

Το Χαοτικό Ηλιακό Σύστημα

Δρ. Χάρης Βάρβογλης

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

Από την τάξη του Νεύτωνα στην αταξία του Πουανκαρέ

Πριν από 2.000 χρόνια οι αρχαίοι Έλληνες, όπως και οι άλλοι λαοί που είχαν αναπτύξει κάποια μορφή επιστημονικού πολιτισμού, πίστευαν ότι ολόκληρο το Σύμπαν αποτελείται από τη Γη, γύρω από την οποία γυρίζει η σφαίρα του ουρανού με τον Ήλιο, τη Σελήνη, τα αστέρια και τους πλανήτες. Όλα αυτά τα ουράνια σώματα έμοιαζαν να υπακούουν σε κάποια μυστηριώδη αρμονία, καθώς οι κινήσεις τους ήταν εμφανώς περιοδικές. Η κίνηση του Ήλιου ακολουθούσε το βιολογικό κύκλο του ανθρώπου (μέρα-νύχτα) και τον κύκλο της φύσης (χειμώνας-καλοκαίρι), η κίνηση της Σελήνης το βιολογικό κύκλο της γυναίκας, ενώ η κίνηση των πλανητών ήταν πιο πολύπλοκη και, άρα, θα έπρεπε να επηρεάζεται και από τη θέληση των θεών.



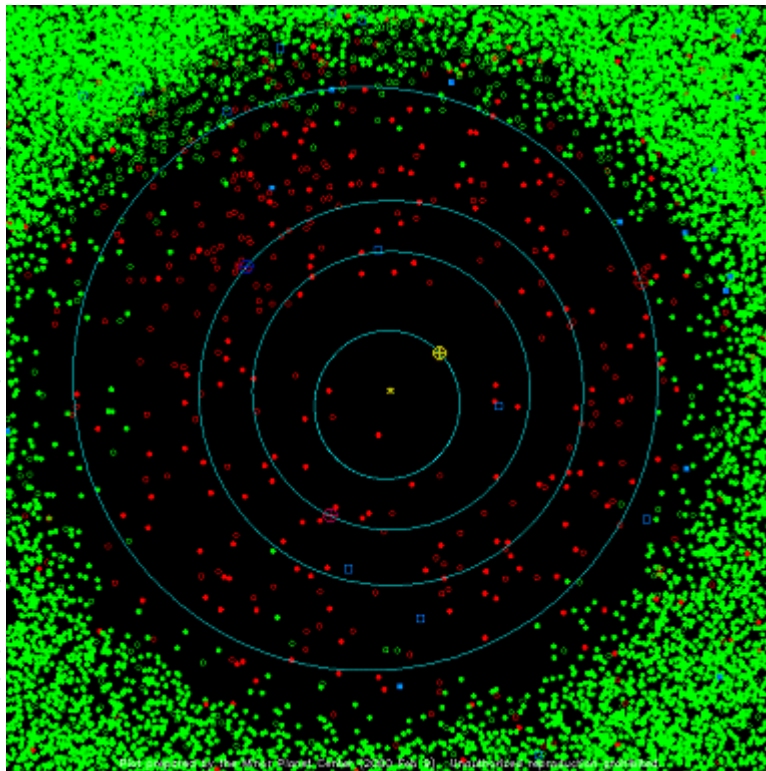
Κατά την περίοδο της Αναγέννησης η εικόνα αυτή για τη δομή και το μέγεθος του ηλιακού συστήματος άλλαξε ριζικά, όχι όμως και η καθιερωμένη, ως τότε, ιδέα για την αρμονία που το διέπει. Μετά από τις αξιοθαύμαστες παρατηρήσεις των αστρονόμων Τύχο Μπράχε, Νικόλαου Κοπέρνικου και Γιοχάνες Κέπλερ, τη θέση της Γης στο κέντρο του ηλιακού συστήματος κατέλαβε η Ήλιος. Η κίνηση όμως των ουράνιων σωμάτων εξακολουθούσε να θεωρείται περιοδική και να επαναλαμβάνεται, η ίδια πάντα, στον αιώνα τον άπαντα. Η ιδέα αυτή ενισχύθηκε, όταν ο Ισαάκ Νεύτων έδειξε ότι όλες οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων μπορούν να ερμηνευθούν από τη θεωρία της παγκόσμιας έλξης που ο ίδιος ανέπτυξε. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, αν αγνοήσουμε την παρουσία των υπόλοιπων πλανητών, τότε η κίνηση του καθενός από αυτούς γύρω από τον Ήλιο είναι ακριβώς περιοδική: ακολουθεί μια ελλειπτική τροχιά, όπως ακριβώς είχε διαπιστώσει πειραματικά ο Κέπλερ. Κατά τον Νεύτωνα, λοιπόν, το ηλιακό σύστημα είναι ένα καλοκουρδισμένο ρολόι, τα εξαρτήματα του οποίου είναι οι πλανήτες, και οι δορυφόροι τους. Κάθε εξάρτημα κινείται στην προκαθορισμένη γι' αυτό θέση, με το δικό του σταθερό ρυθμό. Αν μετρήσουμε κάποια στιγμή θέλουμε, στο παρελθόν ή στο μέλλον. Η εικόνα αυτή, που διατυπώθηκε με τόση σαφήνεια από το Γάλλο μαθηματικό και αστρονόμο Λαπλάς, αποτέλεσε τη βάση της Ουράνιας Μηχανικής, δηλαδή του κλάδου της Αστρονομίας που ασχολείται με την κίνηση των ουράνιων σωμάτων του ηλιακού συστήματος.

