



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

Ο Θάνατος των Δεινοσαύρων

Ο θάνατος των δεινοσαύρων

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου σας προσκαλεί σ' ένα συναρπαστικό ταξίδι πίσω στον χρόνο, στην εποχή της αδιαφιλονίκητης κυριαρχίας των δεινοσαύρων πάνω στην Γη, αλλά και της μυστηριώδους εξαφάνισής τους. Παρουσιάζοντας με συνοπτικό τρόπο ορισμένες μόνο απ' τις πιθανές ερμηνείες της μαζικής εξαφάνισης των δεινοσαύρων, η ψηφιακή παράσταση «Ο Θάνατος των Δεινοσαύρων» εστιάζει και στην επικρατέστερη θεωρία, σύμφωνα με την οποία οι δεινόσαυροι χάθηκαν από το πρόσωπο της Γης εξαιτίας της συντριβής στον πλανήτη μας ενός τεράστιου αστεροειδούς πριν από περίπου 65 εκατομμύρια χρόνια. Πόσο πιθανό είναι άραγε ένα αντίστοιχο σενάριο μελλοντικής εξαφάνισης των ειδών που ζουν σήμερα στον πλανήτη μας;





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

Ο Θάνατος των δεινοσαύρων

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ

Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

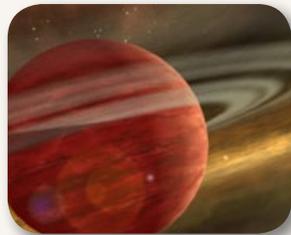
Αθήνα 2014

Περιεχόμενα

Πρόλογος4



1. Εισαγωγή:
«Το Μεγάλο Βιβλίο της Φύσης»6



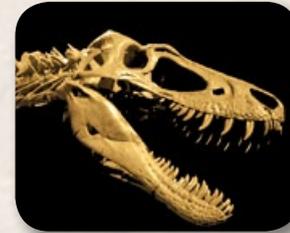
2. Η Γέννηση του Ηλιακού Συστήματος10



3. Η Γεωλογική Εξέλιξη της Γης18



4. Η Ζωή στην Διάρκεια του
Γεωλογικού Χρόνου26



5. Η Εποχή των Γιγάντων34



6. Οι Πέντε Μεγάλοι Αφανισμοί42



7. Επίλογος:
Μελλοντικοί Αφανισμοί50

Βιβλιογραφία60

Συντελεστές παράστασης62

Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, διαθέτει όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι τεχνολογίες αιχμής, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί την ιστορία της επιστήμης με συναρπαστικό τρόπο. Η συνεισφορά του Ευγενιδείου Πλανηταρίου στην επιμόρφωση του κοινού της χώρας μας σε επιστημονικά θέματα συνεχίζεται, γνωστοποιώντας μέσα από τις ψηφιακές του παραγωγές, τους Οδηγούς παράστασης και τις υπόλοιπες δραστηριότητές του τα επιτεύγματα της επιστήμης, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται η επιστημονική έρευνα.

Όταν το 1993, προβλήθηκε για πρώτη φορά η ταινία επιστημονικής φαντασίας Jurassic Park, ζητήματα όπως η εποχή των δεινοσαύρων αλλά και οι αιτίες που αυτοί εξαφανίστηκαν, εξελίχθηκαν σταδιακά σε θέματα ιδιαίτερως δημοφιλή για το ευρύτερο κοινό. Το Ευγενίδειο Πλανητάριο σε αρκετές από τις παραστάσεις του έχει ήδη συμπεριλάβει άμεσα ή έμμεσα θέματα σχετικά με τους δεινοσαύρους. Η νέα, όμως, ψηφιακή παράσταση «Ο Θάνατος των Δεινοσαύρων», εστιάζει ακόμα περισσότερο σε ένα θέμα που, όχι μόνο εξάπτει την φαντασία όλων, αλλά που συνεχίζει και σήμερα να αποτελεί πεδίο αντιπαράθεσης πολλών επιστημόνων. Αναφερόμαστε, φυσικά, στις πιθανές αιτίες που προκάλεσαν την μαζική εξαφάνιση των δεινοσαύρων. Η παράσταση αυτή παρουσιάζει διάφορες ερμηνείες σχετικά με την μαζική τους εξαφάνιση και αναδεικνύει την επικρατέστερη, που αφορά σε έναν εξωγήινο «εισβολέα» και πιο συγκεκριμένα στην καταστροφική πρόσκρουση ενός αστεροειδούς στην χερσόνησο Γιουκατάν στο σημερινό Μεξικό, πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια. Ο Θάνατος των Δεινοσαύρων» αφενός είναι μία συναρπαστική και «ζωντανή» παράσταση, αφετέρου έχει σημαντικό εκπαιδευτικό ενδιαφέρον, καθώς περιλαμβάνει πολλά θέματα που σχετίζονται με τη Γεωλογία, την Βιολογία, την Παλαιοντολογία και φυσικά την Αστρονομία.

Ο Οδηγός αυτός ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν σε μια παράσταση 40 μόλις λεπτών και τα

οποία προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη και σαφή εικόνα, τόσο της Γης στην εποχή της κυριαρχίας των δεινοσαύρων όσο και του βίαιου τρόπου με τον οποίο εξαφανίστηκαν. Κατά συνέπεια, ο Οδηγός αυτός περιλαμβάνει και κεφάλαια που αφορούν στην δημιουργία και στη γεωλογική εξέλιξη του πλανήτη μας, καθώς και στην εξέλιξη της ζωής στη Γη κατά την διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Στην συνέχεια, εστιάζει, όπως είναι φυσικό, στην εποχή των δεινοσαύρων, για να καταλήξει σε μια σύντομη παρουσίαση των πέντε κοινά αποδεκτών μαζικών αφανισμών των έμβιων ειδών του Φανεροζωικού μεγααιώνα, τελευταίος των οποίων ήταν εκείνος που έδωσε τη «χαριστική βολή» στην κυριαρχία των δεινοσαύρων. Ο Οδηγός ολοκληρώνεται με μια σύντομη παρουσίαση πιθανών σεναρίων μιας μελλοντικής μαζικής εξαφάνισης των ειδών του πλανήτη μας.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον συνάδελφο Αλέξη Δεληβοριά, αστρονόμο του Ευγενιδείου Πλανηταρίου για τη συγγραφή του Οδηγού, καθώς και τους συναδέλφους του Εκδοτικού τμήματος του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλεια και άρτια παρουσίασή του. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους συνεργάτες της δημιουργικής μας ομάδας, που συμμετείχαν στη υλοποίηση της παράστασης αυτής.

Μάνος Κισώνας
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



1

Εισαγωγή: «Το Μεγάλο Βιβλίο της Φύσης»

Η ποικιλομορφία της ζωής στην Γη είναι εντυπωσιακή. Παρόλο που ο συνολικός αριθμός των ειδών του πλανήτη μας δεν έχει αποτυπωθεί με ακρίβεια, σύμφωνα με μια έρευνα, που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Nature* το 2011, ο αριθμός των ευκαρυωτικών ειδών στην Γη πρέπει σήμερα να ανέρχεται σε περίπου 8 εκατομμύρια, τα περισσότερα απ' τα οποία δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί. Εξίσου εντυπωσιακό είναι το γεγονός ότι το 99% όλων των ειδών που έζησαν ποτέ στην Γη έχει εξαφανιστεί. Πραγματικά, δισεκατομμύρια χρόνια βιολογικής εξέλιξης και εκατομμύρια βιολογικά είδη διαχωρίζουν τον άνθρωπο από τους πρώτους μονοκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς, που εμφανίστηκαν στην Γη πριν από τουλάχιστον 3,5 δισ. χρόνια. Εκείνη την εποχή η επιφάνεια του πλανήτη μας δεν έμοιαζε σε τίποτα μ' αυτήν που όλοι αναγνωρίζουμε. Γιατί, στο πέρασμα δισεκατομμυρίων ετών και κάτω από την ασταμάτητη επίδραση των τεκτονικών δυνάμεων, οι ηπειρωτικές μάζες συγκλίνουν και αποκλίνουν, διαμορφώνοντας νέες υπερηπείρους ή κατακερματίζονται σε μικρότερες, καθώς ωκεανοί συρρικνώνονται και νέες θάλασσες σχηματίζονται εκεί που προηγουμένως υπήρχε ξηρά.



Ο αριθμός των ευκαρυωτικών ειδών στη Γη ανέρχεται σε αρκετά εκατομμύρια.

Κι όμως, αυτός ο δυναμικός και διαρκώς μεταβαλλόμενος γεωλογικός και βιολογικός «κόσμος» ήταν για πολλούς διανοητές, ακόμη και μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ένας κόσμος στατικός και αμετάβλητος. Κατ' αυτούς, η Γη είχε ηλικία λίγων μόνο χιλιάδων ετών και όλα τα είδη ζωής του παρελθόντος ήταν αυτά που βλέπουμε και σήμερα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο αρχιεπίσκοπος **James Usher** (1580–1656), που βασισμένος στα κείμενα των Γραφών, «υπολόγισε» ότι το Σύμπαν δημιουργήθηκε πριν από μόλις 6.000 χρόνια. Δυστυχώς, δεν ήταν ο μόνος που είχε αυτήν την θεώρηση, αφού η θρησκευτική ερμηνεία για την προέλευση του κόσμου είχε βαθιά ριζωμένες αντιλήψεις, που έφταναν μέχρι το πανίσχυρο εκκλησιαστικό κατεστημένο του Μεσαίωνα. Σύμφωνα με τις παγιωμένες αντιλήψεις της εποχής εκείνης, τα διαφορετικά είδη, αμετάβλητα από τη στιγμή της δημιουργίας τους, «ζούσαν» σε μια Γη, η ηλικία της οποίας προσδιοριζόταν σχεδόν αποκλειστικά με βάση την ερμηνεία των κειμένων της Βίβλου και ήταν όση περίπου είχε «υπολογίσει» και ο Usher. Όλα τα φυτά και τα ζώα του πλανήτη, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, «σχεδιάστηκαν ως έχουν» από κάποιο Δημιουργό και έκτοτε δεν άλλαξαν καθόλου. Ελάχιστοι ήταν εκείνοι που είχαν τολμήσει να αμφισβητήσουν το αλάθητο των Γραφών και να αναρωτηθούν εάν τα διαφορετικά ζωικά και φυτικά είδη του πλανήτη μας είχαν εξελιχθεί από κάποια άλλα.

Καθώς, όμως, άρχισαν να ανακαλύπτονται όλο και περισσότερα γεωλογικά και παλαιοντολογικά ευρήματα, η εκκλησιαστική θεώρηση του κόσμου και της ζωής άρχισε να κλονίζεται. Με την ανακάλυψη, για παράδειγμα, απολιθωμάτων «παράξενων» μορφών ζωής που έχουν εκλείψει, καθώς και με την διαπίστωση ότι οι προσχώσεις των ποταμών, ο σχηματισμός ιζημάτων και η διάβρωση των πετρωμάτων απαιτούν πολύ πε-

ρισσότερο χρόνο, απ' αυτόν που θεωρούσε η Εκκλησία ότι μεσολάβησε απ' την απαρχή του Σύμπαντος, άρχισε σιγά-σιγά να γίνεται αντιληπτό ότι η ηλικία του πλανήτη μας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη. Πολύ περισσότερο, στην διάρκεια του 19^{ου} αιώνα και χάρη στην θεωρία της εξέλιξης του **Κάρολου Δαρβίνου** (1809–1882), άρχισε παράλληλα να συνειδητοποιείται ότι τα είδη ζωής που βλέπουμε σήμερα είχαν εξελιχθεί από παλαιότερα είδη. Κάπως έτσι, καθώς με κάθε νέο απολιθωμά και κάθε νέο πέτρωμα που ερχόταν στο φως, η ηλικία της Γης διαρκώς «μεγάλωνε» και η θεωρία της εξέλιξης αποκτούσε όλο και ισχυρότερα ερείσματα, το τελειωτικό χτύπημα για την Βιβλική ερμηνεία της δημιουργίας της Γης και της εμφάνισης των έμβιων όντων που φιλοξενεί, δεν άργησε να έρθει.

Πραγματικά, χάρη στην ραγδαία ανάπτυξη της φυσικής, της αστρονομίας, της γεωλογίας, της βιολογίας και της παλαιοντολογίας, γνωρίζουμε εδώ και αρκετά χρόνια ότι η Γη σχηματίστηκε πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια. Ο προσδιορισμός της ηλικίας πετρωμάτων και απολιθωμάτων δεν είναι φυσικά αυθαίρετος, αλλά στηρίζεται σε απολύτως αντικειμενικά επιστημονικά στοιχεία, τα οποία όχι μόνο επιβεβαιώνουν την ηλικία της Γης που προαναφέραμε, αλλά αποδεικνύουν ότι ο πλανήτη μας, καθώς και τα είδη ζωής που φιλοξενεί, δεν «εμφανίστηκαν» ως έχουν, αλλά αντίθετα μεταβάλλονται και εξελίσσονται με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου. Η θεωρία που καθορίζει τις αέναες μεταβολές στο γήινο ανάγλυφο, όπως τον σχηματισμό των οροσειρών, ερμηνεύοντας παράλληλα και την γενεσιουργό αιτία των σεισμών και των ηφαιστειακών εκρήξεων, είναι η θεωρία των τεκτονικών πλακών, που αναπτύχθηκε μόλις στα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Γνωρίζουμε ακόμα, ήδη από το 1859, όταν δημοσιεύθηκε το μνημειώδες έργο του Δαρβίνου

Καταγωγή των Ειδών Μέσω Φυσικής Επιλογής, ότι οι έμβιοι οργανισμοί κατάγονται από κοινούς προγόνους και ότι ορισμένοι απ' αυτούς ανέπτυσαν σταδιακά διαφορετικά «χρήσιμα» χαρακτηριστικά, που τους επέτρεπαν να προσαρμόζονται και να επιβιώνουν ευκολότερα στο διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον τους, αλλά και να κληρονομήσουν αυτά τα χαρακτηριστικά, που προσέδιδαν συγκριτικό πλεονέκτημα στους ίδιους και σε κάποιους από τους απογόνους τους. Αυτή η εξελικτική διαδικασία της φυσικής επιλογής που διαρκεί εδώ και τουλάχιστον 3,5 δισ. χρόνια, «μεταβάλλει» με την πάροδο του χρόνου το κάθε είδος, και η επιβίωση ή η εξαφάνιση του καθενός από αυτά προσδιορίζεται από την ικανότητά του να προσαρμόζεται στο περιβάλλον του.

Φυσικά, η συγγραφή αυτού του «Μεγάλου Βιβλίου της Φύσης», που περιγράφει και εξηγεί τον σχηματισμό της Γης, την γεωλογική της εξέλιξη, καθώς και την εξέλιξη των ειδών, δεν έχει σε καμία περίπτωση ολοκληρωθεί. Τα όσα, όμως, ήδη έχουμε μάθει είναι εντυπωσιακά. Η ανακάλυψη και χρονολόγηση των γιγάντιων απολιθωμάτων του παρελθόντος, για παράδειγμα, μας αποκάλυψε ότι πριν από περίπου 230 εκατ. χρόνια η βιολογική εξέλιξη οδήγησε στην εμφάνιση των δεινοσαύρων, των μεγαλύτερων πλασμάτων που περπάτησαν ποτέ στην Γη, οι οποίοι κυριάρχησαν στον πλανήτη μας για σχεδόν 160 εκατ. χρόνια. Η επιστημονική έρευνα μας αποκάλυψε ακόμη ότι κατά την διάρκεια της γεωλογικής περιόδου, που είναι γνωστή ως Φανεροζωικός μεσαιοίκος, πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον πέντε μαζικές εξαφανίσεις των ειδών, με τελευταία εκείνη που διέκοψε βίαια την κυριαρχία των δεινοσαύρων, πριν από περίπου 65 εκατ. χρόνια, πιθανώς εξαιτίας της πρόσκρουσης ενός τεράστιου αστεροειδούς στην Γη. Το ανησυχητικό,

μάλιστα, είναι ότι πολλοί επιστήμονες ήδη κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για μια έκρηξη μαζική εξαφάνιση, η οποία συντελείται στις μέρες μας και η οποία, σε αντίθεση με τις προηγούμενες, δεν οφείλεται σε κάποια φυσική καταστροφή, αλλά είναι ανθρωπογενής.

Με βάση τα παραπάνω, δεν μπορεί να αποκλειστεί ένας μελλοντικός αφανισμός των ειδών, ίσως ακόμη και του ανθρώπου. Όπως, μάλιστα, μας υπενθύμισε η έκρηξη μιας διαστημικής βολίδας πάνω από την Ρωσία τον Φεβρουάριο του 2013, η συντριβή ενός μεγάλου αστεροειδούς ή κομήτη στην Γη, θα μπορούσε να προκαλέσει φυσικές καταστροφές και κλιματολογικές μεταβολές, αντίστοιχες μ' εκείνες που οδήγησαν στον αφανισμό των δεινοσαύρων. Πόσο πιθανό είναι ένα τέτοιο σενάριο μελλοντικής εξαφάνισης ειδών του πλανήτη μας και με ποιους άλλους τρόπους θα μπορούσε να συμβεί αυτό;

Ο παρών Οδηγός Παράστασης διαπραγματεύεται αυτά τα θέματα, που μόλις περιγράψαμε, ξεκινώντας από την αρχή, δηλαδή από τον σχηματισμό του Ηλιακού μας Συστήματος, πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η γεωλογική εξέλιξη του πλανήτη μας και πώς αυτή καθορίζεται μέσα από την θεωρία των τεκτονικών πλακών, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εξέλιξη της ζωής στα πλαίσια του γεωλογικού χρόνου. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται με συντομία ορισμένοι απ' τους χαρακτηριστικότερους δεινοσαύρους που έζησαν ποτέ στην Γη, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται οι πέντε μαζικές εξαφανίσεις των ειδών του πλανήτη μας, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης των δεινοσαύρων. Στον επίλογο, τέλος, εξετάζονται ορισμένα από τα πιθανά σενάρια που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μία μαζική εξαφάνιση ειδών της Γης στο μέλλον.

2

Η Γέννηση του Ηλιακού Συστήματος

Ο Ήλιος είναι ένα σχετικά μικρό και συνηθισμένο άστρο του Γαλαξία μας, γύρω από το οποίο περιφέρονται 8 πλανήτες, τουλάχιστον 5 πλανήτες-νάνοι, δεκάδες δορυφόροι και αναρίθμητα ακόμη μικρότερα ουράνια σώματα, δηλαδή συντριμμια που περίσσεψαν από τον σχηματισμό του Ηλιακού μας Συστήματος, πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια. Οι 4 πλησιέστεροι στον Ήλιο πλανήτες, δηλαδή ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης έχουν βραχώδη σύσταση και οι πυρήνες τους αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σίδηρο. Πλησιέστερα από όλους στον Ήλιο είναι ο μικροσκοπικός Ερμής, η επιφάνεια του οποίου είναι γεμάτη από τις «πληγές» που προκάλεσαν οι αμέτρητες πτώσεις αστεροειδών. Λίγο μακρύτερα, βρίσκεται η Αφροδίτη, που καλύπτεται από πυκνά νέφη θειικού οξέος, ενώ η πυκνότητα της γεμάτης με διοξείδιο του άνθρακα ατμόσφαιράς της συντηρεί την επιφανειακή της θερμοκρασία στους εξωπραγματικούς για τα γήινα δεδομένα 465°C. Ακόμη πιο μακριά βρίσκεται η Γη και ακολουθεί ο Άρης με τα γιγάντια ηφαίστεια και τις τεράστιες χαράδρες. Στην διαχωριστική γραμμή μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος βρίσκεται η Ζώνη των Αστεροειδών, που αποτελείται από αναρίθμητα βραχώδη συντριμμια του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση πλανήτη σε νεαρό πλανητικό σύστημα (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

Σε ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις εκτείνεται το βασίλειο των 4 αέριων γιγάντων, δηλαδή του Δία και του Κρόνου, που αποτελούνται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο, καθώς και του Ουρανού και του Ποσειδώνα, οι οποίοι εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες παγωμένου νερού, αμμωνίας και μεθανίου. Εκτός από το μέγεθος και την σύστασή τους, μία άλλη διαφορά μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών πλανητών είναι ο αριθμός των δορυφόρων τους. Από τους εσωτερικούς πλανήτες, για παράδειγμα, μόνο η Γη έχει έναν δορυφόρο και ο Άρης δύο, σε αντίθεση με τους εξωτερικούς πλανήτες, που ο καθένας τους διαθέτει δεκάδες φεγγάρια.

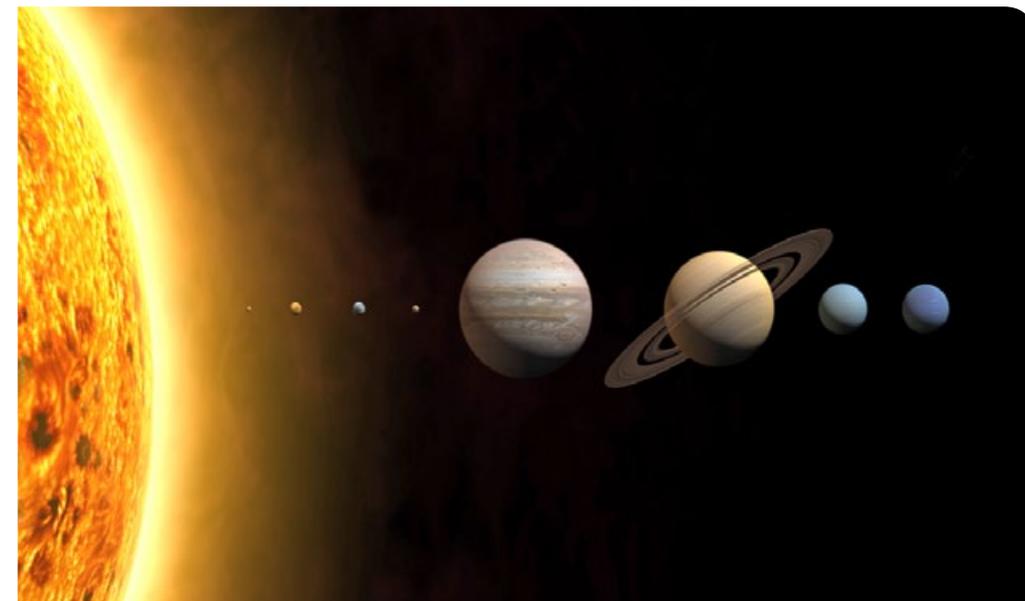
Ακόμη μακρύτερα, σε απόσταση 30–50 Αστρονομικών Μονάδων (1 ΑΜ ισούται με την μέση απόσταση Γης–Ήλιου, δηλ. περίπου 150 εκατ. km) μακριά από τον Ήλιο, εκτείνεται η **Ζώνη Kuiper**, που αποτελείται από μικρότερα και μεγαλύτερα κομμάτια βράχων και παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως το νερό, το μεθάνιο και η αμμωνία. Στο εσωτερικό όριο αυτής της ζώνης βρίσκεται ο Πλούτωνας, που μόλις το 2006 «υποβιβάστηκε»

από πλανήτη σε πλανήτη-νάνο. Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις, οι οποίες υπερβαίνουν τις 50.000ΑΜ από τον Ήλιο, εικάζεται ότι υπάρχει ένα αραιό σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, το επονομαζόμενο **Νέφος Oort**, η ύπαρξη του οποίου όμως δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί με την παρατήρηση.

