλέον αποδειχθεί ότι οι ουσίες αυτές, εκτός από την καταστροφή του όζοντος, συμβάλλουν και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας.

Τέτοιες ουσίες, εκτός από τους κλωροφθορανθρακες, είναι και διάφορες άλλες αλογονούχες χημικές ενώσεις, που χρησιμοποιούνται στα σπρέι, στις κλιματιστικές συσκευές σαν ψυκτικά, στα αφρώδη πλαστικά, στα συστήματα πυρόσβεσης, στα στεγνοκαθαριστήρια κ.λπ.. Οι ουσίες αυτές καθ' αυτές δεν είναι άμεσα επικίνδυνες για τον άνθρωπο ή το ζωικό και φυτικό περιβάλλον του πλανήτη μας. Οι ποσότητες, όμως, των εκλυόμενων καθημερινά κλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα είναι τόσο μεγάλες, ώστε έχουν κυριολεκτικά «βραχυκυκλώσει» τις φυσικές διαδικασίες ανακύκλωσης. Με άλλα λόγια, η φύση είναι αδύνατον πλέον να μας προστατέψει από την αυτοκαταστροφική μας διάθεση.

Μέχρι πρόσφατα, σ' ολόκληρο τον κόσμο παραγόταν κάθε χρόνο ένα δισεκατομμύριο σχεδόν τόνοι τέτοιων βλαβερών ουσιών, και απ' αυτές τις πο-

σότητες το 35% παράγονταν στις χώρες της Ε.Ε., άλλο τόσο στις ΗΠΑ, και το υπόλοιπο σε διάφορες άλλες χώρες. Από τη δεκαετία του '70, όμως, όταν για πρώτη φορά έγινε γνωστή η βλαπτική δραστηριότητα των κλωροφθορανθράκων, άρχισε μια πρώτη προσπάθεια ευαισθητοποίησης των διαφόρων κυβερνήσεων, η οποία κατέληξε στην υπογραφή, το 1987, του επονομαζόμενου «πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ» από 24 χώρες. Συμφωνήθηκε, δηλαδή, τότε ο περιορισμός παραγωγής ορισμένων κλωροφθορανθράκων κατά 50% μέχρι το 1998.

Επειδή, όμως, οι διάφορες επιστημονικές μελέτες έδειχναν ότι τα πράγματα χειροτέρευαν, το 1990 έγινε στο Λονδίνο η πρώτη αναθεώρηση του «πρωτοκόλλου» όπου αποφασίστηκε η κατάργηση παραγωγής όλων αυτών των ουσιών μέχρι το έτος 2000, ενώ λίγο

αργότερα το Συμβούλιο Περιβάλλοντος της Ε.Ε. αποφάσισε τη επίσημη του έτους κατάργησης κατά τέσσερα χρόνια, τον Ιανουάριο δηλαδή του 1996. Το ίδιο συνέβη επίσης και στα μετέπειτα διεθνή συνέδρια (Κιότο, Ρίο,

Γιοχάνεσμπουργκ, κ.λπ.). Παρ' όλα αυτά, η δράση των δισεκατομμυρίων τόνων των ουσιών αυτών που έχουν ήδη απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, θα μας κατατρέχει για τα επόμενα 100 περίπου χρόνια, όση δηλαδή είναι η χρονική περίοδος που παραμένουν ενεργά τα μόριά τους.

Σύμφωνα με τις τελευταίες επιστημονικές μελέτες, η βλαπτική τους δράση έχει δύο μορφές. Η πρώτη συμβαίνει στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και μέχρι ύψους περίπου 15 km, όπου οι ουσίες αυτές παραμένουν τα πρώτα 5 έως 10 χρόνια της ζωής τους. Σ' αυτό το ύψος φαίνεται ότι συμβάλλουν κατά μεγάλο ποσοστό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα πράγματα, όμως, γίνονται ακόμη πιο δύσκολα, όταν οι κλωροφθοράνθρακες φτάσουν στη στρατόσφαιρα. Στην περιοχή αυτή, και σε ύψος 10-50 km, υπάρχουν αρκετές ποσότητες όζοντος.

Το όζον είναι ένα γαλαζωπό αέριο, με βαριά μυρωδιά (εξ ου και το όνομά του από το ρήμα όζω), του οποίου το μόριο αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου (O_3), σε αντίθεση με το ζωτικό για μας μόριο του οξυγόνου που αποτελείται από δύο (O_2). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα δραστικό αέριο, 100 φορές πιο δηλητηριώδες από το μονοξειδίο του άνθρακα, με αποτέλεσμα, όταν βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης, ως προϊόν της φωτοχημικής ρύ-

πανσης, να επιδρά στον άνθρωπο με το χαρακτηριστικό τσούξιμο των ματιών και των αναπνευστικών οργάνων. Στη στρατόσφαιρα, όμως, το όζον σχηματίζει μια πραγματική προστατευτική ασπίδα, η οποία εμποδίζει τις επικίνδυνες ακτινοβολίες του Ήλιου να φτάσουν μέχρι την επιφάνεια της Γης.

Η **οζονόσφαιρα** αυτή, όπως ονομάζεται, είναι μια πρόσφατη σχετικά δημιουργία της φύσης, και υπολογίζεται ότι συνέβη όταν οι φωτοσυνθετικές διαδικασίες των γίνωνων μικροοργανισμών άρχισαν να γίνονται περισσότερο αποτελεσματικές πριν από 700 περίπου εκατομμύρια χρόνια. Χρειάστηκαν 300 ακόμη εκατομμύρια χρόνια για να αποκοπεί τελείως η διείσδυση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το συνεχώς διευρυνόμενο στρώμα του όζοντος, οπότε η ξηρά ήταν πλέον ασφαλής για να υποδεχτεί τα διάφορα είδη φυτών και ζώων που προήλθαν από τις θάλασσες και τους ωκεανούς πριν από 400 μόλις εκατομμύρια χρόνια.

Αυτή όμως η ασπίδα, παρόλο που έχει πάχος 40 km, δεν περιλαμβάνει απεριόριστες ποσότητες όζοντος, γιατί ακόμη και σ' αυτήν την περιοχή δεν βρίσκουμε παρά ένα μόνο μόριο όζοντος σε κάθε 100.000 μόρια ατμόσφαιρας. Αν δηλαδή, συγκεντρώναμε όλο το στρατοσφαιρικό όζον στην επιφάνεια της Γης, θα σχηματίζαμε ένα στρώμα καθαρού όζοντος με πάχος μόλις 3 mm του μέτρου. Η φυσική, λοιπόν, διαδικασία παραγωγής

και καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος βρισκόταν μέχρι τη δεκαετία του 1950 σε ισορροπία. Η παρουσία, όμως, των κλωροφθορανθρακικών ουσιών στη στρατόσφαιρα ανέτρεψε την ισορροπία αυτή κι έτσι άρχισε η αλματώδης καταστροφή του όζοντος, οπότε παρατηρήθηκαν και οι διάφορες «τρύπες» στην οζονόσφαιρα.

Οι τρύπες του όζοντος είναι μια μεταφορική περιγραφή της ελάττωσης του όζοντος σε ορισμένες περιοχές της στρατόσφαιρας. Αρχικά η ελάττωση αυτή είχε παρατηρηθεί κυρίως πάνω απ' την Ανταρκτική. Αργότερα, όμως, οι παρατηρήσεις των αεροδιαστημικών οργάνων της NASA και άλλων διεθνών οργανισμών επεισήμαναν παρόμοιες ελαττώσεις του όζοντος και στο βόρειο ημισφαίριο πάνω από την Αρκτική και τις βορειότερες περιοχές της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης. Οι πιο πρόσφατες, μάλιστα, μελέτες αναφέρουν ότι υπάρχει κίνδυνος οι «τρύπες» αυτές στην οζονόσφαιρα να μεταφερθούν ακόμη πιο νότια από την επίδραση ορισμένων μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στο βόρειο ημισφαίριο της Γης μας.

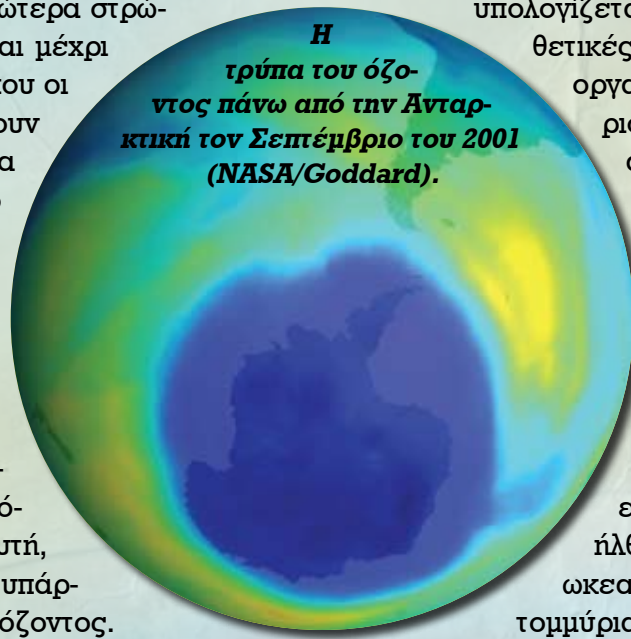
Η διαδικασία δημιουργίας των τρυπών του όζοντος έχει ως εξής. Σε ύψος 40 km περίπου η υπεριώδης ακτινοβολία του Ήλιου διασπά τους κλωροφθοράνθρακες, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση των ατόμων του κλωρίου. Κάθε άτομο κλωρίου που απελευθερώνεται, «επιτίθεται» σε ένα από τα τρία άτομα οξυγόνου που έχει το όζον σχηματίζοντας οξειδίο του κλωρίου και ελεύθερο διατομικό οξυγόνο (το είδος που αναπνέουμε). Η χημική αυτή ένωση, όμως, δεν είναι σταθερή, με αποτέλεσμα το άτομο του οξυγόνου να ενωθεί

σύντομα με κάποιο άλλο ελεύθερο άτομο οξυγόνου απελευθερώνοντας έτσι και πάλι το κλώριο, το οποίο «επιτίθεται» και πάλι σε ένα άλλο μόριο όζοντος.

Έχει υπολογιστεί ότι ένα άτομο κλωρίου καταστρέφει 1.000 μόρια όζοντος τον χρόνο, μέχρις ότου απενεργοποιηθεί σε 100 περίπου χρόνια. Η διαδικασία αυτή για άγνωστους ακόμη λόγους είναι ιδιαίτερα δραστική πάνω από τους πόλους της Γης, όπου σχηματίζονται και οι μεγαλύτερες τρύπες της οζονόσφαιρας. Από την καταστροφή αυτή του όζοντος, μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν τα φυτά και οι θαλάσσιοι οργανισμοί, οι οποίοι λόγω της μεγάλης τους σημασίας στην τροφική αλυσίδα, απειλούν με εφιαλτική κατάρρευση την πλανητική μας οικολογική ισορροπία.

Παρ' όλα τα μέτρα που έχουν ήδη ληφθεί υπολογίζεται ότι στα επόμενα 50 χρόνια θα καταστραφεί το 5-10% της προστατευτικής ασπίδας του όζοντος. Μια έκθεση της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των ΗΠΑ αναφέρει, μάλιστα, ότι για κάθε μία εκατοστιαία μονάδα του όζοντος που καταστρέφεται, θα έχουμε αύξηση 2-5% στους καρκίνους του δέρματος. Προβλέπεται, δηλαδή, έτσι μια συνολική αύξηση των καρκίνων του δέρματος κατά 20-40%. Σε απόλυτους αριθμούς, οι τελευταίες προβλέψεις μιλούν για ετήσια αύξηση 300.000 καρκίνων του δέρματος και 1,6 εκατομμύρια νέες περιπτώσεις καταρράκτη των ματιών κάθε χρόνο.

Η δραματική αυτή κατάσταση οφείλεται στον Ήλιο και κυρίως στην υπεριώδη ακτινοβολία που εκπέμπει. Η υπεριώδης ακτινοβολία του Ήλιου χωρίζεται σε τρία διαφορετικά είδη ανάλογα με το μήκος



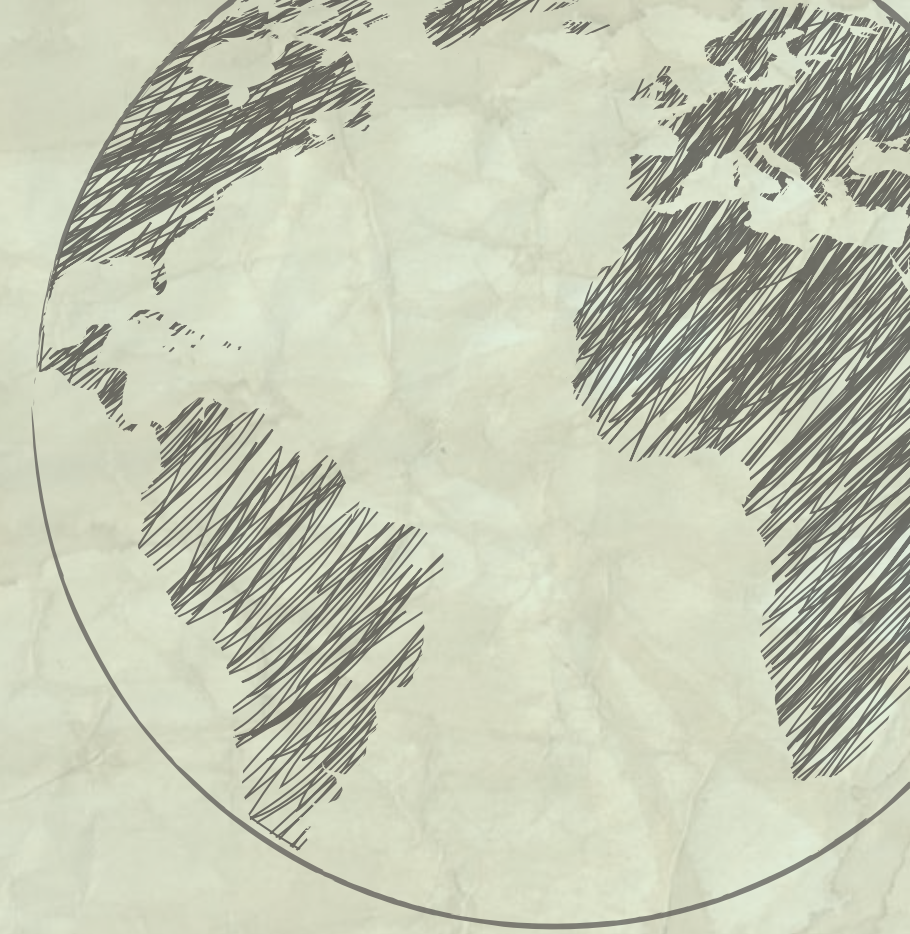
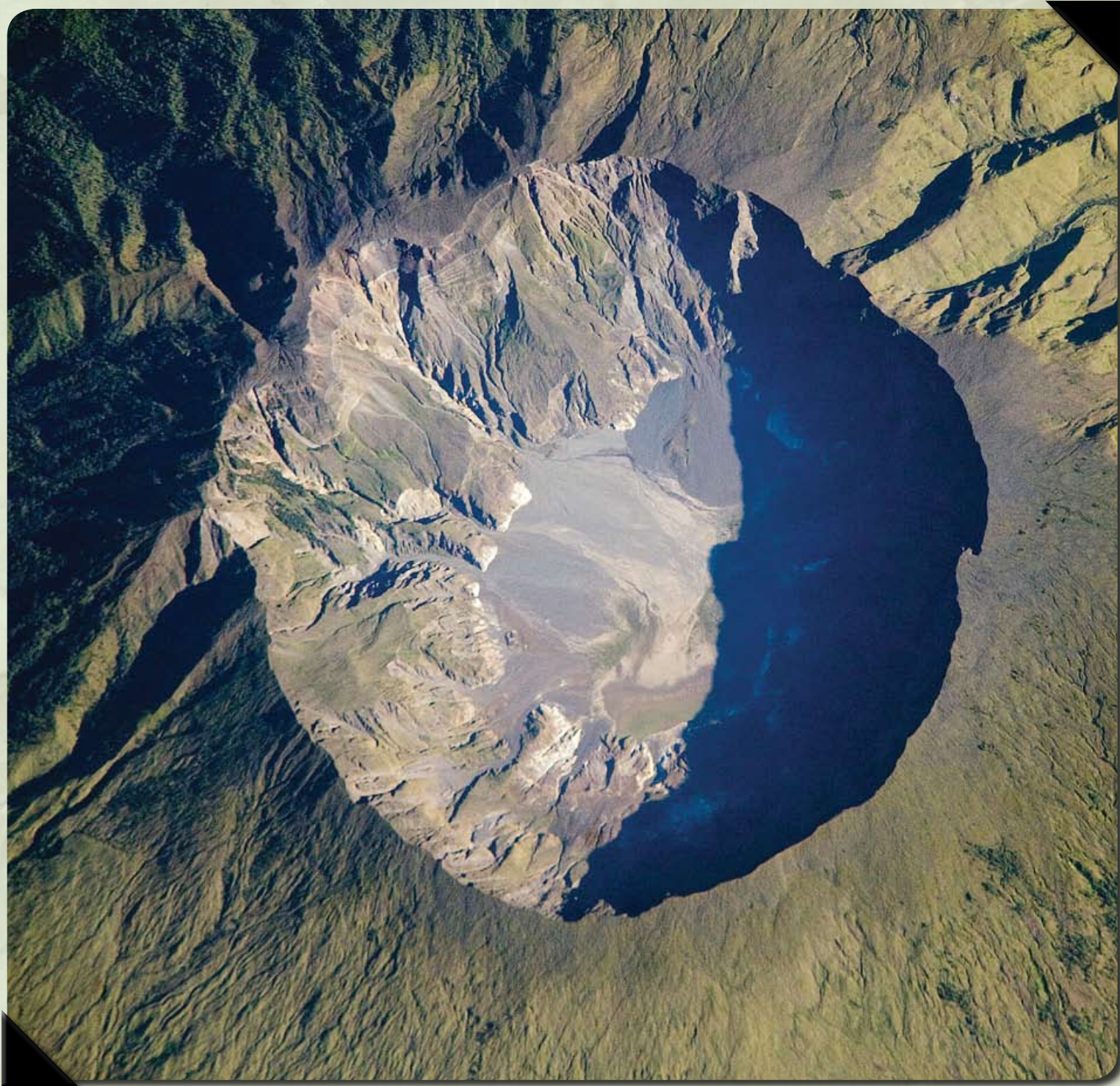
κύματος που έχει το κάθε είδος. Το πρώτο είδος (UV-A) είναι 1.000 φορές λιγότερο επικίνδυνο από το δεύτερο είδος (UV-B), και επειδή το τρίτο είδος δεν φτάνει σχεδόν ποτέ στην επιφάνεια της Γης, μας ενδιαφέρει κυρίως η συμπεριφορά της υπεριώδους ακτινοβολίας Β. Παρόλο που η ποσότητα της υπεριώδους Β αποτελεί μόνο το 0,7% της συνολικής ενέργειας που εκπέμπει ο Ήλιος, η επίδραση που έχει πάνω μας είναι σημαντική. Σ' αυτήν την ακτινοβολία οφείλεται και το «μαύρισμα» του δέρματος από την καλοκαιρινή ηλιοθεραπεία.

Η δύναμη, όμως, της υπεριώδους ακτινοβολίας ελαττώνεται όσο ο Ήλιος κατέρχεται στον ορίζοντα. Για παράδειγμα, η «δύναμη» του Ήλιου σε ύψος 60° είναι 100 φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι όταν βρίσκεται σε ύψος 301 pt. Έτσι, άλλωστε, εξηγείται γιατί είναι αδύνατον να «μαυρίσει» κάποιος νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα, και γιατί δεν μαυρίζετε τον χειμώνα όσο κι αν λάμπει ο Ήλιος.

Λόγω ακριβώς του ύψους που έχει ο Ήλιος, έξι ώρες ηλιοθεραπείας τις μεσημεριάντικες ώρες του Δεκεμβρίου έχουν το ίδιο αποτέλεσμα μαυρίσματος μ' ένα λεπτό τον Ιούνιο.

Ακόμη και μια ελαφριά συννεφιά δεν είναι αρκετό εμπόδιο στην υπεριώδη ακτινοβολία. Αντίθετα, ένα απλό τζάμι έχει την δυνατότητα να αποκόψει μέχρι και το 90% των ενεργών ακτίνων. Μπορείτε επίσης ομοιόμορφα και αργά να μαυρίσετε ακόμη και υπό σκιά κάποιας παραθαλάσσιας ομπρέλας, λόγω του ότι το νερό και η άμμος αντανακλούν το 15% των υπεριωδών ακτίνων. Το ίδιο, άλλωστε, συμβαίνει και με το χιόνι, το οποίο είναι ένας σχεδόν τέλειος ανακλαστήρας των υπεριωδών ακτίνων. Γι' αυτό και ένας απρόσεκτος σκιέρ μπορεί εύκολα να «καεί» από την ακτινοβολία, αφού σε υψόμετρο 3.000 m το «μαύρισμα» γίνεται 40% γρηγορότερα, λόγω της μικρότερης πυκνότητας της ατμόσφαιρας.





5. Τεκτονικές Πλάκες και Σεισμοί

Τα χαράματα της 28^{ης} Δεκεμβρίου του 1908, ένας σεισμός εντάσεως 7,1 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ «χτύπησε» την πόλη της Μεσσίνας στη Σικελία, προκαλώντας περισσότερους από 70.000 θανάτους και καταστρέφοντας το 93% των οικοδομημάτων της. Πιο πρόσφατα, στις 11 Μαΐου 2011, ένας άλλος τεράστιος σεισμός (τουλάχιστον 9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ) με επίκεντρο στην επαρχία Τοχόκου της Ιαπωνίας άφησε πίσω του περισσότερους από 15.000 νεκρούς, η συντριπτική πλειονότητα των οποίων δεν σκοτώθηκε από τον σεισμό, αλλά από τα γιγάντια κύματα τσουνάμι, που σε ορισμένες περιοχές έφτασαν τα 40 m ύψος και διείσδυσαν στη στεριά σε βάθος μέχρι και 10 km. Καθημερινά, άλλωστε, καταγράφονται δεκάδες σεισμοί εντάσεως έως 4,9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και τουλάχιστον ένας μέτριας ή ισχυρής έντασης κάθε εβδομάδα.

Εκτός, όμως, από αυτές τις βίαιες, ξαφνικές και εντελώς απρόβλεπτες δονήσεις του γίνιου φλοιού, η ασταμάτητη γεωτεκτονική δραστηριότητα του πλανήτη μας εκδηλώνεται και με διαφορετικούς τρόπους. Η κολοσσιαία έκρηξη του ηφαιστείου Ταμπόρα στο νησί Sambawa της Ινδονησίας το 1815, για παράδειγμα, εκτίναξε στην ατμόσφαιρα 160 km³ ηφαιστειακών υλικών και ήταν η ισχυρότερη ηφαιστειακή έκρηξη των ιστορικών χρόνων. Ο ήχος της έκρηξης ακούστηκε μέχρι τη Σουμάτρα, περισσότερο από 2.000 km μακριά, ενώ η ηφαιστειακή τέφρα του έφτασε μέχρι το Βόρνεο και την Ιάβα. Παρ' όλο που κατά τη διάρκεια της έκρηξης υπολογίζεται ότι σκοτώθηκαν επί τόπου περίπου 12.000 άνθρωποι, ο συνολικός αριθμός των θυμάτων υπερέβη τους 70.000, εξαιτίας του λοιμού και των ασθενειών που ξέσπασαν μετά την ολική καταστροφή της αγροτικής παραγωγής στην περιοχή. Η έκρηξη του ηφαιστείου της Ταμπόρα επηρέασε το κλίμα παγκοσμίως, προκαλώντας έναν «ηφαιστειακό χειμώνα», εξαιτίας του οποίου το 1816 έμεινε γνωστό ως η **χρονιά χωρίς καλοκαίρι**.