Η αλήθεια είναι, βέβαια, ότι η κίνηση του κάθε πλανήτη επηρεάζεται από την παρουσία των υπόλοιπων, έτσι ώστε τελικά η τροχιά που ακολουθεί δεν είναι ακριβώς ελλειπτική. Ο βασικός στόχος της Ουράνιας Μηχανικής ήταν και είναι, ακόμη και σήμερα, ο ακριβής υπολογισμός της πραγματικής τροχιάς του κάθε πλανήτη. Από την εποχή του Νεύτωνα μέχρι τα τέλη του προηγούμενου αιώνα αυτό γινόταν με προσεγγιστικούς τρόπους, μιας και είχε αποδειχθεί εξαιρετικά δύσκολη η ακριβής λύση του προβλήματος. Στα τέλη όμως του προηγούμενου αιώνα, ο μεγάλος Γάλλος μαθηματικός και αστρονόμος Πουανκαρέ έκανε μια ανακάλυψη που έμελλε να αποτελέσει την απαρχή ενός νέου κλάδου της επιστήμης. Διαπίστωσε ότι το βασικό πρόβλημα της Ουράνιας Μηχανικής, το πρόβλημα των τριών σωμάτων, δηλαδή του Ήλιου και δύο (μόνο) πλανητών, ήταν άλυτο! Κατά μείζονα λόγο, λοιπόν, είναι άλυτο και το πρόβλημα των δέκα σωμάτων, δηλαδή του Ήλιου και των εννέα πλανητών.

Χρειάστηκε να περάσουν πάνω από ογδόντα χρόνια για να μπορέσουν οι αστρονόμοι να εκτιμήσουν τη σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης, και αυτό όταν είχαν πια μπει τα θεμέλια του νέου κλάδου της επιστήμης, που ονομάστηκε "θεωρία του χάους". Κοιτάζοντας το ίδιο παλιό πρόβλημα μέσα από τις νέες ιδέες, καταλήγουμε σε ένα συμπέρασμα διαμετρικά αντίθετο από αυτό στο οποίο είχε καταλήξει ο Νεύτωνας: οι κινήσεις των πλανητών και των άλλων σωμάτων του ηλιακού συστήματος δεν είναι περιοδικές και κανονικές, σαν τα εξαρτήματα ενός ρολογιού. Αντίθετα, είναι χαοτικές, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να υπολογισθεί η θέση του κάθε πλανήτη οποιαδήποτε στιγμή θέλουμε στο μέλλον ή στο παρελθόν, ξεκινώντας από τη θέση και την ταχύτητα που έχει σήμερα.