Η θεωρία που ερμηνεύει την γένεση και τη μετέπειτα εξέλιξη του Ηλιακού μας Συστήματος, όπως περίπου το περιγράψαμε, έχει τις ρίζες της στην υπόθεση του Ηλιακού Νεφελώματος, που διατύπωσαν οι **Immanuel Kant** (1724–1804) και **Pierre-Simon Laplace** (1749–1827) στη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα. Έκτοτε, οι αστρονομικές παρατηρήσεις και οι θεωρητικές μελέτες που ακολούθησαν, οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός κοινά αποδεκτού φυσικού μηχανισμού, ο οποίος περιγράφει τη γένεση νέων άστρων και πλανητικών συστημάτων. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, κάθε νέο άστρο και πλανητικό σύστημα σχηματίζεται βαθιά μέσα σε γιγάντια μοριακά νέφη αερίων και σκόνης, τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μοριακό υδρογόνο, με πυκνότητα από μερικές εκα-

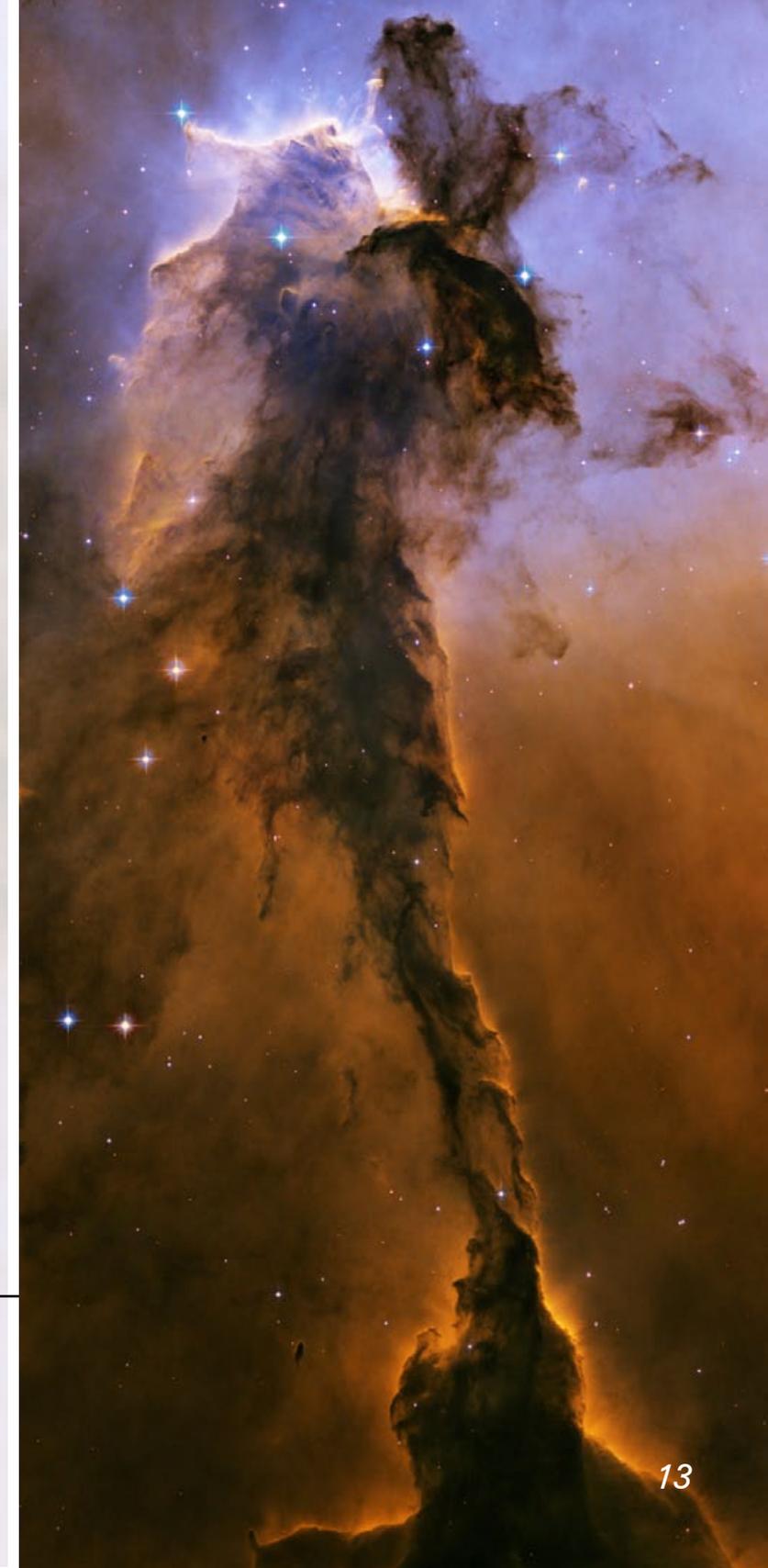
τοντάδες έως και μερικά εκατομμύρια σωματίδια ανά κυβικό εκατοστό και θερμοκρασία από –263 έως –253°C.

Δύο είναι οι κύριες δυνάμεις, οι οποίες ανταγωνίζονται η μία την άλλη στο εσωτερικό των μοριακών νεφών: η **βαρύτητα** και η **πίεση**. Η βαρύτητα οφείλεται στη μάζα των σωματιδίων που εμπεριέχει κάθε μοριακό νέφος, τα οποία έχουν την τάση να συσσωρεύονται σε πυκνότερες συγκεντρώσεις ύλης, εξαιτίας της αμοιβαίας τους έλξης. Η εσωτερική πίεση, αντίθετα, οφείλεται στη μικρή κινητική ενέργεια αυτών των σωματιδίων και έχει την τάση να τα απομακρύνει το ένα απ' το άλλο. Επειδή, όμως, τα μοριακά νέφη είναι κατά κανόνα ψυχρά και οι ταχύτητες των σωματιδίων που εμπεριέχουν πολύ μικρές, υπάρχουν στο εσωτερικό τους περιοχές, όπου η τάση συσώρευσης των σωματιδίων υπερσχύει της τάσης τους να απομακρυνθούν. Με άλλα λόγια, η κατανομή της μάζας στο εσωτερικό των γιγάντιων μοριακών νεφών είναι ανομοιομορφη, γεγονός που τα καθιστά βαρυτικά ασταθή. Για τον λόγο αυτόν, η οποιαδήποτε διαταραχή στην ευρύτερη περιοχή τους, όπως η σύγκρουση δύο διαφορετικών νεφών, η έκρηξη ενός γειτονικού σουπερνόβα ή ακόμη και η διέλευση του νέφους από μία περιοχή με μεγαλύτερη συγκέντρωση ύλης, θα δώσει το έναυσμα για την κατάρρευσή τους, δημιουργώντας αρχικά εντός τους περιοχές όλο και μεγαλύτερης πυκνότητας. Κάθε μοριακό νέφος μπορεί να αιωρείται σ' αυτό το χείλος της κατάρρευσης για αρκετά εκατομμύρια χρόνια, προτού



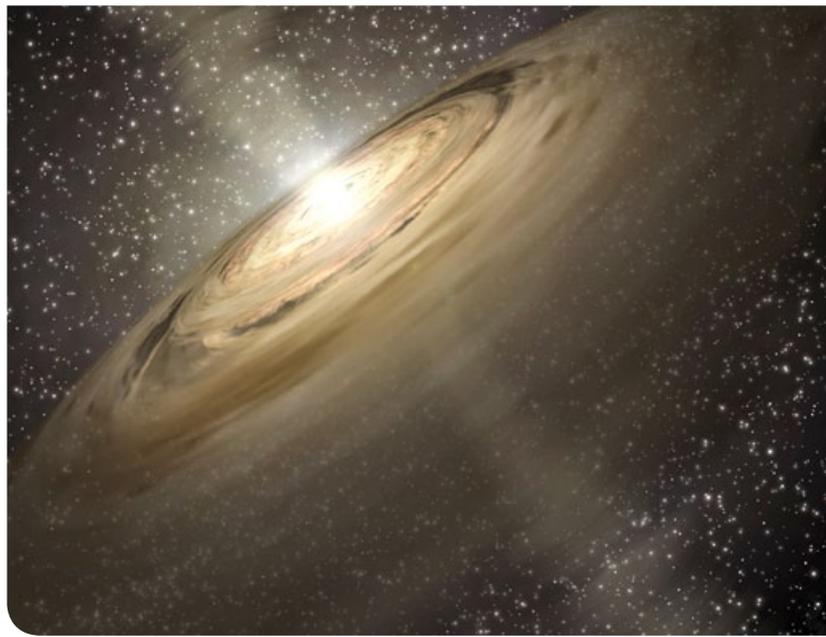
Οι πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος, από τον Ερμή μέχρι τον Ποσειδώνα (φωτογρ. The International Astronomical Union, Martin Kornmesser).

Μοριακά νέφη αερίων και σκόνης στο Νεφέλωμα Αετός (φωτογρ. NASA, ESA and The Hubble Heritage Team STScI/AURA).



κάποιος εξωτερικός παράγοντας, όπως οι προαναφερόμενοι, το επηρεάσει. Στην περίπτωση του Ηλιακού μας Συστήματος, το έναυσμα για τη δημιουργία του θα πρέπει να δόθηκε από την έκρηξη ενός σουπερνόβα.

Αρχικά, η θερμοκρασία, και κατά συνέπεια η κινητική ενέργεια των σωματιδίων στο εσωτερικό αυτών των περιοχών παραμένει αρκετά χαμηλή. Γι' αυτό και η βαρύτητα υπερσχύει της εσωτερικής τους πίεσης, γεγονός που προκαλεί την βαρυτική τους συστολή, αλλά και την συσσώρευση όλο και περισσότερης ύλης. Ανάλογα με την αρχική μάζα του γιγάντιου μοριακού νέφους, μπορούν να σχηματιστούν από μερικές εκατοντάδες μέχρι και χιλιάδες νέα άστρα, καθώς το νέφος διασπάται σε μικρότερες και πυκνότερες περιοχές, κάθε μία απ' τις οποίες θα καταρρεύσει σχηματίζοντας το δικό της άστρο. Στο εσωτερικό κάθε τέτοιας περιοχής που αρχίζει να καταρρέει βαρυτικά, οι συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων της ύλης και συνακόλουθα η θερμοκρασία τους αυξάνει όλο και περισσότερο. Επειδή, όμως, αρχικά κάθε τέτοια περιοχή ακτινοβολεί το πλεόνασμα της θερμικής της ενέργειας, η εσωτερική της πίεση παραμένει μικρότερη απ' τη βαρύτητα, διασφαλίζοντας έτσι ότι η κατάρρευση της μπορεί να συνεχιστεί απρόσκοπτα. Καθώς, όμως, η πυκνότητά της αυξάνει συνεχώς, καθίσταται αδιαφανής στη θερμική ενέργεια, φυλακίζοντάς την στο εσωτερικό της. Από το σημείο αυτό και μετά, η θερμοκρασία και η πίεση στο εσωτερικό κάθε περιοχής που καταρρέει αυξάνει ραγδαία, καθώς εκεί ακριβώς αρχίζει να διαμορφώνεται μία περιστρεφόμενη υπέρθερμη σφαίρα αερίων, το «έμβρυο» δηλαδή του άστρου που θα γεννηθεί, το οποίο ονομάζεται πρωταστέρως. Την ίδια στιγμή, τα αέρια υλικά, τα οποία συνεχίζουν να στροβιλίζονται γύρω από τους πρωταστέρως, σχηματίζουν πεπλατυσμένους και περιστρεφόμενους δίσκους



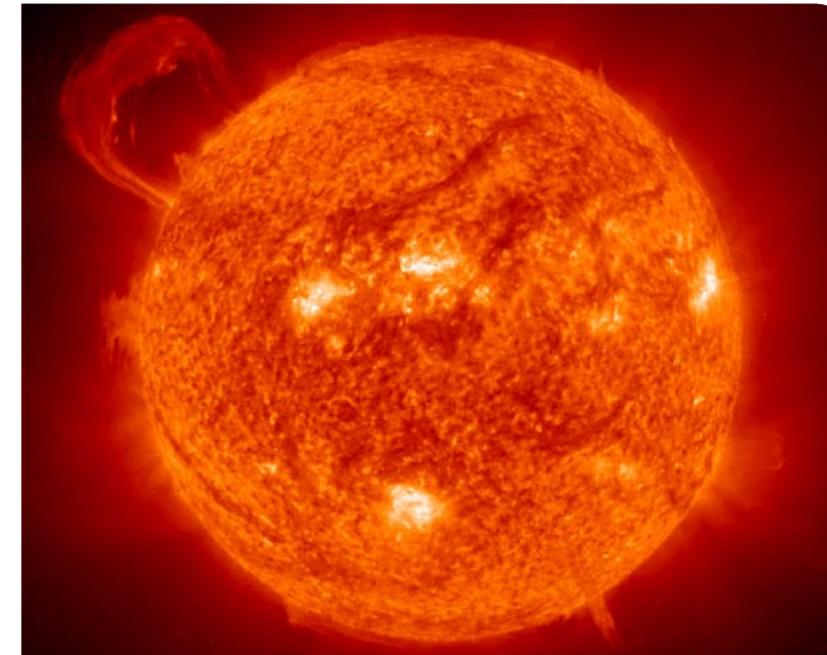
Καλλιτεχνική αναπαράσταση πρωτοπλανητικού δίσκου, γύρω από νεογέννητο άστρο [φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)].

ύλης, που ονομάζονται **πρωτοπλανητικοί δίσκοι**.

Όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός πρωταστέρως αγγίζει τους περίπου 106°C, οι θετικά φορτισμένοι πυρήνες υδρογόνου, που σε χαμηλότερες θερμοκρασίες απωθούν ο ένας τον άλλον, αρχίζουν να συνενώνονται μεταξύ τους μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης, δημιουργώντας ήλιο και εκλύοντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Με την έναρξη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης, ένας ισχυρός αστρικός άνεμος απομακρύνει σιγά-σιγά τα υπολείμματα του νεφελώματος, η εσωτερική πίεση του νεογέννητου άστρου εξισορροπεί την περαιτέρω βαρυτική του κατάρρευση και το άστρο τότε εισέρχεται σε μια μακρά περίοδο υδροστατικής ισορροπίας ως άστρο της **Κύριας Ακολουθίας**, όπως ονομάζεται. Αυτός είναι σε γενικές γραμμές ο μηχανισμός γένεσης ενός νέου άστρου και κάπως έτσι δημιουργήθηκε και

ο Ήλιος πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια.

Οι πλανήτες, από την άλλη, προέρχονται από τους μικροσκοπικούς κόκκους σκόνης και τα αέρια του πρωτοπλανητικού δίσκου, που συνέχισαν να στροβιλίζονται γύρω από τον νεογέννητο Ήλιο. Η βαρυτική έλξη που ασκούσε η συσσωρευμένη ύλη του πρωτοπλανητικού δίσκου εξανάγκασε τα σωματίδια που τον περιβάλλουν να πέφτουν προς το επίπεδό του, όπου και άρχισαν να κολλούν μεταξύ τους, αρχικά με ηλεκτροστατικές και εν συνεχεία, όταν αυξήθηκε λίγο η μάζα τους, με βαρυτικές δυνάμεις, διευρύνοντας σταδιακά το μέγεθός τους απ' αυτό της σχεδόν αόρατης σκόνης στο μέγεθος ενός χαλικιού, μιας πέτρας, ενός βράχου. Καθώς αυτά τα κομμάτια ύλης συνέχι-



Γιγάντια προεξοχή εκτινάσσεται από τον Ήλιο σε εικόνα που ελήφθη από το διαστημικό αστροσκοπείο SOHO (φωτογρ. ESA/NASA/SOHO).

σαν να περιφέρονται γύρω από τον νεογέννητο Ήλιο, οι περίπλοκες βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μέσα στον πρωτοπλανητικό δίσκο τούς προσέδωσαν μία ανισομερή και ακανόνιστη κατανομή, συσσωρεύοντας τα περισσότερα απ' αυτά σε συγκεκριμένες τροχιές. Μέσα σε κάθε τέτοια τροχιά οι συγκρούσεις μεταξύ των επιμέρους κομματιών συνεχίστηκαν, σχηματίζοντας όλο και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ύλης, τους επονομαζόμενους **πλανητοειδείς**. Οι συγκρούσεις μεταξύ των πλανητοειδών ήταν πιο βίαιες: κάποιοι από αυτούς διαλύθηκαν, κάποιοι άλλοι όμως επιβίωσαν από τις συγκρούσεις και συγχωνεύθηκαν, σχηματίζοντας στα επόμενα εκατομμύρια χρόνια πρωτοπλανήτες και εντέλει πλανήτες.

Η θεωρία του Ηλιακού νεφελώματος, όπως περίπου την περιγράψαμε, εξηγεί πολλά από τα χαρακτηριστικά των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος, όπως το μέγεθος και τη σύστασή τους. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία στο εσωτερικό τμήμα του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος (σε απόσταση δηλ. μέχρι και 4ΑΜ από τον Ήλιο), ήταν τόσο μεγάλη, ώστε οι διάφορες πητικές ενώσεις, όπως το νερό και το μεθάνιο, δεν μπορούσαν να στερεοποιηθούν και να συμπυκνωθούν. Γι' αυτό και οι πλανητοειδείς που σχηματίστηκαν κοντά στον Ήλιο αποτελούνταν κατά βάση από ενώσεις με υψηλό σημείο τήξης, όπως μέταλλα και ενώσεις πυριτίου, που αποτελούν και τα κύρια συστατικά των εσωτερικών πλανητών. Επιπλέον, επειδή οι ενώσεις αυτές αντιστοιχούσαν σε ελάχιστο ποσοστό της συνολικής μάζας του προ-Ηλιακού νεφελώματος, οι βραχώδεις πλανήτες παρέμειναν σχετικά μικροί σε μέγεθος. Αντιθέτως, οι αέριοι γίγαντες του Ηλιακού μας Συστήματος σχηματίστηκαν σε μεγαλύτερες αποστάσεις απ' τον Ήλιο, δηλαδή σε περιοχές με αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία, που διατηρούσε τις διάφορες πητικές ενώσεις παγωμένες. Επειδή όμως οι ενώσεις αυ-

τές υπήρχαν σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες απ' ό,τι ο σίδηρος, το νικέλιο και οι ενώσεις πυριτίου, οι εξωτερικοί πλανήτες συσσωρεύσαν στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους πολύ περισσότερη μάζα απ' ό,τι οι βραχώδεις πλανήτες, γεγονός που τους επέτρεψε να αιχμαλωτίσουν με τη μεγαλύτερη βαρύτητά τους και μεγάλες ποσότητες υδρογόνου και ηλίου. Κάπως έτσι, ο αρχέγονος Δίας αύξησε τη μάζα του ραγδαία, ενώ ο Κρόνος, ο οποίος εικάζεται ότι δημιουργήθηκε μετά τον Δία, οφείλει τη μικρότερη μάζα του στο γεγονός ότι τα διαθέσιμα υλικά για τον σχηματισμό του ήταν εμφανώς λιγότερα, αφού τα περισσότερα είχαν ήδη καταλήξει στον Δία. Ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας από την άλλη, πιστεύεται ότι σχηματίστηκαν μετά τον Δία και τον Κρόνο, όταν ο ηλιακός άνεμος του νεαρού Ήλιου είχε ήδη απομακρύνει τα υπολείμματα του Ηλιακού νεφελώματος. Γι' αυτό και η περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο και ήλιο είναι μικρότερη σε σχέση μ' αυτήν του Δία και του Κρόνου.

Η αρχέγονη Ζώνη των Αστεροειδών, απ' την άλλη, υπολογίζεται ότι εμπεριείχε αρχικά αρκετά πλανητικά «έμβρυα» με μάζες μεταξύ εκείνης της Σελήνης και αυτής του Άρη, καθώς και πολλά μικρότερα, αρκετή ύλη δηλαδή για τον σχηματισμό τουλάχιστον ενός, ίσως ακόμη και τριών πλανητών στο μέγεθος της Γης. Ο γειτονικός Δίας, όμως, καθώς και ο Κρόνος, πρέπει να προσέδωσαν με τη βαρυτική τους έλξη μεγαλύτερη ταχύτητα στα πλανητοειδή της αρχέγονης Ζώνης. Γι' αυτό και οι κατά πολύ βιαιότερες συγκρούσεις μεταξύ τους, αντί να τα συσσωματώνουν, τα δι-

έλυαν, εκτινάσσοντας μάλιστα κάποια απ' αυτά προς το εσωτερικό Ηλιακό Σύστημα και μειώνοντας έτσι τη συνολική μάζα της αρχέγονης Ζώνης σε λιγότερο από το 1% της μάζας της Γης.