Φωτογραφία από τον σεισμό του 1908 στη Μεσίνα (αριστερά) και φωτογραφία από το μεγάλο τσουνάμι του 2011, που έπληξε την Ιαπωνία (δεξιά).

Πού οφείλονται άραγε οι τρομαχτικές φυσικές καταστροφές αυτού του είδους που παρατηρούνται σε όλα σχεδόν τα μήκη και τα πλάτη της υδρογείου και σε όλες τις γεωλογικές εποχές, από τότε δηλαδή που στερεοποιήθηκε η επιφάνεια του πλανήτη μας και συνεχίζονται μέχρι σήμερα; Πώς εξελίχθηκε γεωλογικά ο πλανήτης μας στα 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια που πέρασαν από τη γέννησή του; Είναι τυχαίο το εντυπωσιακό «ταίριασμα» του δυτικού περιγράμματος της Αφρικής με τις ανατολικές ακτές της κεντρικής και νότιας Αμερικής; Και εάν όχι, μήπως άραγε ο ήπειροι δεν βρίσκονταν πάντα εκεί που είναι τώρα, αλλά «μετακινήθηκαν» με κάποιον τρόπο εκεί; Τις απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα μάς τις δίνει η σύγχρονη θεωρία των τεκτονικών πλακών, που στη σημερινή περίπου μορφή της διατυπώθηκε μόλις στα μέσα του 20^{ου} αιώνα.

Η πρώτη σοβαρή επιστημονική προσπάθεια να απαντηθεί το τελευταίο από τα ερωτήματα που θέσαμε προηγουμένως, πραγματοποιήθηκε το 1912 από τον Γερμανό μετεωρολόγο **Alfred Lothar**



Wagener (1880–1930). Ο Wagener υποστήριζε ότι πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια όλες οι ήπειροι ήταν συγκεντρωμένες σε μια υπερήπειρο, την Παγγαία, η οποία στη συνέχεια διαμελίστηκε και τα «κομμάτια» της, οι σημερινές ήπειροι δηλαδή, συνέχισαν να απομακρύνονται η μία από την άλλη, «ολισθαίνοντας» με κάποιον τρόπο μέχρι τις τωρινές τους θέσεις. Όμως, παρ' όλο που η θεωρία του Wagener μπορούσε να ερμηνεύσει τα επιστημονικά δεδομένα που ήταν διαθέσιμα στην εποχή του, αδυνατούσε να εξηγήσει ποιος φυσικός μηχανισμός και ποιες δυνάμεις θα μπορούσαν να μετακινήσουν αυτές τις τεράστιες μάζες πετρωμάτων σε τόσο μεγάλες αποστάσεις. Γι' αυτό, άλλωστε, και το επιστημονικό κατεστημένο της εποχής του Wagener αντιμετώπισε με ειρωνεία τη νέα θεωρία αυτού του «παρείσακτου», όπως τον θεωρούσαν, μετεωρολόγου. Μετά τον θάνατό του, όμως, και καθώς νέες ενδείξεις έρχονταν συνεχώς στο φως, το ενδιαφέρον για τη θεωρία του Wagener όχι μόνο αναθερμάνθηκε, αλλά οδήγησε τελικά στην ανάπτυξη της θεωρίας των τεκτονικών πλακών, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα.

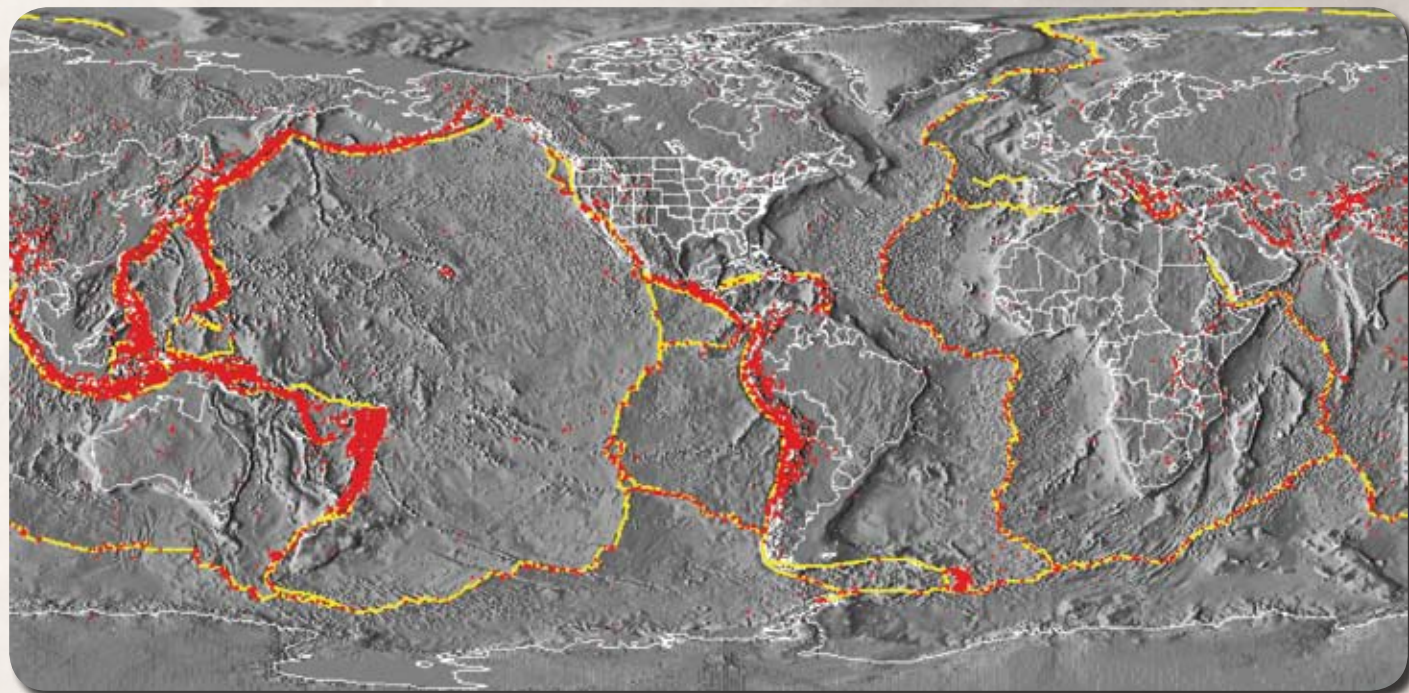
Προτού, όμως, αναφερθούμε εκτενέστερα σ' αυτήν, θα περιγράψουμε με συντομία την εσωτερική

δομή της Γης, η οποία αποτελείται από 4 ομόκεντρες στοιβάδες: τον φλοιό, τον μανδύα, τον εξωτερικό πυρήνα και τον εσωτερικό πυρήνα. Ο φλοιός της Γης, δηλαδή η στέρεα εξωτερική της στοιβάδα, έχει πάχος που κυμαίνεται από 30 έως 60 km κάτω από τις ηπείρους και από 5 έως 10 km κάτω από τους ωκεανούς, με τη μέση πυκνότητα του ωκεάνιου φλοιού να είναι λίγο μεγαλύτερη από εκείνη του ηπειρωτικού. Σύμφωνα με τις



Ο Γερμανός μετεωρολόγος Wagener.

τελευταίες μελέτες, ο φλοιός της αρχέγονης Γης πρέπει να είχε ήδη στερεοποιηθεί εδώ και 4,2 δισεκατομμύρια χρόνια, δηλαδή μόλις λίγες εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια μετά τη δημιουργία της, ενώ σ' αυτόν εκδηλώνονται και τα περισσότερα γεωλογικά φαινόμενα. Από τη βάση του φλοιού μέχρι το βάθος των περίπου 2.900 km εκτείνεται ο γίνος μανδύας, που διακρίνεται στο ανώτερο τμήμα του (μέχρι το βάθος των 660 km), και στο κατώτερο, που τελειώνει εκεί όπου αρχίζει ο ρευστός εξωτερικός πυρήνας, ο οποίος αποτελείται κυρίως από σίδηρο και νικέλιο και έχει πάχος μεγαλύτερο των 2.200 km. Ο εσωτερικός πυρήνας, τέλος, με διάμετρο περίπου 1.200 km, εικάζεται ότι αποτελείται κι αυτός κατά κύριο λόγο από σίδηρο και νικέλιο, σε στερεή ως επί το πλείστον και όχι ρευστή κατάσταση.



Το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής δραστηριότητας (κόκκινο) εκδηλώνεται στα όρια των τεκτονικών πλακών (κίτρινο) (φωτογρ. ΝΟΑΑ).

Σύμφωνα με τη θεωρία των τεκτονικών πλακών, η στερεή εξωτερική επιφάνεια της Γης συνίσταται από ένα σχετικά άκαμπτο και συμπαγές στρώμα πετρωμάτων, τη λιθόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από την επιφάνειά της μέχρι και το βάθος των περίπου 100 km, το οποίο περιλαμβάνει τον φλοιό και ένα μέρος του ανώτατου μανδύα. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελείται από 7 μεγαλύτερα και αρκετά μικρότερα κομμάτια, που ονομάζονται **λιθοσφαιρικές** ή **τεκτονικές πλάκες**, δηλαδή τεράστιες, συμπαγείς και σχετικά άκαμπτες «πλάκες» βράχων, οι οποίες στα όριά τους εφάπτονται ή/και επικαλύπτουν η μία την άλλη, όπως περίπου τα κομμάτια ενός γιγάντιου παζλ. Οι 7 μεγαλύτερες απ' αυτές είναι η Ευρασιατική,

η του Ειρηνικού, η Αφρικανική, η βόρεια και η νότια Αμερικανική, η Ινδο-αυστραλιανή και η Ανταρκτική, ενώ ανάλογα με τη δομή τους διακρίνονται σε **ηπειρωτικές** και **ωκεάνιες**. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες, «γλιστρώντας» αργά πάνω σε μία εύκαμπτη στοιβάδα μερικώς λιωμένων πετρωμάτων, η οποία ονομάζεται **ασθενόσφαιρα**, ολισθαίνουν η μία παράλληλα με την άλλη, αποκλίνουν ή συγκλίνουν μεταξύ τους, εξαιτίας των κινήσεων του μάγματος κάτω απ' αυτές που τις παρασύρει, «μετατοπίζοντας» συγχρόνως και τις ηπείρους που κουβαλούν στη ράχη τους. Γι' αυτό και ο πυρήνας της ιδέας του Wegener ήταν κατά βάση σωστός: σε βάθος εκατομμυρίων ετών η όψη του πλανήτη μας όντως μεταβάλλεται ριζικά.

Το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας που εκδηλώνεται στη Γη, δεν κατανέμεται με τυχαίο τρόπο στην επιφάνειά της, αλλά έχει την τάση να «συσσωρεύεται» σε σχετικά στενές ζώνες, οι οποίες εντοπίζονται στα όρια των τεκτονικών πλακών, εκεί δηλαδή που οι τεκτονικές πλάκες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η δραστηριότητα αυτή, όμως, δεν περιορίζεται μόνον εκεί, αλλά ενίοτε εκδηλώνεται και στο εσωτερικό τους. Καθώς οι πλάκες κινούνται η μία σε σχέση με την άλλη, τα πετρώματα στα όριά τους παραμορφώνονται αργά, συσσωρεύοντας με τον χρόνο τεράστια ποσά ενέργειας και σχηματίζοντας ρήγματα στον γήινο φλοιό, οι πλευρές των οποίων συγκρατούνται από τη μεγάλη τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ τους. Όταν η συσσωρευόμενη ενέργεια φτάσει σε σημείο που υπερβαίνει τις αντοχές των πετρωμάτων, τα σημεία τριβής σπάνε, με αποτέλεσμα την ξαφνική και απότομη ολίσθηση του ρήγματος. Οι βίαιες δονήσεις που προκαλούνται κατά την ολίσθηση του ρήγματος, απελευθερώνουν τη συσσωρευμένη ενέργειά τους, με τη μορφή σεισμικών κυμάτων, τα οποία διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτού του είδους οι τεκτονικοί, όπως ονομάζονται, σεισμοί, αποτελούν τη συντριπτική πλειονότητα (90%) των σεισμών που εκδηλώνονται στη Γη, αν και είναι δυνατό να εκδηλωθούν και σεισμοί, οι οποίοι οφείλονται σε διαφορετικές αιτίες, για παράδειγμα σε ηφαιστειακές εκρήξεις, στην πρόσκρουση κάποιου αστεροειδούς στην επιφάνεια του πλανήτη μας ή ακόμη και σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

Όταν οι σχετικές κινήσεις μεταξύ των τεκτονικών πλακών εξαναγκάζουν δύο απ' αυτές να μετακινηθούν παράλληλα και εφαπτομενικά η μία με

την άλλη, αναπτύσσονται ρήγματα, όπως αυτό του Άγιου Ανδρέα, που προκάλεσε τον καταστροφικό σεισμό του 1906 στον Σαν Φρανσίσκο ή το ρήγμα της βόρειας Ανατολίας, που εκτείνεται σ' όλο το μήκος της βόρειας Τουρκίας. Στα όρια απόκλισης δύο τεκτονικών πλακών, αντίθετα, σχηματίζονται υποθαλάσσιες ηφαιστειακές οροσειρές, γνωστές ως **μεσοωκεάνιες ράχες**. Είναι, ακόμη, δυνατό να σχηματιστούν ενεργές ζώνες «διαμελισμού» ή διάρρηξης ηπειρωτικών πλακών, όπως εκείνη που αναπτύσσεται κατά μήκος της Μεγάλης Ρηξιγενούς Κοιλάδας της ανατολικής Αφρικής, για την οποία πιστεύεται ότι είναι το ορατό αποτέλεσμα μιας ταχείας διαδικασίας διαχωρισμού της Αφρικανικής πλάκας σε δύο. Σ' αυτήν την περίπτωση, καθώς οι επί μέρους πλάκες της Νουβίας, της Σομαλίας και της Αραβικής χερσονήσου αποκλίνουν η μία από την άλλη, παρατηρείται άνοδος της ασθενόσφαιρας με ταυτόχρονη λέπτυνση του φλοιού, έτσι ώστε εκατομμύρια χρόνια από τώρα, το «κέρασ» της βορειοανατολικής Αφρικής θα αποκοπεί από την υπόλοιπη ήπειρο και θα γίνει νησί, ενώ η ξηρά, που προηγουμένως υπήρχε εκεί, θα κατακλυσθεί από τα νερά του Ινδικού ωκεανού, σχηματίζοντας έτσι μια νέα θάλασσα.

Τέλος, στα όρια σύγκλισης δύο τεκτονικών πλακών διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις: σύγκλιση ωκεάνιων πλακών, σύγκλιση ωκεάνιας με ηπειρωτική πλάκα και σύγκλιση δύο ηπειρωτικών πλακών. Κατά τη σύγκλιση 2 ωκεάνιων πλακών μεταξύ τους, η μία υποβυθίζεται και τελικά «καταστρέφεται» κάτω από την άλλη, σχηματίζοντας στην περιοχή υποβύθισης βαθιές ωκεάνιες τάφρους. Η Τάφρος των Μαρριανών για παράδειγμα, σηματοδοτεί την περιοχή όπου η τεκτονική πλάκα του

Ειρηνικού συγκλίνει και υποβυθίζεται κάτω από την πλάκα των Φιλιππίνων. Καθώς η μία πλάκα γλιστρούσε κάτω από την άλλη, σχηματίστηκε στο πέρασμα εκατομμυρίων ετών η βαθύτερη τάφρος του κόσμου (10.971 m), όπου το βαθύτερο σημείο της βυθίζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας περισσότερο απ' όσο ορθώνεται το Έβερεστ στα Ιμαλάια (8.848 m). Από την άλλη, όταν συγκλίνει μια ωκεάνια και μια ηπειρωτική πλάκα, όπως συμβαίνει έξω από τις ακτές της νότιας Αμερικής, κατά μήκος της τάφρου του Περού και της Χιλής, η ωκεάνια πλάκα της Νάζκα σπρώχνει και βυθίζεται

κάτω από την Νοτιοαμερικάνικη ηπειρωτική πλάκα, η οποία με τη σειρά της «ανασπκώνεται», δημιουργώντας τη γιγάντια οροσειρά των Άνδεων.

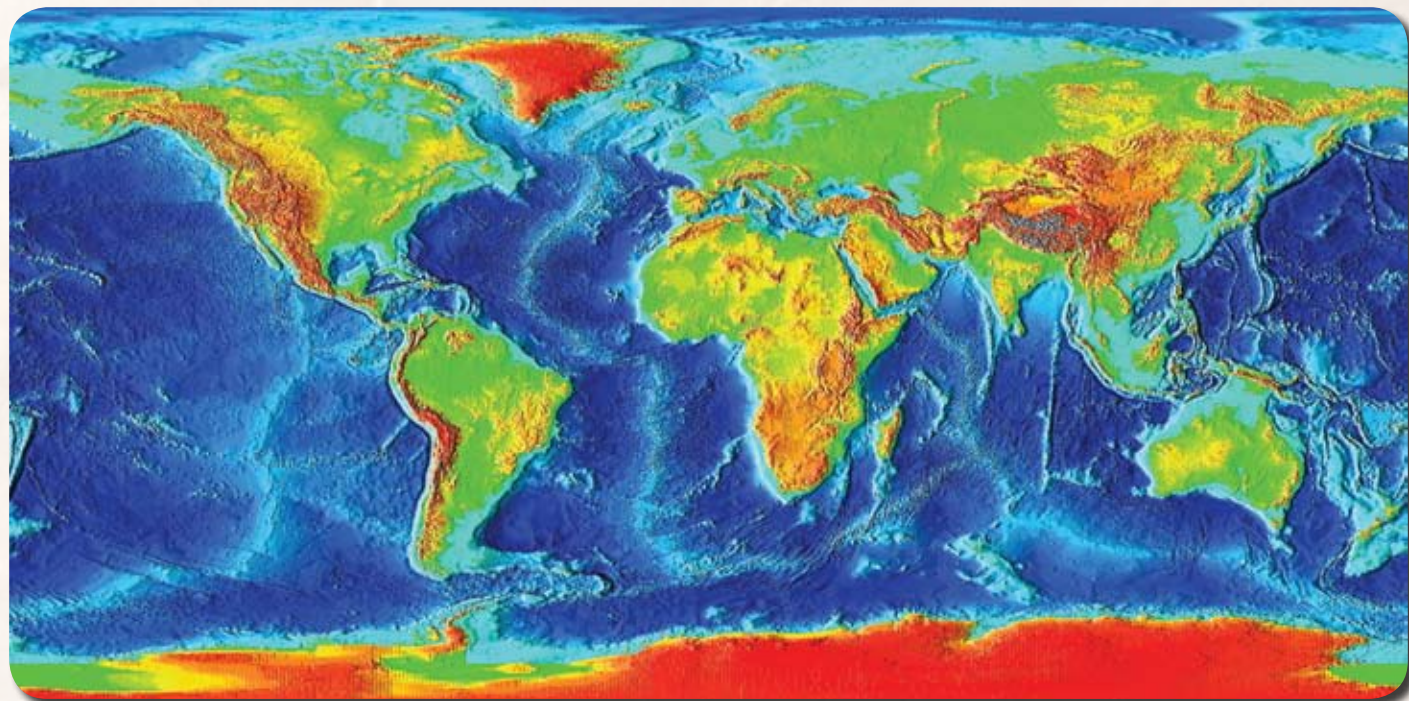
Τεράστιες οροσειρές σχηματίζονται και κατά την σύγκρουση δύο ηπειρωτικών πλακών, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την οροσειρά των Ιμαλαΐων, η οποία άρχισε να σχηματίζεται εδώ και 50 εκατομμύρια χρόνια εξαιτίας της σύγκλισης και σύγκρουσης της πλάκας της

Ινδίας με αυτήν της Ευρασίας. Εικάζεται, μάλιστα, ότι μία ακόμη τεράστια οροσειρά, η οποία θα εκτείνεται από την Ισπανία μέχρι τη Μέση Ανατολή, θα σχηματιστεί δεκάδες εκατομμύρια χρόνια στο μέλλον, όταν η Αφρικανική πλάκα που κινείται προς τα βορειοανατολικά, «εξαφανιστεί» τη Μεσόγειο και συγκρουστεί με την Ευρωπαϊκή πλάκα.

Η βασικότερη ένδειξη που συνέβαλε στη διαμόρφωση της θεωρίας των τεκτονικών πλακών, ήρθε στο φως μέσα από τη χαρ-

τογράφηση του ωκεάνιου πυθμένα, ο οποίος αποκαλύφθηκε στη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 ότι δεν ήταν σχετικά επίπεδος, όπως νόμιζαν οι γεωλόγοι μέχρι τότε. Πραγματικά, η ανακάλυψη μιας τεράστιας υποθαλάσσιας οροσειράς, που ελίσσεται ανάμεσα στις ηπείρους του πλανήτη, με μήκος που υπερβαίνει τα 50.000 km, με μέσο ύψος 4.500 m, και πλάτος 800 km, γνωστή πλέον ως η **Παγκόσμια Μέσο-Ωκεάνια Ράχη**, ήταν καταλυτική για τη διαμόρφωση της νέας θεωρίας. Πώς, όμως, δημιουργήθηκαν αυτές οι τεράστιες υποθαλάσσιες οροσειρές;

Η οροσειρά των Ιμαλαΐων.



Εικόνα στην οποία διακρίνεται το παγκόσμιο σύστημα των μεσο-ωκεάνιων ραχών (φωτογρ. NASA/ Smithsonian Institution).

