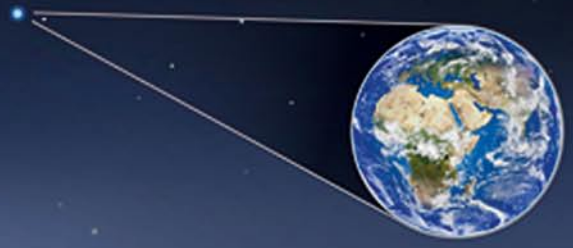
Κανάρης Τσίγκανος
Ομότιμος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών



Ένα γαλάζιο πετράδι στο Διάστημα

100 ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΝΑΡΠΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΩΝ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΑΣ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Κανάρης Τσίγκανος, Ομότιμος Καθηγητής
Τομέας Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Μηχανικής
Τμήμα Φυσικής, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιόπολη Ζωγράφου, Αθήνα, Ελλάδα
Διευθυντής Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (2011-2016)
Πρόεδρος Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας (2006-2010)
Συντονιστής εκδηλώσεων 100/ετηρίδος Διεθνούς Αστρονομικής Ενώσεως (2019)
Tel./Fax: +30.210.7276915, 6948888884
email: tsingan@phys.uoa.gr
Personal webpage, http://users.uoa.gr/~tsingan/CV.pdf

ΕΝΑ ΓΑΛΑΖΙΟ ΠΕΤΡΑΔΙ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

100 χρόνια συναρπαστικών ανακαλύψεων
της θέσης της Γης μας στο Σύμπαν

Εικόνα εξωφύλλου: Φωτογραφία της Γης κάτω από το σύστημα των δακτυλιδιών του πλανήτη Κρόνου με την κάμερα του διαστημικού σκάφους Cassini την 19η Ιουνίου 2013, από την απόσταση των 1,4 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Εικόνες οπισθόφυλλου: Τα διαστημόπλοια Parker Solar Probe και Cassini της NASA στον Ήλιο και τον Κρόνο, παρατηρώντας αδελφωμένοι το *εύθραυστο γαλάζιο πετράδι* στο Διάστημα, ανίχνευση εξωπλανητών, η ιστορική προσεδάφιση στη Σελήνη (1969).

ISBN 978-960-456-548-1

© Copyright, Κανάρης Τσίγκανος, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2020

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση
Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & ΣΙΑ Ι.Κ.Ε.
18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:
Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ:
Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα
Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Αφιερώνεται στους:

Μαρία Ρούσσου
Ευστάθιο Καστρίτη
Θάνο Δημόπουλο
Λουκά Καστρίτη

Πρόλογος

Ακαδημαϊκού Σταμάτη Κριμιζή,

Έδρα Επιστήμης του Διαστήματος, Θεωρίας και Εφαρμογών
της Ακαδημίας Αθηνών

Διαχρονικά, αλλά και ιδιαίτερα στην σημερινή εποχή των ραγδαίων εξελίξεων στην επιστημονική γνώση και τεχνολογία, η σωστή ενημέρωση του κοινού είναι επιτακτική. Υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις στα ΜΜΕ που επιχειρούν αυτού του είδους την πληροφόρηση, αλλά είναι, εξ ανάγκης, σύντομες και επιφανειακές. Η κατά καιρούς εμφάνιση βιβλίων που είναι περιεκτικά και παρουσιάζουν ένα γενικό θέμα είναι ευπρόσδεκτη και οπωσδήποτε πληροί ένα κενό. Στοχεύουν, βέβαια, σε κοινό ποικίλων ταχυτήτων και σε περιεχόμενο κυμαίνονται από συγκέντρωση πληροφοριών από διάφορες πηγές, μέχρι την έγκυρη εκλαΐκευση δημοσιευμένων επιστημονικών εργασιών, και πολλές φορές δημοσίευση βιβλίων από τους ίδιους τους ερευνητές που συνέβαλαν στον κλάδο με τη δική τους δουλειά. Σπάνια περίπτωση είναι αυτή όπου ο ερευνητής που δημοσίευσε επιστημονικές εργασίες επί του θέματος και επί πλέον δίδαξε ως μάθημα επί δεκαετίες φοιτητές, αποφασίζει να συγγράψει βιβλίο που έχει ως σκοπό να επιμορφώσει το γενικό κοινό.

Ο διεθνώς διακεκριμένος συνάδελφος καθηγητής κ. Κανάρης Τσίγκανος είναι ο κατεξοχήν ειδικός στο θέμα που πραγματεύεται το ανά χείρας βιβλίο. Έχει δημοσιεύσει πάνω από 160 εργασίες σε διεθνή περιοδικά με πλέον των 3.000 ετεροαναφορών – οι οποίες είναι ένδειξη του σεβασμού της επιστημονικής κοινότητας στις εργασίες του. Ποιός λοιπόν θα ήταν καταλληλότερος να περιγράψει τις ανακαλύψεις τα τελευταία 100 χρόνια στο ηλιακό μας σύστημα και στο Σύμπαν; Γι' αυτό το λόγο, άλλωστε, του ζήτησε η Διεθνής Αστρονομική Ένωση να οργανώσει στην Ελλάδα τον εορτασμό των 100 χρόνων από την ίδρυσή της. Είναι ιδιαίτερη τιμή για εμένα που μου ζήτησε να προλογίσω αυτόν τον πρώτο τόμο των δύο βιβλίων, που επί πλέον σχετίζεται και με τη δική μου ερευνητική δραστηριότητα τα τελευταία 50 περίπου χρόνια.

Τα τρία κεφάλαια του βιβλίου καλύπτουν τον Ήλιο, το Ηλιακό Πλανητικό Σύστημα και τη Γένεση των Άστρων και Πλανητών. Προηγείται όμως ένα εκτενές τμήμα του βιβλίου – Προλεγόμενα – όπου ο συγγραφέας μας προϊδεάζει με γλαφυρή και παραστατική γλώσσα (π.χ. ο ζωοδότης Ήλιος) για το τι πρόκειται να μας πει με πολλή λεπτομέρεια και εντυπωσιακές εικόνες στο κυρίως μέρος του βιβλίου.

Ο αναγνώστης που θα διαβάσει και μόνο αυτές τις (34) σελίδες θα αποκομίσει μια συνοπτική εικόνα για τις ανακαλύψεις των τελευταίων εκατό χρόνων και των πρωταγωνιστών που δόμησαν και υλοποίησαν τη φανταστική πρόοδο που επιτεύχθηκε σ' αυτή την περίοδο των 100 ετών. Τα Προλεγόμενα είναι όμως και μια προετοιμασία για τα «δύσκολα» που έπονται στα επόμενα κεφάλαια.

Δεν είναι πρόθεσή μου να φοβίσω ή να αποθαρρύνω –ακριβώς το αντίθετο. *Πρώτο* από όλα, η αφήγηση του Κ. Τσίγκανου είναι σε καθαρή και θα έλεγα κομψή και λογοτεχνική διατύπωση, αλλά κυρίως αυθεντική. Περιγράφει περίπλοκα φαινόμενα χωρίς καμιά εξίσωση – και γνωρίζω πόσο βασανιστικό είναι αυτό για θεωρητικούς αστροφυσικούς – αλλά οι εξηγήσεις με παρομοιώσεις από την καθημερινότητα είναι απόλυτα επιτυχημένες και πειστικές. *Δεύτερον*, η επιλογή σχημάτων και εικόνων είναι εξαιρετική και οι λεζάντες ιδιαίτερα προσεγμένες και βοηθούν τον αναγνώστη να κατανοήσει την περιγραφή των φαινομένων. *Τρίτον*, η διάνθιση του κειμένου με επεξηγηματικά πλαίσια και ευφυείς τίτλους (π.χ. η «κοσμική μουσική» των παλλόμενων αστέρων) αφενός μεν βοηθάει τη ροή του συνεχόμενου κειμένου, αφετέρου δε συμβάλλει αποτελεσματικά στην επεξήγηση της ορολογίας που αναγκαστικά χρησιμοποιείται στην περιγραφή των φαινομένων. Τέλος, η χρήση ένθετων στο τέλος κάθε κεφαλαίου με έγχρωμες εικόνες είναι εντυπωσιακή και πληροφορεί τον αναγνώστη για τις δυνατότητες των παρατηρησιακών οργάνων, αυτών που βρίσκονται στις κορυφές των βουνών της Γης και όσων ταξιδεύουν και επεκτείνουν τις αισθήσεις μας στα διάφορα διαστημόπλοια.

Ο συγγραφέας στον πρόλογό του μας πληροφορεί ότι απευθύνεται στο «*σκεπτόμενο ευρύ κοινό*». Επιτρέψτε μου να σας διαβεβαιώσω ότι πέτυχε το σκοπό του, αν και πιθανόν να μην είμαι ο πλέον κατάλληλος να προσφέρω αυτήν την διαπίστωση. Το λέγω αυτό γνωρίζοντας ότι η επεξήγηση με κατανοητό λόγο ενός σχετικά δύσκολου κλάδου της επιστήμης είναι μεγάλη πρόκληση, ειδικά για εκείνους/εκείνες που εργάζονται καθημερινά στην αιχμή του δόρατος της επιστήμης τους. Η πολυετής διδακτική πείρα του καθηγητή Κ. Τσίγκανου του έχει επιτρέψει να τοποθετήσει τον εαυτό του στη θέση αναγνωστών διαφόρων ταχυτήτων και να ευρύνει την περιγραφή ανάλογα με τη δυσκολία του θέματος. Όμως το κύριο χαρακτηριστικό του βιβλίου είναι ότι η περιγραφή των φαινομένων είναι επιστημονικά άψογη και η πληροφόρηση για όλες τις ανακαλύψεις απόλυτα εκσυγχρονισμένη.

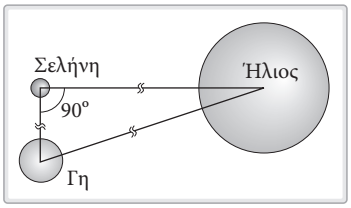
Πρέπει να ομολογήσω ότι βιβλίο στο εν λόγω θέμα αυτού του επιπέδου, απευθυνόμενο στο ευρύ κοινό, δεν έχει περιέλθει στην αντίληψή μου ούτε στην Αγγλική γλώσσα. Δηλαδή ο αναγνώστης είναι στην προνομιακή θέση να ενημερωθεί για την ιστορία και τις σύγχρονες εξελίξεις και γνώση του ηλιακού συστήματος, και πέραν αυτού, με ένα βιβλίο που δεν υπάρχει σε άλλη χώρα.

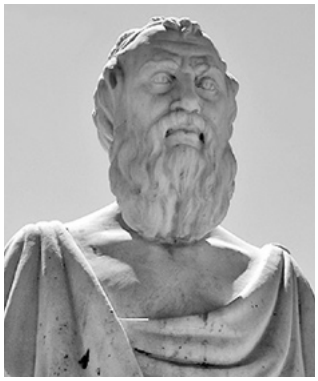
Συγχαίρω τον καθηγητή Κ. Τσίγκανο για το πόνημα αγάπης που μας προσέφερε και το συνιστώ ενθουσιωδώς στο «*σκεπτόμενο ευρύ κοινό*» και όχι μόνο.

Αντί Προλόγου και Ευχαριστίες

Τα δίδυμα βιβλία «**Ένα γαλάζιο πετράδι στο Διάστημα**» και «**Το εκπληκτικό Σύμπαν**» γράφτηκαν κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 κατά το οποίο συμπληρώθηκε ένας αιώνας από την ίδρυση της Διεθνούς Αστρονομικής Ενώσεως (International Astronomical Union, IAU, 1919). Η IAU είναι η παγκόσμια ένωση των αστρονόμων, κατόχων σχετικού διδακτορικού διπλώματος που αριθμεί σήμερα 82 κράτη-μέλη και 14.136 αστρονόμους από 107 χώρες, με την Ελλάδα να είναι ένα από τα πρώτα επτά ιδρυτικά της μέλη.

Πρωτοπόροι αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι υπήρξαν ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310-230 π.Χ.), που πρότεινε το ηλιοκεντρικό σύστημα, ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος (276-194 π.Χ.) που μέτρησε με αξιοθαύμαστη ακρίβεια την περίμετρο της Γης και ο Ίππαρχος ο Ρόδιος (190-120 π.Χ.), που εισήγαγε τα αστρικά φωτομετρικά μεγέθη. Ο Αρίσταρχος παρατηρώντας την κίνηση της Σελήνης διαμέσου της σκιάς της Γης κατά τη διάρκεια μιας έκλειψης Σελήνης εκτίμησε ότι η διάμετρος της Γης είναι τριπλάσια της διαμέτρου της Σελήνης (αληθής τιμή≅3,67). Παρατήρησε και υποστήριζε ότι, τη στιγμή του πρώτου ή του τελευταίου τετάρτου της Σελήνης, το τρίγωνο ΗΣΓ, με κορυφές στον Ήλιο (Η), τη Σελήνη (Σ) και τη Γη (Γ) είναι ορθογώνιο στη Σελήνη (Σ). Εκτίμησε ότι η γωνία με κέντρο τη Γη ΗΓΣ≅87° (αληθής τιμή=89,853°) και η γωνία ΓΗΣ=3°. Χρησιμοποιώντας σωστά τη Γεωμετρία [επειδή 1/συν(87°)= ΓΗ/ΓΣ≅19], συμπέρανε ότι ο Ήλιος ήταν 19 φορές πιο μακριά από τη Γη από ό,τι η Σελήνη (στην πραγματικότητα ο Ήλιος είναι περίπου 1/συν(89,853°)= ΓΗ/ΓΣ≅390 φορές πιο μακριά, με τη διαφορά να οφείλεται στη εσφαλμένη γωνία παρατήρησης ΗΓΣ). Παρατήρησε επίσης ότι η Σελήνη και ο





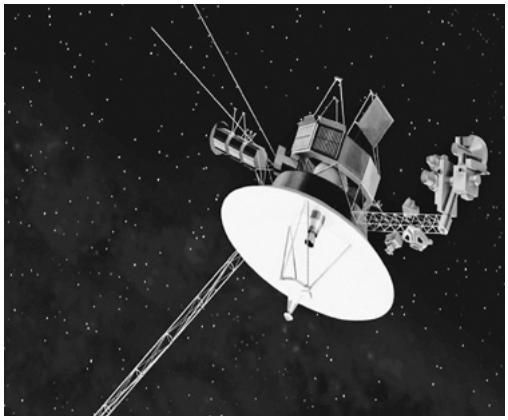
Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310 π.Χ. - περίπου 230 π.Χ.) είναι ο πρώτος φυσικός φιλόσοφος μετά τους Πυθαγορείους, ο οποίος πρότεινε το ηλιοκεντρικό μοντέλο του Ηλιακού Συστήματος, θέτοντας τον Ήλιο και όχι τη Γη, στο κέντρο του γνωστού Σύμπαντος. Οι ιδέες του όμως περί Αστρονομίας φαίνεται να μην είχαν γίνει αρχικά αποδεκτές. Περίπου δύο χιλιάδες χρόνια μετά (1543), ο Κοπέρνικος στηριζόμενος στις θεωρίες του Αρίσταρχου και των Πυθαγορείων, όπως ο ίδιος επισημαίνει στην εισαγωγή του έργου του *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), επανεισήγαγε το ηλιοκεντρικό σύστημα, όπως το γνωρίζουμε σήμερα, αν και η αναφορά στον Αρίσταρχο διεγράφη αργότερα πιθανώς από τον εκδότη του έργου.