Παρόλο που η θεωρία αυτή για τον σχηματισμό του Ηλιακού μας Συστήματος είναι σε γενικές γραμμές σωστή, αντιμετωπίζει ορισμένα προβλήματα, τα οποία προσπαθεί να επιλύσει μία νέα θεωρία, γνωστή ως το **Πρότυπο της Νίκαιας**. Η θεωρία αυτή διατυπώθηκε από τους **R. Gomes, H. Levison, A. Morbidelli** και **K. Τσιγάνη** στο αστροσκοπείο της ομώνυμης περιοχής της Γαλλίας και δημοσιεύθηκε στο περιοδικό *Nature* το 2005. Χωρίς να υπεισέλθουμε στις λεπτομέρειες της θεωρίας αυτής, η βασική διαφορά της με όσα περιγράψαμε ως τώρα είναι ότι οι 4 βραχώδεις πλανήτες πρέπει να σχηματίστηκαν σε λίγο μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, απ' όσο θεωρούσαμε προηγουμένως. Αντιθέτως, οι 4 γιγάντιοι πλανήτες δημιουργήθηκαν, όχι μόνο σε μικρότερες αποστάσεις ο ένας με τον άλλον, αλλά και σε μικρότερες αποστάσεις από τον Ήλιο. Σύμφωνα, τέλος, με το Πρότυπο της Νίκαιας, όλοι αυτοί οι πλανήτες μετακινήθηκαν στις τωρινές περίπου τροχιές τους εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με την ύλη του πρωτοπλανητικού δίσκου και του ενός με τον άλλον. Αυτή η θεωρία της «πλανητικής μετανάστευσης» αποτελεί σήμερα ένα ενεργό πεδίο έρευνας, η αλήθεια όμως είναι ότι δεν έχουμε ακόμη πλήρη εικόνα γι' αυτήν την πρώιμη περίοδο της γένεσης και της εξέλιξης του Ηλιακού μας Συστήματος.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση Ζώνης Αστεροειδών γύρω από άλλο άστρο (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

3

Η Γεωλογική Εξέλιξη της Γης

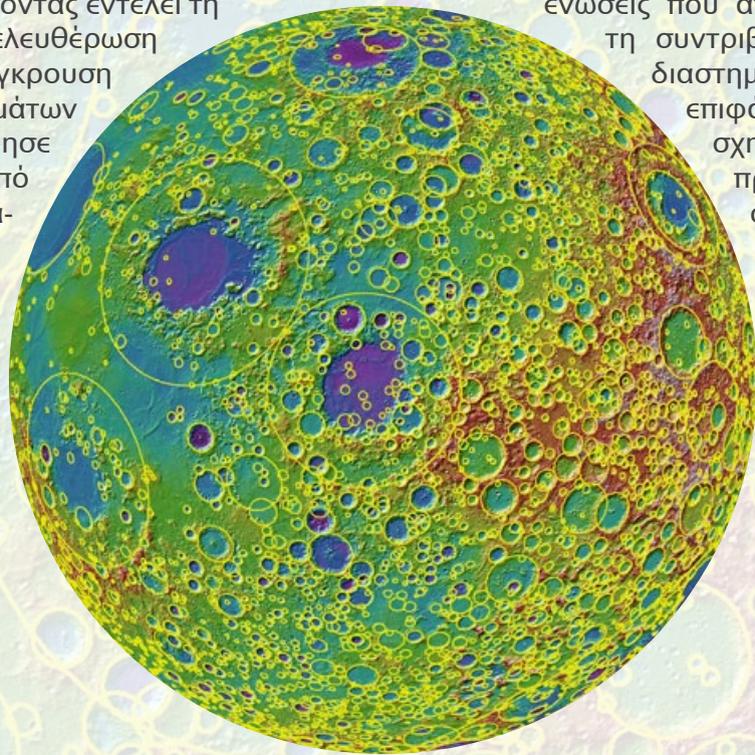
Η Γη, όπως εξάλλου και κάθε άλλος πλανήτης, δεν γεννήθηκε «ως έχει», αλλά εξελίχθηκε στην σημερινή της μορφή στο πέρασμα δισεκατομμυρίων ετών, μέσα από τитάνιες συγκρούσεις και κάτω από την ασταμάτητη επίδραση της βαρύτητας και των τεκτονικών δυνάμεων. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο πλανήτης μας άρχισε να διαμορφώνεται πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια, αρχικά συσσωρεύοντας ύλη από τον πρωτοπλανητικό δίσκο και στη συνέχεια μέσα από αλληπάλληλες συγκρούσεις και συγχωνεύσεις. Σύμφωνα με τα όσα γνωρίζουμε ως τώρα, η συσσώρευση ύλης στην αρχέγονη πρωτο-Γη θα πρέπει να είχε ολοκληρωθεί κάπου 20 εκατ. χρόνια αργότερα. Αρχικά, ο πρωτοπλανήτης μας θα πρέπει να ήταν σε ρευστή κατάσταση, γεγονός που επέτρεψε στα βαρύτερα μέταλλα να «βυθιστούν» προς το κέντρο του, οδηγώντας έτσι σταδιακά στον διαχωρισμό ενός αρχέγονου μανδύα και ενός αρχέγονου μεταλλικού πυρήνα, που αργότερα αποτέλεσε και τον λόγο για τη δημιουργία του μαγνητικού του πεδίου. Όταν, όμως, η Γη συσσώρευσε το 40% περίπου της σημερινής της μάζας, κατόρθωσε με την μεγαλύτερη βαρυτική της έλξη να συγκρατήσει μια πρώτη ατμόσφαιρα, η οποία εμπεριείχε και υδρατμούς, ενώ η επιφάνειά της άρχισε σιγά-σιγά να στερεοποιείται. Λίγο αργότερα, πριν από περίπου 4,53 δισ. χρόνια θα πρέπει να δημιουργήθηκε και η Σελήνη.

*Καλλιτεχνική αναπαράσταση σύγκρουσης
πρωτοπλανητικών σωμάτων
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).*



Η επικρατέστερη θεωρία σχηματισμού της Σελήνης είναι η θεωρία της **Γιγάντιας Πρόσκρουσης**, σύμφωνα με την οποία η αρχέγονη Γη συγκρούστηκε με ένα πρωτοπλανητικό σώμα στο μέγεθος του πλανήτη Άρη, εκτινάσσοντας χιλιάδες τόνους διάπυρης ύλης και εξαερωμένων πετρωμάτων στο Διάστημα, όπου με την πάροδο των αιώνων και καθώς περιφέρονταν γύρω από το πλανήτη μας, συσσωρεύτηκαν σε σήμα σφαιρικό και στερεοποιήθηκαν σχηματίζοντας εντέλει τη Σελήνη. Η τεράστια απελευθέρωση ενέργειας κατά την σύγκρουση των δύο ουράνιων σωμάτων πρέπει να ρευστοποιήσει ξανά μεγάλο μέρος από την επιφάνεια του πλανήτη μας, εξαφανίζοντας παράλληλα και την πρώτη ατμόσφαιρα που είχε σχηματιστεί γύρω του. Επειδή, μάλιστα, αμέσως μετά τη Γιγάντια Πρόσκρουση, η πρώτη ατμόσφαιρα της Γης είχε εξαφανιστεί, η θερμοκρασία του πλανήτη μας μειώθηκε γρήγορα και μέσα σε 150 εκατ. χρόνια δημιουργήθηκε ένας στέρεος φλοιός από βασαλτικά πετρώματα.

Η χαρτογράφηση της επιφάνειας της Σελήνης, όπως και αυτής του Ερμή, αποκαλύπτουν ότι τα δύο αυτά ουράνια σώματα είναι γεμάτα από αναρίθ-



Τοπογραφικός χάρτης της Σελήνης, με αποτυπωμένους ορισμένους μόνο από τους χιλιάδες κρατήρες πρόσκρουσης στην επιφάνειά της (φωτογρ. NASA/Goddard/MIT/Brown).

μητους κρατήρες, που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του κατακλυσμιαίου βομβαρδισμού τους από μικρούς και μεγάλους μετεωρίτες, γνωστού ως ο **Ύστερος Μεγάλος Βομβαρδισμός**, ο οποίος εικάζεται ότι ολοκληρώθηκε πριν από περίπου 3,8 δισ. χρόνια. Την ίδια, περίπου, περίοδο, οι υδρατμοί που διέφευγαν από τον γήινο φλοιό, τα αέρια που απελευθερώνονταν από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, το νερό και οι άλλες πτητικές ενώσεις που απελευθερώνονταν κατά τη συντριβή κομητών και άλλων διαστημικών εισβολέων στην επιφάνεια του πλανήτη μας, σχημάτισαν σταδιακά την πρώτη του πυκνή ατμόσφαιρα. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και διατήρηση αυτής της ατμόσφαιρας θα πρέπει να διαδραμάτισε και η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου της Γης, που προστάτευε τον πλανήτη μας από τον ηλιακό άνεμο.

Καθώς, όμως, η θερμοκρασία της πρώιμης Γης μειωνόταν, άρχισαν να δημιουργούνται σύννεφα. Η διαρκής συμπύκνωση των υδρατμών οδήγησε σε ραγδαίους κατακλυσμούς, που σχημάτισαν τους πρώτους ωκεανούς, πριν από περίπου 4,2 δισ. χρόνια. Σύμφωνα με τα γεωλογικά ευρήματα που διαθέτουμε, γνω-

ρίζουμε σήμερα ότι εκείνη την εποχή οι ωκεανοί που κάλυπταν τον πλανήτη μας ήταν ρευστοί. Αυτό εκ πρώτης όψεως αποτελεί ένα παράδοξο αφού, όπως γνωρίζουμε, ο νεαρός τότε Ήλιος είχε φωτεινότητα, η οποία δεν υπερέβαινε το 70% της σημερινής, και κατά συνέπεια η μέση θερμοκρασία της Γης πρέπει να ήταν πολύ χαμηλή, προκειμένου να διατηρήσει τους ωκεανούς σε υγρή κατάσταση. Αυτό το παράδοξο του ασθενούς νεαρού Ήλιου, όπως ονομάζεται, επισημάνθηκε για πρώτη φορά από τους αστρονόμους **Carl Sagan** (1934–1996) και **George Mullen** το 1972. Υπάρχουν διαφορετικές προτάσεις ως προς την επίλυση του παραδόξου, όπως η εικαζόμενη από ορισμένους επιστήμονες μεγάλη περιεκτικότητα της πρώιμης γήινης ατμόσφαιρας σε αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία παγίδευαν περισσότερη θερμότητα, αποτρέποντας έτσι το πάγωμα των ωκεανών. Άλλοι επιστήμονες υποστηρίζουν, αντίθετα, ότι επειδή το ποσοστό ξηράς που κάλυπτε τότε την επιφάνεια της Γης ήταν κατά πολύ μικρότερο, αντίστοιχα μικρότερο πρέπει να ήταν και το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ο πλανήτης ανακλούσε στο Διάστημα. Αντίθετα, οι ωκεανοί, που κάλυπταν πολύ μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειάς του, απορροφούσαν όση ηλιακή θερμότητα χρειαζόταν, προκειμένου να παραμείνουν σε υγρή κατάσταση.

Κάποιοι άλλοι επιστήμονες, μάλιστα, ισχυρίζονται ότι ο πλανήτης μας διέθετε νερό σε υγρή μορφή αρκετά νωρίτερα, ακόμη και πριν από 4,4 δισ. έτη. Εκτός αυτού, η ανάλυση άλλων γεωλογικών ευρημάτων δείχνει ότι πρέπει να υπήρχε τεκτονική δραστηριότητα ακόμη και 4 δισ. χρόνια πριν. Εάν τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιωθούν, η επιφάνεια της Γης τότε μπορεί να έμοιαζε περισσότερο με αυτήν που βλέπουμε σήμερα. Και αυτό γιατί η τεκτονική δραστηριότητα παγιδεύει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα να μειώνεται αντίστοιχα η συγκέντρωση

των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια η επιφανειακή θερμοκρασία του πλανήτη μας να είναι χαμηλότερη. Εάν όντως ισχύει η υπόθεση της **Ψυχρής Πρώιμης Γης**, όπως ονομάζεται, ο γήινος φλοιός πρέπει να στερεοποιήθηκε ταχύτερα, ενώ η ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή, ίσως ακόμη και η εμφάνιση των πρώτων μορφών ζωής, να παρατηρήθηκε πολύ νωρίτερα απ' όσο θεωρούσαμε προηγουμένως. Επομένως, πώς τελικά έμοιαζε η Γη, όταν ήταν ακόμη νέα; Την απάντηση σε αυτό το ερώτημα δεν τη γνωρίζουμε προς το παρόν με βεβαιότητα.

Η θεωρία που ερμηνεύει τις αέναες γεωτεκτονικές ανακατατάξεις, που μεταβάλλουν συνεχώς το γήινο ανάγλυφο, καθορίζοντας την γεωλογική εξέλιξη του πλανήτη μας, είναι η **θεωρία των Τεκτονικών Πλακών**. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, η στερεή εξωτερική επιφάνεια της Γης αποτελείται από ένα σχετικά άκαμπτο και συμπαγές στρώμα πετρωμάτων, την **λιθόσφαιρα**, η οποία εκτείνεται από την επιφάνειά της μέχρι και το βάθος των περίπου 100km, περιλαμβάνοντας τον φλοιό και ένα μέρος του ανώτατου μανδύα. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελείται από 7 μεγαλύτερες και αρκετές μικρότερες **λιθόσφαιρικές** ή **τεκτονικές πλάκες**, οι οποίες στα όριά τους εφάπτονται ή/και επικαλύπτουν η μία την άλλη, όπως περίπου τα κομμάτια ενός γιγάντιου παζλ. Οι λιθόσφαιρικές 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, καθώς αναμορφώνουν συνεχώς τα επεκτεινόμενα άκρα τους, σε μια αέναη διαδικασία που έχει ονομαστεί **εξάπλωση του πυθμένα**. Η θεωρία των τεκτονικών πλακών στην σημερινή της περίπου μορφή διατυπώθηκε μόλις πριν από μισόν αιώνα και προκάλεσε πραγματική επανάσταση στις γνώσεις μας για την γεωλογική εξέλιξη

του πλανήτη, ανάλογη με αυτήν που προκάλεσε η θεωρία της εξέλιξης των ειδών στην βιολογία. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της θεωρίας διαδραμάτισε ο Γερμανός μετεωρολόγος **Alfred Wegener** (1880–1930), ο οποίος προσπάθησε να ερμηνεύσει το εμφανές «ταίριασμα» του δυτικού περιγράμματος της Αφρικής με τις ανατολικές ακτές της κεντρικής και της νότιας Αμερικής, υιοθετώντας την άποψη ότι οι ήπειροι δεν βρίσκονταν πάντα εκεί που βρίσκονται σήμερα.

Οι βαθύτερες αιτίες αυτής της κίνησης δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητές, πρέπει όμως να σχετίζονται με την αέναη «διελκυστίνδα» μεταξύ της θερμότητας που ο πλανήτης μας προσπαθεί να αποβάλει και της ίδιας του της βαρύτητας. Η θερμότητα στο εσωτερικό της Γης οφείλεται κατά κύριο λόγο σε 3 φυσικές διεργασίες, οι οποίες επέδρασαν συσσωρευτικά καθ' όλη την 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 συσώρευε 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 ήταν 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 απο-

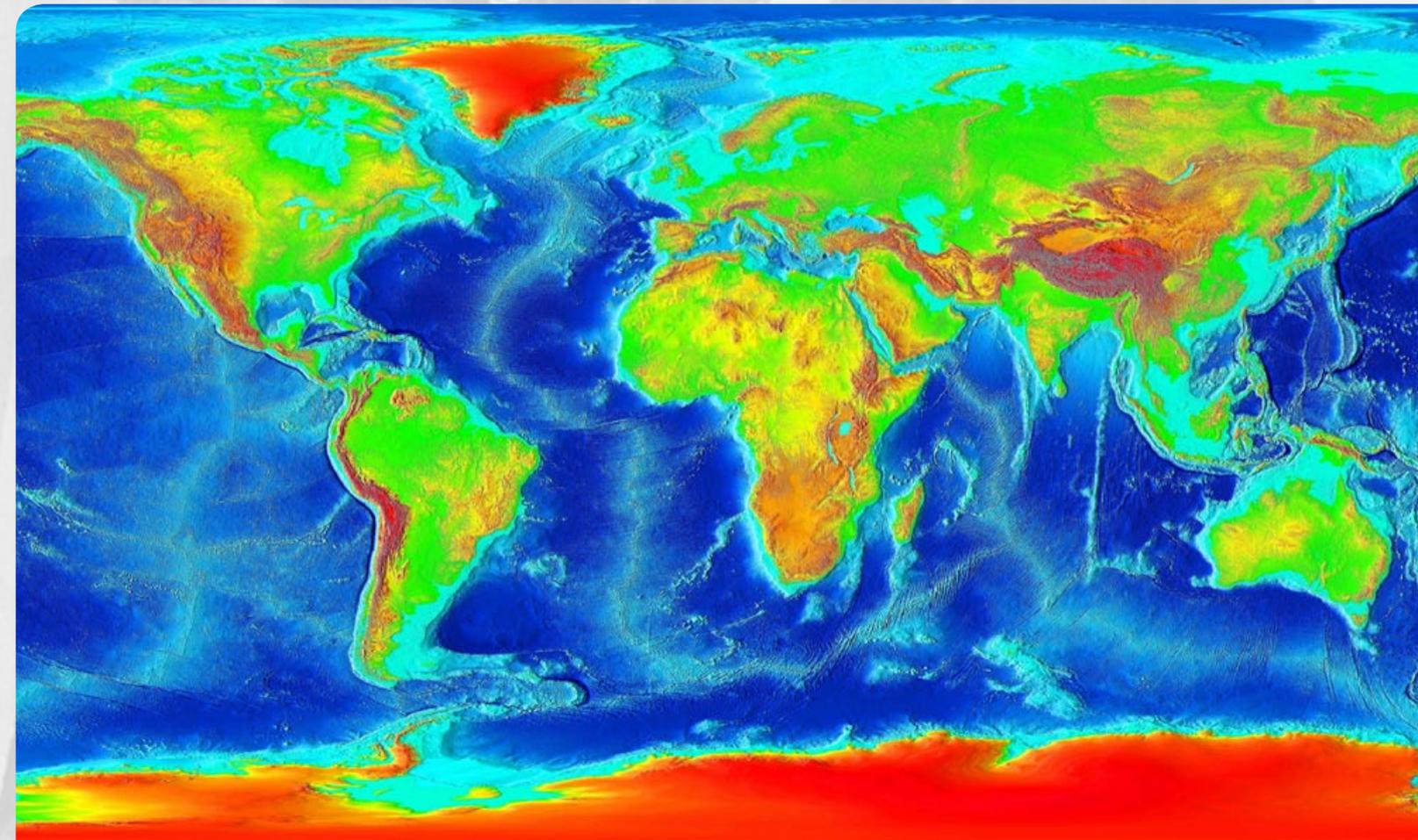


Ο Γερμανός γεωφυσικός και μετεωρολόγος Alfred Wegener.

βάλλει την 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 μέσα από την διαδικασία της ραδιενεργού διάσπασης.

Χαρακτηρισμό παράδειγμα μετατόπισης λιθοσφαιρικών πλακών αποτελεί η επονομαζόμενη **Μεσο-Ατλαντική Ράχη**, μια 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 «σπρώχνονται» από τα ρεύματα μεταφοράς μάζας της ασθενόσφαιρας.

Υψομετρικός χάρτης, στον οποίο διακρίνεται το «ταίριασμα» του δυτικού περιγράμματος της Αφρικής με το ανατολικό περίγραμμα της κεντρικής και νότιας Αμερικής, καθώς και η Μεσο-Ατλαντική Ράχη (φωτογρ. ETOPO2, NGDC, NOAA, U.S. Department of Commerce, <http://www.ngdc.noaa.gov/>).



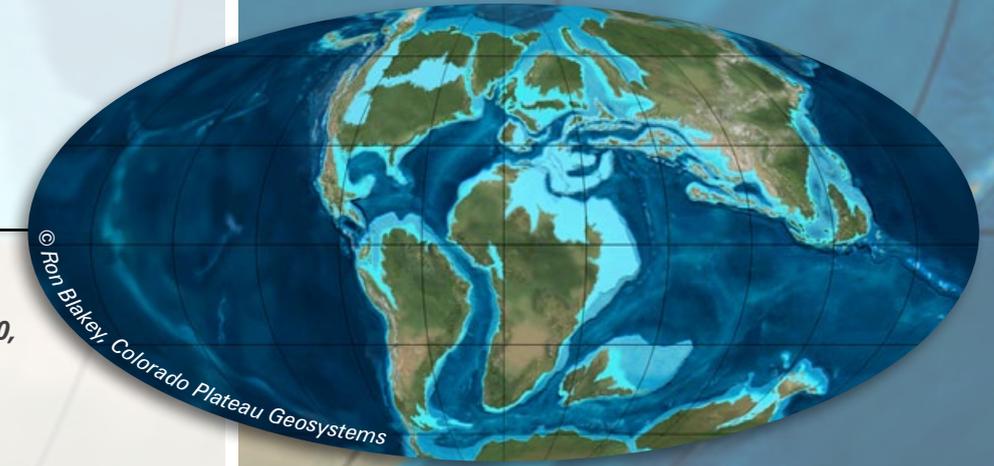
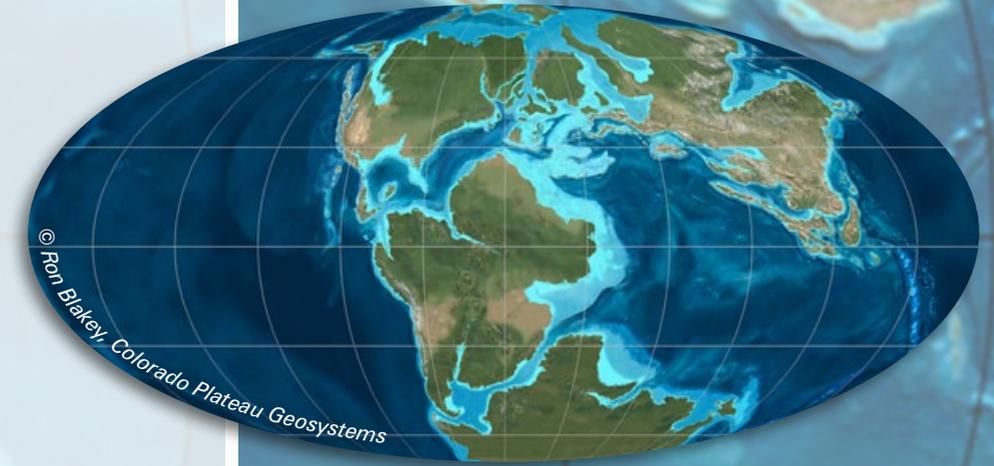
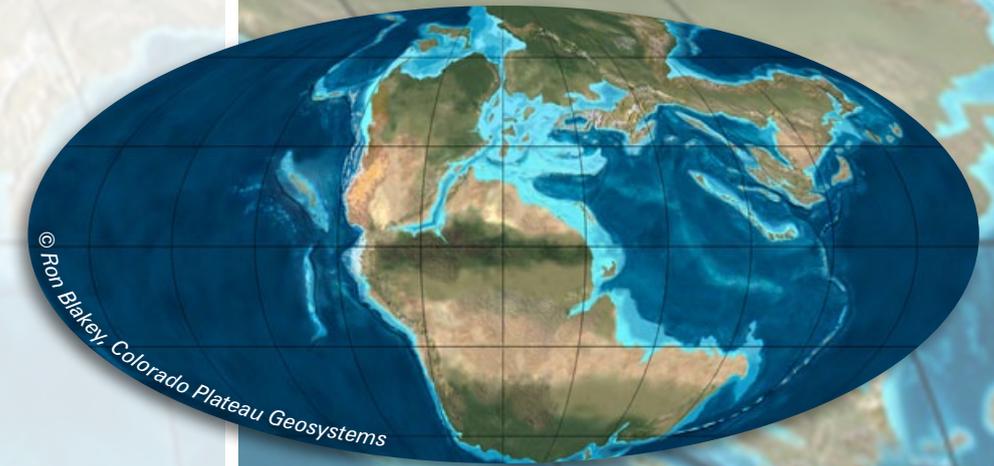
Το ανώτερο τμήμα της ασθενόσφαιρας κάτω από την νοτιοαμερικανική πλάκα, ειδικότερα, κινείται αργά προς τα δυτικά, απομακρύνοντάς την από την αφρικανική πλάκα, που κινείται προς τα ανατολικά. Με μέσο όρο 2,5cm τον χρόνο, η «διαστολή» αυτή που παρατηρείται κατά μήκος της Μεσο-Ατλαντικής Ράχης μπορεί να φαίνεται μικρή, αλλά σε αυτήν οφείλεται το γεγονός ότι στη διάρκεια των τελευταίων 200 εκατ. ετών ο Ατλαντικός ωκεανός, ένας μικρός πορθμός, που βρισκόταν μεταξύ των ηπείρων της Αφρικής, της Ευρώπης, καθώς και της Βόρειας και της Νότιας Αμερικής, διευρύνθηκε στον τεράστιο ωκεανό που σήμερα γνωρίζουμε, απομακρύνοντας παράλληλα την μια ήπειρο από την άλλη.