Η απάντηση δόθηκε το 1961, όταν οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν ότι οι μεσοωκεάνιες ράχες σηματοδοτούν τεκτονικά ασθενείς περιοχές, όπου ο ωκεάνιος πυθμένας «σκίζεται» στα δύο κατά μήκος της κορυφής τους. Οι υποθαλάσσιες αυτές ηφαιστειακές οροσειρές, δηλαδή, σχηματίζονται στα όρια απόκλισης δύο τεκτονικών πλακών, στο μέσο των ωκεανών συνήθως, καθώς νέο μάγμα από τα βάθη της Γης αναδύεται και αναβλύζει κατά μήκος της κορυφής της ράχης, δημιουργώντας συνεχώς νέο ωκεάνιο φλοιό. Αυτή η εξάπλωση του ωκεάνιου πυθμένα, όπως ονομάζεται, αποδεικνύεται και από τις μετρήσεις που δείχνουν ότι η ηλικία των υποθαλάσσιων πετρωμάτων αυξάνει με την απόστασή τους από τη ράχη, με τα νεότε-

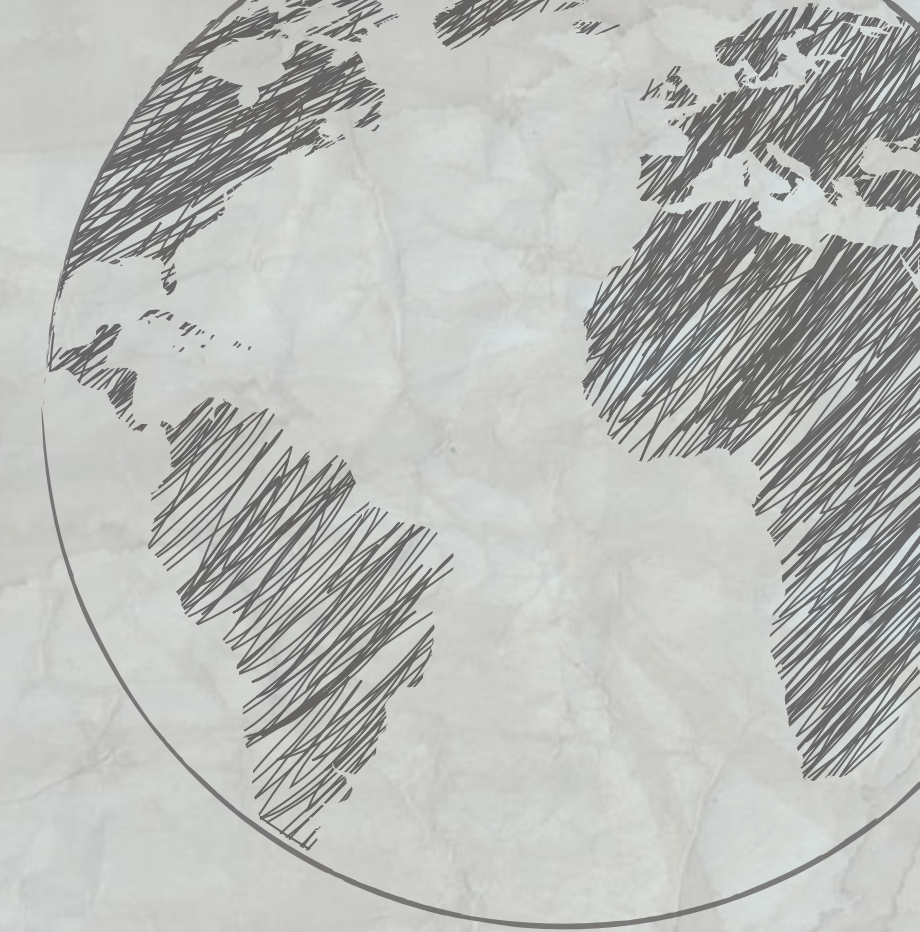
ρης ηλικίας πετρώματα να βρίσκονται πλησιέστερα στην κορυφή της, εκεί δηλαδή όπου αναβλύζει νέο μάγμα. Καθώς ο νέος φλοιός «διευρύνεται» συνεχώς και απομακρύνεται από την κορυφή της ράχης, το πλεόνασμα υλικού που προέρχεται από τον μανδύα καταστρέφεται ή «ανακυκλώνεται» στα αντιδιαμετρικά άκρα των πλακών, δηλαδή στα όρια σύγκλισης κάποιων άλλων, εκεί όπου η μία πλάκα καταβυθίζεται κάτω από μία άλλη και «επιστρέφει» μέσα στον μανδύα. Επειδή, μάλιστα, οι ηπειρωτικές πλάκες έχουν κατά κανόνα μικρότερη πυκνότητα και μεγαλύτερο πάχος από τις ωκεάνιες πλάκες, εκείνες που πάντα καταβυθίζονται είναι οι δεύτερες. Με δυο λόγια, ο ωκεάνιος πυθμένας ανακυκλώνεται, με τη δημιουργία νέου φλοιού κατά μήκος των ωκεάνιων ραχών και

την «καταβύθιση» του παλαιού φλοιού μέσα στις ωκεάνιες τάφρους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεσοωκεάνιας ράχης αποτελεί η Μεσο-Ατλαντική Ράχη, μία υποθαλάσσια οροσειρά που ξεκινά από τον Αρκτικό Ωκεανό και εκτείνεται νοτιότερα και από το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας στη Νότια Αφρική. Καθώς το ανατολικό περίγραμμα της νοτιοαμερικανικής πλάκας και το δυτικό περίγραμμα της αφρικανικής πλάκας αναδημιουργούνται συνεχώς με την εξάπλωση της Μεσο-Ατλαντικής Ράχης, που προκαλείται καθώς το ρευστό μάγμα συνεχίζει να αναβλύζει από την κορυφή της, η αφρικανική πλάκα «φαίνεται» να μετακινείται ανατολικά και η νοτιοαμερικανική δυτικά, καθώς και οι δύο «σπρώχνονται» προς αντίθετες κατευθύνσεις από τα ρεύματα μεταφοράς μάζας της ασθενόσφαιρας. Έτσι, το ανώτερο τμήμα της ασθενόσφαιρας κάτω από την νοτιοαμερικανική πλάκα κινείται αργά προς τα δυτικά, απομακρύνοντας την από την αφρικανική πλάκα, που κινείται προς τα ανατολικά. Με μέσο όρο 2,5 cm τον χρόνο, η «διαστολή» αυτή που παρατηρείται κατά μήκος της Μεσο-Ατλαντικής Ράχης μπορεί να φαίνεται μικρή. Σ' αυτήν όμως οφείλεται το γεγονός ότι στη διάρκεια των τελευταίων 100-200 εκατομμυρίων ετών ο Ατλαντικός ωκεανός διευρύνθηκε από έναν μικρό πορθμό, που βρισκόταν μεταξύ Αφρικής, Ευρώπης, καθώς και της Β. και της Ν. Αμερικής, στον τεράστιο ωκεανό που είναι σήμερα, απομακρύνοντας παράλληλα τη μια ήπειρο από την άλλη.

Εξαιτίας των τρομακτικών καταστροφών και της τεράστιας απώλειας ζώων που είναι δυνατό να προκαλέσουν οι σεισμοί, το επιστημονικό ενδιαφέρον για τη δυνατότητα πρόβλεψής τους παραμένει μεγάλο. Όμως, παρ' όλο που γνωρίζουμε ήδη αρκετά για τους μηχανισμούς γένεσης ενός σεισμού, η ακριβής πρόβλεψη της θέσης και του χρόνου που θα εκδηλωθεί είναι προς το παρόν αδύνατη. Κατά μέσο όρο εκδηλώνονται ετησίως περισσότεροι από 15 σεισμοί εντάσεως τουλάχιστον 7 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ. Παρ' όλο που οι σεισμολόγοι αδυνατούν να προβλέψουν πότε αυτοί θα εκδηλωθούν, είναι γεγονός ότι οι μεγαλύτεροι απ' αυτούς τείνουν να εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, με τους περισσότερους να συγκεντρώνονται περιμετρικά της πλάκας του Ειρηνικού. Επί πλέον, οι μελέτες που διεξάγονται αναφορικά με τη συχνότητα εκδήλωσης σεισμών συγκεκριμένου μεγέθους σε συγκεκριμένες περιοχές, με το μέγεθος του ρήγματος, το είδος των πετρωμάτων κ.ά. μπορούν να δώσουν στους επιστήμονες μια εικόνα για την μεσοπρόθεσμη «συμπεριφορά» κάποιου ρήγματος, καθώς και την πιθανότητα να εκδηλωθεί σ' αυτό κάποιος σεισμός, μόνο όμως σε βάθος χρόνου. Δυστυχώς, όπως έχουν τα πράγματα, η πολυπλοκότητα του φαινομένου καθιστά την ακριβή πρόβλεψη των σεισμών πρακτικά αδύνατη, πολύ περισσότερο μάλιστα που η γενεσιουργός αιτία τους δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή σ' όλες τις λεπτομέρειες.





6. Τα Ηφαίστεια και το Δαχτυλίδι της Φωτιάς

Στις 27 Αυγούστου 1883 το ινδονησιακό ηφαίστριο Κρακατόα στο ομώνυμο νησί, που βρίσκεται μεταξύ της Ιάβας και της Σουμάτρας, εξερράγη με απίστευτη βιαιότητα. Οι τέσσερις αλληπάλληλες εκρήξεις που σημειώθηκαν στις 05:30, 06:44, 10:02, και 10:41 τοπική ώρα απελευθέρωσαν συνολικά ενέργεια της τάξης των 200 εκατομμυρίων τόνων TNT ή 4 φορές μεγαλύτερη από την ισχυρότερη θερμοπυρηνική βόμβα που έχει πυροδοτηθεί μέχρι τώρα. Οι εκρήξεις ήταν τόσο ισχυρές που προκάλεσαν ολική απώλεια ακοής σε όσους είχαν την ατυχία να βρίσκονται μέχρι και 15 km μακριά από το σημείο της έκρηξης, ενώ ακούστηκαν μέχρι το μακρινό Περθ της Δυτικής Αυστραλίας, 3.200 km μακριά. Τεράστια κύματα τσουνάμι, που σε ορισμένες περιπτώσεις έφτασαν το ύψος των 40 m, σάρωσαν τις παράκτιες περιοχές της Ιάβας και της Σουμάτρας.

Τουλάχιστον 36.000 άνθρωποι υπολογίζεται ότι έχασαν τη ζωή τους από τις πυροκλαστικές ροές καυτών αερίων, από την ηφαιστειακή τέφρα και από τα τσουνάμι, ενώ ορισμένοι μελετητές ανεβάζουν τον αριθμό των θυμάτων στους 120.000. Για λόγους που δεν είναι ακόμη απολύτως εξακριβωμένοι, το ίδιο το νησί σχεδόν διαμελίστηκε από την έκρηξη, χάνοντας τα δύο τρίτα της αρχικής του επιφάνειας, ενώ κατά τη διάρκεια του ηφαιστειακού χειμώνα που προκλήθηκε από τις τεράστιες ποσότητες ηφαιστειακής τέφρας και διοξειδίου του θείου, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία μειώθηκε κατά 1,2°C. Ακόμη και σήμερα η περιοχή είναι ιδιαίτερα ενεργή, ενώ με τις συνεχείς υποθαλάσσιες ροές λάβας, ένα νέο νησί

αναδύθηκε στην επιφάνεια της θάλασσας τον Αύγουστο του 1930, γνωστό ως **Anak Krakatau** ή «**το παιδί του Κρακατόα**».

Τα αίτια αυτών των καταστροφικών υποχθόνιων δυνάμεων που απελευθερώνονται μέσα από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, όπως εξάλλου και οι σεισμοί αλλά και οι ίδιες κινήσεις των τεκτονικών πλακών, βρίσκονται κρυμμένα βαθιά στη Γη, εκεί που εξαιτίας των τεράστιων θερμοκρασιών και πιέσεων, το εσωτερικό του πλανήτη βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση. Γιατί, όμως, το εσωτερικό του πλανήτη μας είναι τόσο θερμό; Η θερμότητα στο εσωτερικό της Γης οφείλεται κατά κύριο λόγο σε 3 φυσικές διεργασίες, οι οποίες επέδρασαν

συσσωρευτικά καθ' όλη τη διάρκεια της γεωλογικής της εξέλιξης, μετατρέποντας την ενέργειά τους σε θερμότητα. Η πρώτη απ' αυτές είναι η ονομαζόμενη **βαρυτική συστολή**, το γεγονός δηλαδή ότι κατά τα πρώτα, κυρίως, στάδια του σχηματισμού της, η Γη συσώρευσε πάνω της όλο και μεγαλύτερες ποσότητες ύλης από τα συντρίμια της γένεσης του Ηλιακού Συστήματος, και καθώς η μάζα της αυξανόταν, η βαρυτική έλξη προς το κέντρο της μεγάλωνε επίσης. Η αυξανόμενη βαρύτητα της αρχέγονης Γης, με τη σειρά της, επέδρασε στον ίδιο τον πλανήτη, συρρικνώνοντάς τον και μετατρέποντας μέρος από τη βαρυτική του ενέργεια σε θερμότητα.

Το δεύτερο γεγονός που συνέβαλε στην αύξηση της εσωτερικής θερμότητας του πλανήτη μας ήταν οι αναρίθμητες **διαστημικές συγκρούσεις** στην επιφάνειά του, που μετέτρεψαν την κινητική τους ενέργεια σε θερμότητα, ενώ το τρίτο είναι η **διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων** στο εσωτερικό του, που συνεχίζεται ακόμη και σήμερα. Και οι τρεις αυτοί καθοριστικοί παράγοντες, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο πλανήτης μας αποβάλλει τη θερμότητά του με πολύ βραδύ ρυθμό, συνέβαλαν ώστε, ακόμη και σήμερα, να διατηρεί μεγάλο μέρος από τη θερμότητα του αρχέγονου παρελθόντος του, αλλά και να παράγει νέα από τη διαδικασία της ραδιενεργού διάσπασης.

Αρχικά, η αρχέγονη «πρωτο-Γη» πρέπει να ήταν σε ρευστή κατάσταση, γεγονός που επέτρεψε στα βαρύτερα μέταλλα να «βυθιστούν» προς το κέντρο της και τα ελαφρύτερα πετρώματα να κινηθούν προς την επιφάνειά της, οδηγώντας έτσι σταδιακά στο διαχωρισμό ενός αρχέγονου μανδύα και

ενός αρχέγονου μεταλλικού πυρήνα, που έδωσε αργότερα και το έναυσμα για τη δημιουργία του μαγνητικού του πεδίου. Την ίδια, περίπου, περίοδο, οι υδρατμοί που διέφευγαν από τον φλοιό του πλανήτη, τα αέρια που απελευθερώνονταν από τις ηφαιστειακές εκρήξεις και οι πηπτικές ενώσεις που απελευθερώνονταν κατά τη συντριβή κομητών και άλλων διαστημικών εισβολέων στην επιφάνεια του πλανήτη μας, θα πρέπει σταδιακά να δημιούργησαν την πρώτη του πυκνή ατμόσφαιρα, η οποία εμπλουτίστηκε και με το νερό που μετέφεραν οι διαστημικές βολίδες που συνέχισαν να τον βομβαρδίζουν. Σταδιακά, όμως, η επιφάνεια του πλανήτη μας στερεοποιήθηκε και η Γη απέκτησε τη δομή των στοιβάδων που περιγράψαμε.

Η στερεή επιφάνεια της Γης δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελείται, όπως είπαμε, από μεγαλύτερες και μικρότερες συμπαγείς «πλάκες» πετρωμάτων, που θυμίζουν τα κομμάτια ενός γιγάντιου παζλ. «Στριμωγμένες» η μία δίπλα στην άλλη, οι λιθοσφαιρικές πλάκες, «επιπλέουν» στον πυκνότερο μανδύα και βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Οι βαθύτερες αιτίες αυτής της κίνησης δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητές, πρέπει όμως να σχετίζονται με την αένα «διελκυστίνδα» μεταξύ της θερμότητας, που ο πλανήτης μας προσπαθεί να αποβάλει και της ίδιας του της βαρύτητας. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των σεισμών, που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα περισσότερα από τα περίπου 550 ενεργά ηφαίστεια του πλανήτη βρίσκονται συγκεντρωμένα στα όρια αλληλεπίδρασης μεταξύ των τεκτονικών πλακών και κυρίως εκεί που δύο πλάκες αποκλίνουν ή συγκλίνουν. Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε με ποιον τρόπο η ηφαιστειακή δραστηριότητα εκδηλώνεται στα



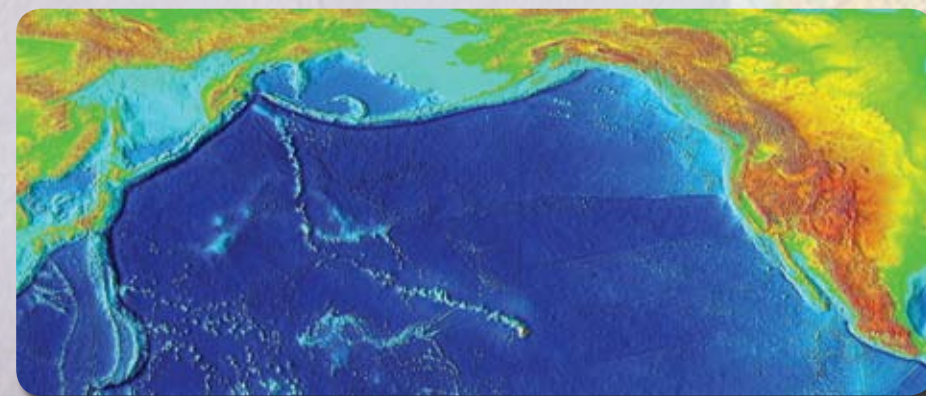
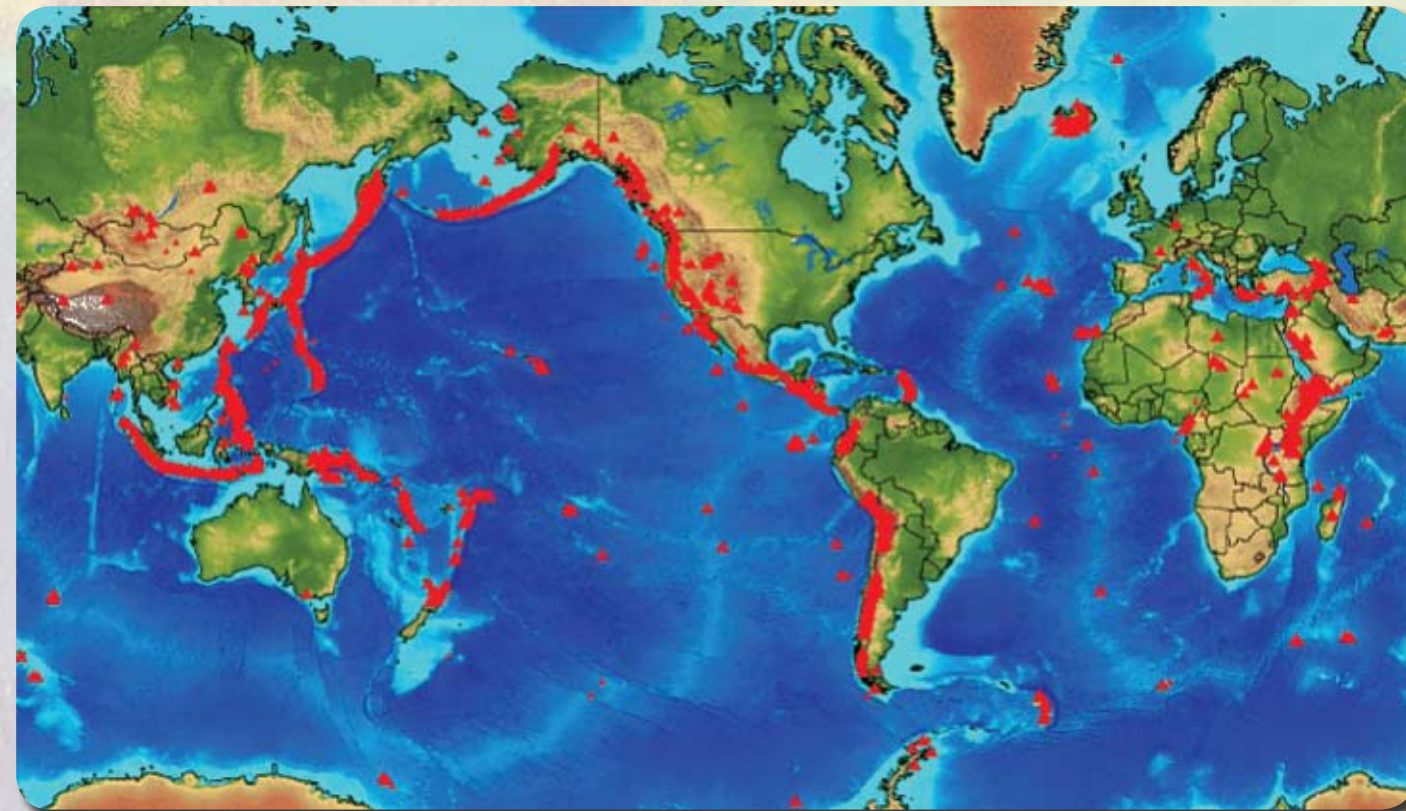
όρια απόκλισης μεταξύ δύο τεκτονικών πλακών, σχηματίζοντας τις μεσοωκεάνιες ράχες. Εδώ θα εστιάσουμε περισσότερο στην ηφαιστειακή δραστηριότητα, που εκδηλώνεται στα όρια σύγκλισης των τεκτονικών πλακών, καθώς και στην ενδοπλακική ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Η περιοχή με την εντονότερη ηφαιστειακή δραστηριότητα δεν είναι άλλη από το περίφημο Δακτυλίδι της Φωτιάς, μια τεράστια σε μήκος και σχεδόν κυκλική ζώνη που περιβάλλει τη λεκάνη του Ειρηνικού ωκεανού, περιμετρικά της οποίας εντοπίζονται πολλαπλές ζώνες κατάδυσης και στην οποία βρίσκονται συγκεντρωμένα τα περισσότερα από τα ενεργά ηφαίστεια του πλανήτη. Οι ζώνες αυτές σχηματίζονται όταν μία ωκεάνια πλάκα καταβυθίζεται κάτω από μια άλλη ωκεάνια ή ηπειρωτική πλάκα και τελικά «ανακυκλώνεται» μέσα στον γήινο μανδύα. Ειδικότερα, καθώς μια ωκεάνια πλάκα υποβυθίζεται σε όλο και μεγαλύτερα βάθη και συναντά όλο και υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις μέσα στον μανδύα, «αποδεσμεύει» το νερό που εμπεριέχουν τα πετρώματά της, το οποίο, καθώς ανέρχεται και συναντά τα πετρώματα του υπερκείμενου μανδύα, χαμηλώνει το σημείο τήξης τους, μετατρέποντάς τα σε μάγμα. Αυτό το μάγμα, στη συνέχεια, έχοντας μικρότερη πυκνότητα από τα πετρώματα που το περιβάλλουν, ανέρχεται προς την επιφάνεια, σχηματίζοντας τα ηφαίστεια. Στην περίπτωση που η ωκεάνια πλάκα καταβυθίζεται κάτω από μία άλλη ωκεάνια πλάκα, σχηματίζονται τα επονομαζόμενα **ηπειρωτικά τόξα**, δηλαδή σειρές ηφαιστειακών νησιών, όπως το ηφαιστειακό τόξο των Αλεούτιων Νήσων. Στην περίπτωση, όμως, που η ωκεάνια πλάκα καταβυθίζεται κάτω από μία ηπειρωτική πλάκα, η αλυσίδα των ηφαιστειών που θα δημιουργηθεί στον υπερ-

κείμενο ηπειρωτικό φλοιό, ονομάζεται **ηφαιστειακό τόξο**, όπως εκείνο που έχει σχηματιστεί στην περιοχή των Άνδεων στη Νότια Αμερική.