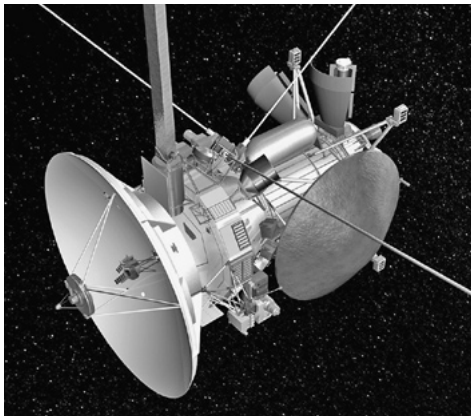
Ήλιος έχουν σχεδόν την ίδια φαινόμενη γωνιακή διάμετρο από τη Γη. Από αυτό συμπέρανε ότι ο λόγος των διαμέτρων τους θα είναι ίσος με το λόγο των αποστάσεών τους από τη Γη. Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο Ήλιος είχε περίπου 19 φορές μεγαλύτερη διάμετρο από τη Σελήνη (δηλ., 6,33 φορές μεγαλύτερη διάμετρο από τη Γη), κάτι που είναι υπολογιστικά λογικό. **Επομένως, σκέφθηκε πως δεν είναι δυνατόν να περιστρέφεται ένας τόσο μεγάλος Ήλιος γύρω από μια πολύ μικρότερη Γη! Αυτά τα δεδομένα τον οδήγησαν σε ένα ηλιοκεντρικό Σύμπαν.** Ο Αρχιμήδης στη μαθηματική πραγματεία του «Ψαμμίτης» γράφει: «Ἀρίσταρχος δὲ ὁ Σάμιος ... υποτίθεται γὰρ τὰ μὲν ἀπλανέα τῶν ἄστρων καὶ τὸν ἅλιον μένειν ἀκίνητον, τὰν δὲ γᾶν περιφέρεσθαι περὶ τὸν ἅλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν,...».

Ο πρώτος αυτός τόμος «**Ένα γαλάζιο πετράδι στο Διάστημα**» τοποθετεί τη Γη στο τοπικό αστρονομικό επίκεντρο, με τον Ήλιο, το μητρικό της άστρο, από τη μια πλευρά της και τα αδέλφια της πλανήτες και τα ξαδέλφια της εξωπλανήτες, από την άλλη. Διηγείται πως 100 χρόνια μεγάλων ανακαλύψεων οδήγησαν στην κατανόηση του ζωοδότη άστρου της Ήλιου, από τη μια της πλευρά και του πλανητικού συστήματος από την άλλη. Παράλληλα, αναφέρει και τις μεγάλες πρόσφατες ανακαλύψεις των συγγενών της Γης εξωπλανητών, που αντανακλούν και επηρεάζουν άλλωστε την κραυγαλέα μοναχικότητά της στο Διάστημα.

Ο δεύτερος τόμος «**Το Εκπληκτικό Σύμπαν**» ανιστορεί τον χρυσό αιώνα των συναρπαστικών ανακαλύψεων που έφεραν κυριολεκτικά τα πάνω-κάτω στην αστροφυσική και την κοσμολογία: αναπάντεχες ανακαλύψεις ταχύτατα περιστρεφόμενων πάλσαρς, αινιγματικών μελανών οπών, ερυθρών γιγάντων και λευκών νάνων, σκοτεινής ύλης και σκοτεινής ενέργειας και η παρατήρηση της κατανομής των γαλαξιών σε έναν αραχνένιο κοσμικό ιστό με συγκεντρώσεις σε σμήνη, υπερσμήνη, νήματα κ.ά. Επίσης, περιγράφει την παράδοξα επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος, τη διάχυτη κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων, τα βαρυτικά κύματα που ανιχνεύονται από τις συγχωνεύσεις αστεριών νετρονίων και μελανών οπών, την πιθανή ύπαρξη πολυ-Συμπάντων, κ.ά.

Και τα δύο βιβλία *απευθύνονται* στο **σκεπτόμενο ευρύ κοινό** που δεν διαθέτει ενδεχομένως τις τεχνικές γνώσεις και γι' αυτό είναι πρώτιστα γραμμένα χαλαρά, χωρίς μαθηματικά και δύσκολες προχωρημένες έννοιες, έτσι ώστε όλα να εξηγούνται απλά και με κατανοητό τρόπο. Στοχεύουν, δηλαδή, προς άπαντες όσους Αριστοτελικά «του ειδέναι ορέγονται φύσει» και επιθυμούν να κατανοήσουν τη θέση μας στο ευρύτερο κοσμικό περιβάλλον που ζούμε.





(πάνω αριστερά). Το ιστορικό διαστημόπλοιο της NASA *Voyager 1*, που σήμερα (Ιούνιος 2020) ευρίσκεται σε απόσταση 150 αστρονομικών μονάδων. (πάνω δεξιά) Το εξαιρετικό διαστημόπλοιο *Cassini* που τερμάτισε την αποστολή του τον Σεπτέμβριο 2017, αφού εξερεύνησε το σύστημα του Κρόνου. (κάτω) Το ρομποτικό όχημα (ρόβερ) *Curiosity* το οποίο εξερευνά τον κρατήρα Γκέιλ στον Άρη, ως μέρος της αποστολής της NASA Mars Science Laboratory.

Απευθύνονται προς όσους θέλουν να μάθουν τα μυστικά της γιγάντιας ηλιακής σφαίρας που στο βαθύ εσωτερικό της δουλεύει ασταμάτητα ένα θερμοπυρηνικό εργοστάσιο για να μας τροφοδοτεί με οικολογική ενέργεια, πηγή κάθε μορφής ζωής στη Γη, παράγοντας συγχρόνως τα ακριβοθώρητα νετρίνα που μας βομβαρδίζουν κατά δισεκατομμύρια ανά δευτερόλεπτο· του Ήλιου που περιοδικά βρυχάται με τεράστιες εκρήξεις, περιβάλλοντας έτσι εκτός από αγάπη και με μίσος τη Γη και τους άλλους πλανήτες του· του Ήλιου του Ηλιάτορα του Ελύτη που ανατέλλοντας κάθε δροσερό πρωινό, χρωματίζει με χρυσές πινελιές τη ροδοδάκτυλη αυγή και ομορφαίνει τη γλυκιά δύση μιας ζεστής καλοκαιρινής ημέρας.

Απευθύνονται προς όσους θέλουν να μάθουν για τις οικογένειες των μικρών βραχωδών αλλά και των μεγάλων αέριων και παγωμένων πλανητών, με πολυάριθμους δορυφόρους να στροβιλίζονται γύρω από τους αέριους γίγαντες εξ αυτών· των πλανητών που εξερεύνησαν τις τελευταίες δεκαετίες διαστημικές αποστολές που ήταν καλά εξοπλισμένες με επιστημονικά όργανα και προηγμένα ρομποτικά συστήματα και αποκάλυψαν παντού στο πλανητικό σύστημα την ύπαρξη *νερού*· που αποκάλυψαν υπόγειους ωκεανούς και εντυπωσιακά ενεργά ηφαίστεια, λίμνες και ποταμούς υδρογονανθράκων, θολές ατμόσφαιρες πορτοκαλί απόχρω-

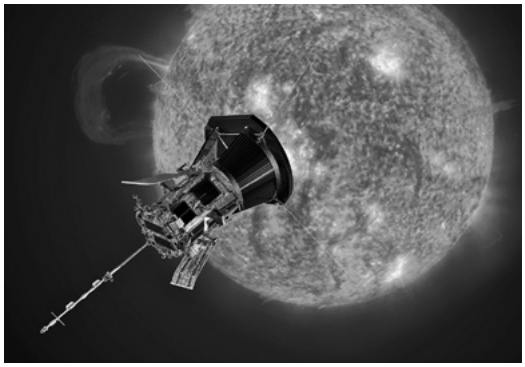
σης με βροχές υγρού μεθανίου και παγωμένες πεδιάδες αζώτου που περιστοιχίζονται από ψηλά βουνά που αποτελούνται από σκληρό πάγο· όλα αυτά εξάπτουν τη φαντασία και προσμονή για το αν πέραν της Γης, τελικά και οι άλλοι πλανήτες και δορυφόροι τους διαθέτουν συνθήκες φιλόξενες κάποιων εξωτικών μορφών ζωής.

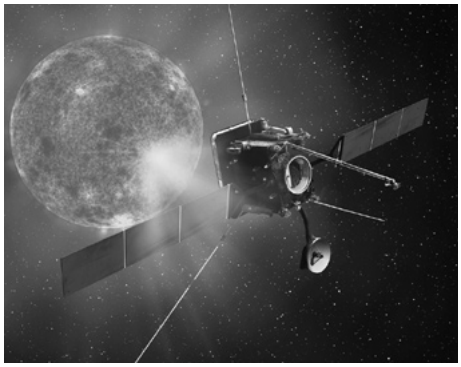
Απευθύνονται προς όσους θέλουν να μάθουν για τα τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων των φωτεινών αστρικών κουκκίδων – οι οποίες ξεπερνούν σε αριθμό όλους τους κόκκους της άμμου πάνω στη Γη – που τρεμοπαίζοντας στον νυχτερινό ουρανό μας εγείρουν ερωτήματα για το πώς γεννήθηκαν και τελικά πώς θα πεθάνουν· τους εμβρυϊκούς και νεογέννητους αστέρες, που στην προσπάθειά τους να αποκοπούν από τον ομφάλιο λώρο του νεφελώματος που τους γέννησε και να ενηλικιωθούν εκπέμπουν από τους περιβάλλοντες δίσκους προσρόφησης πολύ καλά εστιασμένους πίδακες· τα συντριβάνια αυτά αφαιρούν, ως *ο από μηχανής Θεός*, τη στροφορμή του υλικού του δίσκου προκειμένου να σχηματισθεί ένα ενήλικο άστρο όπως ο Ήλιος· για τα αναρίθμητα αυτά αστέρια που μας κάνουν να αναρωτιόμαστε για το αν στους παρατηρούμενους πλανήτες που τα συνοδεύουν υπάρχουν φιλικές για τη ζωή συνθήκες, και ποιος ξέρει, ενδεχομένως και κάποιες μορφές ζωής;

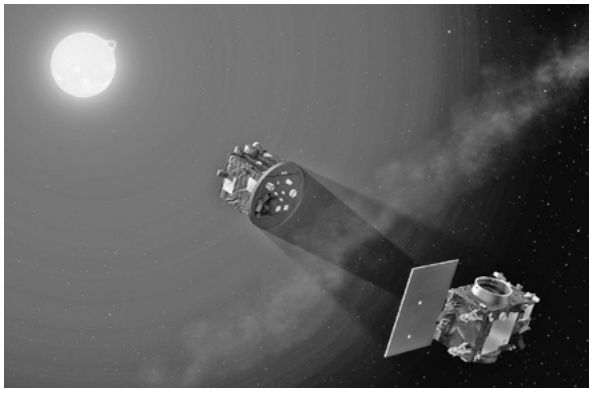
Απευθύνονται προς όσους αφήνουν τη φαντασία τους να καλπάσει ακόμη μακρύτερα, στους αναρίθμητους γαλαξίες με τα εκατοντάδες δισεκατομμύρια των αστεριών και των εξωπλανητών, που σαν νησιά του Σύμπαντος είναι διάσπαρτοι στους ωκεανούς του κοσμικού χωρόχρονου, στις ιλιγγιώδεις αποστάσεις των δισεκατομμυρίων ετών φωτός· τους ιδιόμορφους γαλαξίες που οι περισσότεροι εξ αυτών φέρουν τα «καλλιτεχνικά ψευδώνυμα» των Ραδιογαλαξιών, Κβάζαρς, Μπλάζαρς, Σήφερτς, κ.α. και φιλοξενούν στα κέντρα τους τεράστιες μελανές οπές δισεκατομμυρίων ηλιακών μαζών, γύρω από τις οποίες στροβιλίζονται δίσκοι προσρόφησης ύλης· από ορισμένους μάλιστα, τους μυστηριώδεις κβάζαρς, αναβλύζουν λεπτοί πίδακες πλάσματος που ταξιδεύουν με ταχύτητες πολύ κοντά στην ταχύτητα του φωτός και εκτείνονται ανέπαφα εστιασμένοι μέχρι αποστάσεις εκατομμυρίων ετών φωτός!

Και, τέλος-τέλος *απευθύνονται* προς όσους επιζητούν να μάθουν για πρόσφατες επιστημονικές απαντήσεις για αυτό καθαυτό το Σύμπαν στο οποίο ζούμε και παρατηρούμε, τον τρόπο δημιουργίας του, την εξέλιξή του και την τελική μοίρα του· την μη αναμενόμενη επιταχυνόμενη διαστολή του που προκαλείται από την αντιβαρύτητα της σκοτεινής ενέργειας· τις τελευταίες βελτιώσεις της περιγραφής της *Μεγάλης Έκρηξης* που επέφερε η θεωρία του πληθωρισμού με την εκθετική διαστολή του Σύμπαντος· ακόμη για την πιθανή ύπαρξη άλλων εξωτικών πολυ-Συμπάντων όπου ωστόσο δεν φαίνεται οι φυσικοί νόμοι και παγκόσμιες σταθερές να είναι κατάλληλα προεπιλεγμένες (fine tuned) από τον Δημιουργό τους για να φιλοξενήσουν νοήμονα ζωή!

Σ' αυτόν λοιπόν τον **σκεπτόμενο αναγνώστη** απευθύνονται τούτα τα δυό μας βιβλία. Ως γνωστόν, έχουν εκδοθεί αρκετά βιβλία με «παραμυθένιες διηγήσεις»







Τα διαστημόπλοια Parker Solar Probe της NASA (πάνω αριστερά) και Solar Orbiter της ESA (πάνω δεξιά), σήμερα σε πολύ κοντινή τροχιά γύρω από τον Ήλιο, καθώς επίσης και (κάτω) ο γιγαντιαίος στεμματογράφος των δίδυμων διαστημοπλοίων σε σχηματισμό Proba 3 ο οποίος προγραμματίζεται να τεθεί σε τροχιά το 2022, με Ελληνική μάλιστα συμμετοχή.

που πλέκονται γύρω από θέματα της αστρονομίας. Επίσης, βιβλία από συγγραφείς που δεν υπήρξαν ωστόσο ποτέ ερευνητές της αστροφυσικής. Χρήσιμα και αυτά. Το περιεχόμενο όμως και ο στόχος στα δίδυμα αυτά βιβλία μας είναι εντελώς διαφορετικά. Εδώ η στόχευσή μας είναι ο σκεπτόμενος συμπολίτης μας να κατανοήσει τη *μοναδικά προνομιακή* θέση μας μέσα σε τούτο το εκπληκτικό, πολυποίκιλλο και δυναμικό Σύμπαν, όπου διερχόμεθα τη σύντομη βιοτή μας· και αυτό σύμφωνα με τις τελευταίες συναρπαστικές καρέ-καρέ ανακαλύψεις της σύγχρονης διαστημικής και αστροφυσικής και αυτών του τελευταίου αιώνα.

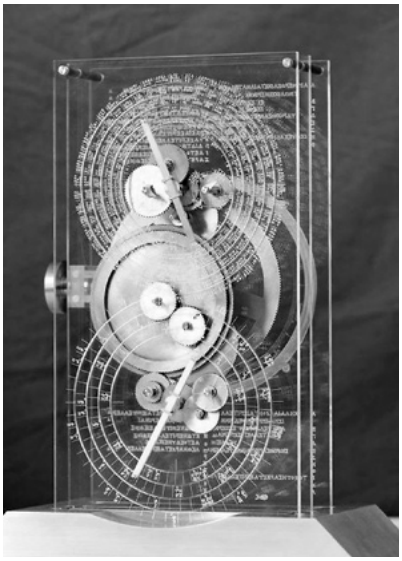
Να *φιλοσοφήσει* ενδεχομένως βλέποντας μια φωτογραφία της Γης μας από την απόσταση πολλών δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων, σαν μια *μικρή αχνή γαλάζια κουκκίδα* να αρμενίζει αιωρούμενη, παντέρμη μέσα στο σκοτεινό αχανές διάστημα και να αναρωτηθεί εντέλει και για το δικό του ρόλο σαν επιβάτη αυτού του εύθραυστου και ίσως μοναδικού κοσμικού διαστημοπλοίου· να αναρωτηθεί εν τέλει αν και ο δικός του τρόπος ζωής βοηθά ώστε αυτό να διατηρηθεί και παραδοθεί αλώβητο στις επόμενες γενιές.