Εκτός, όμως, από την απομάκρυνση μεταξύ δύο λιθοσφαιρικών πλακών, είναι δυνατή και η σύγκλιση τους, που οδηγεί στην υποβύθιση της μίας κάτω από την άλλη. Όταν, δηλαδή, 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 Νάζκα βυθίζεται κάτω από την Νοτιοαμερικανική τεκτονική πλάκα, η οποία με τη σειρά της «ανασηκώνεται», δημιουργώντας τις Άνδεις. Κατά τη σύγκλιση δύο ωκεάνιων πλακών, από την άλλη, συμβαίνει κάτι διαφορετικό. Η τάφρος Marianas, για παράδειγμα, σηματοδοτεί τη περιοχή όπου η τεκτονική πλάκα του Ειρηνικού συγκλίνει προς την πλάκα των Φιλιππίνων. Καθώς, λοιπόν, η μία πλάκα γλιστράει κάτω από την άλλη, σχηματίστηκε στο πέρασμα εκατομμυρίων ετών η βαθύτερη τάφρος του κόσμου, όπου το βαθύτερο σημείο της βυθίζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας περισσότερο απ' όσο ορθώνεται το Έβερεστ στα Ιμαλάια. Όταν, τέλος, συγκλίνουν και εντέλει συγκρούονται δύο ηπειρωτικές τεκτονικές πλάκες, όπως συνέβη πριν από 50 εκατ. χρόνια μεταξύ των πλακών της Ινδίας και της Ασίας, δημιουργούνται τεράστιες οροσειρές, όπως αυτή των Ιμαλαΐων. Εικάζεται, μάλιστα, ότι σε δεκάδες εκατ. χρόνια θα σχηματιστεί μία ακόμη τεράστια οροσειρά, η οποία θα εκτείνεται από την Ισπανία μέχρι τη Μέση Ανατολή, όταν η Αφρικανική πλάκα, που κινείται προς τα βορειοανατολικά συρρικνώνοντας την Μεσόγειο, συγκρουστεί εντέλει με την Ευρωπαϊκή πλάκα.

Η νότια απόληξη της οροσειράς των Άνδεων (φωτογρ. NASA World Wind screenshot).



Σειρά τριών παλαιογεωγραφικών χαρτών, που αναδεικνύουν την σταδιακή διεύρυνση του Ατλαντικού ωκεανού 200, 150 και 105 εκατ. χρόνια πριν (φωτογρ. Copyright Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems).

4

Η Ζωή στην Διάρκεια του Γεωλογικού Χρόνου



Η βιολογική εξέλιξη των ειδών στην Γη είναι στενά συνυφασμένη με την γεωλογική της εξέλιξη. Οι επιστήμονες πολλών και διαφορετικών ερευνητικών πεδίων, από την βιολογία και την γεωλογία μέχρι την αστρονομία, την παλαιοντολογία και την παλαιοκλιματολογία, έχουν συνθέσει ένα ογκώδες αρχείο, στο οποίο έχουν καταγράψει τα βασικά στάδια της βιολογικής εξέλιξης των έμβιων οργανισμών του πλανήτη μας, ενσωματώνοντάς τα στην επονομαζόμενη **Κλίμακα του Γεωλογικού Χρόνου**, που αποτυπώνει και τα βασικά στάδια της γεωλογικής του εξέλιξης. Είναι αλήθεια ότι το μεγάλο αυτό «Βιβλίο της Φύσης» έχει ακόμη πολλές κενές σελίδες, γεγονός που οφείλεται στο ότι η γεωλογική ιστορία του πλανήτη μας, καθώς και η βιολογική ιστορία που περιγράφει την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής, είναι ιστορίες αέναων μεταβολών. Η συνεχής διάβρωση των επιφανειακών πετρωμάτων από τα στοιχεία της Φύσης, η ασταμάτητη τεκτονική δραστηριότητα που αναμορφώνει συνεχώς την επιφάνεια της Γης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι προσκρούσεις αστεροειδών και κομητών, «καταστρέφουν» συστηματικά τόσο τις παλαιότερες γεωλογικές ενδείξεις, όσο και τα παλαιοντολογικά «ίχνη» της ζωής, κάτι εξάλλου που αποδεικνύεται από την παντελή απουσία απολιθωμάτων για μεγάλα χρονικά διαστήματα του γεωλογικού χρόνου. Προφανώς, λοιπόν, όσο πιο πίσω στον χρόνο πηγαίνουμε, τόσο πιο δυσεύρετες γίνονται οι ενδείξεις αυτές και τόσο πιο αβέβαιη καθίσταται η γνώση μας.



Η «σπείρα» του γεωλογικού χρόνου
[φωτογρ. Graham, Joseph, Newman, William, and Stacy, John, 2008, [The geologic time spiral](#)
- A path to the past (ver. 1.1): U.S. Geological Survey
General Information Product 58, poster, 1 sheet].

Σύμφωνα με την ανάλυση των παλαιότερων γεωλογικών ευρημάτων, γνωρίζουμε ότι οι πρώτες «ζωντανές» κυτταρικές μορφές έχουν ηλικία τουλάχιστον 3,5 δισ. ετών. Δεδομένου ότι η Γη σχηματίστηκε πριν από περίπου 4,5 δισ. χρόνια, αυτό σημαίνει ότι το «θαύμα της ζωής» πρέπει να συνέβη το πολύ μέσα σε 1 δισ. έτη. Οι περισσότεροι επιστήμονες υποστηρίζουν σήμερα ότι το «πέραςμα στη ζωή» συντελέστηκε μέσα από μια μακρά περίοδο αβιοτικής χημικής εξέλιξης, κατά την διάρκεια της οποίας συνετέθησαν από απλούστερες ενώσεις τα βασικά δομικά συστατικά της, και στη συνέχεια τα πρώτα βιολογικά και αυτοαντιγραφόμενα μακρομόρια. Επειδή, όμως, καμία μέθοδος αντιγραφής δεν είναι τέλεια, η ποικιλομορφία που «μοιραία» εμφανίστηκε σε αυτόν τον αρχέγονο «πληθυσμό» μακρομορίων ήταν αναπόφευκτη. Από το σημείο αυτό και μετά, την σκυτάλη πήρε η βιολογική εξέλιξη, από την οποία προήλθαν οι πρώτοι προκαρυωτικοί κυτταρικοί οργανισμοί, που με τη σειρά τους εξελίχθηκαν μέσω της φυσικής επιλογής στα ευκαρυωτικά κύτταρα. Η εξέλιξη των πρωταρχικών προκαρυωτικών κυττάρων θα πρέπει να ακολούθησε αργό ρυθμό. Καθώς, όμως,

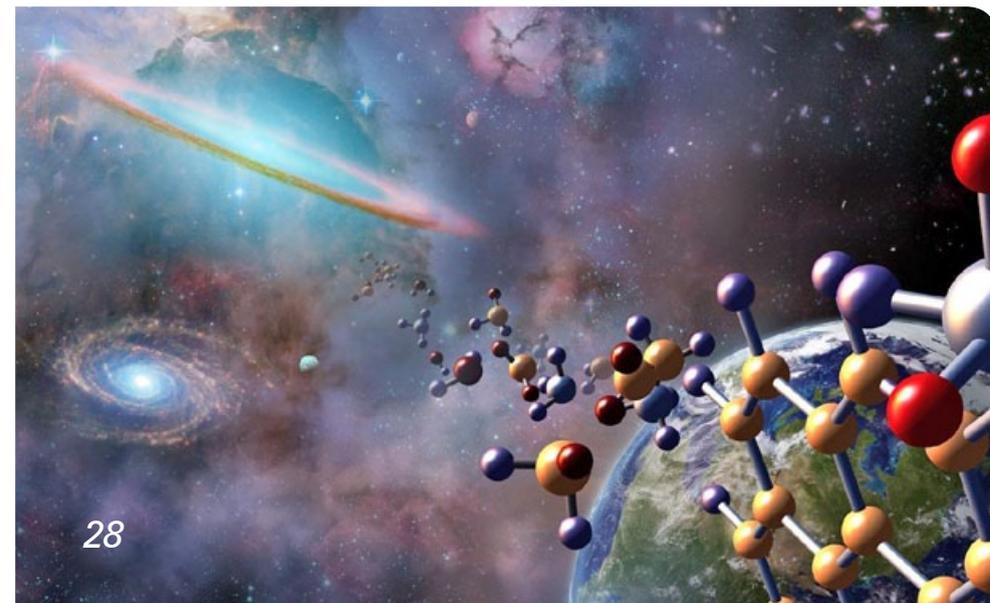
η γήινη ατμόσφαιρα άρχισε να εμπλουτίζεται με το οξυγόνο που παρήγαγαν τα πρώτα αυτά «πλάσματα» μέσω της φωτοσύνθεσης, εμφανίστηκαν σιγά-σιγά και τα πρώτα ευκαρυωτικά κύτταρα, τα οποία εικάζεται ότι εξελίχθηκαν μέσα από τη συμβιωτική ένωση πρωτόγονων προκαρυωτικών κυττάρων. Όμως, το πώς ακριβώς έγινε η μετάβαση από την απουσία της ζωής στην ζωή εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο ενδελεχούς έρευνας και έντονης αντιπαράθεσης μεταξύ των επιστημόνων, και δεκάδες υποθέσεις έχουν τεθεί στο τραπέζι προκειμένου να ερμηνεύσουν αυτό το μεγάλο «άλμα» της ζωής.

Η κλίμακα του γεωλογικού χρόνου μπορεί να υποδιαιρεθεί σε 2 μεγάλες χρονικές περιόδους: τον **Προκάμβριο** (4.600–540Ma*) και τον **Φανεροζωικό μεγααιώνα** (542Ma–σήμερα), τον οποίο και διανύουμε. Ο Προκάμβριος μεγααιώνας ξεκινά με τον **Αδαιό αιώνα** (4.600–4.000Ma), που πήρε το όνομά του από τον βασιλιά του κάτω κόσμου της αρχαίας ελληνικής μυθολογίας, και καλύπτει το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον σχηματισμό της Γης μέχρι το τέλος περίπου της εποχής του Ύστερου Μεγάλου Βομβαρδισμού. Με

Ένα από τα σενάρια που έχουν προταθεί, προκειμένου να ερμηνευθεί το μεγάλο άλμα της ζωής, αφορά σε συγκεκριμένα οργανικά μόρια που έφτασαν στην Γη με την πρόσκρουση αστεροειδών (φωτογρ. NASA/Jenny Mottar).

** Όπου Ma σημαίνει εκατομμύρια χρόνια πριν, ενώ οι χρονολογίες δίνονται κατά προσέγγιση.*

Καλλιτεχνική αναπαράσταση πρόσκρουσης αστεροειδούς στην διάρκεια του Αδαιού αιώνα (φωτογρ. copyright Don Dixon, <http://www.cosmographica.com>)



το τέλος του Αδαιού, αρχίζει ο **Αρχαιοζωικός αιώνας** (4.000–2.500Ma), στη διάρκεια του οποίου εμφανίζονται τα πρώτα προκαρυωτικά κύτταρα, όπως τα κυανοβακτήρια, τα οποία συνθέταν την τροφή τους από απλές ανόργανες ουσίες, δεσμεύοντας την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της φωτοσύνθεσης και «αποβάλλοντας» οξυγόνο. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε και ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας του πλανήτη με οξυγόνο, γεγονός που άλλαξε δραματικά την πορεία της εξέλιξης της ζωής. Με το πέρας του Αρχαιοζωικού ξεκινά ο **Προτεροζωικός αιώνας** (2.500–542 Ma), ο οποίος σηματοδοτεί και την πλήρη μετάβαση στην ατμόσφαιρα του οξυγόνου, που συνέβη, όταν η οργανική ύλη και ο σίδηρος, «αιχμαλωτίζοντας» χημικά το οξυγόνο που παρήγαγαν οι πρώτοι πρωτόγονοι οργανισμοί μέσω της φωτοσύνθεσης, έφτασαν σε τέτοιο σημείο «κορεσμού», ώστε άρχισαν να το αποβάλλουν στην ατμόσφαιρα.

Εικάζεται, μάλιστα, ότι τα συνεχώς αυξανόμενα επίπεδα οξυγόνου προκάλεσαν την πρώτη μεγάλη μαζική εξαφάνιση στην ιστορία του πλανήτη μας, στη διάρκεια της οποίας αφανίστηκαν οι περισσότεροι αναερόβιοι οργανισμοί, για τους οποίους το οξυγόνο ήταν τοξικό. Την ίδια περίπου εποχή εμφανίζονται και οι πρώτοι σύνθετοι μονοκύττα-



Απολίθωμα τριλοβίτη της Κάμβριας περιόδου
(φωτογρ. *The Virtual Fossil Museum*
www.fossilmuseum.net).

ροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί και μετέπειτα οι πρώτοι πολυκύτταροι οργανισμοί (περίπου 600 Ma). Στην επιφάνεια του πλανήτη μας κυριαρχεί αρχικά η αρχέγονη υπερήπειρος Κολούμπια, η οποία θα διασπαστεί και τα κομμάτια της θα επανενωθούν, σχηματίζοντας την υπερήπειρο Ροδινία (1.100–750 Ma), ενώ νέα διάσπαση και εκ νέου επανένωση θα σχηματίσουν την υπερήπειρο Βένδια (600–540 Ma).

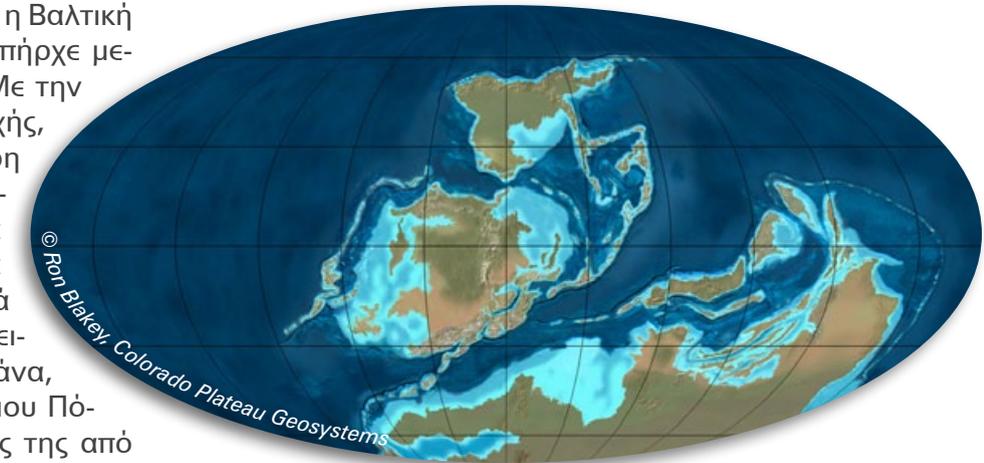
Ο **Φανεροζωικός μεγααίωνας**, τέλος, που ονομάζεται έτσι γιατί κατά τη διάρκειά του «φανερώθηκε» η ζωή σε όλη της την μεγαλοπρέπεια, διαιρείται σε τρεις αιώνες: τον **Παλαιοζωικό** (542–251Ma), τον **Μεσοζωικό** (251–65,5Ma) και τον **Καινοζωικό** (65,5Ma–σήμερα). Ο Παλαιοζωικός αιώνας ξεκινά με την **Κάμβρια περίοδο** (541–485Ma), η οποία χαρακτηρίζεται από την πρώτη μεγάλη εξάπλωση της ζωής, γνωστή ως **Κάμβρια Έκρηξη**, στη διάρκεια της οποίας εμφανίστηκαν τα περισσότερα ζωικά φύλα και εξελίχθηκαν, μεταξύ άλλων, τα φύκη, οι τριλοβίτες, τα σκουλήκια, οι σπόγγοι, τα βραγχιονόποδα και τα πρώτα οστρακόδερμα. Η αναδόμηση της κατανομής των ηπειρωτικών μαζών του πλανήτη κατά την Κάμβριο, όπως εξάλλου και κατά τους προηγούμενους γεωλογικούς αιώνες, εμπεριέχει ακόμη αρκετά σφάλματα, αλλά

από ό,τι φαίνεται η υπερήπειρος Βένδια αρχίζει να διαμελίζεται στην Λαυρεντία (τη σύγχρονη Βόρεια Αμερική), τη Βαλτική (τη σύγχρονη Βόρεια Ευρώπη), τη Σιβηρία και την υπερήπειρο Γκοντβάνα. Επειδή οι παγετώνες της προηγούμενης εποχής είχαν ήδη λιώσει, μεγάλο μέρος των ηπειρωτικών μαζών πρέπει να είχε καλυφθεί από τα νερά, σχηματίζοντας έτσι σχετικά ρηχές και θερμές θάλασσες, δηλαδή ένα περιβάλλον ιδανικό για την ανάπτυξη της ζωής.

Με το πέρας της Κάμβριας περιόδου ξεκινά η **Ορδοβίκια** (485–443Ma). Οι ωκεανοί σφύζουν πλέον από ζωή, γεμάτοι με βραγχιονόποδα, ναυτίλους, τριλοβίτες, βρυόζωα, πλαγκτόν και εχινόδερμα, ενώ τα πρώτα φυτά και αργότερα οι πρώτοι μύκητες εμφανίζονται στην ξηρά. Παράλληλα, εμφανίζονται τα καρκινοειδή, καθώς και τα πρώτα ιχθυόμορφα και γναθόστομα σπονδυλωτά ψάρια, ενώ αρχίζουν να επεκτείνονται οι πρώτοι κοραλλιογενείς ύφαλοι. Την περίοδο αυτή η υπερήπειρος Γκοντβάνα συνεχίζει να «ολισθαίνει» προς το Νότιο Πόλο. Κατά τη διάρκεια της πρώιμης Ορδοβίκιας περιόδου, καθώς η Λαυρεντία και η Βαλτική συγκλίνουν, ο ωκεανός Ιαπετός, που υπήρχε μεταξύ τους, αρχίζει να συρρικνώνεται. Με την έναρξη της ύστερης Ορδοβίκιας εποχής, μια αλυσίδα ηφαιστειών στην ευρύτερη περιοχή του Ιαπετού διοχετεύει τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και η θερμοκρασία του πλανήτη αυξάνεται σημαντικά. Κατά το τέλος όμως της περιόδου οι ηφαιστειακές εκρήξεις σταματούν και η Γκοντβάνα, που έχει φτάσει στην περιοχή του Νότιου Πόλου, καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από πάγο, γεγονός που μείωσε σημαντικά την στάθμη των θαλασσών και οδήγησε από ό,τι φαίνεται στην πρώτη μαζική εξαφάνιση των ειδών του Φανεροζωικού μεγααίωνα.

Στη διάρκεια της **Σιλούριας περιόδου** (443–416 Ma) που ακολουθεί, εμφανίζονται στην ξηρά τα πρώτα τραχειόφυτα, οι σαρανταποδαρούσες και τα αρθρόπλευρα, στις λίμνες και τα ποτάμια εμφανίζονται τα πρώτα ψάρια και στην θάλασσα εξελίσσονται οι πρώτοι οστεϊχθύες και τα πρώτα οδοντοφόρα ψάρια. Με την υπερήπειρο Γκοντβάνα να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του νότιου ημισφαιρίου, το βόρειο ημισφαίριο καλύπτεται κατά το μεγαλύτερο μέρος του από έναν τεράστιο ωκεανό, την Πανθάλασσα. Οι ήπειροι Αβαλονία, Βαλτική και Λαυρεντία, από την άλλη, μετακινούνται σταδιακά προς τον ισημερινό, δίνοντας το έναυσμα για τη δημιουργία μίας ακόμη υπερηπείρου, της Ευραμερικής.

Στη διάρκεια της **Δεβόνιας περιόδου** (416–360Ma) εμφανίζονται τα πρώτα δέντρα και σχηματίζονται σταδιακά τα πρώτα δάση από σποριοφόρα, όπως οι γιγαντιαίες φτέρες και τα βρύα, ενώ εμφανίζονται και τα πρώτα έντομα. Στις θάλασσες κυριαρχούν πλέον τα γναθόστομα ψάρια και οι πρώτοι καρχαρίες, ενώ ορισμένα ψάρια εξελίσσουν τα



Παλαιογεωγραφικός χάρτης της ύστερης Δεβόνιας περιόδου (φωτογρ. *Copyright Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems*).

περύγιά τους σε πρωτόγονα πόδια, δίνοντας το έναυσμα για την εξέλιξη των πρώτων αμφιβίων, παρόλο που σε αυτήν την περίοδο εξακολουθούν να ζουν αποκλειστικά στο νερό. Την περίοδο αυτή οι λιθσφαιρικές πλάκες της Γκοντβάνας και της Ευραμερικής αρχίζουν να συγκλίνουν, δίνοντας το έναυσμα για τη μελλοντική διαμόρφωση της υπερηπείρου Παγγαίας, ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια του πλανήτη συνεχίζει να καλύπτεται από την αχανή Πανθάλασσα. Προς τα τέλη της Δεβονίου περιόδου συντελείται η δεύτερη μαζική εξαφάνιση των ειδών.

Ακολουθεί η **Λιθανθρακοφόρος περίοδος** (359–299Ma), που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση των πρώτων μεγάλων πρωτόγονων δέντρων. Απέραντα ελώδη δάση αρχίζουν να σχηματίζονται στις εκβολές των ποταμών, από τα οποία θα σχηματιστούν μελλοντικά τα αποθέματα λιθάνθρακα, που έδωσαν στην περίοδο αυτή το όνομά της. Πρόκειται για μια εποχή κατά την οποία αφθονούν τα αμφίβια και τα ερπετά, ενώ στις θάλασσες, στις λίμνες και στα ποτάμια συνεχίζουν να εμφανίζονται νέα είδη ψαριών. Επειδή η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο ήταν τότε αρκετά μεγαλύτερη απ' ό,τι είναι σήμερα, τα διάφορα έντομα, αρθρόποδα και αραχνοειδή απέκτησαν σταδιακά πρωτοφανές μέγεθος. Καθώς η Γκοντβάνα συγκρούεται με τη Λαυρασία και αρχίζει να σχηματίζεται η υπερήπειρος Παγγαία, η περίοδος αυτή σηματοδοτείται από σημαντικά γεγονότα ορογένεσης. Ο Παλαιοζωικός αιώνας ολοκληρώνεται με την **Πέρμια περίοδο** (299–251 Ma), στην διάρκεια της οποίας όλες οι κύριες ηπειρωτικές μάζες του πλανήτη ενώνονται και σχηματίζουν την Παγγαία. Τα κωνοφόρα αντικαθιστούν τις φτέρες, τα ερπετά πολλαπλασιάζονται και εμφανίζονται τα πρώτα μεγάλα σαρκοβόρα και φυτοφάγα. Στο τέλος της Πέρμιου παρατηρείται η τρίτη κατά σειρά, αλλά και η μεγαλύτερη μαζική εξαφάνιση των ειδών.