Βέβαια θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι ο βαθμός της χαοτικότητας στην εξέλιξη της κίνησης του κάθε πλανήτη δεν είναι ο ίδιος για όλους. Ο βασικός κανόνας είναι πως οι πιο μικροί πλανήτες έχουν πιο χαοτικές τροχιές από τους μεγαλύτερους, με αποτέλεσμα η μελλοντική θέση τους να γίνεται πολύ πιο γρήγορα αβέβαιη. Και πάλι όμως η χρονική κλίμακα που αυτό συμβαίνει, αν και μικρή με αστρονομικά δεδομένα, είναι πολύ μεγαλύτερη όχι μόνο από την τυπική διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου, αλλά και από το χρονικό διάστημα των μερικών χιλιάδων ετών, για το οποίο έχουμε σχετικά ακριβείς αστρονομικές παρατηρήσεις. Έτσι επιφανειακά φαίνεται ότι το φαινόμενο του χάους στο ηλιακό σύστημα έχει μόνο θεωρητικό ενδιαφέρον και καμία πρακτική συνέπεια. Δυστυχώς ή ευτυχώς, όμως, τα πράγματα δεν είναι έτσι.

ΣΧΗΜΑ. Οι θέσεις των αστεροειδών σε σχέση με τις τροχιές των πλανητών. Γύρω από τον Ήλιο (κέντρο του σχήματος) είναι σχεδιασμένες, με τη σειρά από μέσα προς τα έξω, οι τροχιές του Ερμή, της Αφροδίτης, της Γης και του Άρη. Με τελείες παριστάνονται οι αστεροειδείς, πράσινες για τους ακίνδυνους και κόκκινες για τους επικίνδυνους.



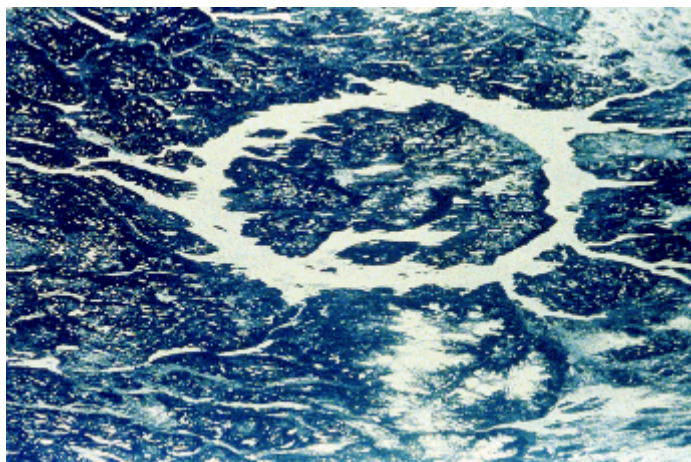
Εκτός από τον Ήλιο και τους εννέα πλανήτες, το ηλιακό μας σύστημα περιλαμβάνει και δισεκατομμύρια άλλα μικρά σώματα, τους κομήτες και τους αστεροειδείς. Οι περισσότεροι κομήτες βρίσκονται σε τεράστιες αποστάσεις από το κεντρικό τμήμα του ηλιακού συστήματος, όπου βρίσκεται η Γη, και για το λόγο αυτό η εξέλιξη της τροχιάς τους δεν είναι εύκολο να συνδεθεί με συστηματικές παρατηρήσεις. Αντίθετα, οι περισσότεροι αστεροειδείς βρίσκονται μεταξύ των τροχιών του Άρη και του Δία, δηλαδή σχετικά κοντά στη Γη, και μπορούμε να μετρήσουμε τις θέσεις και τις ταχύτητές τους πρακτικά όποια στιγμή το θελήσουμε. Ο θεωρητικός υπολογισμός των τροχιών των αστεροειδών, στη συνέχεια, με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών, μας δείχνει αυτό που θα έπρεπε να έχουμε υποψιαστεί από τη αρχή. Οι τροχιές πολλών από αυτούς είναι εμφανώς χαοτικές, μερικές μάλιστα τόσο πολύ, ώστε δεν μπορούμε να προβλέψουμε τη μελλοντική θέση του αντίστοιχου αστεροειδούς για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 100 χρόνια! Όσο κι αν φαίνεται παράδοξο, σήμερα πιστεύουμε ότι αυτή η ιδιότητα των αστεροειδών είναι η αιτία της παρουσίας των ανθρώπων στη Γη! Το γιατί θα αναφερθεί στη συνέχεια.