Κι όμως, παρ' όλο που τα περισσότερα «επεισόδια» ηφαιστειογένεσης παρατηρούνται στα όρια των τεκτονικών πλακών, υπάρχουν και ορισμένες εξαιρετικά ενεργές ηφαιστειακές περιοχές στο εσωτερικό των πλακών, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα τα νησιά της Χαβάνης, που βρίσκονται στο μέσο σχεδόν της πλάκας του Ειρηνικού, καθώς επίσης και το Εθνικό Πάρκο Yellowstone στην βορειοδυτική Αμερική. Αυτού του είδους οι ηφαιστειακές περιοχές ονομάζονται **θερμές κηλίδες** και εικάζεται ότι τροφοδοτούνται από μεγάλες δεξαμενές υπέρθερμου μανδουακού υλικού, το οποίο καθώς ανέρχεται προς την επιφάνεια, η πίεσή του μειώνεται, με αποτέλεσμα να υφίσταται μερική τήξη. Αυτά τα **μανδουακά διάπειρα** (mantle plumes), όπως ονομάζονται, τροφοδοτούνται από μακριές και λεπτές «ροές», που ξεκινούν από τα βάθη του μανδύα και όταν φτάσουν στη βάση της λιθόσφαιρας, απλώνονται παίρνοντας ένα χαρακτηριστικό μανιταροειδές σχήμα.

Το σύμπλεγμα των νησιών της Χαβάνης, για παράδειγμα, αποτελείται από 8 μεγάλα νησιά και αρκετά μικρότερα, από τα οποία ηφαιστειακά ενεργό, αλλά και μικρότερης γεωλογικής ηλικίας είναι το μεγαλύτερο, το οποίο βρίσκεται στη νοτιοανατολική άκρη μιας αλυσίδας νησιών, που εκτείνεται προς τα βορειοδυτικά για περίπου 5.000 km. Αυτή η μακριά αλυσίδα ηφαιστειακών νησιών και υποθαλάσσιων ηφαιστειών δημιουργήθηκε σε μια περίοδο περίπου 80 εκατομμυρίων ετών, μέσα από τη μετατόπιση της πλάκας του Ειρηνικού προς τα βορειοδυτικά, πάνω από την ίδια στατική θερμή κηλί-



Επάνω: Το Δακτυλίδι της Φωτιάς, η περιοχή με την εντονότερη ηφαιστειακή δραστηριότητα (Smithsonian Institution). Κάτω αριστερά: Η μεγάλη αλυσίδα ηφαιστειακών νησιών και υποθαλάσσιων ηφαιστειών, που καταλήγει στα νησιά της Χαβάνης (φωτογρ. USGS). Κάτω δεξιά: Ποτάμι λάβας στη Χαβάνη.



Ηφαιστειακή τέφρα και αέρια από την έκρηξη του ηφαιστείου Puyehue της Χιλής στις 5 Ιουνίου 2011.

δα. Γι' αυτό, εξάλλου, όσο βορειότερα κινούμαστε κατά μήκος της αλυσίδας, τόσο μεγαλύτερης ηλικίας είναι τα πετρώματα του κάθε νησιού. Στο νοτιότερο άκρο της, εκεί που βρίσκονται τα νησιά της Χαβάης, εντοπίζονται ορισμένα από τα νεότερα πετρώματα του πλανήτη, τα οποία δημιουργούνται από τη συνεχή ροή λάβας από τα 5 μεγάλα ηφαί-

στεια της Χαβάης, ενώ οι υπόλοιποι κρίκοι-νησιά της αλυσίδας διαθέτουν όλο και παλαιότερα ηφαιστεια, τα οποία είναι πλέον σβησμένα.

Εάν, λοιπόν, η θεωρία των θερμών κελίδων είναι σωστή, η θερμή κελίδα στην οποία οφείλεται η ηφαιστειακή δραστηριότητα του μεγάλου νησιού

της Χαβάης, πρέπει να υπάρχει εδώ και τουλάχιστον 80 εκατομμύρια χρόνια. Αυτό που συμβαίνει είναι το εξής: καθώς η πλάκα του Ειρηνικού μετατοπίζεται προς τα βορειοδυτικά, η παροχή μάγματος που τροφοδοτεί ένα ηφαίστειο, «σφραγίζεται», την ίδια στιγμή που ένα νεότερο σχηματίζεται πάνω από την ίδια στατική θερμή κελίδα. Με άλλα λόγια, πάνω από τη θερμή κελίδα δημιουργείται ένα ηφαίστειο, το οποίο συμπαρασύρεται από την μετατόπιση της πλάκας του Ειρηνικού προς τα βορειοδυτικά. Όταν η τροφοδοσία λάβας που τα ενεργοποιεί, αποκοπεί πλήρως, το ηφαίστειο σβήνει, διαβρώνεται και τελικά βυθίζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ ένα νέο σχηματίζεται πάνω από τη θερμή κελίδα κ.ο.κ..

Όπως θα δούμε αργότερα, στον ίδιο περίπου μηχανισμό ηφαιστειογένεσης εικάζεται ότι οφείλεται και ο σχηματισμός των τεράστιων ηφαιστειών του Άρν. Επειδή, όμως, η τεκτονική δραστηριότητα στον κόκκινο πλανήτη έχει σταματήσει προ πολλού, τα αρειανά ηφαίστεια παρέμειναν «αμετακίνητα» πάνω από τον ίδιο ενεργό μαγματικό θάλαμο που τα τροφοδοτούσε και, καθώς η μία στρώση στερεοποιημένης λάβας προσετίθετο στην άλλη, το ύψος τους έφτασε σε δυσθεώρητα επίπεδα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί

το Όρος Όλυμπος που, με βάση 550 km, ύψος τριπλάσιο απ' αυτό του Έβερεστ και κρατήρα διαμέτρου 80 km, είναι το μεγαλύτερο ηφαίστειο του Ηλιακού μας Συστήματος. Σ' αυτό, βέβαια, συνεισέφερε και η ασθενέστερη βαρυτική έλξη του μικρότερου Άρν, όπου σε αντίθεση με τη Γη, το μέγιστο ύψος ενός όρους, προτού αυτό αρχίσει να καταρρέει κάτω από το ίδιο του το βάρος, είναι πολύ μεγαλύτερο.

Εάν οι γεωλόγοι όμως δεν μπορούν ακόμη να προβλέψουν με ακρίβεια την εκδήλωση των σεισμών, τι ισχύει αναφορικά με τις ηφαιστειακές εκρήξεις; Εδώ τα πράγματα είναι κάπως καλύτερα. Με την προϋπόθεση ότι η δραστηριότητα ενός ηφαιστείου παρακολουθείται και καταγράφεται συστηματικά, μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να προβλεφθεί με κάποια ακρίβεια, αφού τις περισσότερες φορές προηγείται συνήθως η εκδήλωση μιας σειράς φαινομένων, όπως η αυξημένη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή του ηφαιστείου, η μεταβολή καθώς και της χημικής σύστασης, της ποσότητας και της θερμοκρασίας των θερμών πηγών και των αερίων που εκλύονται από το έδαφος, μεταβολές στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, ακόμη και μεταβολές στο τοπικό μαγνητικό και το βαρυτικό πεδίο.





7. Κάτω από τα πέπλα της Αφροδίτης

Για αιώνες ολόκληρους τη θεωρούσαν το ομορφότερο και λαμπρότερο ουράνιο σώμα με μια λάμψη που γοήτευε όλους όσους ατένιζαν τον ουρανό. Τα τελευταία, όμως, 50 χρόνια οι σύγχρονες διαστημοσυσκευές μάς απεκάλυψαν μία πραγματική κόλαση με επιφανειακή θερμοκρασία 480°C και ατμοσφαιρική πίεση 90 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της Γης, η οποία ισοδυναμεί με την πίεση που υφίσταται σε βάθος 100 m σ' έναν γήινο ωκεανό.

Σε μια αποπνιχτική ατμόσφαιρα που αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο και θειικό οξύ, το καυτό της έδαφος περιλαμβάνει λίμνες από υλικά, που στη Γη θα βρίσκονταν σε στερεά κατάσταση, ενώ οι μελλοντικοί επισκέπτες της, εάν υπάρξουν ποτέ, θα αντικρίσουν μια επιφάνεια πέρα και απ' αυτήν ακόμη την επιστημονική φαντασία. Γιατί η επιφάνεια της Αφροδίτης είναι μία καυτή έρημος με ασθενείς ανέμους στην επιφάνεια, που δεν κατορθώνουν να διαβρώσουν τα βράχια, ακόμη και μετά την πάροδο εκατομμυρίων χρόνων.

Πρόκειται για έναν πλανήτη, του οποίου η ημέρα διαρκεί 243 γίνες, ενώ η ανατολή του Ήλιου γίνεται από τη δύση. Αυτή η αργή και αντίθετη με τους άλλους πλανήτες περιστροφή, είναι ένα μόνο από τα μυστήρια που κρύβει ο δεύτερος αυτός πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος, αφού για δεκαετίες οι επιστήμονες διαφωνούσαν συνεχώς σχετικά με το τι υπήρχε κάτω από τα σύννεφα που συνεχώς τη σκεπάζουν. Στις δεκαετίες του '60 και '70 η τότε Σοβιετική Ένωση εκτόξευσε συνολικά 11 διαστημοσυσσκευές, μεταξύ των οποίων και τη σειρά **Venera**, που μας έστειλαν πραγματικές φωτογραφίες της επιφάνειας του πλανήτη αυτού.

Στη δεκαετία του '70 αμερικανικές διαστημοσυσσκευές μελέτησαν την επιφάνεια της Αφροδίτης με ραντάρ αποκαλύπτοντας έτσι για πρώτη φορά ολόκληρη σχεδόν την επιφάνειά της. Η πρώτη αυτή χαρτογράφηση μάς αποκάλυψε μεγάλα υψίπεδα σε μέγεθος ηπείρων, ενεργά ηφαιστεια και χαράδρες βάθους χιλιάδων μέτρων, με μερικούς ρηχούς αλλά τεράστιους κρατήρες από συγκρούσεις μετεωριτών.

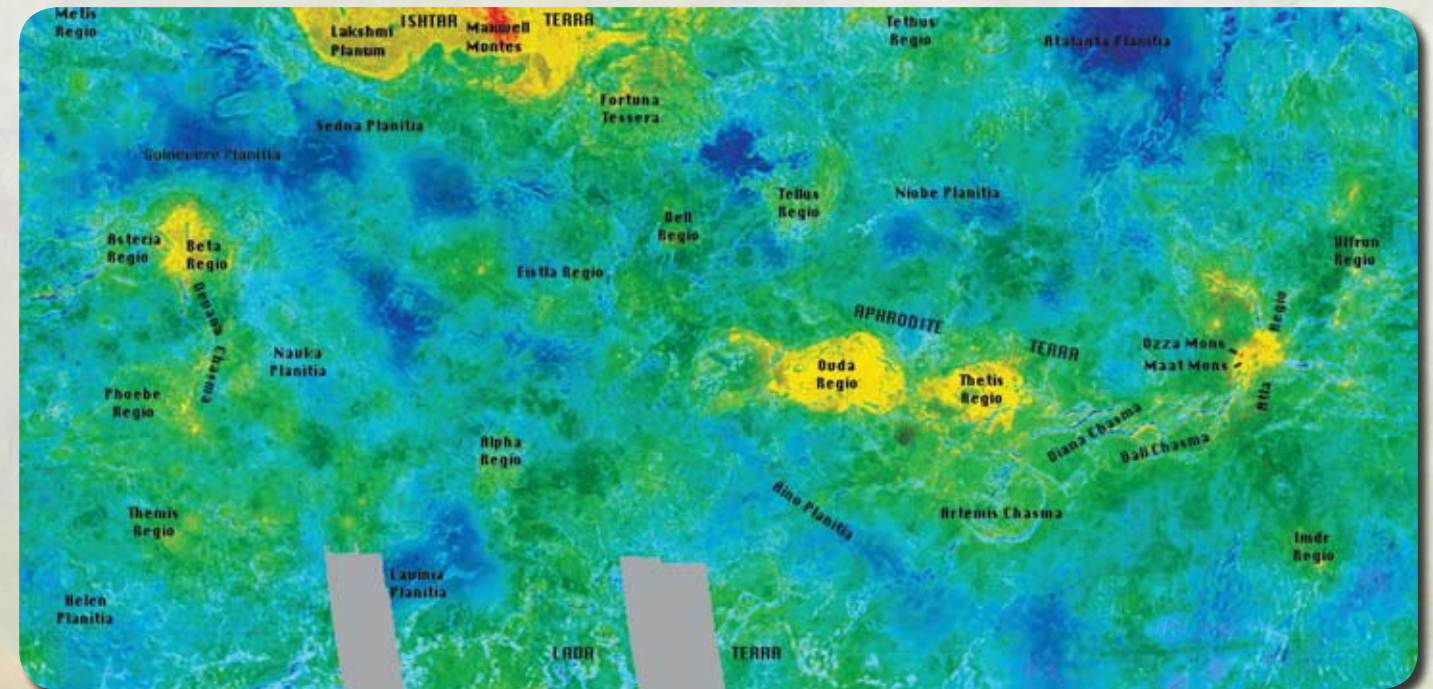
Μια από τις διαστημοσυσσκευές απελευθέρωσε 4

μικρότερες συσκευές, οι οποίες εισχώρησαν στην ατμόσφαιρα από διαφορετικά σημεία και οι πληροφορίες που μας έστειλαν, αποκάλυψαν ότι τα σύννεφα της Αφροδίτης που αποτελούνται από θειικό οξύ πιο πυκνό ακόμη και από εκείνο που χρησιμοποιούμε στις μπαταρίες των αυτοκινήτων και σπρώχνονται από ανέμους που φυσούν με ταχύτητα 360 km/h. Αντίθετα, οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια δεν ξεπερνούν τα μερικά χιλιόμετρα την ώρα.

Οι σύγχρονες μελέτες που έχουμε διενεργήσει μας έχουν επιβεβαιώσει όλα όσα είχαν αποκαλύψει προηγουμένως αμερικανικά και ρωσικά σκάφη, μεταξύ των οποίων και τον λόγο της μεγάλης θερμοκρασίας που επικρατεί εκεί και η οποία οφείλεται στο διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό δηλαδή που συμβαίνει στην Αφροδίτη είναι το ίδιο που συμβαίνει και στη Γη μας, με μια όμως πολύ σημαντική διαφορά, που σχετίζεται με τη σύσταση της ατμόσφαιρας των δύο αυτών πλανητών.

Είναι γνωστό ότι ο Ήλιος λάμπει πάνω στη Γη και μ' αυτόν τον τρόπο θερμαίνει το έδαφος. Το έδαφος με τη σειρά του επανεκπέμπει την ηλιακή ακτινοβολία ως θερμότητα ως υπέρυθρη δηλαδή ακτινοβολία. Η σύσταση της ατμόσφαιράς μας, όμως, επιτρέπει στο μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας να διαφύγει στο Διάστημα κι έτσι η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας διατηρείται σε μια προσεκτική ισορροπία. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και στην Αφροδίτη, γιατί το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιράς της δεν επιτρέπει στην υπέρυθρη ακτινοβολία να διαφύγει στο Διάστημα.

Έτσι, παρ' όλο που τα σύννεφα της Αφροδίτης αντανακλούν το 80% του ηλιακού φωτός που πέφτει πάνω τους, η ποσότητα θερμότητας που περ-



Τοπογραφικός χάρτης της Αφροδίτης από τη διαστημοσυσσκευή Μαγγελάνος. Στις γκριζες περιοχές τα δεδομένα δεν ήταν αρκετά (φωτογρ. NASA).

νά μέσα από τα σύννεφα και φτάνει στην επιφάνειά της παγιδεύεται εκεί ολοκληρωτικά, κι έτσι η θερμοκρασία συνεχώς ανεβαίνει, με αποτέλεσμα έναν πανέρημο υπέρθερμο πλανήτη. Δημιουργείται δηλαδή ένα «φαινόμενο θερμοκηπίου» που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη θερμοκρασία που επικρατεί στην επιφάνεια, ενώ τα κτηρινόλευκα σύννεφά της, που κρύβουν συνεχώς την επιφάνεια αυτή, φτάνουν σε ύψος τα 65 km.

Σήμερα υπολογίζεται ότι πριν από 300 με 500 εκατομμύρια χρόνια η Αφροδίτη πρέπει να δέχτηκε έναν έντονο βομβαρδισμό από μετεωρίτες. Έτσι, οι παλαιότερες περιοχές που καταγράφονται σήμερα στην επιφάνειά της φτάνουν το πολύ τα 800 εκατομμύρια χρόνια, αφού η ηφαιστειακή της

δραστηριότητα έχει καλύψει κάθε ίχνος της παλαιότερης επιφάνειάς της και κάθε μεγάλο κρατήρα από την αρχική περίοδο της ύπαρξής της. Στο παρελθόν, στην επιφάνεια της Αφροδίτης ίσως να υπήρχε και νερό, σήμερα όμως έχει εξαφανιστεί τελείως. Είναι μάλιστα πιθανό ότι πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια η Γη και η Αφροδίτη έμοιαζαν αρκετά μεταξύ τους. Η δημιουργία, όμως, της ζωής στον πλανήτη μας επέδρασε δραστικά στην εξέλιξή του.

Από το 1990 και μέχρι το 1994 μια νέας τεχνολογίας διαστημοσυσσκευή, με την ονομασία **Μαγγελάνος**, περιτριγύριζε την Αφροδίτη χαρτογραφώντας την με υψηλής ανάλυσης ραντάρ. Ο **Μαγγελάνος** μάς έστειλε μια τεράστια ποσότητα στοιχείων για τον

σχηματισμό χιλιάδων εικόνων της επιφάνειάς της. Δεν είναι φυσικά φωτογραφίες με τη συνηθισμένη έννοια, αλλά ένας χάρτης-ραντάρ, που έχει κατορθώσει να πετάξει ουσιαστικά τα σύννεφα που την καλύπτουν προσφέροντάς μας μία λεπτομερή εικόνα των χαρακτηριστικών της επιφάνειάς της, με τους κρατήρες και τα βουνά της, τις χαράδρες και τα ενεργά της ηφαίστεια. Είναι, άλλωστε φυσικό ότι ο μόνος τρόπος, με τον οποίο θα μπορούσε να χαρτογραφηθεί η επιφάνεια της Αφροδίτης είναι με ραντάρ, αφού η ατμόσφαιρα, ενώ είναι αδιαφανής στο ορατό τμήμα του φάσματος, διαπερνάται εύκολα από τα ραδιοκύματα.

Με καθυστέρηση τριών χρόνων λόγω της καταστροφής του διαστημικού λεωφορείου **Challenger** τον Ιανουάριο του 1987, ο Μαγγελάνος εκτοξεύτηκε από το διαστημικό λεωφορείο **Atlantis** τον Μάιο του 1989. Μετά από ταξίδι 15 μηνών έφτασε στην Αφροδίτη και τέθηκε σε τροχιά γύρω της στις 10 Αυγούστου του 1990. Επί τέσσερα συναπτά χρόνια η διαστημοσυσκευή αυτή περιτριγύριζε την Αφροδίτη στέλνοντας χιλιάδες ραδιοσήματα κάθε δευτερόλεπτο στο έδαφος. Κάθε σήμα του ραντάρ χτυπούσε ένα χαρακτηριστικό της επιφάνειας και επέστρεφε στη διαστημοσυσκευή όπου με τη βοήθεια υπολογιστών σχηματιζόταν η εικόνα του εδάφους. Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυτής φαίνεται άλλωστε πολύ καθαρά και στις εικόνες που συνελέγησαν.

Στη διάρκεια κάθε τριώρης τροχιάς το ραντάρ «φωτογράφιζε» μια ζώνη πλάτους 20 km. Οι μετέπειτα ζώνες εφάπτονταν μεταξύ τους, και έτσι οι υπολογιστές στη Γη είχαν τη δυνατότητα να σχηματίσουν ένα μωσαϊκό τέτοιων «φωτογραφιών». Η τροχιά του Μαγγελάνου μάλιστα είχε σχεδιαστεί

με τέτοιον τρόπο, ώστε ολόκληρος ο πλανήτης να χαρτογραφείται σε μια περίοδο 243 ημερών. Οι χαρτογραφήσεις αυτές μάς έδειξαν μια πολυποίκιλη επιφάνεια, με το βόρειο και το νότιο ημισφαίριο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Το βόρειο είναι ορεινό, με ψηλά οροπέδια και χωρίς κρατήρες, ενώ το νότιο μέρος έχει κυματοειδές έδαφος και αποτελείται από μεγάλες πεδιάδες σκεπασμένες με λάβα.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των εικόνων είναι και η απουσία μεγάλου αριθμού κρατήρων. Η Σελήνη και ο Άρης έχουν χιλιάδες, στην Αφροδίτη όμως έχουν παρατηρηθεί λιγότεροι από χίλιοι. Αυτό δείχνει μια σχετικά νεαρή επιφάνεια, αλλά η ακριβής χρονολόγησή της είναι δύσκολη με τόσο λίγους κρατήρες. Οι κρατήρες με διάμετρο μεγαλύτερη από 18 km είναι πλημμυρισμένοι με στερεοποιημένη λάβα, ενώ ο μεγαλύτερος κρατήρας πρόσκρουσης που βρήκαμε στην Αφροδίτη ονομάζεται **Mead** και έχει διάμετρο 270 km.

Κανένας από τους κρατήρες που εντοπίστηκαν δεν έχει διάμετρο μικρότερη από 7 km, γι' αυτό οι ειδικοί επιστήμονες πιστεύουν ότι οι μετεωρίτες που θα μπορούσαν να σχηματίσουν μικρότερους κρατήρες δεν προφταίνουν να φτάσουν και να συγκρουστούν με την επιφάνεια, γιατί καίγονται στην πυκνή ατμόσφαιρα που περιβάλλει τον πλανήτη. Έτσι, το 85% τουλάχιστον της επιφάνειας αποτελείται από επίπεδα ηφαιστειακά τοπία, τα οποία είναι σιγματισμένα από δεκάδες χιλιάδες ηφαιστειακούς κώνους. Υπάρχουν αρκετά ηφαίστεια όμως αυτά της Χαβάνης, είναι δηλαδή πολύ χαμηλά και με μεγάλο στρογγυλό κρατήρα.

Στις εικόνες που έφτασαν σε εμάς, εμφανίζονται

επίσης δύο μεγάλα οροπέδια, σαν τις δικές μας ηπείρους, που δεσπόζουν σε μια σειρά ακανόνιστων πεδιάδων, ενώ πελώρια βουνά και ενεργά ηφαίστεια σιγματίζουν την επιφάνεια εδώ κι εκεί. Το μεγαλύτερο υψίπεδο ονομάζεται Ήπειρος της Αφροδίτης, και είναι αντίστοιχο σε μέγεθος με την Αφρική. Κοντά στον Βόρειο Πόλο βρίσκεται η Ήπειρος της Ισάρ, στο μέγεθος περίπου των Ηνωμένων Πολιτειών, που περιλαμβάνει τη μεγάλη οροσειρά Μάξγουελ, με ύψος 11 km. Το πιο ενδιαφέρον, όμως, χαρακτηριστικό της επιφάνειας της Αφροδίτης είναι χωρίς αμφιβολία τα ενεργά ηφαίστεια που ανακαλύφθηκαν.