Να *φιλοσοφήσει* ακόμη βλέποντας τη φωτογραφία μιας γιγαντιαίας μελανής οπής να λουφάζει στην καρδιά ενός μακρινού γαλαξία σε απόσταση δεκάδες εκα-

τομμύρια έτη φωτός, καταπίνοντας λαίμαργα ολόκληρες ηλιακές μάζες κάθε έτος και εκτοξεύοντας τα περισσεύματα του «δείπνου» της με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός, επιβεβαιώνοντας έτσι τη θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν· ή, να κατανοήσει πως ο χρυσός στα κοσμήματά μας δημιουργήθηκε ως παραπροϊόν της συγχώνευσης δύο αστεριών νετρονίων που χόρευαν με ένα θανάσιμο εναγκαλισμό, σε κάποια απομακρυσμένη γωνιά του Σύμπαντος.

Όλα αυτά βέβαια παρατίθενται χωρίς η διήγηση να χάνει παράλληλα τη συγκρότηση ενός εκλαϊκευμένου μεν αλλά κυρίως επιστημονικού βιβλίου. Έτσι, παράλληλα με το ανειδίκευτο κοινό, τα βιβλία τούτα μπορεί να φανούν χρήσιμα και σε φοιτητές και συναδέλφους όλων των επιστημών, και όχι μόνο.

Η ενασχόληση μου με την έρευνα στην περιοχή της αστροφυσικής πλάσματος, τη διδασκαλία και την εκλαΐκευση της αστροφυσικής και της διαστημικής διανύει ήδη περί τον μισό αιώνα· μια ενασχόληση με διδασκαλία από το πανεπιστημιακό αμφιθέατρο στην Ελλάδα και το εξωτερικό· τη συγγραφή διδακτικών εγχειριδίων για φοιτητές· τη μετάφραση στην Ελληνική γλώσσα τόμων μαθηματικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται ήδη από δεκάδες Πανεπιστημιακά τμήματα· ακόμη και τη διοίκηση, ερευνητική αναδιοργάνωση, δημιουργία νέων κτηρίων και κέντρων επισκεπτών και γενικά αναμόρφωση του αρχαιότατου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών· πρωταρχικά όμως με την έρευνα και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της σε διεθνείς συναντήσεις. Είχα επίσης την ευκαιρία της διοργάνωσης αρκετών διεθνών συνεδρίων στην όμορφη χώρα μας, τα οποία παρακολούθησαν πολλοί νέοι ερευνητές, οι οποίοι κατέχουν τώρα πανεπιστημιακές θέσεις στον διεθνή χώρο και ομολογούν ότι τους έχουν μείνει αξέχαστα. Αυτές τις δραστηριότητες συνεχίζω σήμερα, με τη νέα μου ιδιότητα πλέον του ομότιμου καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών. Αλλά το παρόν πόνημα εκπληρώνει και μια ακόμη επιθυμία μου, που τη θεωρώ και υποχρέωση συνάμα: να καταστήσω κοινωνούς των γενικότερων επιτευγμάτων της επιστήμης μου το ευρύτερο κοινό, που ίσως δεν διαθέτει τις τεχνικές γνώσεις, μιας και οι εκατοντάδες δημοσιεύσεις μας είναι γραμμένες αναγκαστικά στη γλώσσα των μαθηματικών και της εξειδικευμένης επιστημονικής ορολογίας και γι' αυτό δεν είναι προσβάσιμες στο ευρύ κοινό.



Μοναδικό αντίγραφο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, σε κλίμακα 3:1, το οποίο ο συγγραφέας προμήθευσε το 2016 και τώρα εκτίθεται στο ιστορικό κτήριο Σίνα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στο Θησείο.

Ευχαριστώ θερμά τον ακαδημαϊκό **Σταμάτη Κριμιζή**, τον αδιαμφισβήτητο πρύτανη του Διαστήματος, για την καλοσύνη του να διαβάσει αυτόν τον 1ο τόμο και να γράψει ένα σύντομο πρόλογο, καθώς επίσης να μου διαθέσει πρωτογενές υλικό από την εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος. Ο καθ. Σταμάτης Κριμιζής είναι ένας κορυφαίος και διεθνώς καταξιωμένος πρωτοπόρος της εξερεύνησης του Διαστήματος, με πολλές εκατοντάδες ερευνητικές δημοσιεύσεις στη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ τα επιστημονικά όργανα που έχει κατασκευάσει έχουν διασχίσει όλο το πλανητικό μας σύστημα και ταξιδεύουν σήμερα ακόμη και πέρα από αυτό· παράλληλα, είναι ένας *ευπατρίδης* που μεταφέρει τη μοναδική επιστημονική εμπειρία του, πάντα με γλαφυρό τρόπο, σε κάθε πρόσκληση που του απευθύνεται από εκπαιδευτικά ιδρύματα, πολιτιστικά δρώμενα εκλαΐκευσης της επιστήμης, κ.α.* Σίγουρα αποτελεί φωτεινό παράδειγμα για όλους μας. Είχα την αγαθή τύχη να γνωρίσω και να εμπνευσθώ από τη μεγάλου βεληνεκούς επιστημονική προσωπικότητά του.

Ευχαριστώ επίσης τον **π. Νικόλαο Χατζηνικολάου** (γνωστόν εκκλησιαστικά ως Μητροπολίτη Μεσογαίας & Λαυρεωτικής) για τον εμπνευσμένο πρόλογό του στον 2ο τόμο, τον οποίο ομολογώ ότι και ο ίδιος διάβασα *απνευστί*, όπως ελπίζω και οι αναγνώστες τούτου του πονήματος. Θεωρώ πως είχα την αγαθή τύχη να γνωρίσω τον Νικόλαο Χατζηνικολάου, όταν πραγματοποιούσε αυτός μεν τις μεταπτυχιακές του σπουδές στο Τμήμα Αστρονομίας του Πανεπιστημίου του Harvard, εγώ δε τη μεταδιδακτορική μου έρευνα στο Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics και παράλληλα διδασκαλία στο Τμήμα Φυσικής του ίδιου Πανεπιστημίου. Ο Νικόλαος Χατζηνικολάου ολοκλήρωσε μετέπειτα τη διδακτορική του διατριβή (Biomedical Engineering) σε κοινό πρόγραμμα των Harvard - MIT, circa 1985. Τα γενικότερα φιλοσοφικά και υπερφυσικά ερωτήματα που αναδύονται από τις ανακαλύψεις που περιγράφονται στα δύο αυτά βιβλία αποτελούν τον αθέατο σύνδεσμο της αδελφικής φιλίας και αμοιβαίας εκτίμησης, που μας ενώνουν αμείωτα, παρά το πέρασμα τόσων δεκαετιών που έχουν μεσολαβήσει έκτοτε. Παράλληλα, θεωρώ τυχερή τη χώρα μας και την Ελληνική Εκκλησία να διαθέτει στις υψηλόβαθμες τάξεις της, μια τέτοιου βεληνεκούς προσωπικότητα.

Είμαι ευγνώμων και στους διακεκριμένους ερευνητές Θανάση Οικονόμου του Πανεπιστημίου του Chicago και Άγγελο Βουρλίδα του Πανεπιστημίου Johns Hopkins, οι οποίοι μου παρείχαν υλικό από την εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος και του Ήλιου μας, αντίστοιχα.

Το έτος 2019 ήταν για εμένα μια έντονη περίοδος επιλογής των συναρπαστικότερων – κατά τη γνώμη μου – ανακαλύψεων της αστροφυσικής και διαστημικής από της ιδρύσεως της Διεθνούς Αστρονομικής Ενώσεως (IAU) μέχρι σήμερα. Ήταν σημαντική η κατανόηση που ενέδειξαν η σύζυγός μου και τα παιδιά μας, κατά την πο-

* Βλ. το πρόσφατο βιβλίο Σ. Κριμιζής, *Όλα σε μια ζωή – Από τον Ήλιο στο Γαλαξία*, Εκδόσεις Παπαδόπουλος (2020).

λύωρη ενασχόλησή μου με αυτό το δίτομο πόνημα, γι' αυτό τους είμαι ευγνώμων.

Ευχαριστώ τη φιλόλογο κα Δέσποινα Καπογιάννη-Μαργαρίτη, τ. Διευθύντρια του Αρσάκειου Γυμνασίου Ψυχικού, για τη φιλολογική επιμέλεια του βιβλίου.

Στο ίδιο πνεύμα, ευχαριστώ τους επιστημονικούς μου συνεργάτες, με τους οποίους έχουμε συν-δημοσιεύσει εκατοντάδες δημοσιεύσεις σε έγκυρα επιστημονικά περιοδικά, ξεκινώντας με τον εμβληματικό καθηγητή και διαπρεπέστερο εν ζωή σήμερα αστροφυσικό, Eugene Parker του Πανεπιστημίου του Chicago, επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής. Ο Gene Parker έχει επιπλέον τη μοναδικότητα να δοθεί για πρώτη φορά από τη NASA το όνομά του σε μια αποστολή εξερεύνησης του Ήλιου, τον Parker Solar Probe. Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή Robert Rosner, συνεργάτη μου στο Πανεπιστήμιο Harvard. Στη συνέχεια ακολουθεί ο μακρύς κατάλογος των επιστημονικών συνεργατών και διδακτορικών μου φοιτητών, ορισμένοι εκ των οποίων είναι σήμερα προικισμένοι ακαδημαϊκοί δάσκαλοι σε πανεπιστήμια του εξωτερικού: Christophe Sauty, καθηγητή στο Universite de Paris VII και Observatoire de Paris, Joao Lima, καθηγητή στο University of Porto, Βασίλη Αρχοντή, Lecturer στο St. Andrews University, Οδυσσέα Διονάτο, ερευνητή στο ιστορικό Institute of Astrophysics του Πανεπιστημίου της Βιέννης, Πέτρο Συντελή, ερευνητή στο μακρινό St. Andrews University, Τίτο Ματσάκο, ερευνητή σε εταιρεία του Η.Β., τους ερευνητές Matthias Stute και Jose Garcia, ερευνητές σε Γερμανικά Πανεπιστήμια, Gordon Petrie, ερευνητή στις ΗΠΑ, τους συνεργάτες μου στο Πανεπιστήμιο του Torino, καθηγητές Attilio Ferrari, Edo Trussoni, Silvano Massaglia και Andrea Mignone με τον οποίο διδάσκουμε το μεταπτυχιακό μάθημα της αστροφυσικής πλάσματος στο Πανεπιστήμιο του Torino. Τέλος, στο παλαίφατο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, τους συνεργάτες Ιωάννη Δαγκλή, καθηγητή της Διαστημικής Φυσικής και Νεκτάριο Βλαχάκη, καθηγητή αστροφυσικής και έναν από τους πρώτους διδακτορικούς μου φοιτητές.

Δεν πρέπει να παραλείψω να ευχαριστήσω και τις πρωτοποριακές Εκδόσεις Ζήτη και ειδικότερα τον Άρη Σύρμο και την Άννα Παναγοπούλου, για την άψογη συνεργασία μας και τη μεγάλη υπομονή τους που οδήγησε τελικά στην άρτια παραγωγή αυτού του πονήματος, μετατρέποντας ένα σκέτο κείμενο σε αυτό το ανά χείρας εκδοτικό καλλιτέχνημα.

Κλείνοντας, αισθάνομαι ευγνώμων και προς όλους τους φιλομαθείς ακροατές των ομιλιών μου (όπως στο Ελεύθερο Πανεπιστήμιο της Φιλεκπαιδευτικής Εταιρείας, στη Στοά του Βιβλίου), οι οποίοι συνεχώς με παρότρυναν στη συγγραφή αυτού του δίτομου πονήματος ιδιαίτερα κατά το έτος 2019, κατά το οποίο η IAU με είχε ορίσει εθνικό εκπρόσωπο για την εκατονταετηρίδα από της ιδρύσεώς της (1919).

Κανάρης Τσίγκανος

Αθήνα, 29 Ιουλίου 2020

Περιεχόμενα

Πρόλογος Ακαδημαϊκού Σταμάτη Κριμιζή vii

Αντί Προλόγου και Ευχαριστίες ix

Προλεγόμενα 1

- Η Γη, «ένα μικρό εύθραυστο αλλά πολύτιμο πετράδι» στο Διάστημα 3
- Ένα «γαλάζιο» πετράδι 6
- Ο ζωοδότης Ήλιος: αυτός που «φωτίζει» το γαλάζιο πετράδι 10
- Τα 7 *θαυμάσια* του πλανητικού μας συστήματος 13
- Υπάρχουν *άλλα* παρόμοια *γαλάζια πετράδια* στο Σύμπαν; 25
- Το παράδοξο του Fermi 26
- Ένα αστέρι του μεγέθους της Γης από *διαμάντι* 27
- Χρονολογικοί πίνακες κυριότερων ανακαλύψεων 28

Κεφάλαιο 1 Ήλιος

Εισαγωγή 39

Ο ηλιακός πυρήνας 41

- Ο γιγαντιαίος ηλιακός θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας 42

Τα «ακριβοθώρητα» ηλιακά νετρίνα 42

1968: Το περίφημο πρόβλημα των ηλιακών νετρίνων 45

1998, 1999: Επίλυση του προβλήματος των ηλιακών νετρίνων 48

- Μια μελανή οπή στο ηλιακό κέντρο; 52

1906: Οι ηλιακές ζώνες της ακτινοβολίας και της μεταφοράς 53

1962: Ηλιοσεισμολογία: «ακούγοντας» τη μουσική και έτσι αποκρυπτογραφώντας τα μυστικά του εσωτερικού του Ήλιου 56

- Η πρόβλεψη του Eddington 57

2002: Ανακάλυψη αναπάλσεων και σε άλλους αστέρες (Αστεροσεισμολογία) 62

- Η κοσμική μουσική των παλλόμενων αστέρων 64

1980: Ανακάλυψη της (αθέατης) περιστροφής του εσωτερικού του Ήλιου και των αστέρων ... 65
↳ Ηλιοσεισμολογία και Αστεροσεισμολογία ... 67
Η εξέλιξη του Ήλιου: Θα σβήσει ποτέ, και αν ναι, πόσο γρήγορα; ... 68
1η φάση: Η βρεφική και νεανική ηλικία του Ήλιου ... 70
2η φάση: Η ώριμη ζωή του Ήλιου πάνω στην Κύρια Ακολουθία ... 71
3η φάση: Η σταδιακή μεταμόρφωση του νάνου Ήλιου σε γίγαντα ... 72
4η φάση: Λευκός Νάνος, το τελικό ηλιακό «πτώμα» ... 75
↳ Θα σβήσει κάποτε ο Ήλιος; ... 77
2019: Τι θα έχει απογίνει το πλανητικό μας σύστημα όταν ο Ήλιος καταλήξει σε *Λευκό Νάνο*; ... 77
1933: Η εξέλιξη των αστέρων και η σύγκρουση δύο γιγάντων της επιστήμης, A. Eddington και S. Chandrasekhar, μπροστά στις πύλες της «αστροφυσικής κόλασης» (τις μελανές οπές) ... 79
↳ Η σφοδρότητα των σωματιδιακών συγκρούσεων στην καρδιά των άστρων… ... 80
↳ Truth and Beauty - Αλήθεια και Ομορφιά ... 86
↳ Chandrasekhar: Ένας αφιερωμένος ακαδημαϊκός δάσκαλος ... 87
1908: Πρώτη ανακάλυψη ισχυρών μαγνητικών πεδίων στον Ήλιο και του κυρίαρχου ρόλου τους στην ηλιακή ατμόσφαιρα ... 88
↳ Η άνοδος αέριων φυσαλίδων σε ένα ενυδρείο είναι παρόμοια με την άνοδο του μαγνητικού πεδίου από το ηλιακό εσωτερικό! ... 96
1961: Δυναμό, η ηλεκτρογεννήτρια του Ήλιου ... 97
Τα μαγνητικά ηλιακά πυροτεχνήματα ... 102
1972: Ηλιακά κέντρα δράσης, περιοχές με αντίθετες μαγνητικές πολικότητες ... 104
1976: Ανακάλυψη των φωτοσφαιρικών πυρσών, «πυγολαμπίδων» της κατώτερης ηλιακής ατμόσφαιρας που κερδίζουν σε συνολική εκπομπή τις σκοτεινές κηλίδες ... 105
1974: Χρωμοσφαιρικό δίκτυο, ένας φωτεινός «ιστός αράχνης» απλωμένος πάνω στη χρωμόσφαιρα ... 107
1877: Χρωμοσφαιρικοί πίδακες, ένα «φλεγόμενο λιβάδι», με εκατοντάδες χιλιάδες φλόγες ... 108
↳ Ηχητικά κύματα από εκατομμύρια καμπάνες… ... 109
1991: Ηλιακοί στεμματικοί πίδακες, τα γιγαντιαία ανάλογα στον Ήλιο, του θερμοπίδακα «Old Faithful» του Εθνικού Πάρκου των ΗΠΑ στο Yellowstone ... 110
1975: Ηλιακοί βρόχοι, οι πανταχού παρούσες μαγνητικές «αψίδες» της ηλιακής ατμόσφαιρας, οι δομικοί λίθοι του ηλιακού στέμματος ... 113