Όταν πριν από τεσσεράμισι περίπου δισεκατομμύρια χρόνια δημιουργήθηκε ο Ήλιος από ένα σύννεφο αερίων και σκόνης, ό,τι υλικό περίσσεψε σχημάτισε δισεκατομμύρια μικρά σώματα, τους πλανητοειδείς. Οι πλανητοειδείς περιφερόταν γύρω από τον Ήλιο και, επειδή ήταν τόσο πολλοί, συγκρούονταν συχνά ο ένας με τον άλλον. Αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών ήταν ότι, άλλοτε οι πλανητοειδείς θρυμματίζονταν, δημιουργώντας μικρότερα σώματα, και άλλοτε συνενώνονταν, λόγω της δύναμης της βαρύτητας, δημιουργώντας μεγαλύτερα. Τα μεγαλύτερα σώματα αποτέλεσαν τελικά του εννέα μεγάλους πλανήτες, ενώ τα μικρότερα αποτέλεσαν τους αστεροειδείς και τους κομήτες.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη δημιουργία των μεγάλων πλανητών, οι συγκρούσεις τους με τους εναπομείναντες αστεροειδείς ήταν αρκετά συχνές, μέχρις ότου οι πλανήτες "σκούπισαν" από την τροχιά τους κάθε άλλο σώμα. Από την εποχή εκείνη, πριν από τρεισήμισι δισεκατομμύρια χρόνια, θα έπρεπε να έχουν σταματήσει εντελώς οι συγκρούσεις των πλανητών και των δορυφόρων τους με αστεροειδείς. Οι παρατηρήσεις όμως δεν συμφωνούν με αυτό το συμπέρασμα. Όχι μόνο οι συγκρούσεις συνεχίστηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως μαρτυρούν οι κρατήρες που παρατηρούμε στη Σελήνη, αλλά συνεχίζονται μέχρι και σήμερα, όπως μαρτυρούν οι μετεωρίτες που πέφτουν πότε-πότε στη Γη. Η πιο πρόσφατη πτώση μεγάλου ουράνιου σώματος, διαμέτρου περίπου πενήντα μέτρων, συνέβη το 1908, κοντά στον ποταμό Τογκούσκα της Σιβηρίας. Η σφοδρότητα της σύγκρουσης ήταν τόσο μεγάλη, ώστε τα δέντρα του δάσους σε μια περιοχή μεγάλη όσο το λεκανοπέδιο των Αθηνών τσακίστηκαν σαν σπιρτόξυλα και πήραν φωτιά.

Η ισχύς αυτής της σύγκρουσης όμως ήταν ασήμαντη μπροστά σε εκείνη που συνέβη πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια. Ο αστεροειδής, με διάμετρο περίπου δέκα χιλιόμετρα, έπεσε στις ακτές του Μεξικού, απέναντι από την Κούβα, και η καταστροφή που προκάλεσε ήταν παγκόσμια. Η σκόνη που σηκώθηκε από την πρόσκρουση και ο καπνός από τις πυρκαγιές ήταν τόσο πυκνοί, ώστε έκρυψαν το Ήλιο για χρόνια και η μέρα έμοιαζε με νύχτα. Τα περισσότερα φυτά ξεράθηκαν, επειδή δεν μπορούσε να λειτουργήσει η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Στη συνέχεια εξαφανίστηκαν τα μεγάλα φυτοφάγα ζώα της εποχής, όπως ο βροντόσαυρος, επειδή δεν εύρισκαν τροφή, και ακολούθησαν τα μεγάλα σαρκοφάγα ζώα, όπως ο τυραννόσαυρος. Οι δεινόσαυροι αυτοί κυριαρχούσαν στη Γη για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια, αποτέλεσμα του νόμου της φυσικής επιλογής των ειδών του Δαρβίνου. Μια απλή συνάντηση της Γης με ένα βράχο ένα δισεκατομμύριο φορές μικρότερο της ήταν όμως αρκετή για να ανατρέψει το αποτέλεσμα της εξέλιξης εκατομμυρίων ετών και να αφήσει το πεδίο ελεύθερο στην ανάπτυξη των θηλαστικών. Μέσα σε 65 εκατομμύρια χρόνια τα θηλαστικά, από μικρά ζώα μήκους μερικών δεκάδων εκατοστών, που ζούσαν κάτω από την επιφάνεια της Γης, εξελίχθηκαν στην ποικιλία που βλέπουμε σήμερα γύρω μας, ενώ ένας κλάδος τους εξελίχθηκε τόσο πολύ, που αποτέλεσε το ανθρώπινο γένος.