Διπλόδοκοι (καλλιτεχνική απεικόνιση).

Μετά το πέρας του Παλαιοζωικού αρχίζει ο **Μεσοζωικός αιώνας**, που υποδιαιρείται σε τρεις περιόδους: στην **Τριασική** (250–201Ma), στην **Ιουρασική** (201–145Ma) και στην **Κρητιδική** (145–66Ma). Κατά την Τριασική περίοδο εμφανίζονται στην ξηρά οι αρχόσαυροι, δηλαδή οι πρόγονοι των δεινοσαύρων, που θα κυριαρχήσουν καθόλη την διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα, οι ιχθυόσαυροι στη θάλασσα και οι πτερόσαυροι στον αέρα, ενώ εμφανίζονται τα πρώτα θηλαστικά. Καθόλη τη διάρκεια της Τριασικής περιόδου, το μεγαλύτερο μέρος των ηπειρωτικών μαζών του πλανήτη είναι συγκεντρωμένο στην τεράστια υπερήπειρο Παγγαία, ενώ προς το τέλος της περιόδου πραγματοποιείται η τέταρτη μαζική εξαφάνιση. Ακολουθεί η Ιουρασική περίοδος, κατά τη διάρκεια της οποίας κύρια σπονδυλωτά των ωκεανών ήταν τα ψάρια, καθώς και θαλάσσια ερπετά, όπως ο ιχθυόσαυροι, οι πλησιόσαυροι, οι πλειόσαυροι και οι θαλάσσιοι κροκόδειλοι. Στην ξηρά εμφανίζονται οι πρώτοι μεγάλοι φυτοφάγοι δεινόσαυροι, όπως ο απατόσαυρος, ο διπλόδοκος και ο βραχυόσαυρος, καθώς και τα πρώτα μεγάλα σαρκοφάγα, όπως ο αλλόσαυρος και ο μεγαλόσαυρος. Την

ίδια περίοδο εξελίσσονται τα πρώτα πτηνά, όπως ο αρχεοπτέρυξ, τα φυτά που κυριαρχούν είναι τα κωνοφόρα και οι φτέρες, ενώ τα θηλαστικά εξακολουθούν να διατηρούν το μικρό τους μέγεθος, αν και ο αριθμός τους αυξάνει. Στη διάρκεια της Ιουρασικής περιόδου η Παγγαία διασπάται στην Γκοντβάνα και την Λαυρασία.

Κατά την **Κρητιδική περίοδο** εμφανίζονται τα πρώτα ανθοφόρα φυτά, νέα είδη εντόμων και οι πρώτες σύγχρονες μορφές ιχθύων. Παράλληλα, εμφανίζονται νέοι τύποι δεινοσαύρων, όπως ο τυραννόσαυρος, ο τιτανόσαυρος και ο τρικεράτοπας, πρωτόγονα πτηνά αντικαθιστούν σταδιακά τους πτερόσαυρους, τα θηλαστικά συνεχίζουν να επιβιώνουν και οι σύγχρονες μορφές καρχάρια εμφανίζονται στη θάλασσα. Η Γκοντβάνα διασπάται και το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα πέφτει στα σημερινά περίπου επίπεδα. Προς το τέλος της Κρητιδικής περιόδου παρατηρείται η πέμπτη μαζική εξαφάνιση, των δεινοσαύρων αυτή την φορά. Καθώς η Νότια Αμερική, η Ανταρκτική και η Αυστραλία αποσπώνται από τη λιθσφαιρική πλάκα της Αφρικής, η υπερήπειρος Γκοντβάνα διασπάται, δίνοντας παράλληλα το έναυσμα για τη δημιουργία του νότιου Ατλα-

ντικού και του Ινδικού ωκεανού.

Με το τέλος του Μεσοζωικού, ξεκινά ο **Καινοζωικός αιώνας** (65Ma–σήμερα), που υποδιαιρείται στην **Παλαιογενή** (65–23Ma), στην **Νεογενή** (23–2,6Ma) και στην **Τεταρτογενή** (2,5Ma–σήμερα) περίοδο. Στη διάρκεια της Παλαιογενούς περιόδου το κλίμα, που αρχικά ήταν τροπικό, σταδιακά ψυχραίνει. Καθώς τα πρώτα θηλαστικά συνεχίζουν να διαφοροποιούνται και να μεγαλώνουν σε μέγεθος, η εξέλιξη και η διαφοροποίηση της χλωρίδας και της πανίδας, κυρίως των θηλαστικών, επιταχύνεται προς το τέλος της περιόδου. Κατά την Παλαιογενή περίοδο, οι ήπειροι εξακολουθούν να απομακρύνονται η μία από την άλλη, μετακινούμενες προς τις τωρινές τους θέσεις. Με το τέλος της Παλαιογενούς περιόδου αρχίζει η Νεογενής, οπότε και παρατηρείται έντονη ορογένεση, το κλίμα γίνεται πιο ξηρό και ψυχρό και οι παγετώνες στην Αρκτική αυξάνουν. Στην ξηρά, καθώς διαφοροποιούνται οι ασιατικοί από τους αφρικανικούς πιθήκους, μερικά εκατομμύρια χρόνια αργότερα διαχωρίζονται και τα πρώτα ανθρωποειδή από τους χιμπατζήδες, ενώ στην διάρκεια της Τεταρτογενούς περιόδου εμφανίζεται και ο σύγχρονος άνθρωπος.



Κρανίο τυραννόσαυρου, Μουσείο Palais de la Découverte, Παρίσι [φωτογρ. Copyright © 2005 David Monniaux (Own work), [CC-BY-SA-3.0](#), [URL σελίδας](#)]



5

Η Εποχή των Γιγάντων

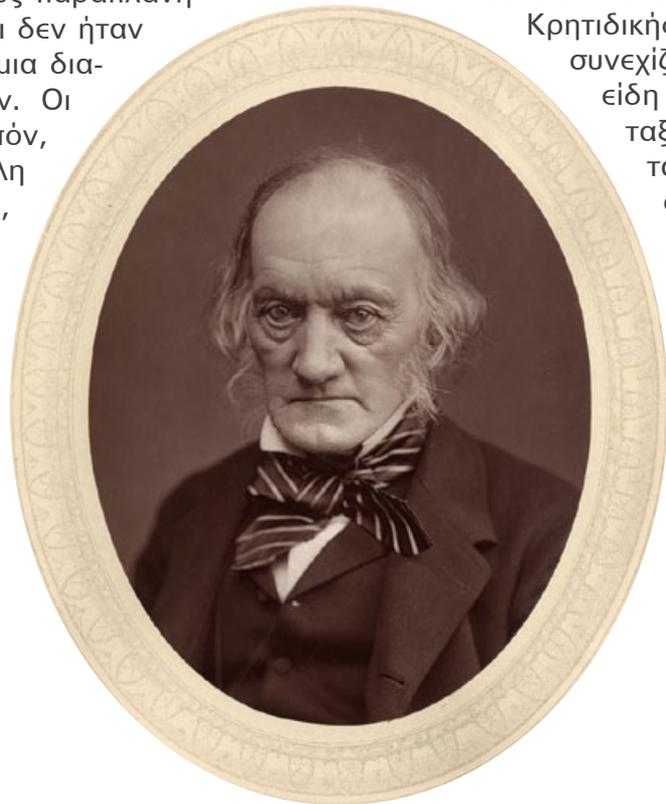
Οι δεινόσαυροι εξελίχθηκαν στην διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα και ειδικότερα από τα τέλη της Τριασικής (περίπου 225Ma) μέχρι τα τέλη της Κρητιδικής περιόδου (περίπου 66 Ma), κυριαρχώντας στο γήινο οικοσύστημα επί 160 εκατ. χρόνια. Οι δεινόσαυροι αποτελούν απόκλιση των αρχόσαυρων, της προγονικής τους ομάδας, η οποία περιλαμβάνει τους κροκόδειλους, τους πτερόσαυρους και τα πτηνά. Οι δύο βασικές τάξεις δεινοσαύρων ήταν τα **σαυρίσχια** και τα **ορνιθίσχια**, ένας διαχωρισμός που, όπως υποδηλώνει το όνομά τους, οφείλεται στην δομή του ισχίου τους, που στην μια περίπτωση έμοιαζε με αυτό που έχουν οι σύγχρονες σαύρες και στην άλλη με εκείνο των πτηνών. Τα σαυρίσχια περιλαμβάνουν όλα τα θηριόποδα (δίποδα και κυρίως σαρκοφάγα, εκτός από τα πτηνά) και τα σαυροποδόμορφα, που περιλαμβάνουν τους μεγάλους φυτοφάγους δεινόσαυρους. Αντιθέτως, τα ορνιθίσχια περιλαμβάνουν κυρίως φυτοφάγους δεινόσαυρους, όπως τον τρικεράτοπα και τον στεγόσαυρο. Την ίδια εποχή στους ωκεανούς της Γης κυριαρχούσαν οι πλησιόσαυροι και οι ιχθυόσαυροι, οι οποίοι όμως δεν είναι δεινόσαυροι, αλλά θαλάσσια ερπετά.



*Απολίθωμα νεαρού τυραννόσαυρου,
που φυλάσσεται στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας
Vivree του Ιλλινόι (φωτογρ. Ευγενική προσφορά
Mark Ryan, Minneapolis, MN, USA).*

Τα πρώτα σοβαρά στοιχεία και οι πρώτες ενδείξεις γι' αυτήν την εντυπωσιακή ποικιλομορφία της ζωής στην διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα έρχονται για πρώτη φορά στο φως με την ανακάλυψη των απολιθωμάτων της Βόρειας Αμερικής κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, ενώ η κατάταξη των δεινοσαύρων ως μιας διακριτής υποομάδας των σαυροειδών ερπετών έγινε το 1842 από τον Άγγλο παλαιοντολόγο **Richard Owen** (1804–1892), ο οποίος επινόησε το όνομά τους από τις λέξεις «δεινός» και «σαύρα», δηλαδή «τρομερές σαύρες». Η αλήθεια, όμως, είναι ότι το όνομά τους είναι κάπως παραπλανητικό, αφού οι δεινόσαυροι δεν ήταν σαύρες, αλλά ανήκαν σε μια διαφορετική ομάδα ερπετών. Οι πρώτοι δεινόσαυροι, λοιπόν, εμφανίστηκαν προς τα τέλη της Τριασικής περιόδου, όταν και διαχωρίστηκαν από τους προγονικούς τους αρχόσαυρους, περίπου 20 εκατ. χρόνια μετά το μεγαλύτερο γεγονός μαζικής εξαφάνισης των ειδών, που παρατηρήθηκε στο τέλος της Πέρμιας περιόδου. Η μεγάλη τους όμως εξάπλωση και διαφοροποίηση, που τους κατέστησε ως τα κυρίαρχα είδη του πλανήτη, ξεκίνησε στις αρχές της Ιουρασικής περιόδου.

Σε γενικές γραμμές, στην διάρκεια της Τριασικής περιόδου κυριαρχούσαν στις θάλασσες τα μεγάλα ερπετά, όπως οι ιχθυό-



Πορτραίτο του **Richard Owen**, (φωτογρ. © *The Trustees of the Natural History Museum, London*).

σαυροι και ο πλησιόσαυροι, ενώ οι πτερόσαυροι, που ήταν και τα πρώτα ιπτάμενα σπονδυλωτά, εξελίχθηκαν προς τα τέλη της Τριασικής περιόδου. Η Ιουρασική περίοδος, που ακολουθεί, είναι η εποχή των γιγάντιων σαυρόποδων, όπως του διπλόδοκου, του βραχιόσαυρου και του απατόσαυρου, καθώς και του στεγόσαυρου. Όσον αφορά στους σαρκοφάγους δεινόσαυρους της Ιουρασικής περιόδου, ξεχωρίζουν ο αλλόσαυρος και ο διλοφόσαυρος, ενώ στην θάλασσα εξακολουθούν να κυριαρχούν οι ιχθυόσαυροι, οι πλησιόσαυροι και οι γιγάντιοι θαλάσσιοι κροκόδειλοι. Τέλος, καθόλη την διάρκεια της Κρητιδικής περιόδου, οι δεινόσαυροι συνεχίζουν να είναι τα κυρίαρχα είδη του πλανήτη στην ξηρά, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν τα μεγάλα σαρκοφάγα, όπως ο γνωστός σε όλους τυραννόσαυρος. Εκτός όμως απ' αυτόν υπήρξε και μία άλλη συνομοταξία σαρκοφάγων-θηρευτών, οι γιγάντιοι καρνόσαυροι, που περιλαμβάνουν τον γιγαντιόσαυρο, καθώς και τον δεινόσαυρο με το ατυχές όνομα τυραννοπιτάνα, του γένους των κρχαροδοντοσαύρων, οι οποίοι είχαν μέγεθος συγκρίσιμο ή και μεγαλύτερο και από αυτό του τυραννόσαυρου, καθώς και του σπινόσαυρου, του μεγαλύτερου κνηγού-θηρευτή όλων. Σε αντίθεση με τον τρόπο που παρουσιάζονται στις περισσότερες ταινίες του

Hollywood, όλα αυτά τα διαφορετικά είδη δεινοσαύρων, θαλάσσιων ερπετών κ.λπ. δεν συνυπήρχαν. Είναι χαρακτηριστικό, για παράδειγμα, ότι τόσο οι στεγόσαυροι όσο και οι απατόσαυροι είχαν εξαφανιστεί πολύ πριν την εμφάνιση του τυραννόσαυρου.

Προτού, όμως, αναφερθούμε σε κάποιους μόνο από τους κυρίαρχους δεινόσαυρους της εποχής, θα αναφερθούμε με συντομία σε δύο διαφορετικά είδη του Μεσοζωικού αιώνα, που δεν ταξινομούνται ως δεινόσαυροι, αλλά ανήκουν στην οικογένεια των ερπετών: τους **πτερόσαυρους** και τα **θαλάσσια ερπετά**, όπως ο πλησιόσαυρος και ο ιχθυόσαυρος. Οι πτερόσαυροι, τα ιπτάμενα ερπετά που κυριάρχησαν στους ουρανούς της Ιουρασικής και Κρητιδικής περιόδου, είχαν σχετικά μεγάλο εγκέφαλο, αλλά και κούφια οστά, ενώ τα φτερά τους αποτελούνταν από μία μεμβράνη δέρματος, με μυς και άλλους ιστούς, που εκτεινόταν από το σώμα μέχρι το τέλος του τέταρτου δακτύλου, το οποίο είχε μεγάλο μήκος και χρησίμευε για την υποστήριξη των φτερών. Ο μεγαλύτερος γνωστός πτερόσαυρος ήταν ο *Quetzalcoatlus*, με άνοιγμα φτερών που άγγιζε τα 12m και στον οποίο δόθηκε το όνομα του ομώνυμου, φιδόμορφου με φτερά, θεού των Αζτέκων.

Οι πλησιόσαυροι και οι ιχθυόσαυροι, αντιθέτως, ήταν τα αντιπροσωπευτικότερα δείγματα των θαλάσσιων ερπετών. Ο **πλησιόσαυρος** ανήκε στην τάξη των σαυροπτερύγιων, έζησε καθόλη την διάρκεια της Ιουρασικής και Κρητιδικής περιόδου και το σώμα του είχε μήκος που μπορούσε να φτάσει ακόμη και τα 14 m, ενώ διέθετε μακρύ λαιμό με μικρό κεφάλι, εξοπλισμένο με ισχυρά σαγόνια και κοφτερά δόντια. Οι πρώτοι **ιχθυόσαυροι** είχαν επιμήκη και ευλύγιστα σώματα και πιθανώς κολυμπούσαν όπως τα σημερινά χέλια. Στην διάρκεια, όμως, της βιολογικής τους εξέ-



Ανακατασκευή σκελετού πτερανόδοντα της τάξης των πτεροσαύρων στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας της Νέας Υόρκης [φωτογρ. [Matt Martyniuk henteeth.com](http://henteeth.com) (Own work), [CC BY 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/), [URL σελίδας](#)]

λιξης ανέπτυξαν πιο συμπαγή και περισσότερο ιχθυόμορφα σχήματα και χαρακτηριστικά και γι' αυτό αποτελούν μία διακριτή ομάδα θαλάσσιων σπονδυλωτών, τα πρώτα απ' τα οποία εμφανίστηκαν στην διάρκεια της Τριασικής περιόδου. Οι ιχθυόσαυροι κυριάρχησαν καθόλη την διάρκεια της Ιουρασικής περιόδου και έκτοτε άρχισαν να παρακμάζουν, ενώ εξαφανίστηκαν στην διάρκεια της Κρητιδικής περιόδου, αρκετά εκατομμύρια χρόνια πριν τους δεινόσαυρους. Γι' αυτό και η αιτία αφανισμού τους πρέπει να είναι διαφορετική.

Στην ύστερη Ιουρασική περίοδο έζησε και ο **αρχαιοπτέρυξ**, το αρχαιότερο γνωστό γένος πτηνών. Ο αρχαιοπτέρυξ, παρόλα τα χαρακτηριστικά του, που έμοιαζαν με εκείνα των σύγχρονων πτηνών, όπως το μικρό του μέγεθος, τα φτερά του και η ικανότητά του να πετάει ή να αιωρείται, μοιραζόταν και πολλά κοινά με τα μικρά θηριόποδα, που αποτελούν υποομάδα των σαυρίσχιων δεινοσαύρων. Πραγματικά, τα μακριά του σαγόνια με τα κοφτερά δόντια, τα τρία δάχτυλα σε κάθε φτερούγα, εξοπλισμένα με γαμπιά νύχια, η

μακριά οστέινη ουρά, τα υπερεκτάσιμα δεύτερα δάχτυλα των ποδιών κ.ά., αποτελούν στοιχεία που τον καθιστούν ως το πιθανότερο μέχρι στιγμής μεταβατικό είδος μεταξύ των μη ιπτάμενων φτερωτών δεινοσαύρων και των σύγχρονων πτηνών.

Στην ξηρά, τέλος, οι **σαυρόποδοι** δεινόσαυροι είναι μία υποομάδα των σαυρίσχιων δεινοσαύρων που εμφανίστηκε στην ύστερη Τριασική περίοδο, τα αντιπροσωπευτικότερα δείγματα των οποίων διαφοροποιήθηκαν στα μέσα της Ιουρασικής περιόδου, πριν από 180 εκατ. χρόνια. Στην οικογένεια αυτή ανήκουν και οι γιγάντιοι φυτοφάγοι δεινόσαυροι, όπως ο βραχιόσαυρος, ο διπλόδοκος, ο απατόσαυρος και ο αργεντινόσαυρος, με μήκος που έφτανε τα 40 m και βάρος τους 100 τόνους. Εκτός από το τεράστιο μέγεθος, χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα ήταν το μεγάλο μήκος του λαιμού και της ουράς, καθώς και το μικρό κρανίο. Μια άλλη ομάδα δεινοσαύρων ήταν τα θηριόποδα, μια υποομάδα των δίποδων σαυρίσχιων δεινοσαύρων, που ήταν ως επί το πλείστον σαρκοφάγα. Χαρακτηριστικά

παραδείγματα θηριόποδων δεινοσαύρων ήταν τα καρνοσαύρια, τα οποία έζησαν από την πρώιμη Ιουρασική ως την ύστερη Κρητιδική περίοδο. Μέχρι πρόσφατα οι τυραννόσαυροι θεωρούνταν ότι ανήκαν σ' αυτήν την ομάδα, αλλά νεότερες μελέτες τους κατηγοριοποιούν σε μίαν άλλη οικογένεια, τα κοιλουροσαύρια. Αντιπροσωπευτικό δείγμα των καρνοσαύριων ήταν ο αλλόσαυρος, με μήκος που έφτανε τα 9–12m και βάρος τους 2,5 τόνους, ο οποίος έζησε στην ύστερη Ιουρασική περίοδο (περίπου 155–145Ma). Το είδος αυτό των σαρκοφάγων δεινοσαύρων είχε στην κορυφή του κεφαλιού του ένα οστέινο εξόγκωμα ή μικρά κέρατα περιμετρικά του λαιμού και κυνηγούσε σε μικρές αγέλες, έχοντας την δυνατότητα να καταδιώκει το θήραμά του σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις.

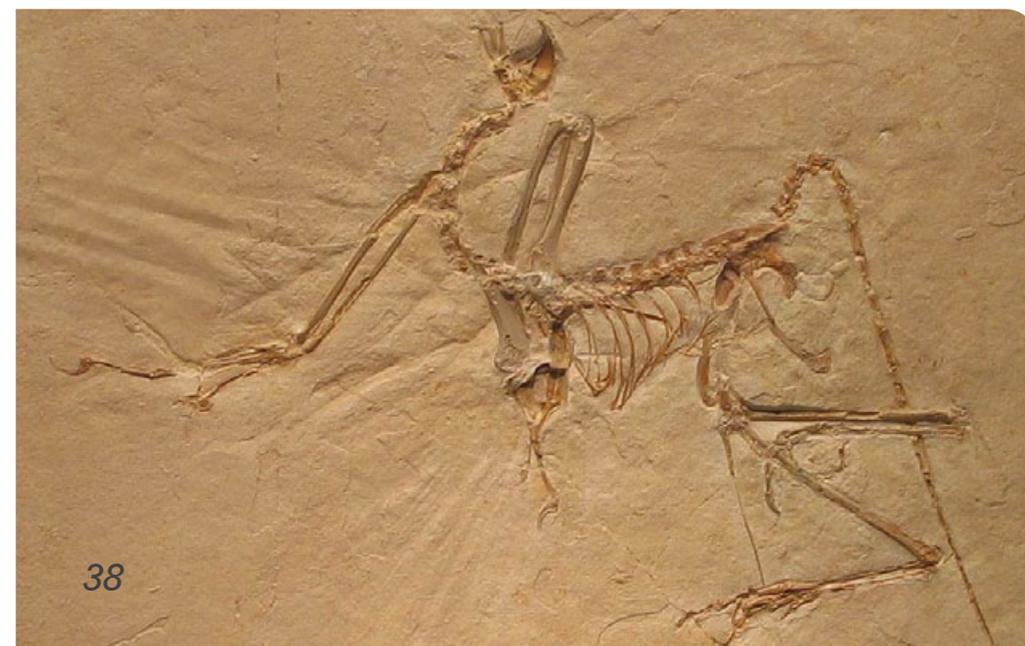
Ο μεγαλύτερος, όμως, σαρκοφάγος δεινόσαυρος που γνωρίζουμε ήταν ο σπινόσαυρος, που έζησε στην διάρκεια της Κρητιδικής περιόδου και είναι γνωστός από ένα μοναδικό απολίθωμα που βρέθηκε στην Αίγυπτο, το οποίο δυστυχώς καταστράφηκε στην διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Με μήκος που μπορούσε να φτάσει τα 18 m και βάρος τους 20 τόνους, το επίμηκες στόμα του σπινόσαυρου έμοιαζε με αυτό του κροκόδειλου, ενώ από τους σπόνδυλους στην ράχη του «φύονταν» αγκάθια μεγάλου μήκους, που σχημάτιζαν ένα «ιστίο».