1973: Εκρηκτικές προεξοχές, τεράστιες αιωρούμενες ασταθείς «κουρτίνες» ψυχρότερου/πυκνότερου πλάσματος από το στέμμα, που εκτοξεύονται στο διάστημα ... 114
1859: Ηλιακές εκλάμψεις, το απόλυτο ηλιακό μένος! ... 116
↳ 1859. Η ισχυρότερη ηλιακή έκλαμψη που έχει ποτέ καταγραφεί! ... 119
↳ Καταστροφικές και δολοφονικές εκλάμψεις… ... 120
↳ Ατυχείς πλανήτες γύρω από «άγριους» αστέρες εκλάμψεων… ... 125
1971: Στεμματικές εκτινάξεις πλάσματος στο διάστημα, μάζας όση περιέχει μια οροσειρά! ... 127
1942: Το ηλιακό στέμμα ... 131
↳ Το άλυτο μέχρι σήμερα πρόβλημα της θέρμανσης του ηλιακού στέμματος ... 135
1958: Θεωρητική πρόβλεψη του Ηλιακού Ανέμου ... 136
↳ Το παρασκήνιο της θεωρίας του Ηλιακού Ανέμου... ... 138
1959-2019: 60 χρόνια παρατήρησης του Ηλιακού Ανέμου – Parker Solar Probe ... 141
1992-2009: Εξερεύνηση του πολικού Ηλιακού Ανέμου με το διαστημόπλοιο Οδυσσέας (ULYSSES) ... 142
1996 - σήμερα: Ανακαλύψεις με το Solar & Heliospheric Observatory (SoHO) ... 143
2006 - σήμερα: Ανακαλύψεις με το Solar TErrestrial RElations Observatory (STEREO) ... 144
2010 - σήμερα: Παρατήρηση του Ήλιου με το Solar Dynamics Observatory (SDO) ... 145
2020: Solar Orbiter – η πιο πρόσφατη αποστολή παρατήρησης του Ήλιου ... 146
2022: Proba 3 – ο πρωτοποριακός διαστημικός ηλιακός στεμματογράφος ... 147
Η Γεω-ηλιακή σύζευξη και ο Διαστημικός Καιρός ... 148
↳ Όταν ο Ήλιος βρυχάται, οι τεχνητοί δορυφόροι «τρέμουν»... ... 155
↳ Η διαστημική κακοκαιρία επιφέρει επίγεια ταλαιπωρία... ... 156
Η περιοδικότητα της ηλιακής δραστηριότητας και οι κοσμικές ακτίνες ... 160
1976: Επίδραση της μεταβλητότητας του Ήλιου στο κλίμα της Γης ... 167
↳ Η εξαφάνιση των Ινδιάνων Ανασάζι λόγω μεγάλης ξηρασίας κατά τη θερμή περίοδο του μεσαιωνικού μεγίστου της ηλιακής δραστηριότητας ... 169
↳ Η μεταβλητή μακροπρόθεσμα ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει το κλίμα της Γης! ... 172
2019: Η νέα επιστήμη πρόγνωσης της ηλιακής δραστηριότητας ... 172
↳ Η Ελληνική διαστημική πολιτική… ... 174

Κεφάλαιο 1: Ήλιος • Έγχρωμες εικόνες ... 175

Κεφάλαιο 2 Το Ηλιακό Πλανητικό Σύστημα

Εισαγωγή - έναρξη του διαστημικού αγώνα δρόμου (1957) 193
1958: Ανακάλυψη των ζωνών ακτινοβολίας van Allen 196
1969: Πρώτη προσελήνωση του ανθρώπου 197
1974-2015: Εξερεύνηση του πλανήτη Ερμή 197
1962-2007: Εξερεύνηση του πλανήτη Αφροδίτη 200
1960-σήμερα: Η ρομποτική εξερεύνηση του πλανήτη Άρη 202
1960-1996: Ο αρχικός Αμερικανο-Σοβιετικός ανταγωνισμός για την εξερεύνηση του πλανήτη Άρη 203
1997: Έναρξη της ρομποτικής εξερεύνησης του Άρη από τη NASA 205
2012: Εξαιρετικές εικόνες από τη ρομποτική εξερεύνηση του Άρη 209
1977: Παίζοντας μπιλιάρδο με τη βαρύτητα, τα διαστημόπλοια και τους πλανήτες στο διάστημα: η έξυπνη βαρυτική υποβοήθηση διαστημοπλοίων 212
2004, 2012, 2014: Το πολικό Σέλας των μεγάλων πλανητών 214
1977: Το μακροβιότερο ταξίδι διαστημοπλοίου στο Σύμπαν 216
1977: Ανακαλύψεις των αποστολών Voyager 1 & 2 217
1979: Η Ιώ, το πολύχρωμο και βίαιο ηφαιστειογενές φεγγάρι του Δία, μοναδικό στο ηλιακό μας σύστημα, με σχεδόν 400 ενεργά ηφαιστειακά κέντρα 219
↳ Η ηφαιστειογενής, πολύχρωμη και βασανισμένη Ιώ… 220
1990: Η αναζήτηση νερού στο πλανητικό μας σύστημα 221
1997: Αναζήτηση νερού στον δορυφόρο του Δία Ευρώπη 222
↳ Υπάρχει ζωή στον υπόγειο αλμυρό ωκεανό της Ευρώπης; 223
2005: Ο μυστηριώδης δορυφόρος του Κρόνου Εγκέλαδος, με πίδακες νερού από έναν υπόγειο ωκεανό 223
↳ Μοριακό υδρογόνο και πολύπλοκα οργανικά μόρια στον ωκεανό του Εγκέλαδου .. 224
2005: Λίμνες υδρογονανθράκων και μια θολή ατμόσφαιρα, πορτοκαλί απόχρωσης με βροχές μεθανίου στον Τιτάνα 225
2015: Νέοι Ορίζοντες πάνω από την παγωμένη «καρδιά» του απώτερου νάνου πλανήτη Πλούτωνα 228
↳ 1990, ένα φωτεινό γαλάζιο πετραδάκι, από την απόσταση του μακρινού Πλούτωνα 231
2012: Η επική έξοδος των Voyager 1 & 2 από την Ηλιόσφαιρα 231
↳ Κοσμικοί ταξιδιώτες… 233
2012: Οἵτινές ποτ' ἔστε χαίρετε! Εἰρηνικῶς πρὸς φίλους ἐληλύθαμεν φίλοι! 233

Κεφάλαιο 2: Το Ηλιακό Πλανητικό Σύστημα • Έγχρωμες εικόνες 235

Κεφάλαιο 3 Η γένεση Άστρων και Πλανητών

Εισαγωγή ... 253
- Τρύπες στον ουρανό… ... 255

1784, 1919: Ανακάλυψη των σκοτεινών μοριακών νεφελωμάτων ... 255
- Ξεχωρίζοντας τα δύο φώτα ενός αυτοκινήτου πάνω στη Σελήνη… ... 257
- Βλέποντας περισσότερο φως μέσα από το σκοτάδι… ... 257
- Οι στήλες της δημιουργίας… ... 259
- Μια πάπια, που δεν γεννά αυγά αλλά αστέρια… ... 260
- Η προβοσκίδα του ελέφαντα… ... 261
- 10^{28} μπουκάλια ουίσκυ σε ένα νεφέλωμα στο Διάστημα … ... 261
- Αστρικά βρεφοκομεία… ... 262
- Το αστρικό μαιευτήριο με τα 1.000 νεογνά στην άκρη του ξίφους του μυθικού κυνηγού Ωρίωνα ... 263
- Ένα διαστημικό πιστόλι που πυροβολεί κάθε 2-3 χρόνια… ... 266

1977: Πρώτη σύνδεση πιδάκων από πρωτοαστέρες με τα νεφελώματα εκπομπής Herbig-Haro ... 267
- Ένα φαντασμαγορικό μυστικιστικό βουνό… ... 269
- Star Wars Episode VII: The Force Awakens… ... 271

1990: Γένεση αστέρων και πλανητών από την ενδοαστρική ύλη ... 272

1970: Γιγαντιαία μοριακά νεφελώματα ... 273

1970: Ανακάλυψη της εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα από τα γιγαντιαία μοριακά νεφελώματα ... 274
- Ο «σιωπηλός δολοφόνος» στη Γη, μας πληροφορεί που ξεκινά ζωή στο Διάστημα ... 276

1902: Βαρυτική αστάθεια Jeans ... 277

1982: Θεωρητική κατανόηση της μαγνητικής επιτάχυνσης και εστίασης ενός δισκοανέμου σε jet ... 278

1982: Απαγωγή στροφορμής από τους πίδακες (jets) ... 280
- Αστρικοί πίδακες: «Ο από μηχανής Θεός»… ... 283

1995: Ανακάλυψη των πρώτων εξωπλανητών ... 284
- Η αστρονομική μας μοναξιά… ... 284
- Οι δυσκολίες παρατήρησης εξωπλανητών ... 285

Μέθοδοι παρατήρησης εξωπλανητών ... 285

1994: Ανακαλύψεις εξωπλανητών με τη μέθοδο των ακτινικών ταχυτήτων ... 286

2019: Βραβείο Nobel Φυσικής στους M. Mayor και D. Queloz για την ανακάλυψη του πρώτου εξωπλανήτη γύρω από ένα ηλιακού τύπου άστρο και τον J. Peebles για τη συμβολή του στην ανάπτυξη της θεωρητικής κοσμολογίας ... 287

1999: Ανακαλύψεις εξωπλανητών με τη μέθοδο της διάβασης 288
1992: Ανακαλύψεις εξωπλανητών με τη μέθοδο της βαρυτικής μικροεστίασης 289
2004: Ανακαλύψεις εξωπλανητών με τη μέθοδο της άμεσης απεικόνισης 291
Αναμενόμενες ανακαλύψεις εξωπλανητών με τη μέθοδο της αστρομετρίας 292
2017: Ανακάλυψη του πολυπληθέστερου σε πλανήτες πλανητικού συστήματος 293
2015: Ανακάλυψη πλανητικών συστημάτων εν τη γενέσει τους με τα Ευρωπαϊκά τηλεσκόπια στη Χιλή (ESO) 294
2019: Ανακάλυψη της πρώιμης φάσης γένεσης διδύμων πλανητικών συστημάτων με το ραδιοσυμβολόμετρο ALMA 296
2019: Συνολικές ανακαλύψεις εξωπλανητών 298
Ένας εξωπλανήτης όπου βρέχει σίδηρο… 301
1950: Το παράδοξο του Fermi 302
2019: Ο «Ελληνικός» εξωπλανήτης HAT-P-42 b, Ιόλαος 303
Μια ανάλαφρη νότα… 306
2019: Ανακάλυψη υδρατμών στην ατμόσφαιρα εξωπλανήτη 309
Πως μια έκλειψη Σελήνης έσωσε τον Χριστόφορο Κολόμβο! 311

Κεφάλαιο 3: Η γένεση Άστρων και Πλανητών • Έγχρωμες εικόνες 315

Κεφάλαιο 4 Επιλεγόμενα

Πάνω και Πέραν 333
Τρεις σημαντικές ανακαλύψεις του τελευταίου αιώνα 334
Περιγραφή της διαστολής του Σύμπαντος με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας 336
Η ρομποτική εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος 336
Η ανακάλυψη των εξωπλανητών 340
Ο άνθρωπος, ο γεωμετρικός μέσος όρος της μικροσκοπικής και μακροσκοπικής κλίμακας 342
Η Γη φαίνεται να κατέχει μια προνομιακή θέση στο Σύμπαν 344
Προαπαιτούμενα ανάπτυξης της ζωής στο κοσμικό περιβάλλον 346

Βιβλιογραφία 353

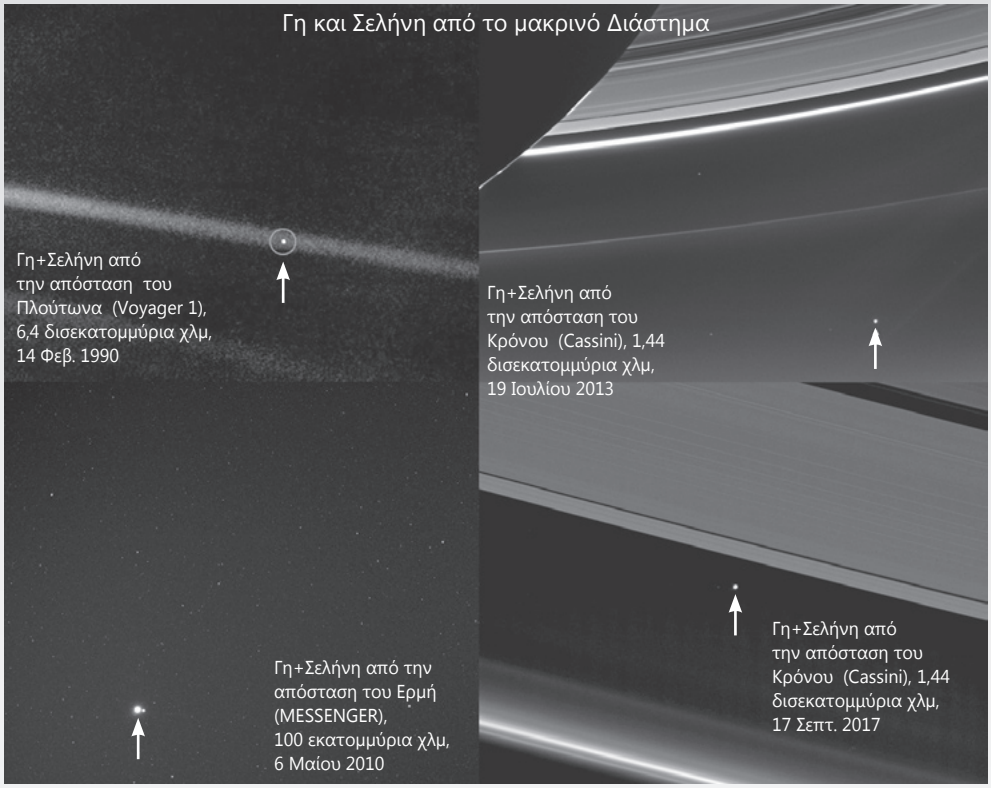
Ευρετήριο Όρων και Ονομάτων 361

Προλεγόμενα

Αυτό που με εξέπληξε ήταν ότι η Γη απέπνεε έναν αέρα ευθραυστότητας. Δεν γνωρίζω γιατί. Δεν γνωρίζω ούτε μέχρι σήμερα. Μου έδωσε όμως την αίσθηση ότι είναι μικροσκοπική, λαμπερή, όμορφη, σπιτική αλλά εύθραυστη…

Αστροναύτης Michael Collins

που διηύθηνε το κυρίως διαστημόπλοιο Columbia της αποστολής Apollo 11 γύρω από τη Σελήνη, όταν οι Neil Armstrong και Buzz Aldrin, πραγματοποιούσαν την πρώτη προσεδάφιση ανθρώπου στη Σελήνη με τη Σεληνάκατο Αετός, 19 Ιουλίου 1969.



Ο Άτλαντας με τη Γη στους ώμους του.