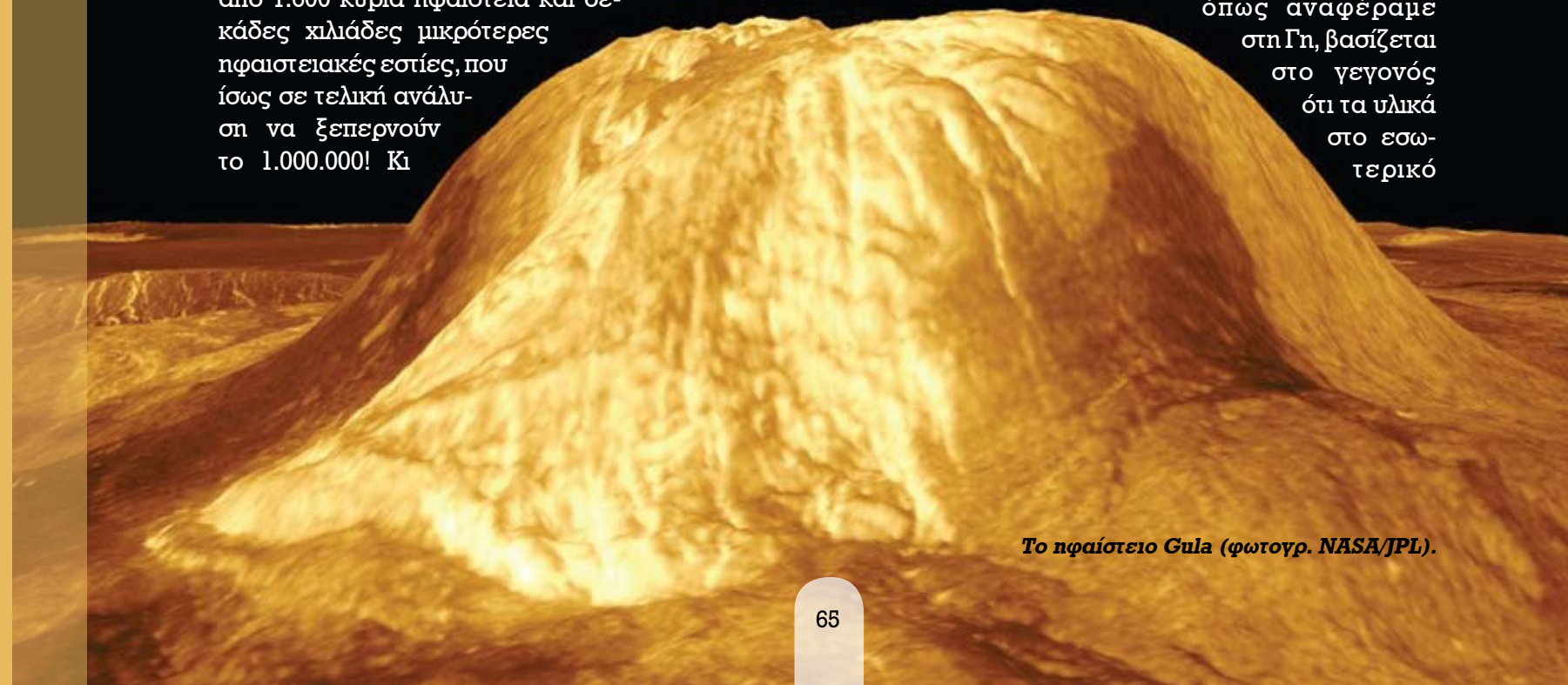
Το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της Αφροδίτης είναι ότι διαθέτει περισσότερα ηφαίστεια από οποιονδήποτε άλλον κόσμο στο Ηλιακό μας Σύστημα. Οι «φωτογραφικές απεικονίσεις» των ραντάρ της διαστημοσυσκευής Μαγγελάνος μάς αποκάλυψαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 πάνω από 1.600 κύρια ηφαίστεια και δεκάδες χιλιάδες μικρότερες ηφαιστειακές εστίες, που ίσως σε τελική ανάλυση να ξεπερνούν το 1.000.000! Κι

όμως κανείς δεν γνωρίζει ακόμη εάν και πόσα από τα ηφαίστεια αυτά είναι σήμερα ενεργά γιατί τα ραντάρ του Μαγγελάνου δεν είχαν την δυνατότητα να καταγράψουν τέτοιου είδους δραστηριότητα.

Οποιαδήποτε, όμως, ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Αφροδίτη διαφέρει ουσιαστικά απ' αυτήν της Γης μας για τρεις κυρίως λόγους: πρώτον, γιατί η τεράστια ατμοσφαιρική πίεση εξαναγκάζει τη ροή της λάβας να είναι πολύ πιο ήρεμη απ' ό,τι στη Γη, δεύτερον, γιατί οι εκρηκτικές ηφαιστειακές εκρήξεις του πλανήτη μας οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη νερού, κάτι που είναι σπάνιο στην Αφροδίτη, και τρίτον, γιατί η ανυπαρξία οποιασδήποτε τεκτονικής δραστηριότητας στην Αφροδίτη ελατώνει την πιθανότητα εκρηκτικών ηφαιστειών.

Τα ενεργά ηφαίστεια της Αφροδίτης δημιουργούνται με την ίδια διαδικασία που δημιουργούνται και τα ηφαίστεια της Γης μας. Η διαδικασία αυτή,

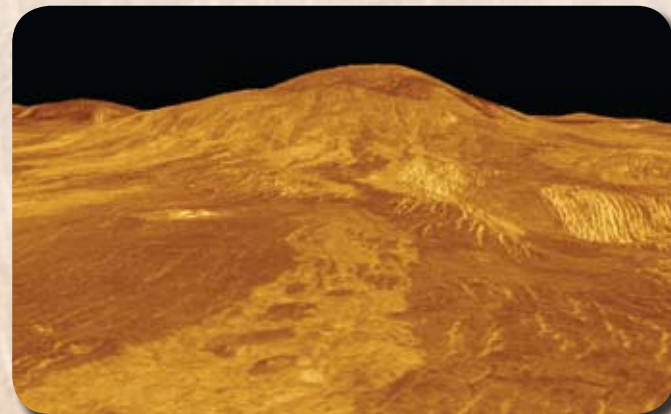
όπως αναφέραμε στη Γη, βασίζεται στο γεγονός ότι τα υλικά στο εσωτερικό



Το ηφαίστριο Gula (φωτογρ. NASA/JPL).

της βρίσκονται σε υπέρθερμη ρευστή κατάσταση, ενώ ο φλοιός της, που έχει πάχος 60 km μόλις, έχει διασπαστεί σε 7 μεγάλα και αρκετά μικρότερα τεμάχια, που ονομάζονται τεκτονικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές «πλέουν» πάνω στο ρευστό εσωτερικό της Γης σχηματίζοντας έτσι τις διαφορετικές ηπείρους ξηράς που διαθέτει σήμερα ο πλανήτης μας. Γιατί αν γυρίζαμε το γεωλογικό ρολόι της Γης πριν από 200 περίπου εκατομμύρια χρόνια, θα βλέπαμε μια και μοναδική γιγάντια ήπειρο, την Παγγαία.

Οι ήπειροι της Γης, όπως φαίνονται σήμερα, ταιριάζουν τόσο καλά μεταξύ τους, ώστε μοιάζουν να αποτελούν κομμάτια ενός γιγάντιου παζλ. Το γεγονός αυτό εξηγεί άλλωστε και το γιατί οι γεωλογικοί σχηματισμοί στη Βραζιλία και στην Αφρική είναι όχι μόνο παρόμοιοι, αλλά αποτελούνται και από τα ίδια χημικά στοιχεία. Στα σημεία λοιπόν όπου ενώνονται οι γίνινες τεκτονικές πλάκες υπάρχουν ενεργά ηφαίστεια και σεισμογενείς περιοχές. Γύρω από τα άκρα της πλάκας του Ειρηνικού, για παράδειγμα, υπάρχουν εκατοντάδες ηφαίστεια και σεισμογενείς περιοχές, μεταξύ αυ-



Αριστερά: Το ηφαίστειο Sif (φωτογρ. NASA/JPL).
Δεξιά: Το ηφαιστειακό χαρακτηριστικό Tick (φωτογρ. NASA/JPL).

τών και το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια, όπως και το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης στην πολιτεία Ουάσιγκτον των ΗΠΑ.

Τα ηφαίστεια στη Γη μας απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο μεταφέρεται από τη βροχή στη θάλασσα, όπου οι θαλάσσιοι οργανισμοί το διαχωρίζουν για να κατασκευάσουν το κέλυφος και τον σκελετό τους. Ο κύκλος όμως αυτός δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ πάνω στην Αφροδίτη, με αποτέλεσμα τη σημερινή μεγάλη περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα που έχει η ατμόσφαιρά της.

Μια ακόμη διαφορά ανάμεσα στα ηφαίστεια της Γης και της Αφροδίτης είναι και η «ποιότητα» των ηφαιστειακών εκρήξεων. Στην Αφροδίτη μια ηφαιστειακή έκρηξη μοιάζει περισσότερο με μια υποθαλάσσια γίνινη έκρηξη λόγω της τεράστιας ατμοσφαιρικής πίεσης που υπάρχει. Έτσι, η λάβα δεν εκτοξεύεται ψηλά πάνω από το ηφαίστειο, αλλά ρέει παχύρρευστα στις πλαγιές σκεπάζοντας παλαιότερες ροές χαμηλά στις πεδιάδες. Μια τέτοια ροή σχηματίζει το μακρύτερο κανάλι λάβας στο



Ηλιακό Σύστημα, που έχει μήκος 7.000 km, μακρύτερο δηλαδή και από τον ποταμό Νείλο.

Η σημερινή, λοιπόν, κατάσταση της Αφροδίτης μοιάζει με την άγνωστη σχεδόν αρχαϊκή περίοδο της γίνινης εξέλιξης στη διάρκεια των δύο πρώτων δισεκατομμυρίων χρόνων της ιστορίας της. Την περίοδο δηλαδή που διήρκεσε από την τελική ψύξη του φλοιού της και μέχρι την πρώτη εμφάνιση της ζωής σ' αυτήν. Το εσωτερικό της Αφροδίτης λοιπόν πρέπει να μοιάζει κάπως και με το εσωτερικό του δικού μας πλανήτη, ο φλοιός της όμως δεν διαχωρίστηκε σε τεκτονικές πλάκες όπως συνέβη στη Γη και ο λόγος γι' αυτό ίσως να είναι ο συνδυασμός των υψηλών θερμοκρασιών και η έλλειψη νερού.

Τα περισσότερα, πάντως, μεγάλα ηφαίστεια της Αφροδίτης έχουν βάση μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων και ύψος που δεν ξεπερνά τα μερικά χιλιόμετρα, ενώ η μεγάλη πλειονότητα των ηφαιστειών της είναι πολύ μικρότερα, με διάμετρο βάσης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Οι φωτογραφίες του Μαγγελάνου και η ηλεκτρονική τους επεξεργασία μάς απεκάλυψαν στην Αφροδίτη μερικά από τα πιο μεγάλα ηφαίστεια, με βάσεις διαμέτρου μέχρι και 700 km, αν και το ύψος τους δεν ξεπερνά τα 5,5 km.

Το ηφαίστειο **Sif**, για παράδειγμα, έχει βάση 300 km και ύψος 2 km, ενώ στην πλαγιά του εμφανίζεται μια εκτεταμένη ροή λάβας με μήκος 120 km. Άλλες πάλι φωτογραφίες μάς απεκάλυψαν ηφαιστειακές ροές που ρέουν από το ηφαί-

στείο **Gula**, με διάμετρο βάσης 400 km περίπου και ύψος 3,2 km, ενώ ένα άλλο ηφαίστειο με την ονομασία **Σάπας** έχει διάμετρο βάσης 120 km και ύψος 1,5 km. Το μεγαλύτερο, πάντως, ηφαίστειο στην Αφροδίτη βρίσκεται στην επονομαζόμενη **Περιοχή Βήτα** και είναι το **Theia Mons** με διάμετρο βάσης 800 km και ύψος 4 km, ενώ στην κορυφή του ο ηφαιστειακός κρατήρας έχει μήκος 75 km και πλάτος 50 km.

Τα μικρότερα ηφαίστεια της Αφροδίτης παίρνουν παράξενα σχήματα μερικά από τα οποία μοιάζουν με ανεμώνες λόγω των ηφαιστειακών τους ροών λάβας. Ένα από αυτά βρίσκεται στην **«Περιοχή Άτλα»** και έχει διάμετρο μόλις 40 km. Άλλα, πάλι, μικρότερα ηφαίστεια μοιάζουν με τριγώνια, με διαμέτρους που κυμαίνονται από 22 έως 100 km και έχουν ύψος που κυμαίνεται από 70 έως 2.000 m. Άλλα, τέλος, ηφαιστειακά χαρακτηριστικά ονομάζονται Ticks (από το χαρακτηριστικό τους σχήμα που θυμίζει τσιμπούρι) και έχουν διάμετρο μερικών μόνο km.

Σήμερα ο ολοκληρωμένος χάρτης της Αφροδίτης απέδειξε ότι το 90% της επιφάνειάς αυτής έχει ηφαιστειακή προέλευση, έτσι ώστε, αν θέλουμε να κατανοήσουμε την Αφροδίτη, πρέπει να κοιτάξουμε τη Γη, αλλά και το αντίθετο. Γιατί πραγματικά η μοίρα όλων των πλανητών συνδέεται με τα κρυμμένα μυστικά του εσωτερικού τους. Έχουμε έτσι μπροστά μας ένα πραγματικά παράξενο «δίδυμο» πλανητών: τη Γη, έναν παράδεισο ζωής και την Αφροδίτη, μία στείρα κόλαση. Το γιατί παραμένει ακόμη και σήμερα ένα πραγματικό μυστήριο.



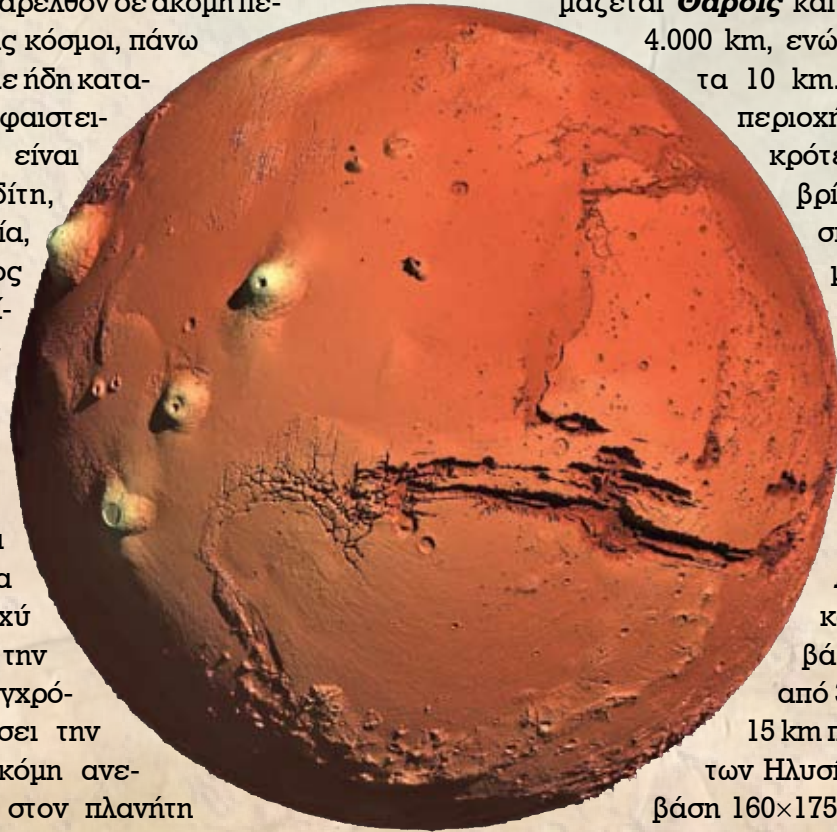


8. Διαστημικά Ηφάιστεια

Λίγα μόνο χιλιόμετρα κάτω από τα πόδια μας, βράζει ένα καζάνι απίστευτης βίας, αφού σήμερα γνωρίζουμε πολύ καλά ότι το εσωτερικό της Γης βρίσκεται σε υπέρθερμη και ρευστή κατάσταση. Τα μηνύματα των καταστροφικών δυνάμεων που κρύβονται εκεί μέσα μάς έρχονται συχνά, όταν από τις ρωγμές του γήινου φλοιού τα λιωμένα βράχια ανοίγουν δρόμο προς τα πάνω ξεπηδώντας στην επιφάνεια με τη μορφή ηφαιστειακών εκρήξεων. Τα ηφάιστεια είναι πράγματι ενδείξεις τιπάνιων δυνάμεων και κινήσεων που υφίστανται όχι μόνο στη Γη μας, αλλά και σε άλλους πλανήτες και δορυφόρους του Ηλιακού μας Συστήματος.

Οι ενδείξεις που διαθέτουμε από την φωτογραφική επισκόπηση των 70 περίπου κόσμων που έχουμε εξερευνήσει μέχρι τώρα από κοντά, μας πληροφορούν ότι η ύπαρξη των ηφαιστειών δεν είναι μοναδικό «προνόμιο» του πλανήτη μας, αλλά μια διαδικασία που συμβαίνει ακόμη και σήμερα και σε ορισμένους άλλους κόσμους και σίγουρα συνέβη επανειλημμένα στο παρελθόν σε ακόμη περισσότερους. Οι τρεις κόσμοι, πάνω στους οποίους έχουμε ήδη καταγράψει μια ενεργή ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι ο πλανήτης Αφροδίτη, ο δορυφόρος του Δία, Ιώ, και ο δορυφόρος του Ποσειδώνα, Τρίτωνας. Ενδείξεις επίσης υπάρχουν για το ότι και ο δορυφόρος του Δία Ευρώπη ίσως να περιλαμβάνει υποθαλάσσια ενεργά ηφαιστειακά κάτω από τον παχύ πάγο που καλύπτει την επιφάνειά του. Συγχρόνως έχουμε εντοπίσει την ύπαρξη δεκάδων ακόμη ανενεργών ηφαιστειών στον πλανήτη Άρη και ενδείξεις ηφαιστειακής δραστηριότητας στον δορυφόρο της Γης μας, τη Σελήνη.

Σε σύγκριση με τα ηφαιστειακά της Αφροδίτης, το μεγαλύτερο ηφαιστειακό στη Γη είναι τα Χαβανέζικο Μόνα Λόα, με βάση 120 km και ύψος 8 km, ενώ το μεγαλύτερο ηφαιστειακό στο Ηλιακό μας Σύστη-



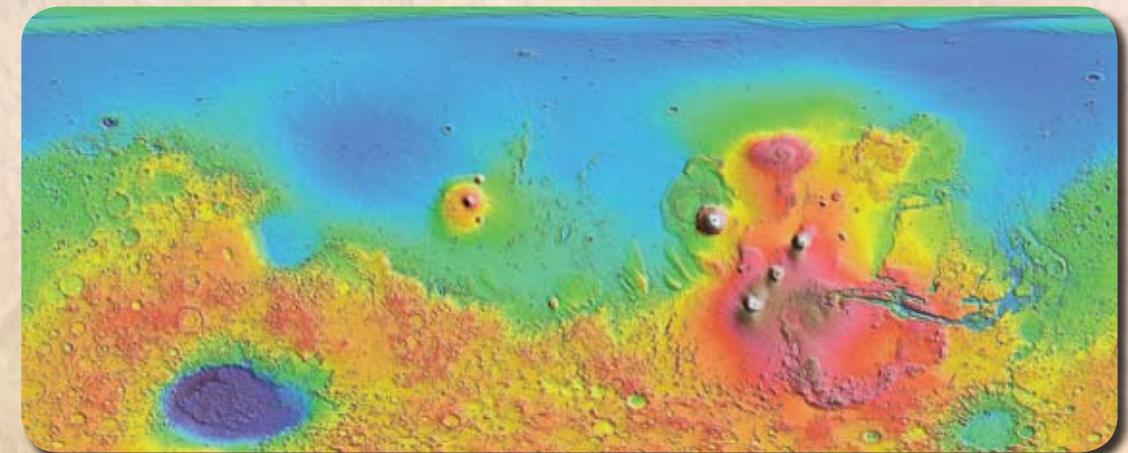
μα είναι το **Όρος Όλυμπος** στον Άρη, με βάση 550 km, ύψος 24 km και κρατήρα με διάμετρο 80 km. Ο Άρης, άλλωστε, διαθέτει μερικά από τα πιο μεγάλα ηφαιστειακά που έχουμε καταγράψει οπουδήποτε, αν και όλα τους έχουν πάψει να είναι ενεργά εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια και βρίσκονται σε δύο κυρίως περιοχές. Η πρώτη ονομάζεται **Θαρσίς** και εκτείνεται σε μήκος 4.000 km, ενώ το ύψος της φτάνει τα 10 km. Η δεύτερη είναι η περιοχή των **Ηλυσίων** με μικρότερα ηφαιστειακά που βρίσκονται σε μια έκταση τεσσάρων εκατομμυρίων km.