Κατά την Ιουρασική και πρώιμη Κρητιδική περίοδο έζησε μία άλλη ομάδα φυτοφάγων ορνιθίσχιων δεινοσαύρων, οι στεγοσαυρίδες, με μεγαλύτερο και αντιπροσωπευτικότερο δείγμα τον στεγόσαυρο, ένα είδος «θωρακισμένων» δεινοσαύρων με μήκος 8–10m από το ρύγχος ως την ουρά, που ξεχώριζε από την διπλή σειρά οστέινων πλακών κατά μήκος της ράχης του, η οποία κατέληγε σε 4 αγκάθια. Μία ακόμη μεγά-



Ανακατασκευή σκελετού σπινόσαυρου
[φωτογρ. [Kabacchi](#) (Spinosaurus-02 Uploaded by [FunkMonk](#), CC-BY-2.0, [URL σελίδας](#)].

λη οικογένεια δεινοσαύρων ήταν οι κερατοψείδες, αντιπροσωπευτικότερο δείγμα των οποίων ήταν ο τρικεράτοπας, ένας άλλος ορνιθίσχιος φυτοφάγος δεινόσαυρος. Τα πρώτα δείγματα αυτής της οικογένειας εμφανίστηκαν στις αρχές της Κρητιδικής περιόδου, πριν από περίπου 140 εκατ. χρόνια, ενώ ο τρικεράτοπας θα πρέπει να έζησε στην διάρκεια της ύστερης Κρητιδικής περιόδου και είχε χαρακτηριστικά που θυμίζουν κάπως τον ρινόκερο. Το κρανίο του ήταν εξοπλισμένο με τρία μεγάλα κέρατα, ένα πάνω από τα ρουθούνια και 2 ακόμα πάνω από τα μάτια, ενώ το πίσω μέρος του κρανίου του προστατευόταν από ένα μεγάλο οστέινο εξόγκωμα και το στόμα



Απολίθωμα αρχαιοπτέρυγος,
Παλαιοντολογικό Μουσείο Μονάχου
[φωτογρ. [Luidger](#) (2 Οκτωβρίου 2005), [CC BY-SA 3.0](#), [URL σελίδας](#)].

του θύμιζε κάπως αυτό του παπαγάλου. Ο τρικεράτοπας έφτανε τα 9m μήκος, τα 3m ύψος και το βάρος του μπορούσε να φτάσει ακόμα και τους 11 τόνους.

Κλείνοντας αυτήν την σύντομη παρουσίαση των γιγάντων του παρελθόντος, δεν θα μπορούσαμε να μην αναφερθούμε στον τυραννόσαυρο, γνωστότερο ως T-Rex, ο οποίος κυριάρχησε στην ύστερη Κρητιδική περίοδο (85–65 Ma). Οι τυραννόσαυροι είχαν ογκώδες κρανίο, που εξισορροπούνταν από μία σχετικά μακριά και βαριά ουρά, ενώ σε σχέση με τα μεγάλα και ισχυρά οπίσθια άκρα τους, τα εμπρόσθια άκρα τους που κατέληγαν σε δύο δάχτυλα, ήταν πολύ μικρά σε μέγεθος, αλλά παρόλα αυτά, αρκετά ισχυρά και εξοπλισμένα με νύχια. Παρόλο που, όπως είπαμε, έχουν ανακαλυφθεί απολιθώματα θηριόποδων με συγκρίσιμο ή και μεγαλύτερο μέγεθος από τον T-Rex, οι τυραννόσαυροι συγκαταλέγονται σύμφωνα με ορισμένους παλαιοντολόγους ανάμεσα στους μεγαλύτερους επίγειους θηρευτές, με διαστάσεις που έφταναν τα 13m μήκος, τα 4 m ύψος στο ισχίο και τους 7 τόνους σε βάρος. Οι τυραννόσαυροι ήταν από τους τελευταίους των δεινοσαύρων του Μεσοζωικού αιώνα, η κυριαρχία των οποίων έφτασε βίαια στο τέλος της στα όρια μεταξύ της Κρητιδικής και της Παλαιογενούς περιόδου.



Σκελετός τυραννόσαυρου, *Field Museum, Σικάγο*
[φωτογρ. [Michael Gray](#) from Wantagh NY, USA,
Uploaded by [FunkMonk](#), [CC-BY-SA-2.0](#),
[URL σελίδας](#)].

6

Οι Πέντε Μεγάλοι Αφανισμοί

Οι εξαφανίσεις ειδών στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου είναι κάτι απολύτως φυσιολογικό και συνηθισμένο, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της εξελικτικής πορείας της Φύσης. Έτσι, μορφές ζωής οι οποίες δεν κατάφεραν να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη μας έδιναν σταδιακά τη θέση τους σε νέες, πιο εξελιγμένες μορφές ζωής, καλύτερα εξοπλισμένες ώστε να επιβιώνουν στο υπό διαμόρφωση νέο περιβάλλον τους. Υπήρξαν όμως και περιπτώσεις, που οι εξαφανίσεις έμβιων οργανισμών εκδηλώνονταν σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, ενώ ήταν πολύ περισσότερο εκτεταμένες απ' ό,τι συνήθως, και είναι γνωστές ως **μαζικές εξαφανίσεις**. Δεν είναι ακόμη απολύτως σαφές τι ακριβώς προκάλεσε αυτούς τους εκτεταμένους αφανισμούς των ειδών, οι περισσότεροι επιστήμονες όμως υποστηρίζουν ότι οφείλονται σε συνδυασμό φυσικών καταστροφών, τις περισσότερες φορές εξαιτίας ακραίας ηφαιστειακής δραστηριότητας, προσκρούσεων αστεροειδών, καθώς και της μετατόπισης των ηπειρωτικών μαζών, που με την σειρά τους προκαλούσαν ακραίες μεταβολές στο κλίμα, στην στάθμη των θαλασσών και στην περιεκτικότητα των ωκεανών σε οξυγόνο. Οι επιστήμονες αναγνωρίζουν σήμερα ότι κατά την διάρκεια του Φανεροζωικού μεγααιώνα πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον 5 μαζικές εξαφανίσεις, οι οποίες με χρονολογική σειρά πραγματοποιήθηκαν στο τέλος της Ορδοβίσιας (450–440Ma), στο τέλος της Δεβόνιας (375–360Ma), στο τέλος της Πέρμιας (250Ma), στο τέλος της Τριασικής (215Ma) και στα όρια μεταξύ της Κρητιδικής και της Παλαιογενούς περιόδου (65Ma).

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της ακραίας ηφαιστειακής δραστηριότητας, που εικάζεται ότι προκάλεσε την εξαφάνιση των ειδών στο τέλος της Πέρμιας περιόδου (φωτογρ. José-Luis Olivares/MIT, [CC BY-NC-ND 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)).



Παρόλο που θα πρέπει να εκδηλώθηκαν μαζικές εξαφανίσεις ακόμη και πριν από την Ορδοβίσια περίοδο, η απουσία ικανού αρχείου απολιθωμάτων δεν μας επιτρέπει να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Η Κάμβρια περίοδος, για παράδειγμα, χαρακτηρίζεται από μια εκρηκτική αύξηση της βιολογικής ποικιλομορφίας, γνωστή σήμερα ως η **Κάμβρια Έκρηξη**, την οποία πρέπει να ακολουθούσαν περισσότερες από μία μαζικές εξαφανίσεις. Επειδή, όμως, πολλά από τα είδη που ευδοκίμουν εκείνη την περίοδο ήταν μαλακόδερμα, που συνήθως δεν αφήνουν απολιθώματα, δεν έχουμε καθαρή εικόνα για το τι πραγματικά συνέβη και ποια είδη επηρεάστηκαν περισσότερο. Η αιτία που οδήγησε στη μαζική εξαφάνιση της Κάμβριου δεν είναι ακόμη απολύτως γνωστή, αλλά θα πρέπει μάλλον να σχετίζεται με μία πτώση στη στάθμη της θάλασσας, που μετέβαλε τα οικοσυστήματα, στα οποία είχαν προσαρμοστεί πολλές από τις πρώτες μορφές ζωής του πλανήτη μας.

Η πρώτη, πάντως, και κοινά αποδεκτή μαζική εξαφάνιση, εξαιτίας της οποίας υπολογίζεται ότι χάθηκε το 82–88% όλων των ειδών του πλανήτη, παρατηρήθηκε στο τέλος της Ορδοβίσιας περιόδου, περίπου 445–440 εκατ. χρόνια πριν και ενδεχομένως να σημειώθηκε σε δύο στάδια, προκαλώντας σημαντικές απώλειες σε πολλούς θαλάσσιους οργανισμούς, όπως τα ναυτιλοειδή, τα βραγχιονόποδα, τα βρυόζωα, τα εχινόδερμα και τους τριλοβίτες. Εκείνη την εποχή, η περιοχή βόρεια από τους τροπικούς ήταν σχεδόν εξ ολοκλήρου καλυμμένη από ωκεανούς, ενώ στον νότο δέσποζε η υπερήπειρος Γκοντβάνα, η οποία προς το τέλος αυτής της περιόδου είχε πλέον μετακινηθεί στην περιοχή του Νότιου Πόλου. Το γεγονός αυτό προκάλεσε μία παγκόσμια πτώση της θερμοκρασίας και τη δημιουργία τεράστιων παγετώνων. Καθώς μάλιστα όλο και περισσότερο νερό δεσμευόταν στους παγετώνες, η στάθμη των θαλασσών υποχώρησε ακόμη και κατά 70–100 m, αποξηραίνοντας τις ρηχές ηπειρωτικές θάλασσες και αφανίζοντας τα περισσότερα κοράλλια και βρυόζωα που ζούσαν εκεί, ενώ η παγκόσμια μείωση της θερμοκρασίας αποδείχθηκε καταστροφική για όλα τα είδη που είχαν προσαρμοστεί να επιβιώνουν σε θερμότερο περιβάλλον. Στην συνέχεια όμως, περίπου 1 εκατ. χρόνια αργότερα, αυτή η εποχή των πάγων ήρθε στο τέλος της και η στάθμη των θαλασσών ανήλθε και πάλι. Η χαμηλή περιεκτικότητα αυτού του νερού σε οξυγόνο πρέπει να έδωσε την χαριστική βολή στους θαλάσσιους οργανισμούς που είχαν καταφέρει να επιβιώσουν, αφανίζοντας ακόμη περισσότερους.

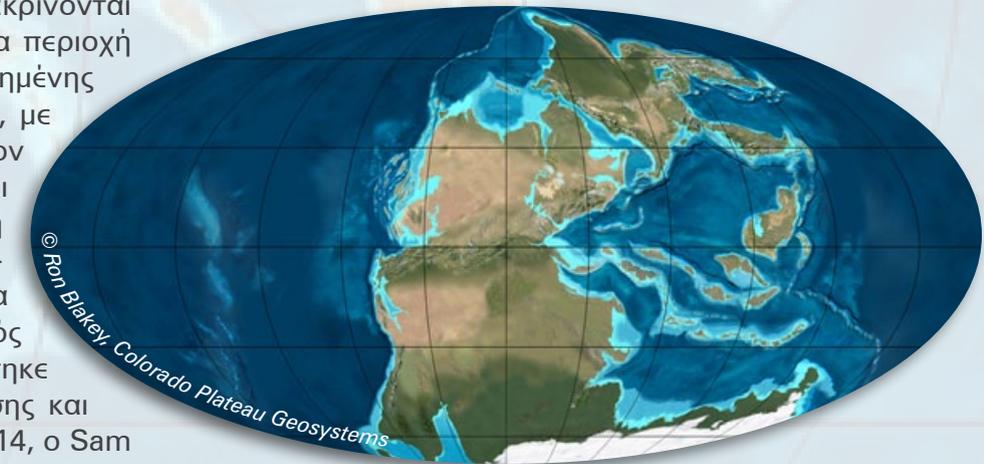
Μία ακόμη μεγάλη απώλεια βιοποικιλότητας παρατηρήθηκε προς το τέλος της Δεβόνιας περιόδου, στη διάρκεια της οποίας υπολογίζεται ότι τα είδη του πλανήτη αφανίστηκαν σε ποσοστό που ίσως και να υπερβαίνει το 75%, ενώ περισσότερο επηρεάστηκαν τα θαλάσσια είδη που ζούσαν σε θερμά νερά. Γι' αυτό και πολλοί παλαιοντολόγοι υποστηρίζουν ότι η αιτία αυτής της μαζικής εξαφάνισης ήταν μια ακόμη εποχή παγκόσμιας μείωσης της θερμοκρασίας, αντίστοιχης με εκείνη που προκάλεσε την Ορδοβίσια εξαφάνιση. Τα τελευταία στοιχεία συνηγορούν ότι και αυτή η μαζική εξαφάνιση συνέβη σε δύο στάδια, ενώ κάποιοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι πρέπει να παρατηρήθηκαν αρκετά περισσότερα επεισόδια εξαφάνισης, τα αίτια των οποίων δεν είναι σε καμία περίπτωση εξακριβωμένα. Οι περισσότεροι υποστηρίζουν ότι τα επεισόδια της Δεβόνιας εξαφάνισης των ειδών πρέπει να σχετίζονται με την δραστική μείωση της περιεκτικότητας των ωκεανών σε οξυγόνο, σε συνδυασμό με την σημαντική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια την παγκόσμια μείωση της θερμοκρασίας.

Προς το τέλος της Πέρμιας περιόδου, η Γη γνώρισε το μεγαλύτερο γεγονός μαζικής εξαφάνισης, κατά τη διάρκεια του οποίου αφανίστηκε τουλάχιστον το 96% των ειδών της θάλασσας και το 70% των ειδών της ξηράς. Εξαιτίας μάλιστα αυτού του τόσο εκτεταμένου αφανισμού της βιοποικιλότητας, η ζωή χρειάστηκε πολύ περισσότερο χρόνο, προκειμένου να ανακάμψει απ' ό,τι μετά από άλλες μαζικές εξαφανίσεις. Την εποχή εκείνη η υπερήπειρος Παγγαία εκτεινόταν σχεδόν από τον Βόρειο μέχρι τον Νότιο Πόλο, γεγονός που διαμόρφωσε ένα ιδιαίτερα θερμό και ξηρό κλίμα, που ήδη έθετε σε κίνδυνο πολλά από τα είδη της εποχής. Όπως υποστηρίζουν πολλοί επιστήμονες, ο μαζικός αφανισμός στο τέλος της Πέρμιας περιόδου προήλθε από μία ακραία ηφαιστειακή δραστηριότητα, που συνοδεύτηκε από την έκλυση στην ατμόσφαιρα τεράστιων ποσοτήτων θειούχων ενώσεων και στάχτης, που βραχυπρόθεσμα μείωσε την θερμοκρασία του πλανήτη. Τα σημάδια μιας τέτοιας ακραίας ηφαιστειακής δραστηριότητας, που μέχρι πρόσφατα υπολογιζόταν ότι διήρκεσε 600.000 χρόνια, διακρίνονται ακόμα και σήμερα στη Σιβηρία, σε μια περιοχή καλυμμένη με 5 εκατ. km² στερεοποιημένης βασαλτικής λάβας. Σύμφωνα, μάλιστα, με ερευνητές στο MIT, με επικεφαλής τον Sam Bowring του τμήματος Γήινων και Πλανητικών Επιστημών, η εξαφάνιση των ειδών στο τέλος της Πέρμιας περιόδου εκδηλώθηκε 10 φορές ταχύτερα και διήρκεσε μόλις 60.000 χρόνια. Εκτός αυτού, στην έρευνά τους, που βασίστηκε σε ακριβέστερες τεχνικές χρονολόγησης και δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2014, ο Sam Bowring και οι συνάδελφοί του ανακάλυψαν ότι η περιεκτικότητα των ωκεανών σε άνθρακα αυξήθηκε δραματικά 10.000 χρόνια πριν την έναρξη της περιόδου εξαφάνισης, γεγονός που

φαίνεται να επιβεβαιώνει την θεωρία της ακραίας ηφαιστειακής δραστηριότητας. Πραγματικά, οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονταν στην ατμόσφαιρα, προκάλεσαν μία εξίσου δραματική αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, που στους ωκεανούς ίσως και να άγγιξε τους 10°C. Ίσως, μάλιστα, με την επακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών να απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα και μεγάλες ποσότητες μεθανίου, ενός άλλου ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, που υπήρχε παγωμένο στα βάθη των ωκεανών με την μορφή θαλάσσιων ιζημάτων, αυξάνοντας την θερμοκρασία του πλανήτη ακόμη περισσότερο. Αυτές οι κλιματολογικές μεταβολές, με την σειρά τους, προκάλεσαν μία νέα μείωση του οξυγόνου στους ωκεανούς, που επέτεινε τον μαζικό αφανισμό αυτής της περιόδου.

Στο τέλος της Τριασικής περιόδου, περίπου πριν από 201 εκατ. χρόνια και σε διάστημα μόλις 10.000 ετών, παρατηρείται η τέταρτη μεγάλη

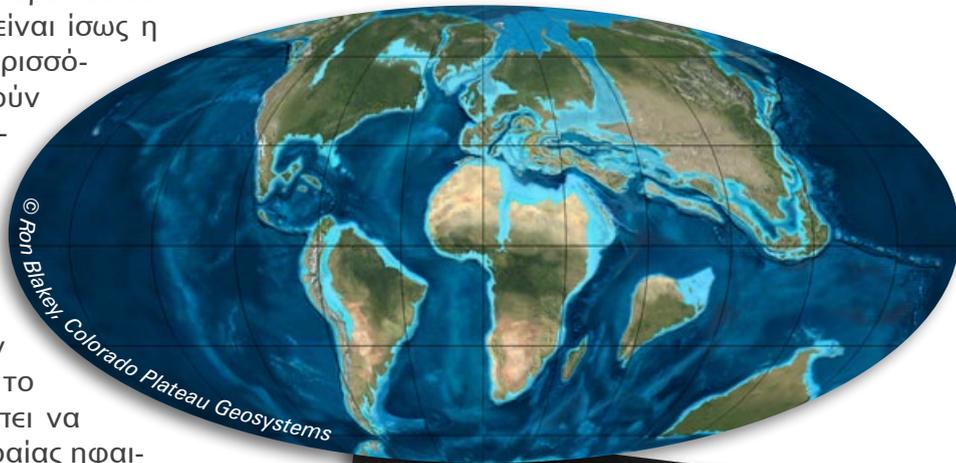
Παλαιogeωγραφικός χάρτης της ύστερης Πέρμιας περιόδου (φωτογρ. Copyright Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems).



Παλαιogeωγραφικός χάρτης της ύστερης Πέρμιας περιόδου (φωτογρ. Copyright Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems).

εξαφάνιση, που οδήγησε στον αφανισμό του 76–84% όλων των ειδών και η οποία είναι ίσως η λιγότερο κατανοητή απ' όλες. Οι περισσότερες ως τώρα ενδείξεις συνηγορούν υπέρ μιας ακόμη μείωσης της στάθμης των θαλασσών, που ενδεχομένως να σχετίζεται με την έναρξη του ηφαιστειακού ρήγματος μεταξύ της Βόρειας και της Νότιας Αμερικής, της Αφρικής και της Ευρώπης, που εντέλει θα διαμόρφωνε τον Ατλαντικό ωκεανό. Εκτός αυτού, με το τέλος της Τριασικής περιόδου πρέπει να σημειώθηκε μία ακόμη περίοδος ακραίας ηφαιστειακής δραστηριότητας κατά μήκος της ζώνης του σχίσματος, που μπορεί να διήρκεσε ακόμη και 500.000 χρόνια.

Τον τέταρτο αυτό μαζικό αφανισμό ακολουθεί μία ακόμη περίοδος ανάκαμψης της ζωής, που καθιστά ως κυρίαρχα είδη του πλανήτη τους δεινόσαυρους, καθόλη την διάρκεια της Ιουρασικής και Κρητιδικής περιόδου. Και τότε, περίπου 65 εκατ. χρόνια πριν, η βιοποικιλότητα του πλανήτη δέχεται ένα ακόμη ισχυρό πλήγμα. Πρόκειται για την τελευταία και πιο «διάσημη» από τις μαζικές εξαφανίσεις των ειδών, που σημειώθηκε μεταξύ της Κρητιδικής και της Τριτογενούς περιόδου και αφάνισε τους δεινόσαυρους, ευνοώντας παράλληλα την διαφοροποίηση και μελλοντική κυριαρχία των θηλαστικών. Πραγματικά, σε αντίθεση με άλλα είδη, όπως οι κροκόδειλοι, οι χελώνες και οι σαύρες, τα θηλαστικά και τα πουλιά, τα οποία δεν είχαν σημαντικές απώλειες, οι δεινόσαυροι δεν κατάφεραν να επιβιώσουν. Η πλέον δημοφιλής εξήγηση για την τελευταία αυτή μαζική εξαφάνιση προτάθηκε από τον φυσικό **Luis Alvarez** (1911–1988), ο οποίος υποστήριξε ότι οφείλεται στην πτώση ενός τεράστιου μετεωρίτη, που συνετρίβη στη Γη. Οι συνέπειες αυτής της πρό-



(Πάνω) Παλαιογεωγραφικός χάρτης του ορίου K-Pg (φωτογρ. Copyright Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems).
(Κάτω) Ο Αμερικανός φυσικός Luis Alvarez.

σκρουσης ήταν πραγματικά τρομακτικές.

Η ενέργεια που απελευθερώθηκε κατά την στιγμή της σύγκρουσης πρέπει να εξαέρωσε ολόκληρο τον αστεροειδή, εκτινάσσοντας στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες εξαερωμένων πετρωμάτων, στάχτης και υπέρθερμης σκόνης, που κάλυψαν ολόκληρο σχεδόν τον πλανήτη, προ-

καλώντας παράλληλα τεράστιους σεισμούς και παλιρροϊκά κύματα. Σύμφωνα, μάλιστα, με ορισμένους ερευνητές, τα μικρά θραύσματα πυρακτωμένων πετρωμάτων που εκτινάχθηκαν στην ατμόσφαιρα, με την επιστροφή τους στην επιφάνεια της Γης, απελευθέρωσαν τεράστιες ποσότητες θερμότητας, αυξάνοντας την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στους 1.400°C και προκαλώ-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της πρόσκρουσης του αστεροειδούς στο όριο K-Pg (φωτογρ. © Don Davis, <http://www.donaldedavis.com>).