Εικόνα προηγούμενης σελίδας: Τέσσερεις φωτογραφίες του πλανήτη Γη που τραβήχτηκαν κατά τα τελευταία 30 έτη, από τα διαστημόπλοια Voyager 1, MESSENGER και Cassini και από τις μακρινές αποστάσεις των 100 εκατομμυρίων έως περίπου 6 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων. Ταπεινές και όχι τόσο εντυπωσιακές φωτογραφίες, που όμως μας κάνουν να σκεφτόμαστε ποιοι πραγματικά είμαστε, ως κάτοικοι της Γης.

Η Γη, «ένα μικρό, εύθραυστο, αλλά πολύτιμο πετράδι» που ολομόναχο αιωρείται στο Διάστημα

Η τελευταία πανδημία του κορωνοϊού, η οποία δεν γνωρίζει σύνορα, ανέδειξε και μια **αλήθεια**. Έδειξε στον κόσμο, αυτό που γνωρίζουμε πολύ καλά εδώ και καιρό οι αστρονόμοι: **ζούμε όλοι κάτω από τον ίδιο ουρανό!**

Καθώς ο κόσμος μας προσπαθεί ακόμη να ανακαλύψει τι σημαίνει «νέα κανονικότητα», είναι σαφές ότι ο ρόλος της επιστήμης και της εκπαίδευσης καθίσταται περισσότερο σημαντικός από ποτέ. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου πρωτοφανούς αναταραχής και αβεβαιότητας, το συνεργατικό πνεύμα της κοινότητάς μας ήλθε πραγματικά στο προσκήνιο. Ακόμα και κάτω από σημαντικούς επιχειρησιακούς περιορισμούς, όλοι συνεργαζόμαστε για να χρησιμοποιήσουμε νέους τρόπους και τεχνολογίες επικοινωνίας για να συνδεθούμε παγκόσμια αναμεταξύ μας και να επικοινωνήσουμε, διασφαλίζοντας ότι οι πιο ευάλωτοι δεν θα μείνουν πίσω.

Ωστόσο, στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε βλέποντας τη Γη από το μακρινό διάστημα, στις εικόνες του εξωφύλλου, ή της πρώτης σελίδας (ή της έγχρωμης εικόνας Π2.10). Τέτοια *μακρινά πλάνα* της Γης από το Διάστημα δεν είναι πολλά. Αιτία γι' αυτό είναι το γεγονός ότι ο πλανήτης μας βρίσκεται πολύ κοντά στον Ήλιο, με αποτέλεσμα αυτός να *θαμπώνει* τις φωτογραφίες της Γης που λαμβάνονται από πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Στην εικόνα του εξωφύλλου (ή την Π2.10), το διαστημόπλοιο Cassini της NASA βρέθηκε στις 19 Ιουλίου 2013 σε πλεονεκτική θέση, καθώς ο Κρόνος είχε κρύψει τον Ήλιο. Αυτό του επέτρεψε να συλλάβει με το φακό του, όχι μόνο τη Γη αλλά και τη Σελήνη, σε μια εξαιρετικά σπάνια στιγμή. Έτσι, στην εικόνα αυτή με την ευρυγώνια κάμερα του Cassini φαίνονται οι εντυπωσιακοί και μεγαλόπρεποι *δακτύλιοι* του άρχοντα των δαχτυλιδιών Κρόνου, μαζί με τη Γη και τη Σελήνη στο ίδιο πλάνο. Στην πλήρη Εικόνα Π2.10 αποτυπώνονται καθαρά η σκοτεινή πλευρά του Κρόνου και το φωτεινό χείλος του δίσκου του, οι κύριοι εσωτερικοί δακτύλιοι (από μέσα προς τα έξω) D, C, B και A, μαζί με τους εξωτερικούς δακτυλίους (πάλι από μέσα προς τα έξω) F, G και E. Στην κάτω δεξιά γωνία της εικόνας, ανάμεσα στον πιο απομακρυσμένο και μεγάλου εύρους *κυανό* φωτεινό δακτύλιο E που δημιουργούν τα συντριβάνια του Εγκέλαδου και τον εσωτερικότερο, λεπτότερου εύρους και πιο αχνό δακτύλιο G, βρίσκεται η ***γαλάζια*** κουκκίδα του πλανήτη μας, η οποία απέχει 1,44 δισε-

κατομμύρια χιλιόμετρα σε αυτήν την εικόνα από το φακό του Cassini. Η μικροσκοπική Γη φαίνεται ωσάν να στεγάζεται και να αναπαύεται κάτω από τη μεγαλόπρεπη σκιά του ασύγκριτου κοσμικού μεγαλείου των δακτυλιδιών του Κρόνου. Η αδελφή της Γης, η Αφροδίτη, που είναι πάντα καλυμμένη κάτω από το πυκνό πέπλο των νεφών της, εμφανίζεται ως μια φωτεινή ***λευκή*** κουκκίδα στο πάνω αριστερό τεταρτημόριο της εικόνας, επίσης μεταξύ των δακτυλίων G και E. Ο «σκουριασμένος» Άρης εμφανίζεται και αυτός ως μια αχνή ***κόκκινη*** κουκκίδα ενσωματωμένη στην εξωτερική άκρη του δακτυλίου E, πάνω και αριστερά της Αφροδίτης. Οι άλλες φωτεινές κουκκίδες που βρίσκονται κοντά είναι πολύ μακρινά αστέρια, πολλά από αυτά με παρόμοιους πλανήτες να στροβιλίζονται γύρω τους. Η κάμερα κοιτάζει προς τη μη φωτιζόμενη πλευρά των δακτυλίων υπό γωνία περίπου 17 μοιρών κάτω από το επίπεδό τους. Το διαστημόπλοιο Cassini ευρισκόταν σε απόσταση περίπου 1,2 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον Κρόνο, όταν πάρθηκε η μοναδική αυτή εικόνα.

«Δεν μπορούμε να δούμε ηπείρους ή ανθρώπους σε αυτό το θαυμάσιο πορτραίτο της Γης αλλά η αχνή γαλάζια κουκκίδα αποτελεί μια περιεκτική σύνοψη του ποιοί είμαστε στις 19 Ιουλίου 2013» δήλωσε η Λίνα Σπίλκερ, ερευνήτρια της αποστολής Cassini από το Εργαστήριο JPL στην Πασαντένα της Καλιφόρνιας, σε σχετικό δελτίο Τύπου. «Η εικόνα του Cassini μας θυμίζει πόσο **μικροσκοπικός** είναι ο πλανήτης μας μέσα στην **απεραντοσύνη** του Διαστήματος και επίσης μαρτυρεί την ευφυΐα των κατοίκων αυτού του μικροσκοπικού πλανήτη που έστειλαν ένα ρομποτικό διαστημόπλοιο τόσο μακριά για να μελετήσει τον Κρόνο και να πάρει από εκεί μια φωτογραφία της Γης».

«Κοιτάξτε προσεκτικά, κάτω από τα δαχτυλίδια και προς τα δεξιά του Κρόνου, φαινομενικά χαμένη μέσα στη λάμψη του τοπίου, βρίσκεται μια μικροσκοπική κουκκιδίτσα από γαλάζιο φως που αρμενίζει μέσα σε μια θάλασσα από άστρα» σημείωσε από την πλευρά της η Κάρολιν Πόρκο, επικεφαλής της ομάδας απεικόνισης της αποστολής Cassini η οποία συνέθεσε το νέο πορτραίτο της Γης από τα δεδομένα του διαστημοπλοίου. «Αυτό είναι το σπίτι μας, με όλους εμάς επάνω του, μέχρι τον τελευταίο – εσάς, εμένα, τα παιδιά της γειτονιάς, ακόμη και αυτούς που μένουν από την άλλη πλευρά της Γης. Όλοι μας κατοικούμε σε αυτήν την όμορφη γαλάζια κουκκίδα» προσθέτει η δρ Πόρκο, η οποία είχε επίσης συμμετάσχει στην επεξεργασία και της προηγούμενης φωτογραφίας της Γης που είχε τραβήξει το 1990 το Voyager-1.

Η εικόνα εκτείνεται σε αποστάσεις περίπου 650.000 χιλιομέτρων, δηλ., δέκα φορές περίπου την ακτίνα του Κρόνου που είναι περί τα 60.000 χιλιόμετρα. Ο απώτερος εξωτερικός δακτύλιος που εμφανίζεται είναι ο δακτύλιος E, η κεντρική συμπύκνωση του οποίου ευρίσκεται σε απόσταση περίπου 240.000 χιλιομέτρων

από τον Κρόνο. Οι πίδακες που εκτινάσσονται από το νότιο πόλο του δορυφόρου Εγκέλαδου τροφοδοτούν τους λεπτούς παγοκρυστάλλους που αποτελούν το υλικό του δακτυλίου αυτού Ε. Λόγω της περίθλασης του ηλιακού φωτός, ο δακτύλιος Ε έχει ένα κυανό χρώμα. Ο Εγκέλαδος (διαμέτρου 504 χιλιομέτρων) και οι εκτεταμένοι πίδακες που αναβλύζουν από το νότιο πόλο του είναι ορατοί, ενσωματωμένοι στο δακτύλιο Ε στην αριστερή πλευρά της εικόνας.

Στη θέση της ώρας 12 και λίγο εσωτερικά του δακτυλίου Ε ευρίσκεται ο αχνός δακτύλιος που δημιουργήθηκε από ένα μικροσκοπικό φεγγάρι του Κρόνου που ανακαλύφθηκε από το Cassini, την Παλλήνη (διαμέτρου μόλις 4 χιλιομέτρων). Ο επόμενος στενός και εύκολα ορατός δακτύλιος είναι ο δακτύλιος G. Εσωτερικά του δακτυλίου G, φαίνεται ο διάχυτος δακτύλιος που δημιουργήθηκε από τα δύο φεγγάρια, Ιανό (διαμέτρου 179 χιλιομέτρων, κοντά στη θέση της ώρας 11) και Επιμηθέα (διαμέτρου 113 χιλιομέτρων, κοντά στη θέση της ώρας 8) που ευρίσκονται σε τροχιά ίδιας ακτίνας γύρω από τον Κρόνο. Ακόμη πιο μέσα, φαίνεται ο πολύ φωτεινός και μικρού εύρους δακτύλιος F να κυκλώνει στενά τους επόμενους κύριους εσωτερικούς δακτυλίους του Κρόνου.

Ακολουθώντας τον εξώτατο δακτύλιο Ε αριστερόστροφα από τον Εγκέλαδο, το φεγγάρι Τηθύς (με διάμετρο 1.066 χιλιόμετρα) εμφανίζεται ως μια μεγάλη κίτρινη σφαίρα ακριβώς έξω από τον δακτύλιο Ε. Η Τηθύς ευρίσκεται στη φωτισμένη πλευρά του Κρόνου. Η παγωμένη της επιφάνεια λάμπει έντονα από το κίτρινο ηλιακό φως που αντανακλάται από τον Κρόνο. Συνεχίζοντας περίπου στη θέση της ώρας 2 και ακριβώς έξω από το δαχτυλίδι G ευρίσκεται το φεγγάρι του Κρόνου Μίμας (με διάμετρο 396 χιλιόμετρα). Ο Μίμας εμφανίζεται, ως μια πολύ λεπτή ημισέληνος, επειδή το Κασσίνι κοιτάζει κυρίως το μη φωτισμένο πρόσωπό του.

Τα φεγγάρια Προμηθέας, Πανδώρα, Ιανός και Επιμηθέας είναι επίσης ορατά στην εικόνα κοντά στο φωτεινό στενό δακτύλιο του Κρόνου F. Ο Προμηθέας (με διάμετρο 86 χιλιόμετρα) είναι ορατός ως μια αχνή μαύρη κουκκίδα ακριβώς μέσα στο δαχτυλίδι F και στη θέση της ώρας 9. Στην απέναντι πλευρά των δακτυλίων, ακριβώς έξω από το δακτύλιο F, η Πανδώρα (με διάμετρο 81 χιλιόμετρα) φαίνεται ως μια φωτεινή λευκή κουκκίδα. Η Πανδώρα και ο Προμηθέας είναι *περιοριστικά* φεγγάρια και οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του δακτυλίου και των φεγγαριών αυτών διατηρούν τον δακτύλιο F να έχει ένα στενό εύρος. Στη θέση της ώρας 11, μεταξύ του δακτυλίου F και του δακτυλίου G, ο Ιανός εμφανίζεται ως μια αχνή μαύρη κουκκίδα. Ο Ιανός και ο Προμηθέας είναι σκοτεινοί για τον ίδιο λόγο που και ο Μίμας είναι κυρίως σκοτεινός: επειδή κοιτάζουμε τις μη φωτιζόμενες πλευρές τους σε αυτή την εικόνα. Στη μέση μεταξύ του δακτυλίου F και του δακτυλίου G, περίπου στη θέση της ώρας 8, είναι ο Επιμηθέας. Κοιτάζοντας πιο προσεκτικά τον Εγκέλαδο, τον Μίμα και την Τηθύ, μπορεί κανείς να δει αυτά τα φεγγάρια να ρίχνουν σκιές μέσω του δακτυλίου Ε, όπως ένας στύλος ρίχνει σκιά μια ομιχλώδη νύχτα.

Ένα αστέρι του μεγέθους της Γης από *διαμάντι*

Εκτός από αυτό που αποκαλέσαμε μεταφορικά σε αυτό το βιβλίο *πολύτιμο γαλάζιο πετράδι* στο Διάστημα και τη σύγκρουση δύο αστέρων νετρονίων που παρατηρήσαμε και περιγράφουμε στο 2ο βιβλίο μας «*Το εκπληκτικό Σύμπαν*» ότι παρήγαγε ποσότητα χρυσού στο διάστημα όσο το βάρος της Γης, ανακαλύφθηκε πρόσφατα και ένα αληθινό πολύτιμο κοσμικό διαμάντι σε απόσταση 50 ετών φωτός από τη Γη, στον αστερισμό του Κενταύρου. Πρόκειται για ένα κομμάτι κρυσταλλικού άνθρακα, 10 δισεκατομμυρίων τρισεκατομμυρίων τρισεκατομμυρίων καρατίων, δλδ, η μονάδα ακολουθούμενη από 34 μηδενικά. Προφανώς το κόστος αυτού του διαμαντιού είναι κυριολεκτικά αστρονομικό!

Το τεράστιο αυτό «κοσμικό κόσμημα», τεχνικά γνωστό ως BPM 37093 είναι στην πραγματικότητα ένας κρυσταλλοποιημένος λευκός νάνος. Έχει διάμετρο περί τα 4.000 χιλιόμετρα, δλδ είναι της τάξεως μεγέθους της ακτίνας της Γης, αλλά η μάζα του είναι της τάξεως της μάζας του Ήλιου. Όπως συζητάμε στο κεφ. 1, αυτό είναι το τελικό προϊόν του καυτού εσωτερικού του Ήλιου, που θα απομείνει όταν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις καταναλώσουν τα πυρηνικά καύσιμα. Αποτελείται κυρίως από άνθρακα και επικαλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα αερίων υδρογόνου και ηλίου.

Για περισσότερες από τέσσερις δεκαετίες, είχε θεωρητικά προβλεφθεί ότι το εσωτερικό των λευκών νάνων κρυσταλλώνεται, αλλά η σχετική παρατήρηση έγινε δυνατή πολύ αργότερα. Συγκεκριμένα, στη δεκαετία του 1960, προβλέφθηκε θεωρητικά ότι καθώς ένας λευκός νάνος ψύχεται, το υλικό του ξεκινώντας από το κέντρο κρυσταλλώνεται. Όταν ένα αστέρι πάλλεται, παρατηρώντας τους παλμούς του λαμβάνουμε πληροφορίες σχετικά με τη δομή του. Το BPM 37093 παρατηρήθηκε για πρώτη φορά ως ένα παλλόμενο μεταβλητό άστρο το 1992 και το 1995 επισημάνθηκε ότι αυτό αποτελεί μια πιθανή επαλήθευση της θεωρίας της κρυστάλλωσης. Το 2005, ομάδα ερευνητών του Τηλεσκοπίου ολόκληρης της Γης (Whole Earth Telescope collaboration, Kanaan et al, Astronomy and Astrophysics, Volume 432, Issue 1, March II 2005, pp. 219-224) υπολόγισαν, με βάση αυτές τις αστεροσεισμολογικές παρατηρήσεις, ότι περίπου το 90% της μάζας του BPM 37093 είχε κρυσταλλωθεί. Το κυνήγι λοιπόν των αστρονόμων παρατηρητών του κρυσταλλικού πυρήνα αυτού του λευκού νάνου ήταν παρόμοιο με την αμερικανική ιστορία της αναζήτησης του χαμένου ορυχείου του Ολλανδού (The Lost Dutchmans mine). Θεωρήθηκε ότι υπήρχε για δεκαετίες, αλλά μόνο πολύ αργότερα εντοπίστηκε.