Στη περιοχή Θαρσίς εκτός από το Όρος Όλυμπος βρίσκουμε τρία ακόμη μεγάλα ηφαιστειακά, που ονομάζονται **Ασκραεύς**, **Παβόνις** και **Άρσια** και έχουν διαμέτρους βάσης που κυμαίνονται από 350 – 450 km και ύψος 15 km περίπου. Τα ηφαιστειακά των Ηλυσίων είναι η **Εκάτη**, με βάση 160×175 km, ενώ ο κρατήρας της έχει έκταση 103 km², τα Ηλύσια, με βάση 420×500×700 km, ύψος 13 km και κρατήρα με διάμετρο 14 km. Το ηφαιστειακό **Άλμπορ** τέλος, έχει βάση 160×150 km και κρατήρα 35×30 km. Εκτός, όμως, από τις κύριες αυτές ηφαιστειακές περιοχές, υπάρχουν πολλά ακόμη ηφαιστειακά, όπως το εκρηκτικό ηφαιστειακό Απολλινάρις, το Κεραύνιο,

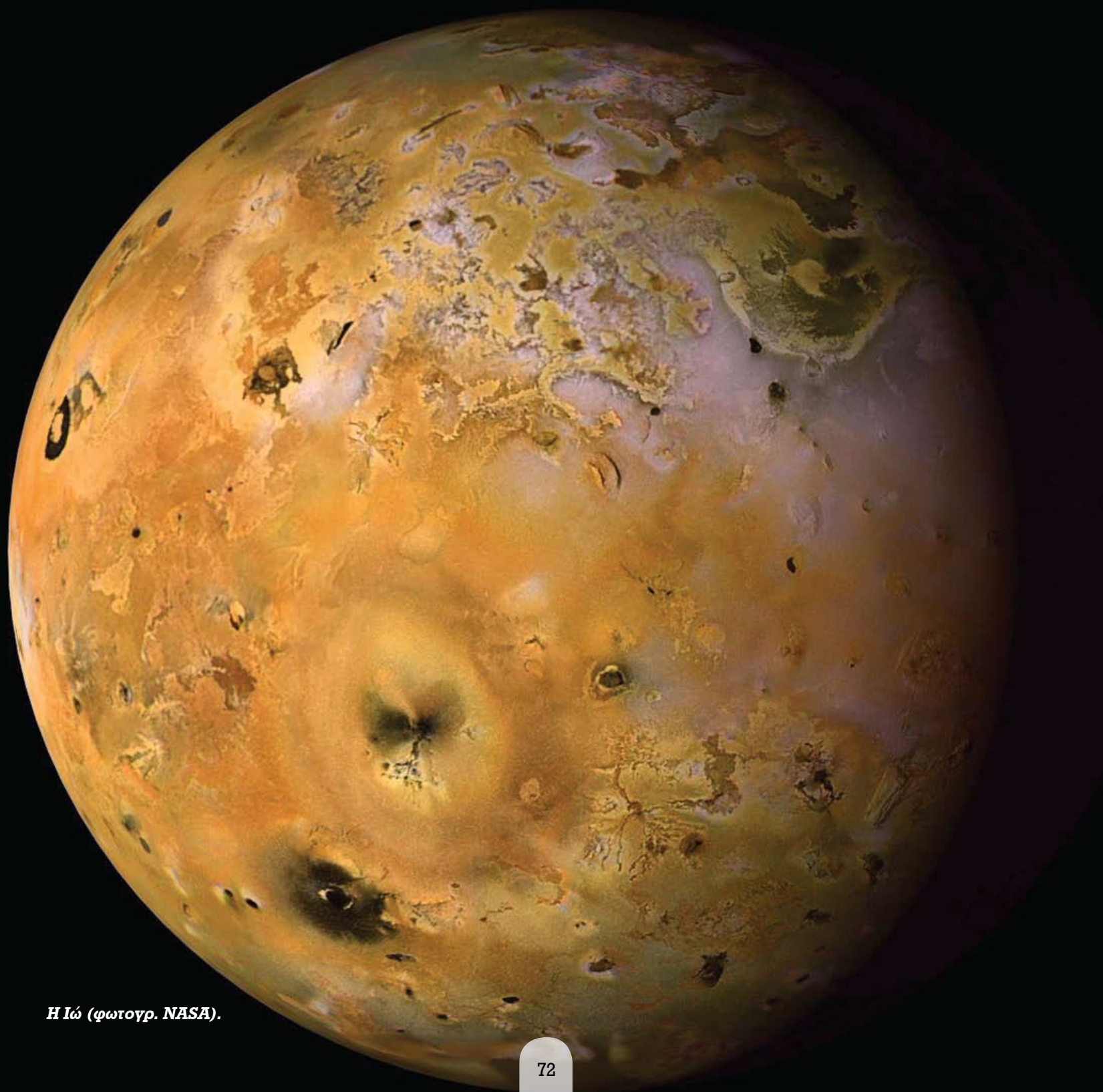
το Ουράνιο και το Οδυσσεύς και 10 ακόμη μεγάλα ηφαιστειακά.

Τα μεγάλα ηφαιστειακά του Άρη είναι άλλωστε παρόμοια με αυτά που βρίσκονται στη Χαβάνη. Ηφαιστειακά αυτού του τύπου είναι σχετικά ήρεμα και σχηματίζουν καλδέρρες και κανάλια. Η μεγάλη

τους διαφορά βρίσκεται στο μέγεθός τους, που οφείλεται στο γεγονός ότι οι ηφαιστειακές περιοχές στον μανδύα του Άρη παραμένουν σταθερές, σε αντίθεση με τη Γη, όπου οι τεκτονικές πλάκες κινούνται κατά μήκος των ηφαιστειακών περιοχών μη επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία μεγάλων ηφαιστειών. Κι έτσι, χωρίς καμία τεκτονική δρα-



Τοπογραφικοί χάρτες του Άρη. Ο πρώτος αναδεικνύει τα «σωστά» χρώματα του πλανήτη (φωτογρ. NASA/USGS), ενώ ο δεύτερος (NASA/Goddard) είναι «υψομετρικός» χάρτης, όπου τα ψυχρότερα χρώματα αντιστοιχούν σε χαμηλότερο υψόμετρο. Στην δεξιά πλευρά των 2 εικόνων διακρίνεται μεταξύ άλλων και το όρος Όλυμπος, αριστερά από την αλυσίδα των τριών ηφαιστειών Ασκραεύς, Παβόνις και Άρσια.



Η Ιώ (φωτογρ. NASA).

στηριότητα στην ιστορία του ο Άρης εξελίχθηκε τελείως διαφορετικά από τον δικό μας πλανήτη.

Φυσικά τα κύρια χαρακτηριστικά της γεωλογικής εξέλιξής του περιλαμβάνουν την επίδραση που είχαν στην επιφάνειά του οι άνεμοι και οι ανεμοθύελλες, οι παγετώνες και οι πλημμύρες τεραστίων ποσοτήτων νερού σε υγρή μορφή, ενώ η ηφαιστειακή του δραστηριότητα ανάγεται σε μια περίοδο πριν από 3 έως 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, 1 περίπου δισεκατομμύριο χρόνια μετά τη δημιουργία του Άρη και των άλλων πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος. Παρ' όλα αυτά, ορισμένα από τα ηφαίστεια αυτά είχαν αρκετή δραστηριότητα ακόμη και πριν από 1–2 δισεκατομμύρια χρόνια. Μερικές μάλιστα από τις ροές λάβας που παρατηρούνται στις πλαγιές του Ολύμπου, έχουν ηλικία 20–200 εκατομμυρίων ετών, όταν οι ηφαιστειακές δραστηριότητες του Άρη πήραν ένα οριστικό τέλος. Στη μεγάλη χρονικά δραστηριότητα των ηφαιστείων οφείλεται, άλλωστε, και ο μεγάλος όγκος ορισμένων από τα μεγάλα αυτά ηφαίστεια, αφού χωρίς τεκτονικές πλάκες τα ηφαίστεια του Άρη δεν μετακινούνται κι έτσι η μία εκροή λάβας προστίθεται πάνω στην προηγούμενη.

Ο πιο δραστήριος, όμως, γεωλογικά κόσμος στο Ηλιακό μας Σύστημα και ο πιο βίαιος είναι ο δορυφόρος του Δία, η Ιώ. Το 1979, καθώς η διαστημοσυσκευή *Voyager 1* την προσπερνούσε, οι επιστήμονες αντίκρισαν έκπληκτοι την έκρηξη ενός πελώριου ηφαιστείου. Μετέπειτα φωτογραφίες μάς αποκάλυψαν δεκάδες ακόμη ενεργά ηφαίστεια και μια γεωλογική δραστηριότητα μεγαλύτερη και από της Γης ακόμη. Γιατί η Ιώ βρίσκεται αιχμαλωτισμένη σε μια βαρυντική παγίδα ανάμεσα

στον Δία, που την τραβάει από τη μια μεριά, και τους γειτονικούς της δορυφόρους Ευρώπη και Γανυμήδη, που την τραβούν από την άλλη και από διαφορετικές συνεχώς γωνίες. Μέσα σ' αυτές τις παλιρροιακές δυνάμεις η κατά τα άλλα στερεή επιφάνεια του εδάφους της Ιούς ανεβοκατεβαίνει συνεχώς σε ύψη που φτάνουν τα 100 m.

Οι τεράστιες αυτές παλίρροιες θερμαίνουν το εσωτερικό της Ιούς λιώνοντας τους βράχους, που μαζί με θειούχα αέρια ξεπετάγονται στην επιφάνεια με βίαιες ηφαιστειακές εκρήξεις. Τα πυρακτωμένα υλικά από την έκρηξη ενός ηφαιστείου πετάγονται σε ύψος μέχρι και 500 km περίπου, ενώ καπναγωγοί διοξειδίου του θείου απελευθερώνονται από το εσωτερικό και ανερχόμενοι παγώνουν και πέφτουν πάλι στο έδαφος σαν όμορφο χρωματιστό χιόνι, (με μιαν απαίσια όμως μυρωδιά), που καλύπτει την Ιώ με ρυθμό 10 cm τον χρόνο. Με αυτόν τον ρυθμό, η Ιώ θα μπορούσε να αναποδογυρίσει τον εαυτό της μέσα σε μερικά μόνον εκατομμύρια χρόνια.

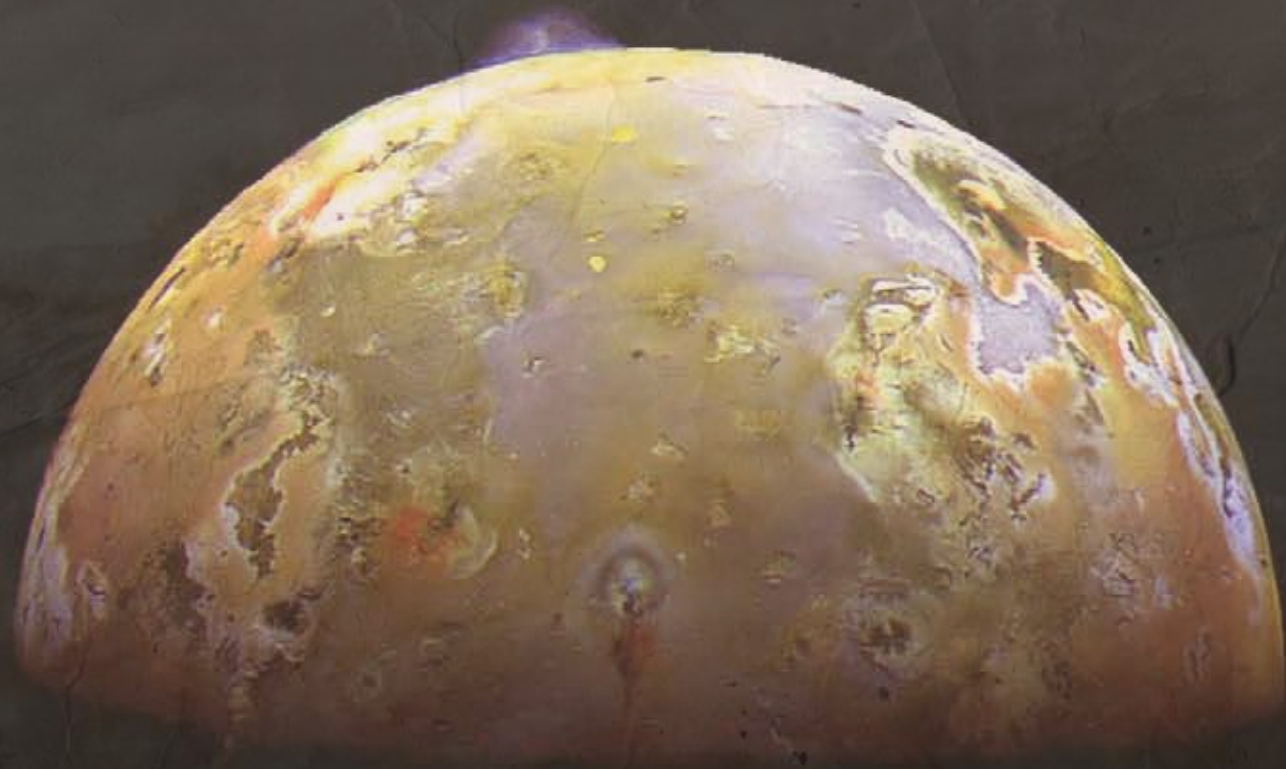
Οι παρατηρήσεις της διαστημοσυσκευής *Γαλιλαίος*, που περιφέρεται γύρω από τον Δία και τους δορυφόρους του από τον Δεκέμβριο του 1995, μας έχουν αποκαλύψει χαρακτηριστικά με μέγεθος 5 m μόνο, καθώς επίσης και τα θερμότερα σημεία των ηφαιστειακών εκρήξεων των οποίων η θερμοκρασία ξεπερνά τους 1.500°C. Παρ' όλα αυτά, στις υπόλοιπες περιοχές της επιφάνειας η θερμοκρασία φτάνει τους -150°C γιατί η αραιότατη ατμόσφαιρα που υπάρχει στην Ιώ δεν κατορθώνει να συγκρατήσει την ελάχιστη θερμότητα που φτάνει από τον Ήλιο ή τη θερμότητα των ηφαιστειακών της εκρήξεων και

να τη διοχετεύσει ομοιόμορφα σ' ολόκληρη την επιφάνεια.

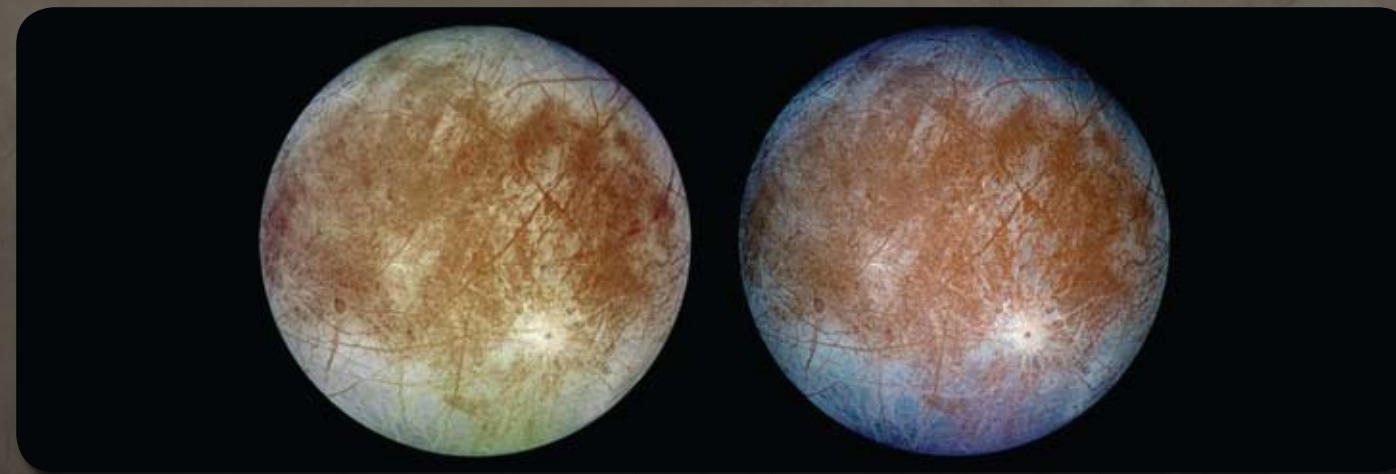
Τα υλικά των ηφαιστειακών εκρήξεων της Ιούς θεωρούνταν μέχρι πρόσφατα ότι προέρχονται από ενώσεις του θείου, οι μεγάλες όμως θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στα ηφαίστεια, και οι οποίες ξεπερνούν κατά 300°C περίπου τις θερμοκρασίες των γήινων ηφαιστείων, απέκλεισαν ένα τέτοιο ενδεχόμενο, γιατί απλούστατα το θείο εξαερώνεται σε θερμοκρασίες κατώτερες των 500°C. Ορισμένες, πάντως, ηφαιστειακές εστίες έχουν πολύ μικρότερη θερμοκρασία οπότε σ' αυτές τις περιπτώσεις η λάβα μπορεί να περιλαμβάνει

και ρευστές ποσότητες θείου.

Ορισμένα από τα ηφαίστεια της Ιούς έχουν ύψος που φτάνει τα 8 km, ενώ στην κορυφή τους η διάμετρος των κρατήρων τους φτάνει τα 200 km. Από τα διάφορα ηφαίστεια ξεκάνονται ροές λάβας, που εκτείνονται σε μήκος 300 km. Ένα από τα οκτώ ενεργά ηφαίστεια, που παρατηρείται ανελλιπώς από το 1979, ονομάζεται **Λόκι** και τα υλικά του εκτοξεύονται συνεχώς εδώ και τουλάχιστον 25 χρόνια σε ύψος 150 km. Το ίδιο συμβαίνει και με το ηφαίστριο **Προμηθεύς** του οποίου τα υλικά εκτοξεύονται σε ύψος 70 km και διασκορπίζονται σε μια απόσταση που ξεπερνά τα 125 km.



Στο πάνω μέρος της εικόνας διακρίνεται το ηφαίστριο Λόκι (φωτογρ. NASA).



Εικόνες της Ευρώπης, ενός από τους δορυφόρους του Δία (φωτογρ. NASA/JPL).

Ανάμεσα στα μεγαλύτερα και βιαιότερα ηφαίστεια που βρίσκονται στην Ιώ είναι αναμφισβήτητο το **Πελέ** του οποίου τα υλικά εκτοξεύονται σε απόσταση 500 km. Άλλα πάλι γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως είναι το Όρος Αίμος που βρίσκεται κοντά στον νότιο πόλο της Ιούς, έχουν ύψος που ξεπερνάει το ύψος των Ιμαλαίων αλλά η προέλευσή τους δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητή.

Η ηφαιστειακή όμως δραστηριότητα δεν πρέπει να περιορίζεται σ' αυτούς μόνο τους κόσμους. Στον δορυφόρο του Ποσειδώνα, τον Τρίτων, για παράδειγμα, υπάρχουν ενδείξεις για την πα-

ρουσία παράξενων χαρακτηριστικών, τα οποία εκτοξεύουν παγωμένα υλικά, ενώ και ένας άλλος δορυφόρος του Δία, η Ευρώπη, πρέπει να έχει κάτω από την παγωμένη της επιφάνεια υποθαλάσσια ενεργά ηφαίστεια. Ακόμη κι ο δικός μας φυσικός δορυφόρος, η Σελήνη, αν και δεν διαθέτει μεγάλα ηφαίστεια όπως αυτά που φωτογραφήθηκαν σε άλλους κόσμους, διαθέτει εντούτοις ορισμένα ηφαιστειακά χαρακτηριστικά, που ανάγονται σε μια περίοδο της εξέλιξής της πριν από 3-4 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ ακόμη και οι νεότερες επικαθίσεις στις σεληνιακές «θάλασσες» έχουν ηλικία τουλάχιστον ενός δισεκατομμυρίου ετών.





9. Διαστημικοί Εισβολείς

Πριν από πενήντα χιλιάδες χρόνια, ένας αστεροειδής 50 m συντριβή στη βόρειο Αριζόνα, σχηματίζοντας έναν κρατήρα με διάμετρο 1,2 km και βάθος 180 m, που σήμερα είναι γνωστός ως **Κρατήρας Barringer**. Η τεράστια έκρηξη που ακολούθησε, υπολογίζεται ότι απελευθέρωσε ενέργεια αντίστοιχη μ' αυτή μιας πυρηνικής βόμβας, εξαερώνοντας τα πάντα στο σημείο της πρόσκρουσης και μετατοπίζοντας 175 εκατομμύρια τόνους επιφανειακών πετρωμάτων. Το απίστευτης βιαιότητας κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε, προκάλεσε ανέμους με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1.000 km/h σε ακτίνα 3-5 km από το σημείο μηδέν, ενώ σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των ειδικών, η κλωρίδα της περιοχής ισοπεδώθηκε σε μια επιφάνεια 800–1.500 km².

Αυτού του είδους οι διαστημικές «βολίδες», παρόλο που σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να προκαλέσουν παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, καταστρέφουν σχεδόν τα πάντα στην ευρύτερη περιοχή της πρόσκρουσης. Εάν ένας αστεροειδής αυτού του μεγέθους και της ίδιας σύστασης είχε χτυπήσει μια σύγχρονη πόλη, θα την είχε καταστρέψει. Στον πλανήτη μας έχουν εντοπιστεί αρκετοί κρατήρες πρόσκρουσης μικρού μεγέθους και ηλικίας, όπως ο κρατήρας Barringer, αλλά και πραγματικά μεγάλοι και κατά πολύ παλαιότεροι κρατήρες, με διάμετρο μεγαλύτερη των 200 km, όπως ο κρατήρας **Sudbury** στον Καναδά και ο κρατήρας **Vredefort** στη Νότιο Αφρική. Υπάρχουν, ακόμη, περιπτώσεις όπου η πτώση ενός αστεροειδούς επηρέασε δραματικά την ίδια τη βιολογική εξέλιξη, όπως εικάζεται ότι συνέβη 65 εκατομμύρια χρόνια πριν, με την πώση ενός γιγάντιου αστεροειδούς στη κερσόνησο Γιουκατάν στο σημερινό Μεξικό. Πόσο πιθανό είναι να χτυπηθεί ο πλανήτης μας από έναν τέτοιο διαστημικό εισβολέα στις μέρες μας;

Το Ηλιακό Σύστημα περιλαμβάνει εκατοντάδες

χιλιάδες ή και εκατομμύρια περιπλανώμενα συντρίμια του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος, σε σταθερές ως επί το πλείστον τροχιές, για παράδειγμα όσα βρίσκονται στη Ζώνη των Αστεροειδών, που εκτείνεται στην περιοχή μεταξύ του Άρη και του Δία ή οι κομήτες μικρής και μεγάλης περιόδου. Όταν, όμως, η τροχιά ενός τέτοιου ουράνιου σώματος μεταβληθεί έστω και ελάχιστα, για παράδειγμα εξαιτίας της βαρυτικής «ώθησης», που θα δεχθεί από άλλα ουράνια σώματα, όπως τους γιγάντιους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος, είναι δυνατό να εισέλθει μελλοντικά σε πορεία σύγκρουσης με τη Γη. Πραγματικά, όπως έδειξε και η συντριβή του κομήτη **Shoemaker-Levy** στον πλανήτη Δία τον Ιούλιο του 1994, ο βομβαρδισμός των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος από τέτοιους διαστημικούς εισβολείς δεν είναι κάτι που συνέβαινε μόνο στην πρώτη περίοδο της εξέλιξής τους, αλλά που με εμφανώς λιγότερη σφοδρότητα μπορεί να συνεχίζεται και στις μέρες μας.