ντας εκτεταμένες πυρκαγιές σε όλη την υφήλιο. Αμέσως μετά την καταστροφική επίγεια κόλαση που μόλις περιγράψαμε, πρέπει να ακολούθησε μια περίοδος σημαντικής πτώσης της παγκόσμιας θερμοκρασίας, που προκλήθηκε από τους εκατοντάδες δισεκατομμύρια τόνους σκόνης και στάχτης που είχαν καλύψει τον πλανήτη, οι οποίες ανακλούσαν και απορροφούσαν την ηλιακή ακτινοβολία, εμποδίζοντας την να θερμάνει την Γη. Αυτό πρέπει να αποδείχθηκε καταστροφικό για τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως τα φυτά και το πλαγκτόν, που αποτελούν την βάση της τροφικής αλυσίδας. Αυτή η περίοδος παγκόσμιας μείωσης της θερμοκρασίας συνοδεύτηκε από μία μεγαλύτερης διάρκειας περίοδο παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εξαιτίας ενός ακραίου φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο προκάλεσαν οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, που διοχετεύονταν στον αέρα από τις καταστροφικές πυρκαγιές που κατέκαιγαν τα δάση του πλανήτη. Και σαν να μην έφταναν όλα αυτά, η περιοχή της πρόσκρουσης περιείχε απ' ό,τι φαίνεται και πετρώματα με υψηλή συγκέντρωση θειικού ανυδρίτη, από τα οποία ελευθερώθηκαν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου. Καθώς αυτές ανήλθαν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και των υδρατμών επέστρεψαν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή καταρρακτώδους όξινης 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 πρέπει να είχε αρχική διάμετρο 300 km και βάθος 9,6 km. Οι επιστημονικές ενδείξεις που συνηγορούν υπέρ αυτού του σεναρίου είναι αρκετές. Γνωρίζουμε για παράδειγμα ότι το ιρίδιο είναι ένα στοιχείο ιδιαίτερα σπάνιο

στην επιφάνεια της Γης, αλλά αρκετά διαδεδομένο στους μετεωρίτες. Αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν απέδειξαν ότι η συγκέντρωση ιριδίου σε όλα τα διαφορετικής ηλικίας πετρώματα είναι περίπου η ίδια, εξαιρουμένων όσων έχουν ηλικία περίπου 66Ma, όπου ανιχνεύτηκε χιλιαπλάσια ποσότητα. Ένα δεύτερο στοιχείο που συνηγορεί υπέρ αυτής της εξήγησης είναι και το γεγονός ότι στα στρώματα του φλοιού αυτής της ηλικίας ανιχνεύτηκαν κρύσταλλοι χαλαζία με ασυνήθιστη εσωτερική υφή και σφαιρικοί κόκκοι γυαλιού, που για να σχηματιστούν απαιτούν συνήθως ισχυρή και βίαια κρούση, καθώς και μεγάλες θερμοκρασίες. Ο εντοπισμός από τον Alvarez ενός κρατήρα 180km, εκεί που βρίσκεται σήμερα η Χερσόνησος Γιουκατάν στο σημερινό Μεξικό, είναι η τρίτη σημαντική ένδειξη. Στις παρυφές μάλιστα του κρατήρα αλλά και στην ευρύτερη περιοχή έχουν βρεθεί μεγάλες συγκεντρώσεις του χαλαζία και των σφαιρικών κόκκων γυαλιού που προαναφέραμε.

Παρόλο που ο θάνατος των δεινοσαύρων σχετίζεται με την πτώση ενός γιγάντιου αστεροειδούς και παρόλο που υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι τουλάχιστον ένας γιγάντιος αστεροειδής συνετρίβη στην επιφάνεια της Γης εκείνη την εποχή, το εάν η πρόσκρουση αυτή προκάλεσε ή συνέβαλε στην εξαφάνιση των δεινοσαύρων είναι ένα θέμα που συνεχίζει να προκαλεί έντονες αντιπαράθεσεις μεταξύ των επιστημόνων. Σε αντίθεση, για παράδειγμα, με τους αστρονόμους, οι περισσότεροι εκ των οποίων θεωρούν ότι η πτώση ενός αστεροειδούς ήταν η κύρια αιτία αφανισμού των δεινοσαύρων, οι παλαιοντολόγοι θεωρούν ότι η απάντηση στο ερώτημα της εξαφάνισης των δεινοσαύρων είναι πιο σύνθετη. Σύμφωνα μ' αυτούς, την εποχή εκείνη το ανάγλυφο του πλανήτη μας μεταβαλλόταν ριζικά. Καθώς οι υπερηπειρωτικές μάζες διασπώνταν σε κάποιες απ'



Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του κόλπου του Μεξικού, με σημειωμένη τη θέση του κρατήρα πρόσκρουσης.

τις ηπείρους που γνωρίζουμε σήμερα, τα ωκεάνια ρεύματα και το κλίμα της Γης μεταβάλλονταν εξίσου, ενώ η στάθμη των θαλασσών μειώθηκε για μια ακόμη φορά, περίπου 150m σε λιγότερο από 1 εκατ. χρόνια. Παρόλο που δεν είναι γνωστό γιατί συνέβη αυτό, οι ηπειρωτικές θάλασσες και σημαντικά οικοσυστήματα για τους δεινόσαυρους, θα πρέπει να επηρεάστηκαν σημαντικά.

Εκτός αυτού, υπάρχουν στοιχεία ότι στο τέλος της Κρητιδικής περιόδου, ακραία ηφαιστειακή δραστηριότητα συντάραξε τον πλανήτη για μια ακόμη φορά. Παρόλο που δεν ήταν τόσο ισχυρή όσο εκείνη της Σιβηρίας στο τέλος της Πέρμιας περιόδου, οι τεράστιες ποσότητες λάβας και ηφαιστειακών αερίων που εκλύονταν στην ατμόσφαιρα από την περιοχή του πλανήτη που αργότερα θα ονομαζόταν Ινδία, προκάλεσαν αντίστοιχες επι-

πτώσεις στο κλίμα. Όπως μάλιστα υπολογίζουν οι επιστήμονες, η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας των αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονταν στην ατμόσφαιρα, μπορεί να ήταν ακόμη και 10°C, γεγονός που αύξησε την θερμοκρασία των ωκεανών κατά 4°C.

Από τη σύντομη αυτή παρουσίαση καθίσταται φανερό ότι πολλά συνεχίζουμε ακόμη να αγνοούμε για το πόσες πραγματικά ήταν οι μεγάλες μαζικές εξαφανίσεις των ειδών του πλανήτη μας και το ποιες ακριβώς ήταν οι αιτίες που τις προκάλεσαν. Ιδιαίτερα ανησυχητικό, όμως, είναι το γεγονός ότι αρκετοί επιστήμονες μιλούν ήδη για μια έκρηξη μαζική εξαφάνιση, η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη, μία μαζική εξαφάνιση που δεν την προκαλεί κάποια φυσική αιτία, αλλά ο ίδιος ο άνθρωπος.



7

Επίλογος: Μελλοντικοί Αφανισμοί

Καθώς η αέναη κίνηση των τεκτονικών πλακών θα συνεχίσει να μεταβάλλει το γήινο ανάγλυφο και στο μέλλον, σε δεκάδες εκατομμύρια χρόνια από σήμερα η επιφάνεια του πλανήτη μας δεν θα μοιάζει σε τίποτα με αυτήν που όλοι γνωρίζουμε και ούτε μπορούμε με βεβαιότητα να αποφανθούμε πώς θα επηρεάσει η μετακίνηση αυτή τους έμβιους οργανισμούς. Φυσικές καταστροφές, όπως η έκρηξη ενός υπερηφαιστείου ή η πτώση ενός γιγάντιου αστεροειδούς έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να προκαλέσουν μια μελλοντική μαζική εξαφάνιση ειδών του πλανήτη, αλλά να θέσουν σε κίνδυνο την ίδια την επιβίωση του ανθρώπου. Βέβαια, η ακριβής πρόβλεψη μιας τέτοιας μελλοντικής καταστροφής, η αξιολόγηση της πιθανότητάς της να συμβεί και η απάντηση στο ερώτημα ποιοι έμβιοι οργανισμοί θα αφανιστούν και ποιοι θα επιβιώσουν είναι εξαιρετικά δύσκολες.



Έκρηξη του ηφαιστείου Saruocheng στις Κουρίλες Νήσους, όπως καταγράφηκε από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό στις 12 Ιουνίου 2009 (φωτογρ. NASA).

Γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι καθόλη την διάρκεια της ιστορίας της Γης εκδηλώθηκαν εκρήξεις υπερηφαιστείων, των οποίων την βιαιότητα είναι αδύνατο να φανταστούμε. Γεωλογικά στοιχεία, που αποδεικνύουν του λόγου το αληθές, έχουν ήδη εντοπιστεί, όχι μόνο στην Σιβηρία και στην Ινδία που προαναφέραμε, αλλά και στην Νέα Ζηλανδία, στις ΗΠΑ, στην Χιλή κ.α.. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έκρηξη του υπερηφαιστείου Τόμπα της Σουμάτρας πριν από μόλις 74.000 χρόνια, η οποία απελευθέρωσε 2.800km³ λάβας και άλλων ηφαιστειακών υλικών, καλύπτοντας ολόκληρη την νοτιοανατολική Ασία κάτω από 15cm ηφαιστειακής τέφρας. Ένα από τα γνωστότερα υπερηφαιστεια της υφηλιου είναι αυτό που βρίσκεται στο εθνικό πάρκο Yellowstone στην βορειοδυτική Αμερική. Οι γεωλόγοι γνωρίζουν ότι στα τελευταία εκατομμύρια χρόνια το υπερηφαιστειο του Yellowstone εξερράγη 3 φορές, με την ισχυρότερη έκρηξη να εκδηλώνεται πριν από 2,1 εκατ. χρόνια και να απελευθερώνει περισσότερα από 2.450km³ ηφαιστειακών υλικών, ενώ ο τελευταίος κύκλος των εκρήξεων παρατηρήθηκε μεταξύ 180.000–70.000 χρόνια πριν. Παρόλο που δεν είναι απολύτως σα-

Τα θραύσματα του κομήτη Shoemaker-Levy σε εικόνα του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble, περίπου 2 μήνες πριν βομβαρδίσουν τον Δία [φωτογρ. NASA, ESA, H. Weaver και E. Smith (STScI)].

φές τι είναι αυτό που προκαλεί την έκρηξη ενός υπερηφαιστείου, πρόσφατες μελέτες καταδεικνύουν ότι μπορεί να προκληθεί απλά και μόνο από την άνωση του μάγματος, το οποίο εμπεριέχει ο τεράστιος μαγματικός θάλαμος που το τροφοδοτεί. Επειδή τα λειωμένα πετρώματα στον φλοιό της Γης είναι θερμότερα και λιγότερο πυκνά από τα στερεά πετρώματα που τα περιβάλλουν, έχουν την τάση να ανέρχονται προς την επιφάνεια, δημιουργώντας έτσι μια πίεση, αντίστοιχη περίπου μ' αυτήν που αισθανόμαστε όταν κρατούμε μια μπάλα κάτω από την επιφάνεια τα θάλασσας. Καθώς αυτή η πίεση του μάγματος στα τοιχώματα και στα υπερκείμενα πετρώματα του μαγματικού θαλάμου συνεχίζει να συσσωρεύεται για χιλιάδες, ακόμη και για εκατομμύρια

χρόνια, κάποια στιγμή εκτονώνεται βίαια με μια τεράστια έκρηξη που προκαλεί και την ξαφνική κατάρρευση της οροφής του μαγματικού θαλάμου, σχηματίζοντας μια καλντέρα δεκάδων χιλιομέτρων. Τέτοιες εκρήξεις υπερηφαιστείων, εκτός από την σχεδόν ακαριαία και ολική καταστροφή στην ευρύτερη περιοχή που τα περιβάλλει, προκαλούν και δραματικές μεταβολές στο παγκόσμιο κλίμα, αφού έχουν την δυνατότητα να μειώσουν την μέση θερμοκρασία του πλανήτη ακόμη και κατά 10°C για περισσότερο από μία δεκαετία. Ευτυχώς, όμως, είναι εξαιρετικά σπάνιες.

Μόλις τον Φεβρουάριο του 2013, η έκρηξη μιας διαστημικής βολίδας πάνω από την Ρωσία, η οποία απελευθέρωσε τουλάχιστον 20 φορές περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που απελευθέρω-

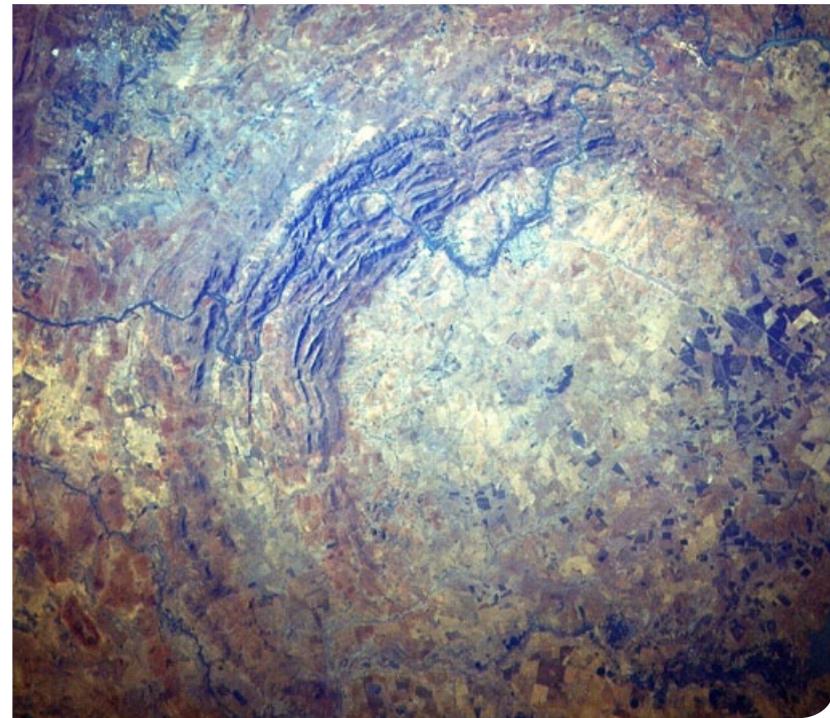
σε η ατομική βόμβα της Χιροσίμα, μας υπενθύμισε ένα άλλο πιθανό σενάριο μαζικής εξαφάνισης των ειδών, που σχετίζεται με την πρόσκρουση στην Γη ενός γιγάντιου αστεροειδούς. Όπως, εξάλλου, έδειξε και η συντριβή του κομήτη Shoemaker-Levy στον Δία τον Ιούλιο του 1994, ο βομβαρδισμός των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος από τέτοιους διαστημικούς εισβολείς δεν είναι κάτι που συνέβαινε μόνο κατά την πρώτη περίοδο της εξέλιξής του, αλλά που με εμφανώς λιγότερη σφοδρότητα μπορεί να συνεχίζεται και σήμερα. Ο κρατήρας Barringer στην Αριζόνα, για παράδειγμα, που δημιουργήθηκε από τη πτώση ενός μετεωρίτη πριν από μόλις 50.000 χρόνια, απελευθέρωσε ενέργεια αντίστοιχη μ' αυτήν μιας πυρηνικής βόμβας, εξαερώνοντας τα πάντα στο σημείο της πρόσκρουσης και μετατοπίζοντας 175 εκατ. τόνους επιφανειακών πετρωμάτων. Το κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε, προκάλεσε ανέμους με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1.000km/h σε ακτίνα 3–5km από το σημείο της πρόσκρουσης, ενώ σύμφωνα με τις σχετικές εκτιμήσεις, η χλωρίδα της περιοχής ισοπεδώθηκε σε μία επιφάνεια 800–1.500km². Πολύ πιο πρόσφατα, στις 30 Ιουνίου 1908, το θραύσμα ενός



Τα θερμά νερά της Μεγάλης Πρισματικής Πηγής στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone (φωτογρ. U.S. Geological Survey, Al Mebane).



Ο κρατήρας Barringer (φωτογρ. National Map Seamless Server, NASA Earth Observatory).



Ο κρατήρας Vredefort (φωτογρ. NASA).

κομήτη εξερράγη σε ύψος 6–10km πάνω από την τούνδρα της Σιβηρίας, ισοπεδώνοντας περισσότερα από 2.000km² δάσους. Στον πλανήτη μας, όμως, έχουν εντοπιστεί και πραγματικά τεράστιοι κρατήρες πρόσκρουσης, αλλά πολύ μεγαλύτερης ηλικίας, όπως ο κρατήρας Sudbury στον Καναδά και ο κρατήρας Vredefort στη Νότιο Αφρική, που σχηματίστηκαν πριν από περίπου 2 δισ. έτη, ενώ εκτιμάται ότι η αρχική τους διάμετρος έφτανε τα 250 και 300km αντιστοίχως. Και όπως έχουμε ήδη πει, υπήρξαν περιπτώσεις όπου η πτώση ενός αστεροειδούς επηρέασε δραματικά την ίδια την βιολογική εξέλιξη, όπως εικάζεται ότι συνέβη 66 εκατ. χρόνια πριν, με την πτώση ενός γιγάντιου αστεροειδούς στη χερσόνησο Γιουκατάν στο σημερινό Μεξικό. Συνολικά έχουν εντοπιστεί περίπου 185 μικροί και μεγάλοι κρατήρες πρόσκρουσης σπαρμένοι σε όλη την υφήλιο. Πόσο πιθανό είναι στο μέλλον να χτυπηθεί ο πλανήτης μας από έναν τέτοιο διαστημικό εισβολέα;

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η συχνότητα της σύγκρουσης ενός αστεροειδούς με την Γη είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του. Διαστημικές βολίδες με διάμετρο 50m 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 1km βομβαρδίζουν κατά μέσο όρο το πλανήτη μας κάθε 500.000 χρόνια, ενώ αστεροειδείς διαμέτρου 5km κάθε 10 εκατ. χρόνια. Οι προσκρούσεις των αστεροειδών στην επιφάνεια του πλανήτη μας απελευθερώνουν τεράστια ποσά ενέργειας, που οφείλονται στην κινητική τους ενέργεια, η οποία είναι ανάλογη της μάζας τους και του τετραγώνου της ταχύτητάς τους. Δεδομένου ότι οι ταχύτερες αυτές ανέρχονται τις περισσότερες φορές στα 10–20km/s, 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 θερμότητα που εκλύεται από το εσωτερικό του σε εκατοντάδες, ακόμη και χιλιάδες χρόνια.

Οι περισσότεροι αστεροειδείς βρίσκονται συγκεντρωμένοι στην Ζώνη των Αστεροειδών, μεταξύ του Άρη και του Δία. Υπάρχουν, όμως, και κάποιοι άλλοι αστεροειδείς, οι οποίοι βρίσκονται αιχμάλωτοι μέσα σε βαρυτικά σμήνη που είτε προηγούνται είτε ακολουθούν τον Δία στην τροχιά του, ενώ υπάρχουν και αρκετοί ακόμα, που μαζί με κάποιους κομήτες βρίσκονται σε τροχιές σχετικά κοντά στην Γη και ονομάζονται NEO (από τα αρχικά της αγγλικής τους ονομασίας, Near Earth Objects, δηλ. «κοντινά προς την Γη αντικείμενα»). Για να

είμαστε πιο ακριβείς, τα NEO είναι είτε αστεροειδείς είτε κομήτες, που η βαρυτική τους αλληλεπίδραση με γειτονικούς πλανήτες τους «ώθησε» σε τροχιές, των οποίων το περιήλιο (δηλ. το πλησιέστερο σημείο της τροχιάς τους στον Ήλιο) βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 1,3 ΑΜ. Μέχρι τον Μάιο του 2014 είχαν ανακαλυφθεί 11.107 NEO, 860 εκ των οποίων είναι αστεροειδείς διαμέτρου 1km ή μεγαλύτεροι. Προφανώς, όμως, υπάρχουν πολλοί ακόμα αστεροειδείς, τύπου NEO, οι οποίοι

δεν έχουν ακόμα ανακαλυφθεί.

Η ανάγκη να καταγραφούν τα ουράνια αυτά σώματα είναι για ευνόητους λόγους επιτακτική. 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 ακριβώς θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί



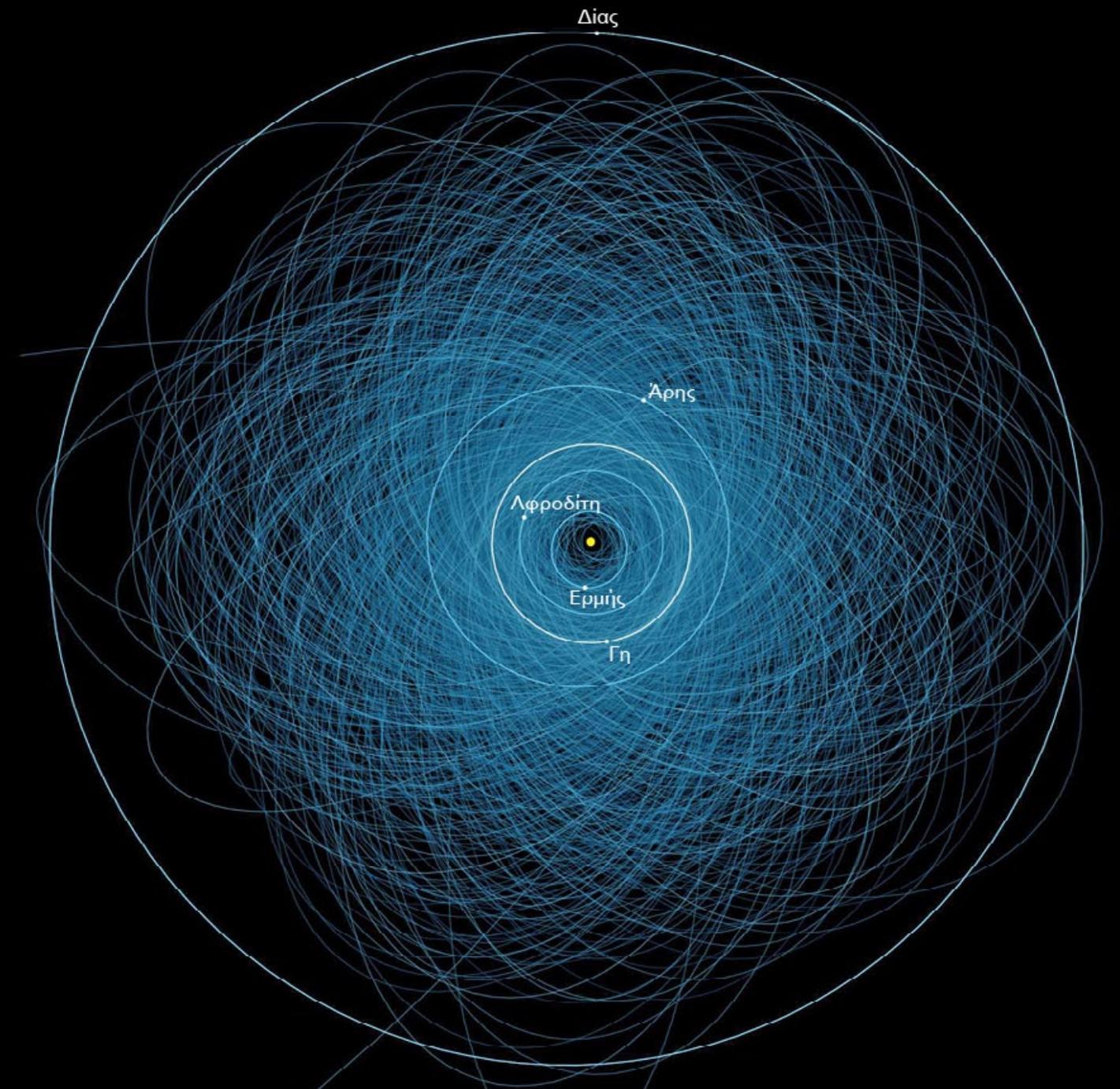
Η πρόσκρουση ενός αστεροειδούς με μέγεθος αντίστοιχο με εκείνο που εικάζεται ότι προκάλεσε την εξαφάνιση των δεινοσαύρων απελευθερώνει αδιανόητα ποσά ενέργειας (φωτογρ. copyright Don Dixon, <http://www.cosmographica.com>).