Πώς όμως εξηγείται αυτή η ροή αστεροειδών προς τη Γη που λογικά δεν θα έπρεπε να παρατηρείται, μιας και θα έπρεπε από καιρό να έχουν "σαρωθεί" όλοι; Η απάντηση είναι: το χάος! Οι αστεροειδείς που βρίσκονται μακριά από τις τροχιές όλων των κοντινών τους πλανητών, του Δία, του Άρη και της Γης, δεν ακολουθούν τις σταθερές ελλειπτικές τροχιές που είχε υποθέσει ο Νεύτωνας και όλοι οι αστρονόμοι μέχρι πριν από 20 περίπου χρόνια. Αντίθετα, ακολουθούν χαοτικές τροχιές, άλλοι περισσότερο και άλλοι λιγότερο. Το αποτέλεσμα είναι ότι "διαχέονται" σιγά-σιγά, και απομακρύνονται συνεχώς από τις αρχικές τους θέσεις, όπως τα μόρια μιας σταγόνας μελάνης σκορπίζονται σιγά-σιγά, όταν η σταγόνα πέσει σε ένα ποτήρι νερό. Με τον τρόπο αυτόν οι αστεροειδείς μεταφέρονται με το χρόνο σε περιοχές από όπου διέρχεται η τροχιά κάποιου πλανήτη, με αποτέλεσμα αργά ή γρήγορα να πέσουν επάνω του.



Το τελικό συμπέρασμα είναι ενδιαφέρον αλλά και ανησυχητικό για το ανθρώπινο γένος. Μιας και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και σήμερα, και υπάρχουν δεκάδες χιλιάδες μεγάλοι αστεροειδείς στην περιοχή ανάμεσα στο Δία και τον Άρη, είναι φανερό ότι αργά η γρήγορα η Γη θα συναντηθεί και πάλι με κάποιον από αυτούς. Τότε το δραματικό σενάριο που ξετυλίχτηκε πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια θα παιχθεί και πάλι, αλλά αυτή τη φορά με θύμα όχι τους δεινοσαύρους αλλά τον άνθρωπο. Ποιος ξέρει αν από τη σύγκρουση αυτή θα εξαφανιστεί ολοκληρωτικά ο άνθρωπος από το πρόσωπο της Γης και αν στη θέση του θα εμφανιστεί κάποιο άλλο ον, ενδεχομένως περισσότερο έξυπνο και ικανό.

ΣΧΗΜΑ. Η πτώση ενός αστεροειδούς, πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια, δημιούργησε ένα κρατήρα διαμέτρου 100 χιλιομέτρων, που σήμερα αποτελεί τη λίμνη Manicouagan στο Quebec του Καναδά.

Η πιθανότητα να συμβεί αυτό το εφιαλτικό ενδεχόμενο, αν και πολύ μικρή στη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου, είναι επικίνδυνα μεγάλη σε χρονική κλίμακα εκατονταετιών ή χιλιετιών. Το γεγονός αυτό έχει γίνει κατανοητό τα τελευταία χρόνια από τους αστρονόμους οι οποίοι, με τη σειρά τους, προσπάθησαν να ενημερώσουν τις κυβερνήσεις. Έτσι τα τελευταία δέκα χρόνια έχει ξεκινήσει μια διπλή προσπάθεια. Αφενός να ανακαλύψουμε όλους τους μεγάλους αστεροειδείς, των οποίων η τροχιά περνάει κοντά από τη Γη και, επομένως, υπάρχει πιθανότητα στο προσεχές μέλλον να συγκρουστούν με τον πλανήτη μας. Αφετέρου να αποκτήσουμε ένα σύστημα με το οποίο θα μπορούσαμε να αποτρέψουμε μια μελλοντική σύγκρουση, που αλλιώς θα μπορούσε να αποβεί μοιραία. Μέχρι στιγμής έχουν ανακαλυφθεί πάνω από 250 αστεροειδείς, των οποίων η τροχιά διέρχεται από τη γειτονιά της Γης, κανένας όμως από αυτούς δεν προβλέπεται να πλησιάσει σε επικίνδυνη απόσταση τις προσεχείς δεκαετίες. **Είναι όμως μαθηματικά βέβαιο ότι, αργά ή γρήγορα, θα ανακαλυφθεί και κάποιος που θα ακολουθεί τροχιά σύγκρουσης και μάλιστα σε χρονικό ορίζοντα λίγων ετών. Είναι λοιπόν καιρός να αρχίσει η μελέτη και κατασκευή του συστήματος που θα κληθεί, σ' αυτήν την περίπτωση, να σώσει το ανθρώπινο γένος.**