Έτσι, ο λευκός αυτός νάνος δεν είναι μόνο λαμπρός αλλά και αρμονικός· το εσωτερικό του αντηχεί σαν ένα γιγαντιαίο γκονγκ. Μετρώντας αυτούς τους παλμούς, μελετήθηκε το κρυμμένο εσωτερικό του, όπως οι σεισμογραφικές μετρήσεις επιτρέπουν στους μελετητές να μελετήσουν το εσωτερικό της Γης. Κατανοήθηκε

ότι ο εσωτερικός του άνθρακας έχει κρυσταλλοποιηθεί για να σχηματίσει το πιο μεγάλο διαμάντι του Γαλαξία. Μερικοί αναφέρονται σε αυτό με το όνομα Lucy από το τραγούδι των Beatles «Lucy In The Sky With Diamonds». Το διαμαντένιο αστέρι ξεπερνά κατά πολύ το μεγαλύτερο διαμάντι στη Γη, αυτό των 530 καρατίων (Star of Africa) που ευρίσκεται στα Crown Jewels της Αγγλίας. Το Star of Africa κόπηκε από το μεγαλύτερο διαμάντι που βρέθηκε ποτέ στη Γη, έναν πολύτιμο λίθο 3.100 καρατίων.

Ο Ήλιος μας θα γίνει λευκός νάνος όταν τελευτήσει σε 5 δισεκατομμύρια χρόνια από τώρα. Περίπου δύο δισεκατομμύρια χρόνια μετά, ο πυρήνας του Ήλιου θα κρυσταλλωθεί, αφήνοντας έτσι ένα τεράστιο διαμάντι στο κέντρο του ηλιακού μας συστήματος.

Στον ακόλουθο πίνακα παρέχεται ένα συνοπτικό χρονολόγιο των κυριότερων ανακαλύψεων από τις αρχές του 20ού αιώνα έως σήμερα. Και, στα ακόλουθα 3 κεφάλαια του βιβλίου, παρατίθεται μια λεπτομερέστερη παρουσίαση των σημαντικότερων συναρπαστικών διαστημικών και αστρονομικών ανακαλύψεων της τελευταίας εκατονταετίας.

Ανακάλυψη	Έτος	Ερευνητής	
Ανακάλυψη ισχυρών μαγνητικών πεδίων στις ηλιακές κηλίδες	**1908**	George Hale, Mount Wilson Solar Observatory, USA.	
Ανακάλυψη των *Λευκών Νάνων*	**1910**	Williamina Fleming, Edward Pickering, Henry Norris Russell, Cambridge, USA	
Μέτρηση αστρικών μαζών και διαμέτρων	**1912**	Henry Norris Russell, Harlow Shapley, Princeton, USA	
Παρατήρηση της μετατόπισης προς το ερυθρό των φασματικών γραμμών των «νεφελοειδών»	**1912**	Vesto Slipher, Lowell Observatory, AZ, USA	
Ανακάλυψη σχέσης περιόδου/ λαμπρότητας σε μεταβλητούς αστέρες Κηφείδες	**1912**	Henrietta Leavitt, Harvard College Observatory, Cambridge, MA, USA	
Ανακάλυψη του διαγράμματος Hertzsprung - Russel	**1914**	Ejnar Hertzsprung, Potsdam, Henry Norris Russel, USA	
Ανακάλυψη της σχέσης μάζας-λαμπρότητας για αστέρες	**1915**	Jacob Halm, Cape South Observatory, Ejnar Hertzsprung, Potsdam, Γερμανία	

Κεφάλαιο 1

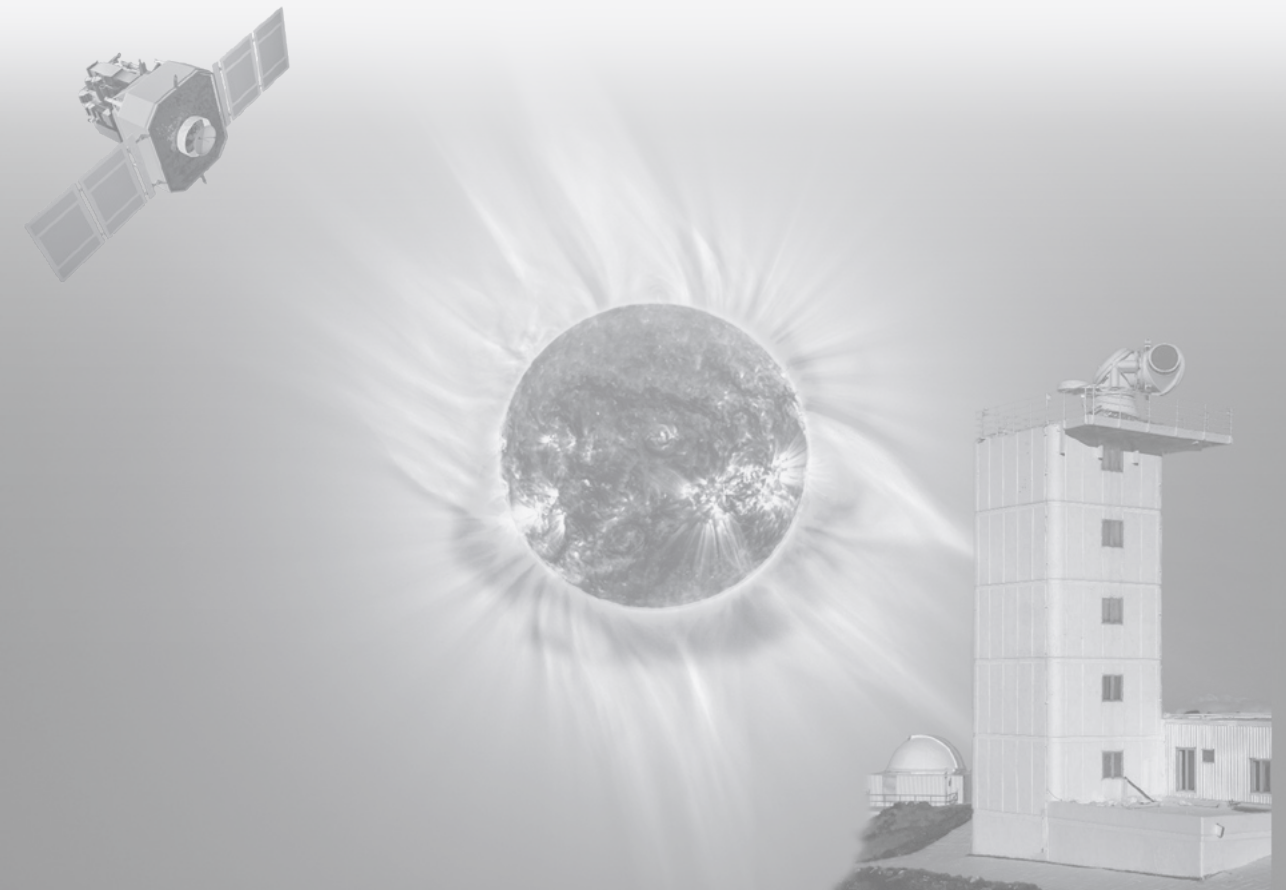
Ήλιος

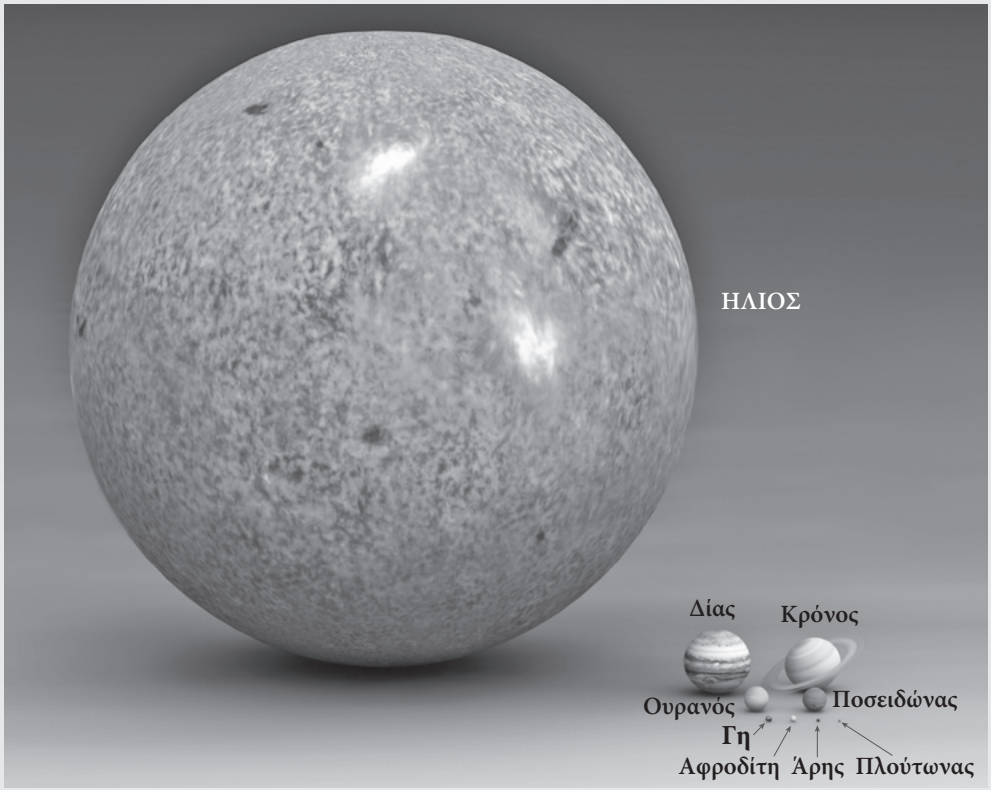
εἰ δ' ἄεθλα γαρύεν ἔλδεαι, φίλον ἦτορ,
μηκέτ' ἀελίου σκόπει ἄλλο θαλπνότερον ἐν ἁμέρᾳ
φαεννὸν ἄστρον ἐρήμας δι' αἰθέρος...

Αλλ' αν άθλους να τραγουδήσεις λαχταράς, καρδιά μου,
μη θες να δεις εξόν από τον Ήλιο άλλο άστρο να φέγγει την ημέρα
με πιο ζωογόνα θέρμη μέσα στον έρημο αιθέρα…

(Πίνδαρος, 522 - 443 π.Χ., 1ος Ολυμπιόνικος, 1.3-1.6)

Οι σημαντικότερες ανακαλύψεις από την εξερεύνηση του Ήλιου μας





Εικόνα 1.1. Τα *σχετικά μεγέθη του Ήλιου και των πλανητών*. Με το μικρό βελάκι δείχνεται το λιλιπούτειο μέγεθος της Γης, που είναι περίπου 100 φορές μικρότερο του ηλιακού. Ο Ήλιος κατέχει το 99,8% της *μάζας*, αλλά οι πλανήτες το 99% της *στροφορμής*, όλου του πλανητικού συστήματος.
Αν ο Ήλιος είχε το μέγεθος που έχει ένα μπαλάκι του πιγκ-πονγκ (διαμέτρου περίπου 3 εκατοστών), η Γη θα είχε το μέγεθος ενός πολύ μικρού κόκκου της άμμου (περίπου δύο δέκατα του χιλιοστού) και θα ήταν σε απόσταση από τον Ήλιο περί τα 3 μέτρα, ενώ όλο το πλανητικό σύστημα μέχρι την Ηλιόπαυση θα εκτεινόταν σε μια απόσταση περί τα 350 μέτρα.

Εισαγωγή

Ο Ήλιος μας είναι μια γιγάντια αέρινη κιτρινοκόκκινη πύρινη σφαίρα, της οποίας η ακτινοβολία μας ζεσταίνει τον χειμώνα και μας μαυρίζει το καλοκαίρι. Είναι επίσης η ίδια κίτρινη σφαίρα η οποία όταν ανατέλλει το πρωινό χρωματίζει με χρυσές πινελιές τη ροδοδάκτυλη αυγή και ομορφαίνει τη γλυκιά κόκκινη δύση μιας ζεστής καλοκαιρινής ημέρας. Είναι ο πατέρας του ηλιακού συστήματος που περιβάλλει με *αγάπη* (και *μίσος*!) τη Γη και τα υπόλοιπα παιδιά του, τους πλανήτες και τους δορυφόρους τους. Είναι εντέλει η πηγή ενέργειας κάθε μορφής ζωής πάνω σε ετούτο τον πλανήτη Γη.

Οι επόμενες σελίδες αυτού του κεφαλαίου του ανά χείρας πονήματος διηγούνται, συνοπτικά και με όσο απλούστερο τρόπο γίνεται, τις *κυριότερες μόνο* ανακαλύψεις που προέκυψαν από τις ακάματες προσπάθειες του σκεπτόμενου ανθρώπου, σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας στο πέρασμα των τελευταίων δεκαετιών, για να κατανοήσουν τη λειτουργία αυτού του δικού μας άστρου της ημέρας, που συγχρόνως αποτελεί και τη *Λυδία λίθο** όλης της Αστροφυσικής.

Αυτές λοιπόν οι ανακαλύψεις του τελευταίου αιώνα, και ιδιαίτερα των τελευταίων δεκαετιών, που προέκυψαν από την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της δορυφορικής, μάς έχουν οδηγήσει στην κατανόηση:

- του *ρόλου* του Ήλιου για τη Γη και το υπόλοιπο πλανητικό μας σύστημα,
- της *θέσης* του Ήλιου μέσα στον Γαλαξία μας, αλλά και της σύγκρισης των χαρακτηριστικών του (διαστάσεων, διάρκειας ζωής, εξέλιξης, κ.ά.), με εκείνα του ασύλληπτα μεγάλου αριθμού των άλλων ομοειδών αστέρων/ήλιων που πλημμυρίζουν το Σύμπαν,
- της *δομής* του Ήλιου, από την εκτεταμένη αραιή και υπέρθερμη ατμόσφαιρά του –*το ηλιακό στέμμα*– που φθάνει ως τη Γη και τα μακρινά όρια της Ηλιόσφαιρας, την κατακόκκινη *χρωμόσφαιρα* και την ορατή κίτρινη *φωτόσφαιρα*, έως τις αθέατες εσωτερικές *ζώνες μεταφοράς, ακτινοβολίας* και τέλος τον βαθύ *πυρήνα* του,
- του *ρυθμού παραγωγής ενέργειας* στο εσωτερικό του Ήλιου, όπου θερμοπυρηνικές αντιδράσεις καίνε ασταμάτητα για χάρη μας στα σωθικά του και όπου παράγονται τα ακριβοθώρητα νετρίνα, τα οποία σε λίγα λεπτά καταφθάνουν στη Γη, διερχόμενα με ρυθμούς εκατοντάδων δισεκατομμυρίων από κάθε τετραγωνικό εκατοστό ανά δευτερόλεπτο. Τα σχεδόν άπιαστα και αινιγματικά αυτά στοιχειώδη σωματίδια μετράμε ότι μας διαπερνούν κάθε στιγμή, *νυχθημερόν*, και για

---

* Η *Λυδία λίθος* είναι πυριτική πέτρα από τη Λυδία της Μικράς Ασίας, με την οποία ελεγχόταν η γνησιότητα των μετάλλων. Εξαυτής προέκυψε η σημερινή μεταφορική σημασία «για κάθε τι που χρησιμοποιείται για να δηλώσει την έννοια της δοκιμασίας, του τρόπου ελέγχου, της εξακρίβωσης της αξίας κάποιου» σύμφωνα με το Λεξικό του Γ. Μπαμπινιώτη.