ένας τέτοιος μελλοντικός κίνδυνος είναι άλλης τάξης ζήτημα, που υπερβαίνει τους ειδικότερους στόχους αυτού του Οδηγού Παράστασης. Συνοπτικά, ωστόσο, μπορούμε να πούμε ότι οι περισσότεροι επιστήμονες προκρίνουν σχετικά «ήπιες» μεθόδους, οι οποίες δεν βασίζονται τόσο στην βίαιη καταστροφή ενός επικίνδυνου αστεροειδούς, αλλά στην τεχνητή μεταβολή της τροχιάς του σε βάθος χρόνου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η αποστολή μιας διαστημοσυσκευής σε τροχιά γύρω από κάποιον αστεροειδή, που θα μεταβάλει σε βάθος χρόνου την τροχιά του, απλά και μόνο με την βαρυτική της έλξη, τον χρωματισμό της επιφάνειάς του με ειδική ανακλαστική ή απορροφητική μπογιά, προκειμένου να μεταβληθεί η πίεση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του Ήλιου ή ακόμη και τη χρήση ειδικών κατόπτρων, τα οποία, εστιάζοντας τις ακτίνες του Ήλιου πάνω στον αστεροειδή, θα ατμοποιήσουν ποσότητα από την ύλη του.

Φυσικά, προκειμένου να στεφθεί με επιτυχία η οποιαδήποτε προσπάθεια αναχαίτισης ενός αστεροειδούς, θα πρέπει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τον εντοπισμό του μέχρι την προβλεπόμενη σύγκρουσή του με τον πλανήτη μας να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος αντίδρασης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός δυνητικά επικίνδυνου αστεροειδούς αποτελεί ο αστεροειδής Άποφης, με διάμετρο 330m, που πήρε το όνομά του από την ελληνική ονομασία ενός δαίμονα της Αιγυπτιακής μυθολογίας. Οι πρώτοι υπολογισμοί της τροχιάς του τον έφεραν σε πορεία σύγκρουσης με τη Γη ή την Σελήνη το 2029. Μετέπειτα όμως αναλύσεις έδειξαν ότι παρόλο που ο αστεροειδής θα πλησιάσει τη Γη σε απόσταση μόλις 30.000km στις 13 Απριλίου 2029, σε απόσταση δηλαδή μικρότερη και από αυτή στην οποία κινούνται οι γεωσύγχρονοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, δεν θα συγκρουστεί τελικά με τον πλανήτη μας. Αρχικά, οι επιστήμονες φο-

βούνταν ότι με την προσέγγισή του το 2029, οι παλιρροιακές δυνάμεις από το βαρυτικό πεδίο της Γης ίσως να επηρέαζαν «επικίνδυνα» την τροχιά του, μεταβάλλοντάς την έτσι, ώστε να υπάρχουν κάποιες πιθανότητες σύγκρουσής του με την Γη κατά την επόμενη προσέγγισή του στις 13 Απριλίου του 2036. Σύμφωνα, όμως, με τους τελευταίους υπολογισμούς, πιθανότητα σύγκρουσης του Άποφης με την Γη το 2036 θεωρείται πλέον μηδενική.

Ένα άλλο σενάριο μελλοντικού μαζικού αφανισμού αφορά στην πιθανότητα ενός αστρικού θανάτου στην διαστημική μας γειτονιά, που θα οδηγήσει στην έκρηξη ενός σουπερνόβα. Οι εκρήξεις σουπερνόβα εκτινάσσουν στο Διάστημα τεράστιες ποσότητες υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γ, η οποία έχει τη δυνατότητα να αντιδράσει με το άζωτο και το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, μετατρέποντάς τα σε οξειδία του αζώτου, που καταστρέφουν την ασπίδα του όζοντος, η οποία μας προστατεύει από τις βλαβερές ακτινοβολίες του Ήλιου και την κοσμική ακτινοβολία. Φυσικά, για να συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει η έκρηξη του σουπερνόβα να συμβεί σε σχετικά κοντινές αποστάσεις. Σύμφωνα με πρόσφατες αλλά ακόμη ασαφείς εκτιμήσεις, η έκρηξη ενός σουπερνόβα τύπου Ia θα πρέπει να συμβεί σε απόσταση μικρότερη των 33 ετών φωτός από τη Γη, προκειμένου να θεωρηθεί επικίνδυνη, ενώ για τους σουπερνόβα τύπου II, η απόσταση αυτή μειώνεται στα 26 έτη φωτός. Άλλοι επιστήμονες, όμως, ανεβάζουν την ελάχιστη απόσταση ασφαλείας από έναν σουπερνόβα στα 100 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 Πήγασου και σε απόσταση 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-συνο-



Η εικόνα αυτή δείχνει τις τροχιές όλων των «δυνητικά» επικίνδυνων αστεροειδών, που στις αρχές του 2013 υπολογίστηκαν σε περισσότερους από 1.400. Καθένας απ' αυτούς έχει διάμετρο μεγαλύτερη των 140 m και θα διέλθει σε απόσταση μικρότερη των 7,5 εκατ. km από την Γη. Κανένας τους, όμως, δεν πρόκειται να συντριβεί στην Γη στα επόμενα 100 χρόνια (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

δό του, θα υπερβεί το όριο Chandrasehkar και θα εκραγεί ως σουπερνόβα τύπου Ia. Αυτό όμως δεν αναμένεται να συμβεί νωρίτερα από μερικά εκατομμύρια χρόνια, ενώ υπολογίζεται ότι μέχρι τότε θα έχει απομακρυνθεί ακόμη περισσότερο από το Ηλιακό Σύστημα.

Υπάρχουν, όμως, και κάποιες άλλες κοσμικές εκρήξεις, που ίσως να αποτελούν τα βιαιότερα φαινόμενα που μπορούν να εκδηλωθούν στο Σύμπαν, με εξαίρεση την Μεγάλη Έκρηξη που το «γέννησε». Αυτές οι εκρήξεις ονομάζονται εκλάμψεις ακτίνων γ (Gamma Ray Bursts-GRB) και εικάζεται ότι προκαλούνται από την κατάρρευση ενός γιγάντιου άστρου σε μαύρη τρύπα. Παρόλο που οι αστρονόμοι συνεχίζουν να αγνοούν πολλά για τους φυσικούς μηχανισμούς που τις προκαλούν, μια θεωρία που έχει προταθεί, σχετίζει τις εκλάμψεις ακτίνων γ με τις επονομαζόμενες εκρήξεις υπερνόβα, οι οποίες είναι κατά πολύ ισχυρότερες από τις «κλασικές» εκρήξεις σουπερνόβα και οι οποίες οφείλονται στην κατάρρευση ενός γιγάντιου άστρου σε μαύρη τρύπα. Σ' αυτήν την περίπτωση, καθώς ύλη από το άστρο συνεχίζει να καταρρέει προς την μαύρη τρύπα που έχει διαμορφωθεί στο κέντρο του, σχηματίζει γύρω της έναν περιστρεφόμενο δίσκο υπέρθερμων υλικών. Για λόγους που δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητοί, η ύλη αυτή, προτού χαθεί για πάντα στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας, εστιάζει μέρος από την ενέργειά της σε δύο πανίσχυρους πίδακες ακτίνων γ, οι οποίοι



Καλλιτεχνική αναπαράσταση έκρηξης σουπερνόβα τύπου Ia [φωτογρ. ESO].

εκτοξεύονται από τους πόλους της μαύρης τρύπας, κλάσματα του δευτερολέπτου προτού το ίδιο το άστρο διαμελιστεί από την έκρηξη υπερνόβα. Η τεράστια και εστιασμένη σε δύο στενές δέσμες ενέργεια που εκλύεται σ' αυτήν την περίπτωση θα μπορούσε να είναι καταστροφική για την ζωή από πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις απ' αυτές που προαναφέραμε. Σε απόσταση 8.000 περίπου ετών φωτός υπάρχει ένα διπλό αστρικό σύστημα, του οποίου το ένα άστρο έχει χαρακτηριστικά που ενδεχομένως το καθιστούν «επικίνδυνο» για μία τέτοια έκρηξη. Έχει υπολογιστεί, για παράδειγμα, ότι εάν η διάρκεια της έκλαμψης από αυτό το άστρο διαρκούσε 10 δευτερόλεπτα, οι ακτίνες γ που θα εκτόξευε θα κατέστρεφαν το 25% της ασπίδας του όζοντος. Το πιθανότερο, όμως, είναι ότι ακόμη και στην απευκταία περίπτωση που το άστρο αυτό τελειώσει την ζωή του με μια έκλαμψη ακτίνων γ, οι δέσμες τους δεν θα καταφέρουν να «πετύχουν» τον πλανήτη μας. Γιατί παρόλο που μεταφέρουν απίστευτα ποσά ενέργειας, είναι τόσο στενές, που θα έπρεπε να στοχεύουν επακριβώς την Γη. Εκτός αυτού, το συντριπτικό ποσοστό των άστρων του Γαλαξία μας έχουν χαρακτηριστικά που δεν ευνοούν αυτές τις εκρήξεις.

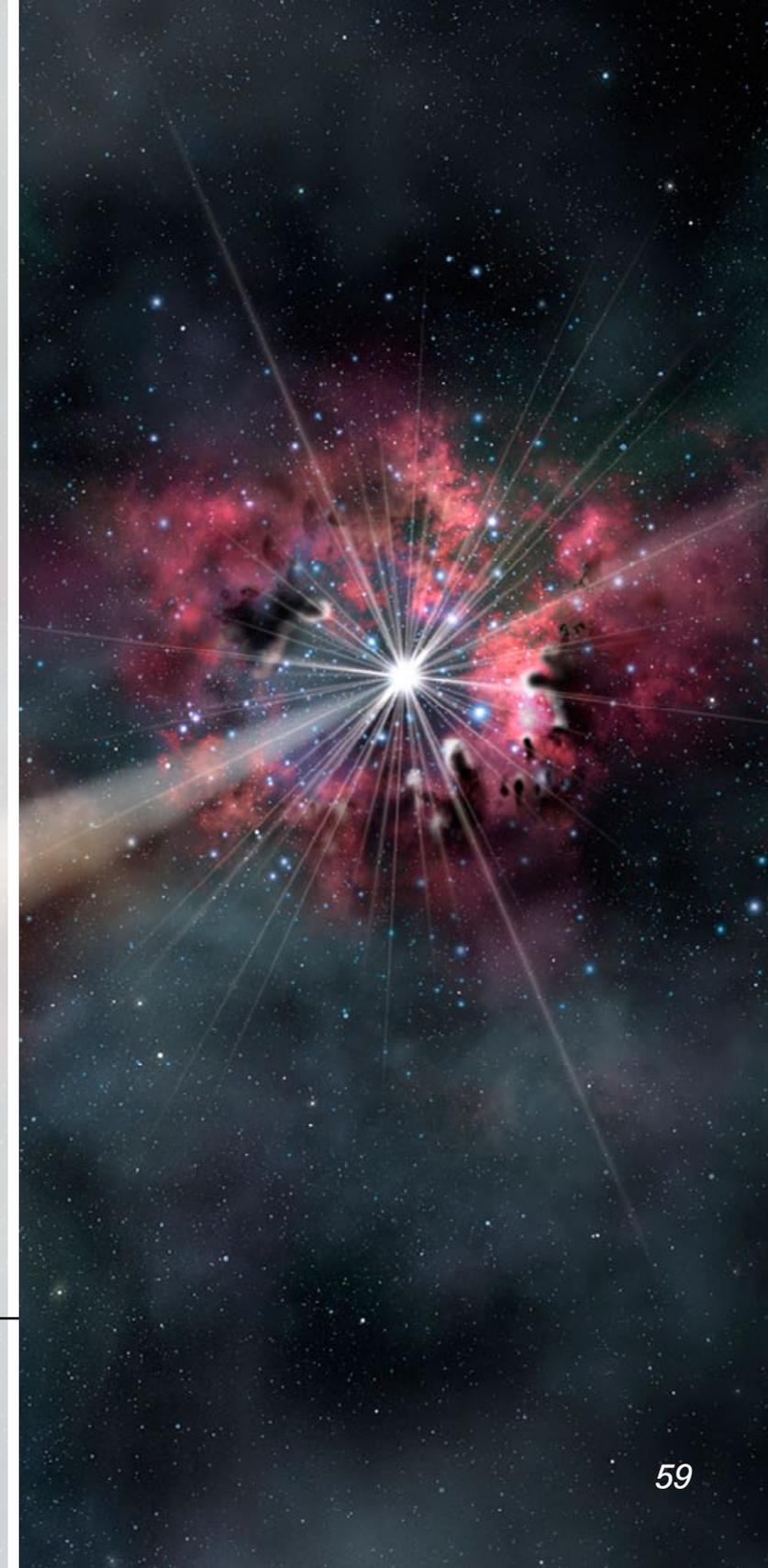
Όμως, το πεπρωμένο του πλανήτη μας είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον Ήλιο. Γιατί, όσο ο Ήλιος θα γερνάει και θα πλησιάζει στο στάδιο του κόκκινου γίγαντα, τόσο θα διογκώνεται και τόσο θα αυξάνει η φωτεινότητά του και μαζί μ' αυτήν και η θερ-

μοκρασία του πλανήτη μας. Καθώς οι ωκεανοί θα αρχίσουν να εξατμίζονται όλο και πιο γρήγορα, «φορτώνοντας» τη γήινη ατμόσφαιρα με όλο και περισσότερους υδρατμούς, ένα ανεξέλεγκτο και αυτοτροφοδοτούμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα προκαλέσει εντέλει την ολική εξάτμιση των ωκεανών, όπως περίπου εικάζεται ότι συνέβη στην Αφροδίτη. Αυτό, όμως, δεν αναμένεται να αρχίσει να συμβαίνει νωρίτερα από περίπου 2 δισ. χρόνια.

Γι' αυτό και όσο σημαντική και να είναι η προσπάθεια των επιστημόνων να επινοήσουν τρόπους, με τους οποίους θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ορισμένοι από τους κινδύνους που προαναφέραμε, είναι τουλάχιστον εξίσου σημαντικό να αναλογιστούμε και να αντιμετωπίσουμε τις ευρύτερες συνέπειες που θα υπάρξουν και για μας τους ίδιους από την εξαφάνιση των ειδών που οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η διαρκώς αυξανόμενη συσσώρευση ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου, η μόλυνση του περιβάλλοντος και η υπεραλίευση, η υποβάθμιση και καταστροφή τοπικών οικοσυστημάτων κ.ά. έχουν ήδη αυξήσει τον ρυθμό εξαφάνισης των ειδών της εποχής μας στις αρκετές χιλιάδες τον χρόνο.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι μετά από κάθε μαζική εξαφάνιση των ειδών, η ζωή πάντα «έβρισκε τον τρόπο» και επανέκαμπτε, καθώς εμφανίζονταν και εξελίσσονταν νέα είδη στην θέση εκείνων που χάθηκαν. Όμως, όσο θαυμαστή παραμένει η ικανότητα της ζωής να προσαρμόζεται και να επιβιώνει ακόμη και στις πιο ακραίες συνθήκες που μπορεί να επιβάλλει η Φύση, δεν μπορούμε παρά να αναρωτηθούμε: Θα είναι άραγε έτσι για πάντα;

Καλλιτεχνική αναπαράσταση έκλαμψης ακτίνων γ (φωτογρ. Gemini Observatory/AURA, artwork by Lynette Cook, <http://extrasolar.spaceart.org/>).



Βιβλιογραφία

Alters, S., Alters, B., *Biology: understanding life*, Hoboken, New Jersey: Wiley, c2006.

Barrett, Paul M., *Δεινόσαυροι και προϊστορικός κόσμος*, τόμοι 1 και 2: Σκάι Βιβλίο, c2009.

Benton, Michael J., *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time* [Kindle Edition], Thames and Hudson Ltd; 2012.

Brahic, A., *Τα παιδιά του ήλιου: η προέλευση, η εξέλιξη και η εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος – και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2002.

Brusatte, S., Benton, M., Shack P. (Illustrator), *Dinosaurs*, Quercus, 2010.

Chapman, Clark R., *Κοσμικές καταστροφές*, Octavision Media, 2007.

Condie, Kent C., *Origin and evolution of earth: principles of historical geology*, Prentice - Hall, 1998.

Condie, Kent C., *Earth as an evolving planetary system*, Elsevier/Academic Press, 2011.

Cotton, William R., *Human impacts on weather and climate*, Cambridge University Press, 2007 (reprinted 2008).

Courtillot, Vincent, *Evolutionary catastrophes: the science of mass extinction*, Cambridge University Press, 1999.

Coyne, J.A., *Why evolution is true*, Oxford; New York: Oxford University Press, 2010.

Dawkins, R., *Το μεγαλύτερο θέαμα στη Γη: η απόδειξη για την εξέλιξη*, Αθήνα: Ωκεανίδα/ΑΒΓΟ, 2009.

Δερμιτζάκης, Μ., *Γεωλογικές διαδρομές και μικρά μελετήματα*, εκδ. Γ. Γκέλμπεσης, 2002.

Fortey R., *Life: a natural history of the first four billion years of life on Earth*, New York: Alfred A. Knopf, 1998.

Fry, I., *The emergence of life on earth: a historical and scientific overview*, London: Free Association, c 2000.

Garlick, M.A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

Hallam, A (Anthony), *Mass extinctions and their aftermath*, Oxford University Press, 2000, c1997.

Hallam, Tony, *Catastrophes and Lesser Calamities: The Causes of Mass Extinctions*, Oxford University Press, 2005.

Johnson, Jinny, *Οι δεινόσαυροι*, Σαββάλας, c2005.

Lindsay, William, *Προϊστορική ζωή, Ερευνητές σε συνεργασία με το Αμερικανικό Μουσείο Φυσικής Ιστορίας*, c1997.

Margulis, L., Dolan, M.F., *Early life: evolution on the precambrian earth*, Boston: Jones and Bartlett, c 2002.

Milner, Angela C., *Dino-birds: from dinosaurs to birds*, Natural History Museum, c2002.

Paul, Gregory S., *The Princeton Field Guide to Dinosaurs* (Princeton Field Guides), Princeton University Press, 2010.

Παπανικολάου, Δ.Ι., Σίδηρης, Χ., *Γεωλογία: η επιστήμη της Γης*, Αθήνα: Πατάκης, 2009.

Σιμόπουλος, Δ., *Γένεση και Κατακλιση: η Βιβλιογραφία της Γης: Οδηγός Παράστασης*, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου, 2006.

Ward, Peter D., *Under a Green Sky: Global Warming, the Mass Extinctions of the Past, and What They Can Tell Us About Our Future*, Harper Perennial; Reprint edition, 2008.

William Glen, *The Mass-Extinction Debates: How Science Works in a Crisis*, Stanford University Press, 1994.

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.

Witton, Mark P., *Pterosaurs: Natural History, Evolution, Anatomy*, Princeton University Press 2013.

Συντελεστές Παράστασης

αφήγηση

ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΙΜΑΡΔΑΝΗΣ

σκηνοθεσία

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

μουσική & σχεδιασμός ήχου

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης

ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

εκτέλεση παραγωγής

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

διεύθυνση παραγωγής

ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

post-production video

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

fulldome technical support

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

graphic design

ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

poster illustration

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΚΑΤΣΑΡΗ

MIRAGE 3D STUDIO

The Hague, Netherlands

producer

ROBIN SIP

animation

PETER GEERTS

MATHIJS BRUSSAARD

JOHANNES BEVELANDER

LEON VERSCHOOR

STIJN VAN KOOPEREN

EYEDIN ANIMATION STUDIO

Seoul, Korea

computer graphics supervisor

SUNGWAN HONG

producer

SIMON P RUSSELL

animation director

JINHYUK KIM

effects / dynamics

HYEONJUN KIM

GEOGRAPHICS IMAGING

Bradenton, Florida

producer

MARK HOWARD

animators

MARK HOWARD

JOE TUCCIARONE

consultant

GEORGE FLEENOR

starfields & sky visualizations

DIGITAL SKY

SPITZ CREATIVE MEDIA

Chadds Ford, Pennsylvania

producer

MIKE BRUNO

animation design & production

BILL CARR

INNA LEONOV-KENNY

BRAD THOMPSON

WES THOMPSON

cinematography & animation

ERIC HANSON

GREG DOWNING

AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

New York City, NY

supervisor

CARTER EMMART

lead 3D graphics programmer

ERIK WESSELAK

lead technical director

MARK BAJUK

science visualizer

RYAN WYATT

SKY-SKAN

Nashua, New Hampshire

supervisor

ANNETTE SOTHERAN-BARNETT

executive producer

STEVEN T. SAVAGE

animators

MICHAEL ZOLOTNITSKI

JOSEPH JANCSICS

STEVEN GRIBBENS

EYELEAD SOFTWARE

Αθήνα

supervisor

ΙΩΣΗΦ ΨΙΣΤΑΚΗΣ

3D artists

ΝΙΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΛΟΥΚΑΣ ΑΝΤΙΟΧΟΣ

ΓΙΩΡΓΟΣ ΒΡΕΝΤΖΟΣ

ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΣΤΑΜΟΓΛΟΥ

ΑΝΤΩΝΗΣ ΓΑΡΝΕΛΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ

ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΓΑΛΙΑΤΣΑΤΟΣ

EVANS & SUTHERLAND

Salt Lake City, Utah

executive producer

KIRK JOHNSON

time-lapse photography

TERENCE MURTAGH

lead animator

DON DAVIS

3D artists

KEN CARLSON

MARTY SISAM

CLARK PLANETARIUM

Salt Lake City, Utah

supervisor

SPENCER CHRISTOPHERSON

production manager

MIKE MURRAY

animators

SPENCER CHRISTOPHERSON

DAVID MERRELL

JONATHAN DANSIE

ANDREA DOUBEK

CODY LAVERY

SOFTMACHINE

Munich, Germany

supervisor

PETER POPP

producer

RITA-GRACIELA WERNER

production designer / art director

ECKHARD ROCHOLL

fulldome & post-production video services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services

STARGAZER AUDIO

Ιδρύματος Ευγενίδου

παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

© 2014