Στις 30 Ιουνίου 1908, για παράδειγμα, ένα ουράνιο αντικείμενο εξερράγη σε ύψος 6–10 cm πάνω από την τούνδρα της Σιβηρίας, ισοπεδώ-

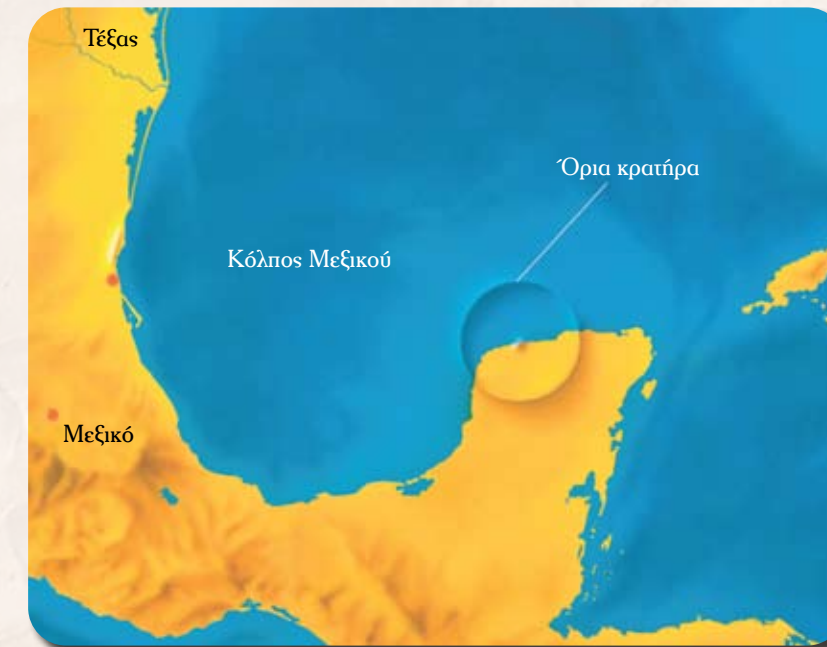
νοντας περισσότερα από 1.600 km² δάσους, ενώ καθημερινά βομβαρδιζόμαστε από μικροσκοπικά διαστημικά συντρίμια, που σχηματίζουν τις βροχές των διαπτόντων αστερών, τα γνωστά **πεφταστέρια**. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η συχνότητα της σύγκρουσης ενός διαστημικού εισβολέα με τον πλανήτη μας είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του. Διαστημικές βολίδες με διάμετρο 50 m εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα, με συχνότητα που συνήθως δεν υπερβαίνει τη μία φορά κάθε λίγες εκατοντάδες έως λίγες χιλιάδες χρόνια. Από την άλλη, αστεροειδείς με διάμετρο 1 km βομβαρδίζουν κατά μέσο όρο τον πλανήτη μας κάθε 500.000 χρόνια, ενώ αστεροειδείς διαμέτρου 5 km κάθε 10 εκατομμύρια χρόνια. Η τελευταία γνωστή πρόσκρουση αστεροειδούς μεγέθους 10 km ήταν εκείνη που επικαλούνται πολλοί επιστήμονες, προκειμένου να εξηγήσουν τη μαζική εξαφάνιση των ειδών που παρατηρήθηκε στα όρια μεταξύ της Κρητιδικής και της Τριτογενούς περιόδου (όριο K-T).

Αυτή η τελευταία, αλλά και η πιο διάσημη από τις

μαζικές εξαφανίσεις των ειδών του πλανήτη που αφάνισε τους δεινοσαύρους, το κυρίαρχο είδος τότε του πλανήτη, σημειώθηκε πριν από περίπου 65 εκατομμύρια χρόνια, ανοίγοντας τον δρόμο για την κυριαρχία των θηλαστικών. Η πλέον δημοφιλής εξήγηση για τη μαζική εξαφάνιση που παρατηρήθηκε στο όριο K-T προτάθηκε από τον φυσικό **Luis Alvares** (1911–1988) το 1980, ο οποίος υποστήριξε ότι η εξαφάνιση οφείλεται στην πώση ενός

τεράστιου αστεροειδούς, που συνετρίβη στη Γη, προκαλώντας παράλληλα τεράστιους σεισμούς και πλημμυρικά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας. Τα σύννεφα στάχτης και σκόνης που εκτινάχτηκαν προς την ατμόσφαιρα, κάλυψαν ολόκληρο σχεδόν τον πλανήτη, απορροφώντας μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός που επηρέασε τους φωτο-

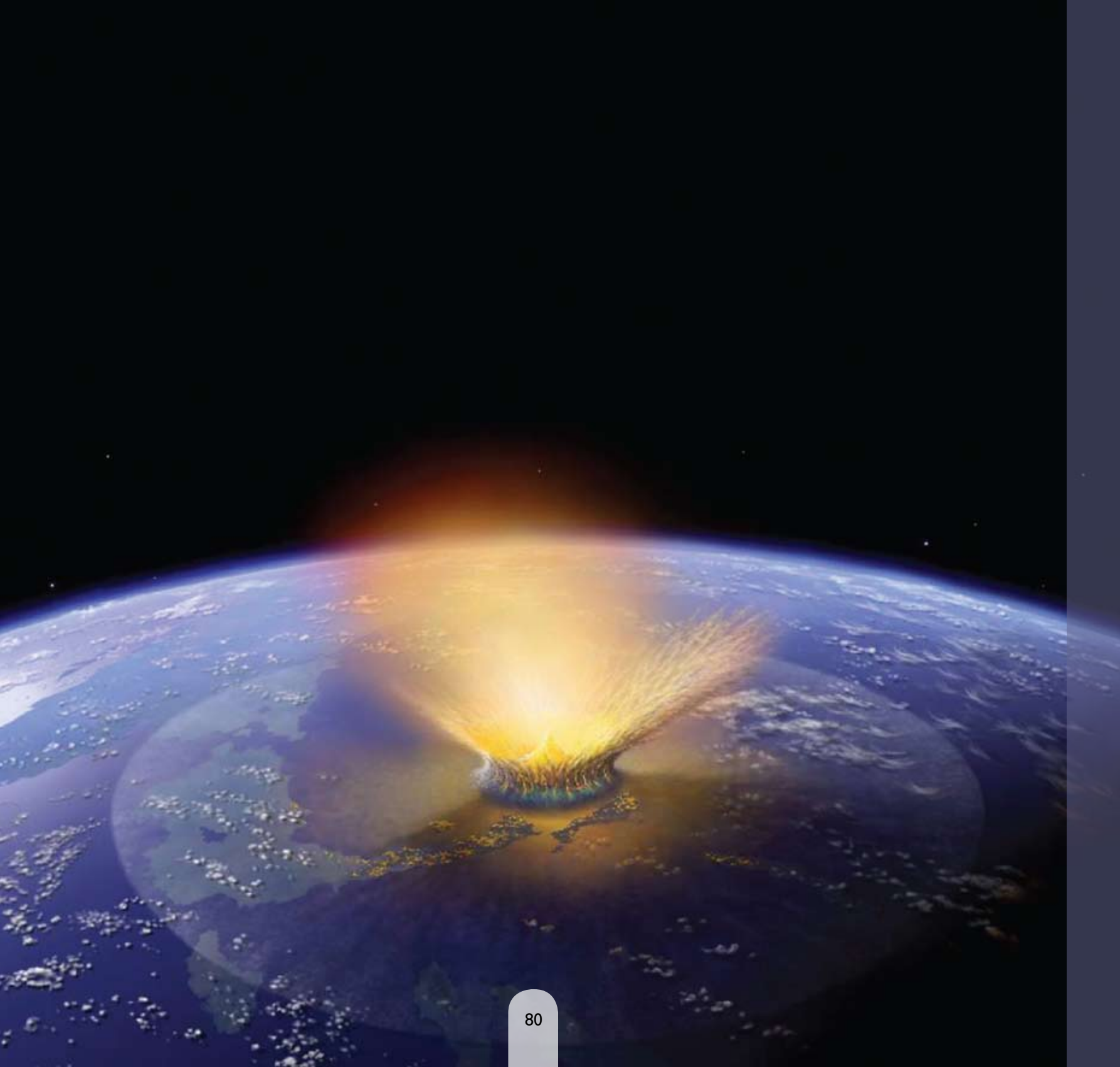
συνθετικούς οργανισμούς, όπως τα φυτά και το πλαγκτόν. Ποσότητες διοξειδίου του θείου από την πρόσκρουση αλλά και από τις ηφαιστειακές εκρήξεις πρέπει να ανήλθαν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και των υδρατμών επέστρεψαν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή όξινης



Ο κρατήρας Γιουκατάν στο Μεξικό.



Τα συντρίμια του κομήτη Shoemaker-Levy, όπως απαθανατίστηκαν από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble [φωτογρ. HA. Weaver, T. ESmith (STSI), NASA/ESA].

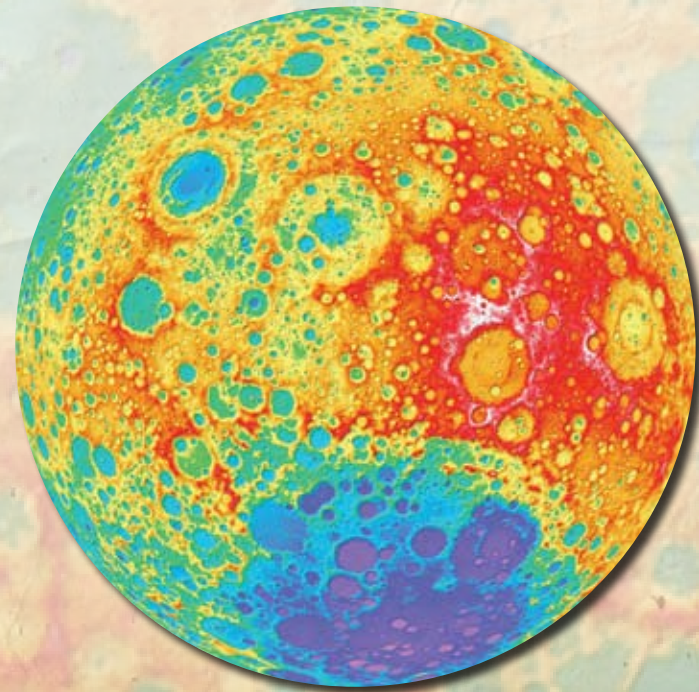


βροχής. Σύμφωνα με εκτιμήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, το αρχικό μέγεθος του αστεροειδούς πρέπει να έφτανε τα 10 km και να κινούνταν με ταχύτητα 70.000 km/h, ενώ ο κρατήρας που δημιουργήθηκε είχε αρχική διάμετρο 300 km και βάθος 9,6 km.

Οι προσκρούσεις των διαστημικών βολίδων στην επιφάνεια του πλανήτη μας, ιδιαίτερα όμως οι μεγαλύτερες, απελευθερώνουν τεράστια ποσά ενέργειας, που τις περισσότερες φορές είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από αυτά που εκλύονται κατά τις ηφαιστειακές εκρήξεις και τους σεισμούς. Η ενέργεια που εκλύεται κατά την πρόσκρουση ενός ουράνιου σώματος στη Γη προέρχεται από την κινητική του ενέργεια, η οποία είναι ανάλογη της μάζας του και του τετραγώνου της ταχύτητάς του. Δεδομένου ότι οι ταχύτητες αυτές ανέρχονται στα 10–20 km/s τις περισσότερες φορές, ακόμη και ένας σχετικά μικρός αστεροειδής, λίγων μόνο μέτρων, συντρίβεται στην επιφάνεια του πλανήτη μας με την ισχύ μιας ατομικής βόμβας. Έχει υπολογιστεί, για παράδειγμα, ότι η πρόσκρουση ενός αστεροειδούς με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων απελευθερώνει σε δευτερόλεπτα περισσότερη ενέργεια απ' όση απελευθερώνει ο πλανήτης μας μέσα από όλες τις ηφαιστειακές εκρήξεις, όλους τους σεισμούς, όλες τις τεκτονικές κινήσεις και όλη την έκλυση θερμότητας από το εσωτερικό του σε εκατοντάδες, ακόμη και χιλιάδες χρόνια. Γι' αυτό και υπάρχουν διάφορες διαστημικές υπηρεσίες, βασικός στόχος των οποίων είναι ο εντοπισμός όλων εκείνων των «επικίνδυνων» ουράνιων σωμάτων και ο υπολογισμός της τροχιάς τους, προκειμένου να αποφανθούν οι επιστήμονες εάν όντως θα αποτελέσουν κίνδυνο

για το μέλλον. Το πώς θα αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος αυτός είναι άλλης τάξης ζήτημα.

Είναι γεγονός ότι το Ηλιακό Σύστημα διανύει μια μεγάλη περίοδο ηρεμίας που, ουδεμία σχέση έχει με τη βιαιότητα του αρχέγονου παρελθόντος του. Κατά την πρώτη περίοδο της εξέλιξής του, για παράδειγμα, η αποσταθεροποίηση του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος, που εικάζεται ότι συνέβη εξαιτίας της «μετανάστευσης» των αέριων πλανητών σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, μετέβαλε τις τροχιές αναρίθμητων διαστημικών συντριμμιών, εκτινάσσοντάς τα προς το εσωτερικό του. Το γεγονός αυτό προκάλεσε τον κατακλυσμιαίο βομβαρδισμό των εσωτερικών πλανητών του Ηλιακού Συστήματος από μικρά και μεγάλα διαστημικά βλήματα, ο οποίος πρέπει να σταμάτησε πριν από περίπου 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια και έμεινε γνωστός ως ο **Ύστερος Μεγάλος Βομβαρδισμός**. Τα ίχνη του, όμως, είναι ακόμη και σήμερα ορατά στη Σελήνη και στον Ερμή. Πραγματικά, η χαρτογράφηση του μοναδικού δορυφόρου της Γης και του εσώτατου πλανήτη του Ηλιακού μας Συστήματος αποκάλυψε αναρίθμητους μικρούς και μεγάλους κρατήρες, σπαρμένους στην επιφάνειά τους. Σήμερα, άλλωστε, γνωρίζουμε ότι αυτού του είδους οι βίαιες συγκρούσεις έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στον σχηματισμό και στα πρώτα στάδια εξέλιξης του Ηλιακού μας Συστήματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σχηματισμός της Σελήνης μέσα από μια γιγάντια σύγκρουση της πρωτο-Γης με ένα πρωτοπλανητικό σώμα στο μέγεθος του πλανήτη Άρη, πριν από 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια, αλλά και ο Ερμής, του οποίου ο τεράστιος σιδερένιος πυρήνας εικάζεται ότι προέκυψε από μια παρόμοια αρχέγονη σύγκρουση.



**Τοπογραφικοί χάρτες της Σελήνης
(φωτογρ. NASA/GSFC/MIT/SVS).**

Στη Σελήνη, ειδικότερα, έναν εντελώς άνυδρο και γεωλογικά «νεκρό» κόσμο, έχουν καταγραφεί περισσότεροι από 300.000 κρατήρες με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο απ' αυτόν του κρατήρα Barringer. Στον πλανήτη μας, αντιθέτως, οι πραγματικά μεγάλοι κρατήρες, με διάμετρο μεγαλύτερη των 20 km, που έχουμε εντοπίσει, μόλις υπερβαίνουν τους 45, ενώ ο συνολικός αριθμός των κρατήρων δεν υπερβαίνει τους περίπου 175. Είναι δυνατό να «γλίτωση» με κάποιο τρόπο ο πλανήτης μας τις συνέπειες του Ύστερου Μεγάλου Βομβαρδισμού; Η απάντηση είναι αρνητική. Έχει υπολογιστεί, για παράδειγμα, ότι οι αστεροειδείς και οι κομήτες που συνετρίβησαν

στην επιφάνειά του πρέπει να ήταν τουλάχιστον δεκαπλάσιοι απ' αυτούς που έπεσαν στη Σελήνη, δηλαδή περισσότεροι από 3 εκατομμύρια κρατήρες πρόσκρουσης, με διάμετρο 1 km ή μεγαλύτερη! Η συνεχής, όμως, διάβρωση των επιφανειακών πετρωμάτων από τα στοιχεία της Φύσης και η ασταμάτητη τεκτονική δραστηριότητα που αναμορφώνει συνεχώς την επιφάνεια της Γης, μέσα από τη μετατόπιση των τεκτονικών πλακών και τις ηφαιστειακές εκρήξεις, απαλείφουν τα προγενέστερα χαρακτηριστικά της. Γι' αυτό οι «ουλές» που προκλήθηκαν από την πώση των διαστημικών εισβολέων «σβήνουν», με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου.





10. Επίλογος: «Κατακλυσμός;»

Τα τελευταία χρόνια και με αφορμή την ολοκλήρωση ενός ημερολογιακού κύκλου των Μάγια στις 21 Δεκεμβρίου 2012, οι «προβλέψεις» για το «επικείμενο» τέλος του κόσμου την συγκεκριμένη ημερομηνία κορυφώνονταν. Καθώς το Διαδίκτυο κατακλυζόταν από εσχολογικά σενάρια αποκάλυψης και απόκρυφες προβλέψεις της επερχόμενης συντέλειας, οι ανά τον κόσμο συνωμοσιολόγοι, τηλεπωλητές βιβλίων και αυτοαποκαλούμενοι «ερευνητές», που στην πραγματικότητα δεν έχουν ιδέα για το πώς διεξάγεται η επιστημονική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων, αναμόχλευαν τον αρχέγονο φόβο του ανθρώπου για το τέλος του κόσμου, τις περισσότερες φορές μάλιστα με το αζημίωτο.

Δυστυχώς, δεν ήταν η πρώτη φορά και σίγουρα δεν θα είναι η τελευταία. Το αντιεπιστημονικό συνονθύλευμα των αστήρικτων και αβάσιμων ισχυρισμών τους, που ξεκινά από την Ατλαντίδα, τους εξωγήινους και τους αρχαίους αστροναύτες, για να καταλήξει στους λοιμούς, σεισμούς και καταποντισμούς που θα προκληθούν από την έλευση ανύπαρκτων πλανητών, όπως ο περιβόητος Νιμπίρου, πάντα έβρισκαν πρόσφορο έδαφος για να αναπτυχθούν. Φυσικά, η 21^η Δεκεμβρίου 2012, όπως άλλωστε και τόσες άλλες ημερομηνίες συντέλειας, που προτάθηκαν στο παρελθόν, έχουν πλέον περάσει ανεπιστρεπτή και ο «ζωντανός» πλανήτης εξακολουθεί να «ζει» σε πείσμα των καταστροφολόγων.

Βασισμένοι, μεταξύ άλλων, και στην απουσία θεμελιωδών επιστημονικών γνώσεων σ' ένα σημαντικό μέρος του ευρύτερου κοινού, σε συνδυασμό με την εδραιωμένη σε πολλούς πεποίθηση ότι «αυτοί που μας κυβερνούν κάτι μας κρύβουν», οι περισσότεροι καταστροφολόγοι, στην προσπάθειά τους να περιβάλλουν τις διάφορες ανοησίες που υποστηρίζουν με τον μανδύα της επιστημονικότητας, ξεκινούν συνήθως με αφετηρία ένα επιστημονικό δεδομένο. Πολλοί απ' αυτούς, μάλιστα, έχοντας μια εντυπωσιακή ευφράδεια λόγου, υφαίνουν πειστικά, εκ πρώτης, τις διάφορες ασυναρτησίες που υποστηρίζουν. Στην πραγματικότητα, η «συνταγή» που ακολουθούν είναι απλή και δοκιμασμένη. Αναμειγνύουν, αρχικά, μια σειρά από μυθεύματα και παραποιημένες αναφορές, αγνοούν ή ερμηνεύουν κατά το δοκούν κάθε άλλο επιστημονικό δεδομένο που αντικρούει τα όσα «προφητεύουν» και διαστρεβλώνουν κάθε επιστημονικό επίτευγμα με τρόπο που να στηρί-

ζει τη θέση τους. Αγνοώντας οποιοδήποτε άλλο στοιχείο την καταρρίπτει, προβαίνουν εντέλει στους «εντυπωσιοθηρικούς» ισχυρισμούς τους, οι οποίοι όμως εάν αναλυθούν έστω και λίγο, δεν αντέχουν σε σοβαρή κριτική. Γιατί, στην πραγματικότητα, τα αναρίθμητα λογικά σφάλματα, οι ανακρίβειες και οι ασυναρτησίες που υποστηρίζουν έρχονται σε πλήρη αντίθεση, όχι μόνο με το σύνολο των επιστημονικών μας γνώσεων αλλά και με την κοινή λογική.

Δεν πρέπει, άλλωστε, να ξεχνάμε ότι το βάρος της απόδειξης φανταστικών ισχυρισμών πέφτει στους ώμους αυτών που τους επικαλούνται και, όπως είχε πει ο μεγάλος αστρονόμος και εκλαϊκευτής της επιστήμης **Carl Sagan** (1934–1996), «εξαιρετικοί ισχυρισμοί απαιτούν και εξαιρετικές αποδείξεις». Δεν πρέπει, ακόμη, να ξεχνάμε ότι τα αποτελέσματα της επιστημονικής έρευνας δημοσιεύονται σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά και όχι σε αμφιβόλου ποιότητας και προέλευσης ιστοσελίδες, ενώ πάντα υπόκεινται στη βάση της διεξοδικής ανάλυσης και αξιολόγησής τους από άλλους, ανεξάρτητους ερευνητές. Για τα ευφάνταστα σενάρια καταστροφής του κόσμου, που συστηματικά κάνουν την εμφάνισή τους, τίποτε από αυτά δεν ισχύει.

Όλα αυτά, βέβαια, δεν σημαίνουν ότι ο πλανήτης μας δεν αντιμετωπίζει ορισμένους πραγματικούς κινδύνους. Τι έχει να πει η επιστήμη γι' αυτούς; Ποια είναι ορισμένα από τα πιθανά σενάρια τέλους γι' αυτόν τον μικροσκοπικό «τρίτο βράχο απ' τον Ήλιο», με βάση τις επιστημονικές μας γνώσεις και όχι τις φαντασιώσεις του κάθε τυχαρίστου «ερευνητή»;



Φυσικές καταστροφές, όπως η έκρηξη ενός υπερηφαιστείου ή η πώση ενός γιγάντιου αστεροειδούς, ανθρωπογενείς καταστροφές, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη ή ένας μελλοντικός πυρηνικός όλεθρος, έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να επηρεάσουν δραματικά τον ανθρώπινο πολιτισμό, αλλά να αφανίσουν το ανθρώπινο είδος ή ακόμη και να καταστρέψουν τον ίδιο τον πλανήτη. Η ακριβής, όμως, πρόβλεψη και αξιολόγηση της πιθανότητας να πραγματοποιηθούν τέτοιου είδους καταστροφές είναι φυσικά εξαιρετικά δύσκολη. Σε ό,τι ακολουθεί, θα εστιάσουμε σε ορισμένες μόνο από τις πιθανές, τις όχι και τόσο πιθανές και τις απίθανες φυσικές καταστροφές που μπορεί να αντιμετωπίσει ο πλανήτης. Όπως θα διαπιστώσετε και οι ίδιοι, οι περισσότερες απ' αυτές ανάγονται τόσο μακριά στο απώτερο μέλλον που φαντάζει και αχρείαστο να τις συζητάμε.

Η έλευση μιας νέας εποχής των πάγων ή η έκρηξη ενός υπερηφαιστείου αποτελούν αναμφισβήτητα δύο από τα πιθανότερα απειλητικά σενάρια για την ανθρωπότητα, που έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν εκατομμύρια θανάτους, καθιστώντας παράλληλα τεράστιες περιοχές του πλανήτη ακατοίκητες. Η τελευταία, όμως, παγετωνική εποχή τελείωσε πριν από περίπου 10.000 χρόνια και η επόμενη, εάν συμβεί, δεν αναμένεται νωρίτερα από τουλάχιστον μερικές χιλιάδες χρόνια. Εκρήξεις υπερηφαιστείων, από την άλλη, είναι όπως είπαμε και νωρίτερα, εξαιρετικά σπάνιες και παρόλο που οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν ακόμη όσα θα ήθελαν για τον μηχανισμό που τις ενεργοποιεί, οι πιθανότητες να συμβούν στο άμεσο και στο όχι τόσο άμεσο μέλλον είναι ελάχιστες.