την περίπλοκη παρατήρηση των οποίων δόθηκαν πρόσφατα δύο βραβεία Nobel Φυσικής (2002, 2015). Οι ανακαλύψεις για την υφή τους αποκάλυψαν συγχρόνως ότι αυτά τα μυστηριώδη σωματίδια υφίστανται μια κρίση «ταυτότητας/φύλου», η οποία οδήγησε μάλιστα στην αναθεώρηση του *πρότυπου μοντέλου* της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων,

- της *μουσικής* που παίζει στα σωθικά του ο Ήλιος, όπως και όλοι οι άλλοι αστέρες και από την οποία συνάγουμε τη δομή και εσωτερική περιστροφή τους,
- της *εξέλιξης* του Ήλιου, του υπολογισμού δηλαδή του πότε τελικά θα σβήσει, αλλά και τί θα απογίνει το «*άψυχο*» πτώμα του,
- της *παραγωγής των μαγνητικών πεδίων* στο εσωτερικό του και της συνεχούς πυροδότησης εκρηκτικών πυροτεχνημάτων στην ατμόσφαιρά του, όπως οι ηλιακοί πίδακες, οι ασταθείς μαγνητικοί βρόχοι και οι εκρηκτικές προεξοχές, οι τρομακτικές εκλάμψεις και οι θηριώδεις εκτινάξεις καυτής ιονισμένης ύλης στο διάστημα,
- της ασταμάτητης ροής του *ηλιακού ανέμου* που κυριολεκτικά «λούζει» τη Γη και πλημμυρίζει το υπόλοιπο πλανητικό σύστημα, ξεκινώντας να πνέει σχετικά «σιγανά», με μερικές μόνο χιλιάδες χιλιόμετρα την ώρα, για να καταλήξει να διέρχεται από τη Γη σαν άγριος «σίφουνας» που κινείται με ταχύτητες μερικών εκατομμυρίων χιλιομέτρων την ώρα, γεμίζοντας την Ηλιόσφαιρα κάθε δευτερόλεπτο με εκατομμύρια τόνους πλάσματος,
- της διαμόρφωσης του διαστημικού περιβάλλοντος και του λεγόμενου *διαστημικού καιρού*, ο οποίος επηρεάζει και απειλεί τη Γη, τους αστροναύτες και τα διαστημόπλοια,
- της παραγωγής παρόμοιων φαινομένων σε *άλλους αστέρες* στον Γαλαξία μας και άλλους μακρινούς γαλαξίες,
- τέλος-τέλος, του ερωτήματος *γιατί* οι φυσικές παράμετροι του Ήλιου είναι προσεκτικά επιλεγμένες έτσι ώστε να ανθίσει τελικά η ζωή στη Γη!

Η πύρινη αέρινη ηλιακή σφαίρα έχει ακτίνα περί τα 700.000 χιλιόμετρα και διατηρείται σε ισορροπία, καθώς η προς το κέντρο της ελκτική δύναμη της βαρύτητας, εξισορροπείται από την προς τα εξωτερικά της στρώματα απωστική δύναμη της θερμικής πίεσης. Αυτό επιτυγχάνεται διότι τα κεντρικά στρώματα είναι πιό θερμά από τα εξωτερικά και έτσι έχουν μεγαλύτερη θερμική πίεση από τα εξωτερικά. Γνωρίζοντας την απόσταση Γης - Ήλιου, 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα, και την υψηλή περιστροφική ταχύτητα της Γης γύρω από τον Ήλιο (περί τα 108.000 χιλιόμετρα την ώρα), μπορεί να υπολογίσει εύκολα ακόμη και ένας μαθητής Λυκείου, ότι η μάζα του Ήλιου είναι 333.400 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα της Γης.

Η δημιουργία των εντυπωσιακών *ηλιακών πυροτεχνημάτων* που εκδηλώνονται στην ηλιακή ατμόσφαιρα και επηρεάζουν και τη Γη, οφείλεται ουσιαστικά στην ύπαρξη του *ηλιακού μαγνητικού πεδίου*. Αυτό το μαγνητικό πεδίο όμως οφείλει τη γένεσή του στην ύπαρξη της *ζώνης μεταφοράς* στο ηλιακό εσωτερικό. Η παραγόμε-

νη στο κέντρο ενέργεια μεταδίδεται αρχικά στη *ζώνη ακτινοβολίας*, διά ακτινοβολίας, όπως σε μια ηλεκτρική θερμάστρα. Στη συνέχεια, στη ζώνη μεταφοράς, διαδίδεται δια μεταφοράς του καυτού αερίου, το οποίο «βράζει» όπως το νερό πάνω σε μια θερμαινόμενη εστία. Όλες αυτές οι ζώνες οφείλουν την ύπαρξή τους στην παραγωγή και εν συνεχεία διάδοση της ενέργειας από τον πυρήνα προς τη φωτόσφαιρα.

Γι' αυτό, θα πρέπει να ξεκινήσουμε την περιήγησή μας από το κέντρο της ηλιακής σφαίρας από όπου πηγάζει και παράγεται η γενεσιουργός ηλιακή ενέργεια. Πληροφορίες για το τι συμβαίνει στα έγκατα του Ήλιου μας δίνουν τα πλέον φευγαλέα, άπιαστα και αινιγματικά στοιχειώδη σωματίδια, οι φαντομάδες που λέγονται *νετρίνα*. Έτσι λοιπόν, είναι χρήσιμο, πριν συζητήσουμε εκτενώς στη συνέχεια τις διάφορες κατηγορίες των εντυπωσιακών ηλιακών πυροτεχνημάτων που ανιχνεύουμε με τα δορυφορικά παρατηρητήρια, να περιηγηθούμε πρώτα μέσα στην ηλιακή σφαίρα, από όπου όλα αυτά τα θαυμαστά φαινόμενα ξεκινούν και μετά να περάσουμε στην ατμόσφαιρά της, εντός της οποίας διαδραματίζονται όλες οι εντυπωσιακές ηλιακές εκρήξεις που θα δούμε στη συνέχεια.

Ο ηλιακός πυρήνας

Για να λάβουν χώρα οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, απαιτείται υψηλή θερμοκρασία (για να υπερνικηθεί η ηλεκτροστατική άπωση ανάμεσα στα θετικά φορτισμένα πρωτόνια, τα οποία έτσι μπορούν να πλησιάσουν το ένα το άλλο), καθώς επίσης και υψηλή πυκνότητα (για να γίνονται οι αντιδράσεις με μεγάλη σχετικά συχνότητα). Ο ηλιακός *πυρήνας* έχει θερμοκρασία περί τους 15 εκατομμύρια βαθμούς –περισσότερο από 500.000 φορές θερμότερη από αυτή της ερήμου της Σαχάρας.

Ο αργός ρυθμός των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων έχει και ένα άλλο ενδιαφέρον αποτέλεσμα, δηλ., ότι ο μεταβολισμός του Ήλιου είναι πολύ χαμηλός. Ποσοτικά, αυτό σημαίνει ότι ο Ήλιος καταναλώνει 2 έργια (ergs) ανά γραμμάριο της μάζας του κάθε δευτερόλεπτο, δηλ., έχει περίπου 7.000 φορές χαμηλότερο μεταβολισμό από τον μεταβολισμό του ανθρώπου. Αυτό προκύπτει διότι εμείς για να ζήσουμε καταναλώνουμε περί τις 2.000 μεγάλες θερμίδες (calories) ανά 70 κιλά μέσου βάρους κάθε μέρα, δηλ., 14.000 έργια ανά γραμμάριο και δευτερόλεπτο.

Έτσι, κάθε μέρα και ανά γραμμάριο μάζας τους, ο Ήλιος και άλλοι 7.000 όμοιοί του αστέρες, όλοι μαζί, καταναλώνουν καθημερινά για να ζήσουν τόση ενέργεια όση καταναλώνει για να ζήσει ένας μόνο άνθρωπος μια ημέρα! Αυτό δικαιολογεί την ηλιακή και αστρική μακροζωία, περί τα 10 δισεκατομμύρια έτη, αλλά και τη σύντομη διάρκεια της ζωής του – και με αστρονομικά ακόμη κριτήρια – ιδιαίτερα καταναλωτικού ανθρώπου!

Ο γιγαντιαίος ηλιακός θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας

Κάθε δευτερόλεπτο, στον γιγάντιο ηλιακό θερμοπυρηνικό αντιδραστήρα που λειτουργεί ασταμάτητα στον ηλιακό πυρήνα, 650 εκατομμύρια τόνοι του χημικού στοιχείου υδρογόνου συντήκονται σε 645,5 εκατομμύρια τόνους του χημικού στοιχείου ηλίου και η διαφορά μάζας, 4,5 εκατομμύρια τόνοι, μετατρέπεται, σύμφωνα με την ισοδυναμία ενέργειας και μάζας του Einstein ($E = mc^2$), σε ενέργεια: 4×10^{17} Γιγαβάτ, δλδ, 400 τετράκις εκατομμύρια Γιγαβάτ. Αυτή η συνολική ισχύς της ακτινοβολίας που παράγει και εκπέμπει ο Ήλιος, τα 4×10^{17} Γιγαβάτ, είναι 40 τετράκις εκατομμύρια φορές την Ελληνική εγκατεστημένη ισχύ, η οποία είναι μόνο μερικές δεκάδες Γιγαβάτ.

Εάν μπορούσαμε να συλλέξουμε όλη αυτή την ενέργεια για ένα δευτερόλεπτο, θα μπορούσαμε να τροφοδοτήσουμε τις ενεργειακές ανάγκες της Γης για πολλά εκατομμύρια συνεχή έτη! Από αυτή την γιγαντιαία ενεργειακή ισχύ ωστόσο, στη Γη φθάνουν και συλλέγονται μόλις 2 κιλοβάτ σε κάθε τετραγωνικό μέτρο, όση δηλ. ενεργειακή ισχύς χρειάζεται για να δουλέψει ένας τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας. Η υπόλοιπη ενέργεια «σπαταλιέται» στο διάστημα! Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση της ηλιακής θερμοπυρηνικής αντίδρασης είναι μόλις 0,7%. Αυτό σημαίνει ότι κάθε πρωτόνιο στο ηλιακό κέντρο πρέπει να περιμένει υπομονετικά κατά μέσον όρο περί τα 6 δισεκατομμύρια χρόνια για να «ζευγαρώσει» με ένα άλλο πρωτόνιο και να λάβει χώρα η θερμοπυρηνική τους σύντηξη και η δημιουργία του χημικού στοιχείου ηλίου. Με άλλα λόγια, η θερμοπυρηνική σύντηξη είναι μια πολύ-πολύ αργή διαδικασία! Αυτό βέβαια οδηγεί στη μακροβιότητα του Ήλιου. Αν η απόδοση της ηλιακής θερμοπυρηνικής αντίδρασης ήταν 0,6 ή 0,8%, τότε εμείς, ή δεν θα υπήρχαμε, ή δεν θα μπορούσαμε να ζήσουμε (για περισσότερα πάνω σε αυτό βλ. τα επιλεγόμενα του 2ου τόμου «*Το εκπληκτικό Σύμπαν*»).

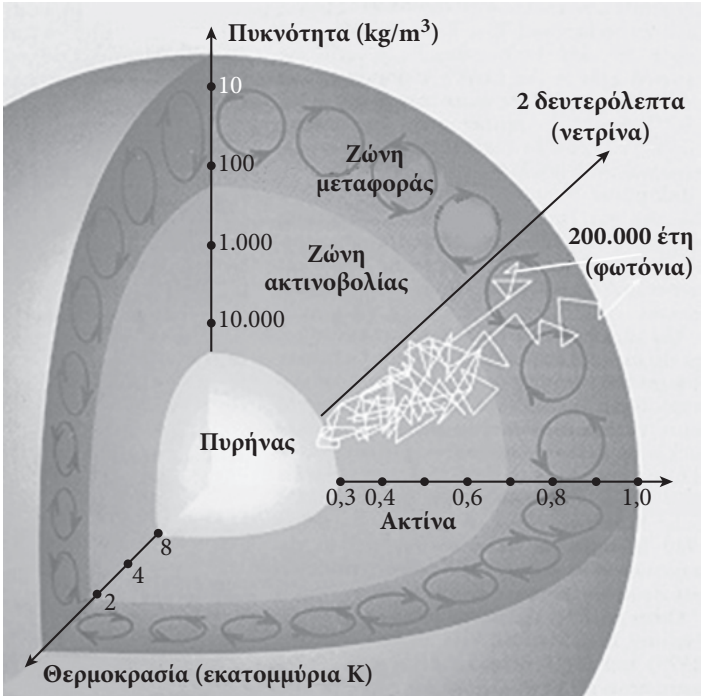
Τα «ακριβοθώρητα» ηλιακά νετρίνα

Τα νετρίνα είναι τα πιο μικρά σε μάζα και άρα τα πιο φευγαλέα και ακριβοθώρητα στοιχειώδη σωματίδια. Ταυτόχρονα όμως είναι και τα πολυαριθμότερα σωματίδια στο Σύμπαν μετά τα φωτόνια, τα σωματίδια που μας μεταφέρουν το φως. Παρά το γεγονός ότι τα νετρίνα αλληλεπιδρούν πολύ ασθενικά και σπάνια με τη γνωστή μας ύλη, ο συνολικός αριθμός τους είναι τόσο μεγάλος ώστε αποκλείεται να μην έχουν επηρεάσει και να μην επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική δομή και κυρίως την εξέλιξη του Σύμπαντος. Άρα, αξίζει να δούμε περισσότερα για αυτά και τη θέση τους στο πλαίσιο των στοιχειωδών σωματιδίων, που σε τελευταία ανάλυ-

ση απαρτίζουν την ύλη τριγύρω μας.

Νετρίνα δημιουργούνται κατά τις αλληλεπιδράσεις της κοσμικής ακτινοβολίας με τα άτομα από τα οποία συνίσταται η ατμόσφαιρα της Γης, ενώ άλλα παράγονται κατά τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο κέντρο του Ήλιου και των αστέρων. Η αλληλεπίδραση των νετρίνων με την ύλη είναι πάρα πολύ *ασθενική* και έτσι σχεδόν τίποτα δεν μπορεί να τα σταματήσει. Γι' αυτό, τα νετρίνα είναι τα πλέον ασύλληπτα και φευγαλέα σωματίδια της φύσης!

Τρισεκατομμύρια νετρίνα διαπερνούν το σώμα μας κάθε δευτερόλεπτο αυτή τη στιγμή που διαβάζουμε αυτό το κείμενο. Και όμως, δεν τα αντιλαμβανόμαστε! Συγκεκριμένα, από ένα τετραγωνικό εκατοστό του σώματός μας διέρχονται νυχθημερόν περί τα εκατό δισεκατομμύρια νετρίνα. Και αξίζει να θυμόμαστε επίσης ότι μια ηλιόλουστη καλοκαιρινή ημέρα, όταν λιαζόμαστε στην παραλία, βομβαρδιζόμαστε από εκατοντάδες εκατομμύρια περισσότερα φωτόνια, δηλ. 10^{18} φωτόνια – ένα πεντάκις εκατομμύριο φωτόνια – μια ποσότητα που είναι η μονάδα ακολουθούμενη από 18 μηδενικά! Τόσο τα νετρίνα όσο και τα φωτόνια προέρχονται από τον βυθό του Ήλιου, δηλ. το βαθύ εσωτερικό του. Τα νετρίνα φθάνουν στην ηλιακή φωτόσφαιρα από το κέντρο του Ήλιου σε περίπου 2 δευτερόλεπτα, ενώ τα φωτόνια σε δεκάδες με εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια και αφού μεταμορφωθούν από αθέατα υψηλοενεργειακά φωτόνια σε ορατά φωτόνια χαμηλής ενέργειας (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Σχηματικό διάγραμμα της ηλιακής θερμοκρασίας και πυκνότητας συναρτήσει της ακτινικής απόστασης της ηλιακής σφαίρας, καθώς και η τροχιά και οι χρόνοι διαφυγής που ακολουθούν τα νετρίνα και τα φωτόνια για να διαφύγουν από τον πυρήνα προς τη φωτόσφαιρα. Φαίνονται και οι τρεις περιοχές του ηλιακού εσωτερικού: ο πυρήνας, η ενδιάμεση ζώνη ακτινοβολίας και η εξωτερική ζώνη μεταφοράς (βλ. και εικόνα Π1.1).