Ένας ακόμη πιθανός κίνδυνος που αντιμετωπίζει

ο πλανήτης μας είναι αναμφίβολα η πρόσκρουση σ' αυτόν ενός γιγάντιου αστεροειδούς, που αποτελεί άλλωστε και ένα από τα προσφιλέστερα σενάρια συντέλειας για τους διάφορους καταστροφολόγους. Όπως, όμως, εξηγήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρόλο που ένας τέτοιος κίνδυνος είναι όντως υπαρκτός και παρόλο που η Γη καθόλη την διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας έχει επανειλημμένα χτυπηθεί από κομήτες και αστεροειδείς, πραγματικά μεγάλες συγκρούσεις, ικανές να θέσουν σε κίνδυνο την ίδια την ανθρωπότητα είναι εξαιρετικά σπάνιες. Εκτός αυτού, η πρόβλεψή τους χωρίς τα απαραίτητα επιστημονικά όργανα και τις αναγκαίες επιστημονικές γνώσεις, που απαιτούνται για την επίλυση των σχετικών πολύπλοκων εξισώσεων, είναι αδύνατη. Για παράδειγμα, ορισμένοι αστρονόμοι υποστηρίζουν ότι σε 1,5 εκατομμύριο χρόνια, το άστρο **Gliese 710** ενδέχεται να διέλθει από τη διαστημική μας γειτονιά, σε απόσταση μικρότερη των 2 ετών φωτός, επιδρώντας με τη βαρυτική του έλξη στα διαστημικά συντρίμια που εμπεριέχει η **Zώνη Oort**, δηλαδή το αραιό νέφος των «βρώμικων παγόβουνων», που εικάζεται ότι περιβάλλει το Ηλιακό μας Σύστημα σε απόσταση κάπου 50.000 φορές μεγαλύτερη από την απόσταση Γης-Ήλιου. Το γεγονός αυτό υπολογίζεται ότι θα αυξήσει την πιθανότητα σύγκρουσης των διαστημικών εισβολέων με τον πλανήτη μας κατά περίπου 5%.

Ένα άλλο σενάριο τέλους, το οποίο όμως δεν συνεπάγεται τόσο την μερική ή ολική καταστροφή του ίδιου του πλανήτη όσο τη μαζική εξαφάνιση όλων των έμβιων οργανισμών που φιλοξενεί, αφορά στην πιθανότητα ενός αστρικού θανάτου στη διαστημική μας γειτονιά, που θα οδηγήσει στη έκρηξη μιας σουπερνόβα. Οι εκρήξεις σουπερ-

νόβα διαχέουν στο Διάστημα τεράστιες ποσότητες υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας γ, η οποία μπορεί να καταστρέψει την ασπίδα του όζοντος. Φυσικά, για να συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει η έκρηξη της σουπερνόβα να συμβεί σε σχετικά κοντινές αποστάσεις. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, η έκρηξη μιας σουπερνόβα τύπου Ia θα πρέπει να συμβεί σε απόσταση μικρότερη των 3.300 ετών φωτός από τη Γη, προκειμένου να θεωρηθεί επικίνδυνη, ενώ για τις σουπερνόβα τύπου II, η απόσταση αυτή μειώνεται στα 26 έτη φωτός. Σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, το πλησιέστερο σε μας άστρο, το οποίο μελλοντικά θα ανατιναχθεί σε μια έκρηξη σουπερνόβα, είναι ένας λευκός νάνος στο διπλό αστρικό σύστημα **HR 8210**, στον αστερισμό του Πηγάσου, σε απόσταση μόλις 150 ετών φωτός. Η μάζα αυτού του λευκού νάνου υπολογίζεται στις 1,15 ηλιακές μάζες και καθώς συνεχίζει να συσσωρεύει στην επιφάνειά του ύλη από το άστρο-συνοδό του, θα υπερβεί το επονομαζόμενο όριο **Chandrasehkar** και θα διαμελιστεί σε μια έκρηξη σουπερνόβα τύ-

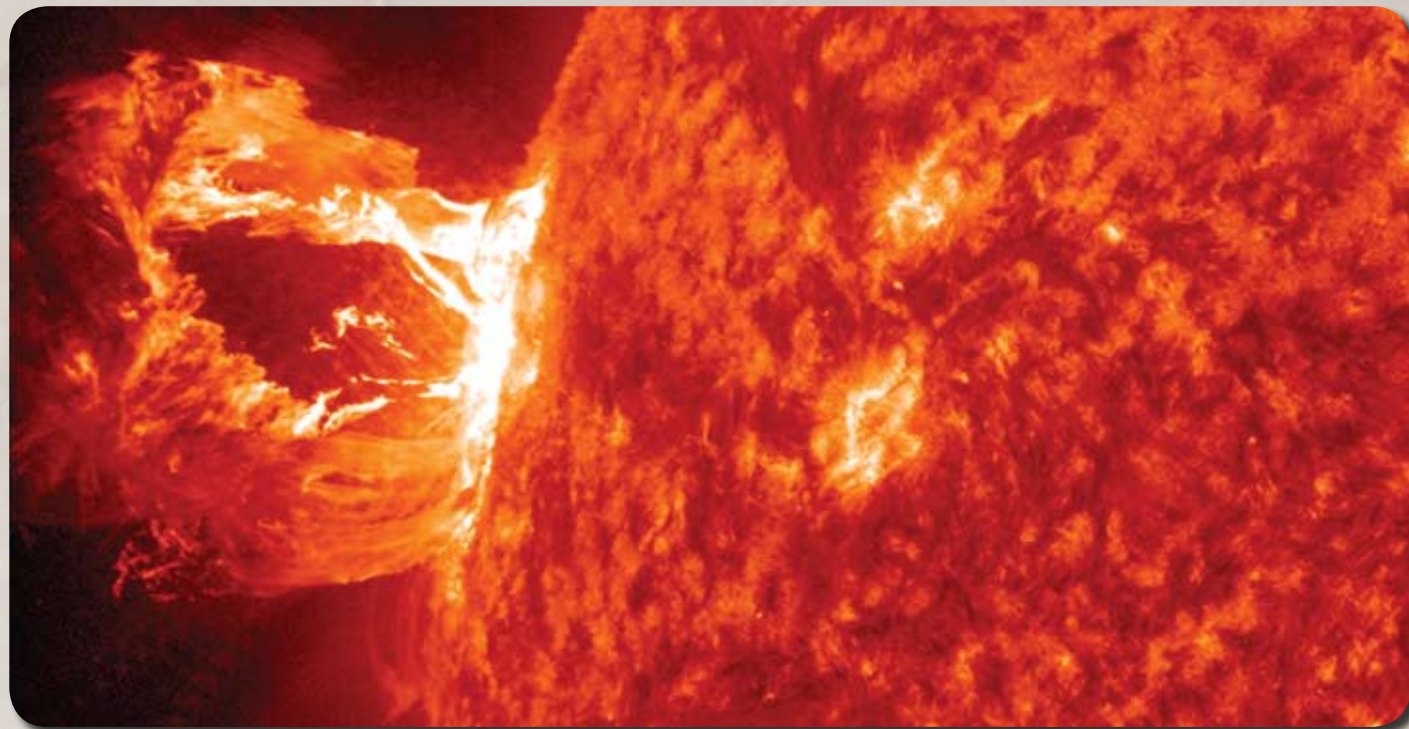


Το νεφέλωμα του Καρκίνου (φωτογρ. NASA/ESA).

που Ia. Αυτό όμως δεν αναμένεται να συμβεί νωρίτερα από μερικά εκατομμύρια χρόνια, ενώ σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται ότι μέχρι τότε θα έχει απομακρυνθεί ακόμη περισσότερο από το Ηλιακό μας Σύστημα.

Όμως, το πεπρωμένο του πλανήτη μας είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον Ήλιο. Σ' αυτό «ποντάρουν» αρκετοί καταστροφολόγοι, που υποστηρίζουν ότι το «τέλος» θα επέλθει εξαιτίας μιας ακραίας ηλιακής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια ενός Ηλιακού μεγίστου. Είναι αλήθεια ότι ο Ήλιος ακολουθεί μια περίοδο μειωμένης και διεγερμένης δραστηριότητας, η οποία αντικατοπτρίζεται στον αριθμό των εμφανιζόμενων ηλιακών κηλίδων, καθώς και στον αριθμό και την ένταση των εκλάμψεων και των βίαιων εκτινάξεων

μάζας από το στέμμα του. Γνωρίζουμε, όμως, ότι κατά τη διάρκεια ενός Ηλιακού μεγίστου, αυτό που συνήθως παρατηρείται είναι ένα εντυπωσιακότερο απ' ό,τι συνήθως βόρειο και νότιο σέλας, ενώ, ανάλογα με την ένταση της ηλιακής δραστη-



Ηλιακή έκλαμψη (φωτογρ. NASA).

ριότητας, μπορούν να εμφανιστούν και κάποιες βλάβες στα ηλεκτρονικά συστήματα δορυφόρων ή παρεμβολές στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Το χειρότερο που μπορεί να συμβεί είναι ο κίνδυνος που θα αντιμετωπίσουν όσοι αστροναύτες τύχει να βρεθούν στο Διάστημα κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής καταιγίδας, καθώς και μια εκτεταμένη διακοπή της ηλεκτροδότησης, σαν κι αυτήν που παρατηρήθηκε τον Μάρτιο του 1989 στο Κεμπέκ του Καναδά. Τέλος, αναφορικά με τον τρόπο που η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει σε βάθος χρόνου το κλίμα της Γης, ξαφνικές, απότομες και ευρείας κλίμακας μεταβολές, σαν κι αυτές που μας παρουσιάζουν οι ταινίες του Χόλλυγουντ, ικανές δηλαδή να μεταβάλουν ραγδαία την όψη του πλανήτη

μας και να καταστρέψουν την ανθρωπότητα, είναι αδύνατες, ή τουλάχιστον δεν έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα.

Σε πολύ μεγαλύτερο βάθος χρόνου, τόσο μεγάλο που να μην έχει πλέον νόημα η περαιτέρω ενασχόλησή μας με το τι θα συμβεί, υπάρχουν και άλλα σενάρια καταστροφής, από τα οποία θα αναφερθούμε σε 3. Το πρώτο απ' αυτά αφορά στην πιθανολογούμενη σύγκρουση του γαλαξία της Ανδρομέδας με τον Γαλαξία μας, κάτι όμως που δεν αναμένεται να συμβεί νωρίτερα από τουλάχιστον 4 δισεκατομμύρια χρόνια. Το δεύτερο βασίζεται σε συγκεκριμένες προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από αστρονόμους στο Αστεροσκοπείο

των Παρισίων και στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στη Σάντα Κρουζ. Σύμφωνα μ' αυτές, υπάρχει 1% πιθανότητα ότι στα επόμενα μερικά δισεκατομμύρια χρόνια, οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις του Δία με τον Ερμή, ενδέχεται να μεταβάλλουν την τροχιά του έτσι, ώστε είτε να καταλήξει μέσα στον ίδιο τον Ήλιο, είτε να εκτιναχθεί εκτός Ηλιακού Συστήματος, είτε να συγκρουστεί με την Αφροδίτη, είτε τέλος να συγκρουστεί με την Γη.

Το τρίτο σενάριο καταστροφής σχετίζεται και πάλι με τον Ήλιο. Γιατί όσο ο Ήλιος θα γερνάει και θα πλησιάζει στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα, τόσο θα διογκώνεται και τόσο θα αυξάνει η φωτεινότητά του. Υπολογίζεται, για παράδειγμα, ότι σε σχεδόν 5 δισεκατομμύρια χρόνια από τώρα ο κόκκινος γίγαντας Ήλιος θα διογκωθεί τόσο πολύ, ώστε θα «καταπεί» τον Ερμή (εάν φυσικά αυτός ο πλανήτης αποφύγει τη «μοίρα» που του επιφυλάσσει το προηγούμενο σενάριο που αναφέραμε) και την Αφροδίτη, ενώ οι εξωτερικές του στοιβάδες θα έχουν φτάσει μέχρι την Γη. Κάποιοι επιστήμονες, εντούτοις, βασιζόμενοι στο γεγονός ότι ο Ήλιος,

όπως εξάλλου και κάθε άλλο άστρο, καθώς εξελίσσεται, κάνει μάζα, είχαν αφήσει ανοικτό ένα μικρό παράθυρο ελπίδας. Γιατί χάρη σε αυτή την απώλεια μάζας, η βαρυτική έλξη που θα ασκούσε στο απώτερο μέλλον ο Ήλιος στον πλανήτη μας θα ήταν μειωμένη, με αποτέλεσμα η Γη να μετακινηθεί σε μεγαλύτερη τροχιά.



Οι αλληλεπιδρώντες γαλαξίες NGC 5426-27 (φωτογρ. Gemini Observatory).

Οι τελευταίες μελέτες, όμως, δεν αφήνουν πολλά περιθώρια, καθώς σε περίπου 7,5 δισεκατομμύρια χρόνια παλιρροϊκές βαρυτικές δυνάμεις θα φέρουν τον πλανήτη μας τόσο κοντά στον κόκκινο γίγαντα Ήλιο, που θα τον καταπιούν εντέλει οι εξωτερικές του στοιβάδες. Το τέλος όμως για τη Γη, καθώς και για όσες μορφές ζωής θα έχουν ενδεχομένως καταφέρει να επιβιώσουν στο απώτερο μέλλον, θα έχει φτάσει πολύ νω-

ρίτερα. Γιατί, αρκετά πριν το στάδιο του κόκκινου γίγαντα και καθώς ο Ήλιος θα γίνεται όλο και πιο φωτεινός, η θερμοκρασία του πλανήτη μας θα αυξάνεται συνεχώς. Καθώς οι ωκεανοί θα αρχίσουν να εξατμίζονται όλο και πιο γρήγορα, «φορτώνοντας» τη γήινη ατμόσφαιρα με όλο και περισσό-

τερους υδρατμούς, ένα ανεξέλεγκτο και αυτοτροφοδοτούμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα προκαλέσει εντέλει την ολική εξάτμιση των ωκεανών, όπως περίπου συνέβη με την Αφροδίτη.

Δηλαδή, στη γειτονιά του πλανήτη μας οι θερμοκρασίες να γίνουν απαγορευτικές για τη διατήρηση της ζωής. Μακρύτερα όμως, τα πράγματα θα είναι διαφορετικά. Και αυτό γιατί καθώς ο Ήλιος θα διογκώνεται όλο και περισσότερο και η ακτινοβολία του θα αυξάνει, η **Ζώνη Βιωσιμότητας**, δηλαδή η απόσταση από τον Ήλιο, όπου το νερό θα διατηρείται σε υγρή μορφή, θα απομακρύνεται. Ένα τέτοιο σενάριο, μάλιστα, ενδεχομένως να καταστήσει τον Άρη πολύ πιο «φιλόξενο» στη ζωή απ' ό,τι είναι σήμερα. Όταν, όμως, ο Ήλιος φτάσει στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα, η Ζώνη Βιωσιμότητας θα εκτείνεται από τις 49,5 στις 71,4 ΑΜ, εισχωρώντας ακόμη και μέσα στην ίδια τη Ζώνη Κιίπερ! Αυτό σημαίνει ότι τα παγωμένα συντρίμια της Ζώ-

νης θα αποκτήσουν νερό σε υγρή μορφή.

Θα έχει, άραγε, επιβιώσει μέχρι τότε το ανθρώπινο γένος και εάν ναι, θα καταφέρει με κάποιο τρόπο να αναβάλει το τέλος του; Κανείς δεν μπορεί να πει με βεβαιότητα. Όταν, όμως, η διεύρυνση των επιστημονικών γνώσεων και η εξέλιξη της τεχνολογίας το επιτρέψουν, οι μακρινοί μας πρόγονοι θα ξεκινήσουν τον εποικισμό αρκετών από τους παράξενους κόσμους του Ηλιακού μας Συστήματος. Αυτό θα είναι μόλις το δεύτερο, μετά τη Σελήνη, δειλό βήμα της ανθρωπότητας προς την απεραντοσύνη του Διαστήματος. Ένα βήμα, όμως, που θα προετοιμάσει ίσως το ανθρώπινο γένος για το μεγάλο άλμα προς τα ακαρτογράφητα νερά των άστρων και των γαλαξιών του Σύμπαντος και την καλύτερη λύση για την επιβίωση, τον διαιωνισμό και την εξάπλωση του είδους μας! Επιστημονική φαντασία ή επιστημονική πραγματικότητα, μόνο το μέλλον θα δείξει.





ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 🌐 Δελήμπασης, Νικόλαος Δ., *Εισαγωγή στην τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών*, Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 1999.
- 🌐 Δούτσος, Θεόδωρος, *Γεωλογία: αρχές και εφαρμογές*, Αθήνα: Leader Books, 2000.
- 🌐 Ζαφειρόπουλος, Δημήτρης, *Ο γαλάζιος πλανήτης: Εισαγωγή στην ωκεανογραφία*, Αθήνα: Leader Books, 2001.
- 🌐 Μάργαρης, Ν.Σ., *Περιβάλλον: η υγεία του πλανήτη*, Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη, 2002.
- 🌐 Παπανικολάου, Δημήτριος Ι., Σίδερης, Χρήστος, *Γεωλογία: η επιστήμη της γης*, Αθήνα: Πατάκης, 2009.
- 🌐 Σιμόπουλος, Διονύσης, *Γένεση και κατακλισμός: η βιογραφία της Γης*, οδηγός παράστασης, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου. Πλανητάριο, 2006.
- 🌐 Brahic, Andre, *Τα παιδιά του ήλιου: η προέλευση, η εξέλιξη και η εξερεύνηση του Ηλιακού Συστήματος και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπρο, 2002.
- 🌐 Chapman, Clark R., *Κοσμικές καταστροφές*, Octavision Media, 2007.
- 🌐 Condie, Kent C., *Earth as an evolving planetary system*, Elsevier/Academic Press, 2011.
- 🌐 Condie, Kent C., *Origin and evolution of earth: principles of historical geology*, Prentice - Hall, 1998.
- 🌐 Cotton, William R., *Human impacts on weather and climate*, Cambridge University Press, 2007 (reprinted 2008).
- 🌐 Deacon, Margaret, *Understanding the oceans: a century of ocean exploration*, UCL Press, 2001.
- 🌐 Dow, Kirstin, *Άτλας των κλιματικών αλλαγών: χαρτογραφώντας τη μεγαλύτερη παγκόσμια πρόκληση*, Polaris, c2008.
- 🌐 Garlick, Mark A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- 🌐 Golub, Leon, Pasachoff, Jay, *Nearest Star: the surprising science of our sun*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1999.
- 🌐 Houghton, John T., *Global warming: the complete briefing*, Cambridge University Press, 2009.
- 🌐 Jones, Barrie William, *Discovering the solar system*, Chichester: Wiley, c 1999.
- 🌐 Kippenhahn Rudolf, *Discovering the secrets of the sun*, Chichester: Wiley, 1994.
- 🌐 Lang, Kenneth R., *Sun, earth and sky*, Berlin: Springer, 1997.
- 🌐 Lopes, Rosaly M.C., *Volcanic worlds: exploring the solar system's volcanoes*, Springer/ Praxis, c2004.
- 🌐 Moldwin, Mark, *An introduction to space weather*, Cambridge University Press, 2008.
- 🌐 Pecker, Jean - Claude, *The future of the sun*, New York: McGraw-Hill, 1992.
- 🌐 Peebles, Curtis, *Asteroids: a history*, Smithsonian Institution, c 2000.
- 🌐 Phillips, Kenneth J.H., *Guide to the sun*, Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- 🌐 Tayler, Roger J., *The stars: their structure and evolution*, Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- 🌐 Taylor, Peter O., Hendrickson, Nancy L., *Beginner's guide to the sun*, Waukesha, WI: Kalmbach, 1995.
- 🌐 Wentzel, Donat G., *The restless sun*, Washington: Smithsonian Institution, 1989.
- 🌐 Whitehouse, David, *The sun: a biography*, Chichester, England: Wiley, 2005.
- 🌐 Woolfson, M. M., *The formation of the solar system: theories old and new*, London: Imperial College Press; Hackensack, NJ: Distributed by World Scientific Publishing Co., c2007.
- 🌐 Worldwatch Institute, *Η κατάσταση του κόσμου 2009: η κλιματική αλλαγή μόλις άρχισε Ευώνυμος*, Οικολογική Βιβλιοθήκη, 2009.
- 🌐 Zirker, Jack B., *Journey from the center of the sun*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2002.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Αφήγηση

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ

Σκηνοθετική Επιμέλεια

THOMAS LUCAS

Dynamic Earth, Supervolcanoes

RYAN WYATT

Earthquake

MICHAEL DAUT

Ice Worlds, Invaders of Mars, Violent Universe

Σκηνοθετική Προσαρμογή

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

Μουσική

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

Εποπτηρική Επιμέλεια &

Κείμενο Αφήγησης

ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Executive Producer

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

Διεύθυνση Παραγωγής

ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

Σχεδιασμός & Μίξη Ήχου

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

Fulldome Technical Support

ΓΙΩΡΓΟΣ ΜΑΥΡΙΚΟΣ

Fulldome Production Assistants

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

Graphic Design

ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

SPITZ CREATIVE MEDIA

Producers

MIKE BRUNO

Animation Design & Production

BILL CARR

INNA LEONOV-KENNY

BRAD THOMPSON

WES THOMPSON

Cinematography

LEE PARKER

JOHNNY FRIDAY

NASA SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO

Producer

GREG SHIRRAH

Visualizations

WILLIAM T. BRIDGMAN

HORACE MITCHELL

LORI PERKINS

GREG SHIRAH

CINDY STARR

NATIONAL CENTER FOR SUPERCOMPUTING

APPLICATIONS

Producer

DONNA COX

Visualizations

DONNA COX

ROBERT PATTERSON

STUART LEVY

AJ CHRISTENSEN

ALEX BETTS

MATTHEW HALL

JEFF CARPENTER

MIRAGE 3D STUDIO

Producer

ROBIN SIP

Animation Design & Production

MATHIJS BRUSSAARD

JOHANNES BEVELANDER

PETER GEERTS

LEON VERSCHOOR

KEES VAN DER VIJVER

Modeling

RICK VAN REEMEN

STIJN VAN KOOPEREN

RICK VAN DEN BERG

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES

Producer

TOM KENNEDY

Production Designer & VFX Supervisor

MIKE SCHMITT

Technical Directors

JEROEN LAPRE

MATTHEW BLACKWELL

Digital Artists

JACK DE VALPINE

SCOTT FRANKEL

LUMILA GOLYNSKI

JOHN STILLMAN

DOUG MACMILLAN

GREG DOWNING

KEN ACKERMAN

VISHISHTH KUMAR

EVANS & SUTHERLAND

Executive Producers

TERENCE MURTAGH

KIRK JOHNSON

Lead Animator

DON DAVIS

3D Artists

KEN CARLSON

MARTY SISAM

Computer Graphics &

3D Animation Services

SPITZ CREATIVE MEDIA

Chadds Ford, Pennsylvania

NASA SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO

Greenbelt, Maryland

NATIONAL CENTER FOR

SUPERCOMPUTING APPLICATIONS

Urbana, Illinois

MIRAGE 3D STUDIO

The Hague, Netherlands

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES

San Francisco, California

EVANS & SUTHERLAND

Salt Lake City, Utah

Fulldome & Post-Production

Video Services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Post-Production Audio Services

STARGAZER AUDIO

Ιδρύματος Ευγενίδου

Θερμές Ευχαριστίες

EUROPEAN SPACE AGENCY

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE

ADMINISTRATION

Παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

© 2013



ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