Όταν ο Ήλιος βρυχάται, οι τεχνητοί δορυφόροι «τρέμουν» ...

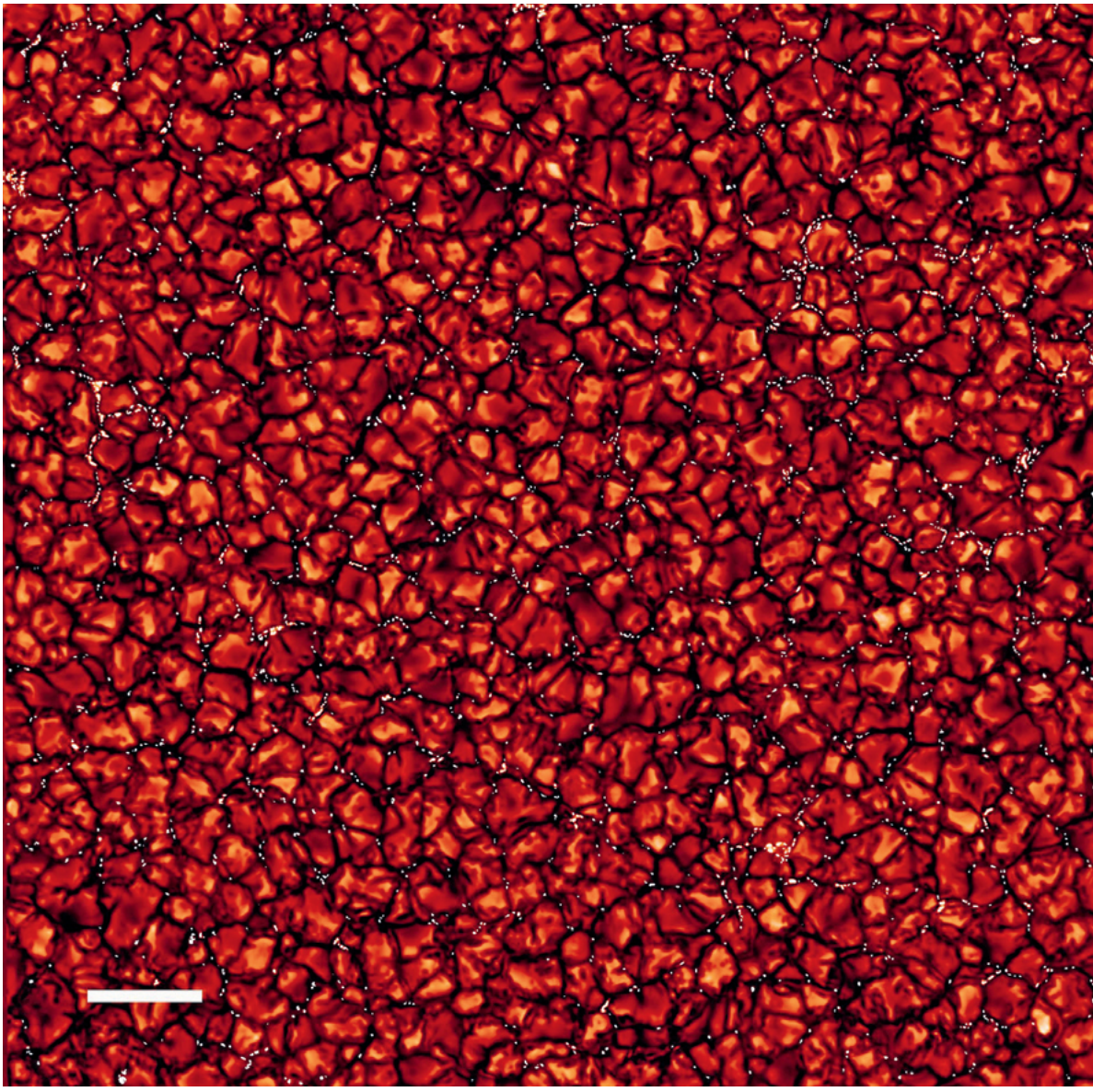
Σήμερα, περισσότεροι από 2.000 ενεργοί δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη και ανά πάσα στιγμή ενεργητικά ιόντα και ηλεκτρόνια στο μεσοπλανητικό διάστημα μπορούν να δημιουργήσουν ζωτικά προβλήματα στα ηλεκτρονικά συστήματά τους, αφού τα ηλιακά ενεργητικά σωματίδια (πρωτόνια και βαρύτερα ιόντα μεγάλης σχετικά ενέργειας) επηρεάζουν τα μικροηλεκτρονικά τους. Τα πολλά και μεγάλης ενέργειας ηλεκτρόνια και πρωτόνια που έρχονται στη Γη ως αποτέλεσμα των ΣΕΠ από τον Ήλιο καταστρέφουν τα ηλεκτρονικά τεχνητών δορυφόρων, πιθανώς από εκφορτίσεις που δημιουργούνται όταν φορτιστεί υπερβολικά το διαστημόπλοιο. Για παράδειγμα, ένα σύνηθες πρόβλημα είναι η ισχυρή φόρτιση των δορυφόρων, συνήθως αρνητική, της τάξης των 500 Volts. Εάν η φόρτιση αυτή είναι ομογενής, απλά επιδρά στη καταμέτρηση φορτισμένων σωματιδίων που ενδεχομένως εκτελούν διάφορα επιστημονικά όργανα του δορυφόρου (π.χ. απωθώντας ηλεκτρόνια), ενώ αν η φόρτιση αυτή είναι διαφορετική σε διάφορα τμήματα του δορυφόρου, τα επαγόμενα ηλεκτρικά ρεύματα μπορούν να έχουν καταστρεπτικές συνέπειες στα όργανα του δορυφόρου. Επιπρόσθετα, φορτισμένα σωματίδια με υψηλή ενέργεια καταστρέφουν τα φωτοκύτταρα των δορυ- φόρων, ή, ακόμα, μπορούν να διαπεράσουν τα ηλεκτρικά κυκλώματα και να προξενήσουν καταστροφές ή να δώσουν λανθασμένα σήματα (Εικόνα 1.55).

Όπως ήδη αναφέρθηκε προηγουμένως, στις 13 Μαρτίου 1989 μια ισχυρή μαγνητική καταιγίδα «χτύπησε» τη Γη κατά τη διάρκεια του μεγίστου της ηλιακής δραστηριότητας του κύκλου 22. Της μαγνητικής αυτής καταιγίδας στη Γη προηγήθηκε μια ισχυρή ηλιακή έκλαμψη κατηγορίας Χ15 στις 6 Μαρτίου 1989, την οποία ακολούθησε μια μεγάλη ΣΕΠ από το ίδιο κέντρο δράσης του Ήλιου στις 9 Μαρτίου 1989. Τα υψηλής ενέργειας φορτισμένα σωματίδια της ΣΕΠ έφθασαν στη Γη μετά από 3,5 μέρες. Η καταιγίδα συνέπεσε με ένα φαντασμαγορικό πολικό σέλας που ήταν ορατό ακόμη και στο Τέξας και τη Φλόριντα των ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια αυτού του επεισοδίου διαστημικού καιρού χάθηκε η επαφή με πολλούς δορυφόρους σε πολική τροχιά (Εικόνα 1.57). Για παράδειγμα, χάθηκε η επικοινωνία με επιχειρησιακούς δορυφόρους του Αμερικανικού Γεωστατικού Περιβαλλοντολογικού Δορυφορικού συστήματος GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite System), το οποίο διαχειρίζεται το Εθνικό Αμερικανικό Κέντρο Διαχείρισης των Ωκεανών και της Ατμόσφαιρας NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) για να παρέχει πολύτιμες μετεωρολογικές πληροφορίες και δεδομένα πρόγνωσης καιρού, παρακολούθηση της πορείας κυκλώνων, καθώς επίσης και για τη μετεωρολογική έρευνα.

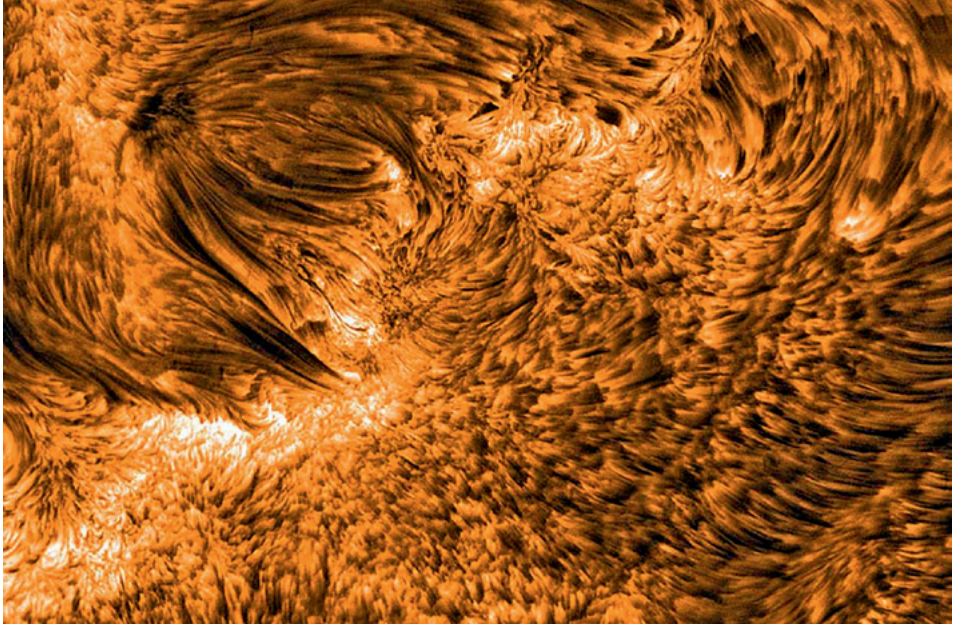
Ο Διαστημικός Καιρός δυσκολεύει τη σύνδεση με τα διαστημόπλοια και έχουμε προσωρινή αλλά ορισμένες φορές ακόμη και οριστική απώλειά τους. Υπήρξαν περιπτώσεις που καταστράφηκαν τεχνητοί δορυφόροι της Γης από σημαντικές διαταραχές του Διαστημικού Καιρού. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι οι γεωμαγνητικές καταιγίδες καθώς και η αυξημένη εκπομπή ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας θερμαίνουν την ατμόσφαιρα της Γης, με αποτέλεσμα τη διαστολή και διόγκωσή της, οπότε, καθώς η ατμόσφαιρα ανυψώνεται, αλλάζει η τροχιά των δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO), προκαλώντας τριβές στην κίνησή τους. Οι τριβές αυτές μερικές φορές οδηγούν στη βαθμιαία πτώση τους. Η NASA εκτιμά πως ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός «κατεβαίνει» περισσότερα από 300 μέτρα σε περιόδους έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Η σχετική Αμερικανική υπηρεσία NORAD (North American Aerospace Defense Command) αναγκάστηκε να επανεντοπίσει εκατοντάδες διαστημικά αντικείμενα και να καταγράψει τη νέα τους θέση μετά από τη μεγάλη καταιγίδα της 13ης Μαρτίου 1989 (Εικόνα 1.57). Έτσι, η «χρήσιμη ζωή» πολλών δορυφόρων που έχουν χαμηλή τροχιά (LEO) είναι δυνατό να μειωθεί ακόμη και στο ήμισυ της αρχικά προβλεπόμενης.

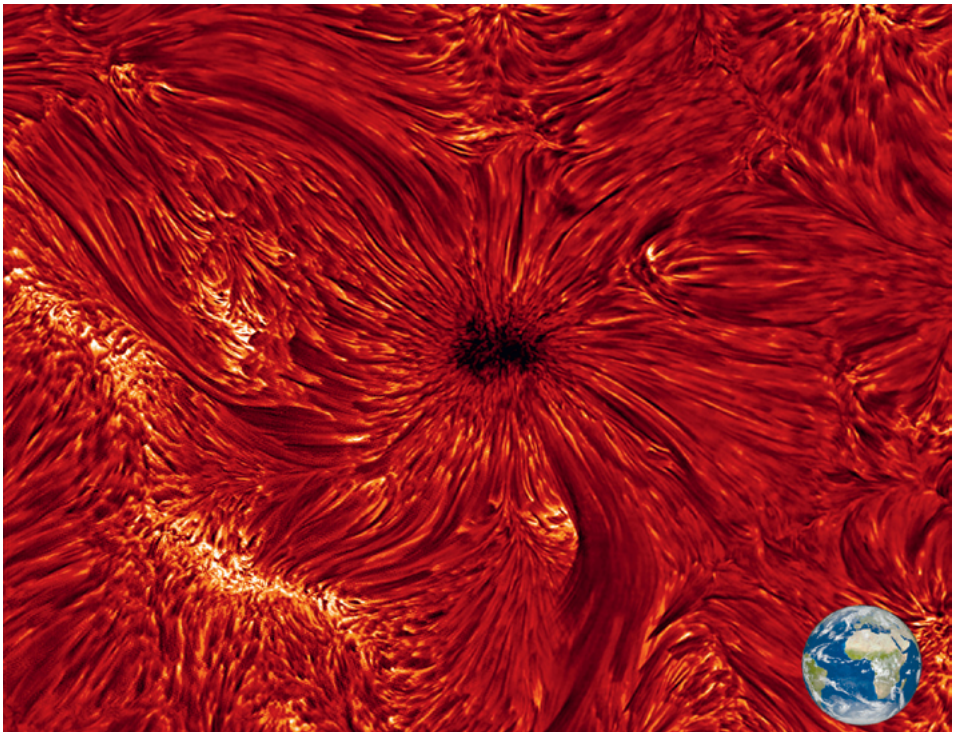
Η διαστημική κακοκαιρία επιφέρει επίγεια ταλαιπωρία…

Μια μαγνητική καταιγίδα στις 20 Μαΐου 1998 έθεσε εκτός λειτουργίας προσωρινά τον τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο Galaxy IV, σε γεωστατική τροχιά 99°W, ο οποίος έχασε επαφή με το 80% των πελατών της εταιρείας PanAmSat για άμεσες κλήσεις (pagers) με βομβητές (beepers). Αυτό που είχε συμβεί ήταν αστοχία του κεντρικού επεξεργαστή της μνήμης του δορυφόρου λόγω «κτυπήματος» από κάποιο ηλιακό ενεργητικό σωματίδιο. Ο εφεδρικός κεντρικός επεξεργαστής είχε επίσης παρουσιάσει παρόμοιο πρόβλημα και έτσι η PanAmSat αναγκάστηκε να δηλώσει οριστική απώλεια του δορυφόρου της στις 20 Μαΐου 1998. Ιδού μερικές από τις άμεσες συνέπειες: πολλές εταιρείες πώλησης καυσίμων με σύστημα αυτόματης πληρωμής (βενζινάδικα με αυτόματες αντλίες) που ήταν συνδρομητές της εταιρείας δεν μπορούσαν να επαληθεύσουν τα υπόλοιπα πελατών τους και να προχωρήσουν στην πώληση βενζίνης. Μεγάλα πρακτορεία ειδήσεων, όπως το Reuters, επηρεάστηκαν, διακόπτοντας τις αναμεταδόσεις τους. Το τηλεοπτικό δίκτυο CBS άλλαξε πάροχο για να συνεχίσει το πρόγραμμά του. Όλοι οι 600 σταθμοί του εθνικού αμερικανικού ραδιοφωνικού δικτύου NPR (National Public Radio) τέθηκαν εκτός λειτουργίας, καθώς και πολλοί άλλοι ραδιοφωνικοί σταθμοί. Τελικά η εταιρεία μετέφερε άλλον δορυφόρο στην τροχιακή θέση του Galaxy IV για να καλύψει προσωρινά την απώλειά του, πριν θέσει σε τροχιά τον νέο της δορυφόρο Galaxy VI.

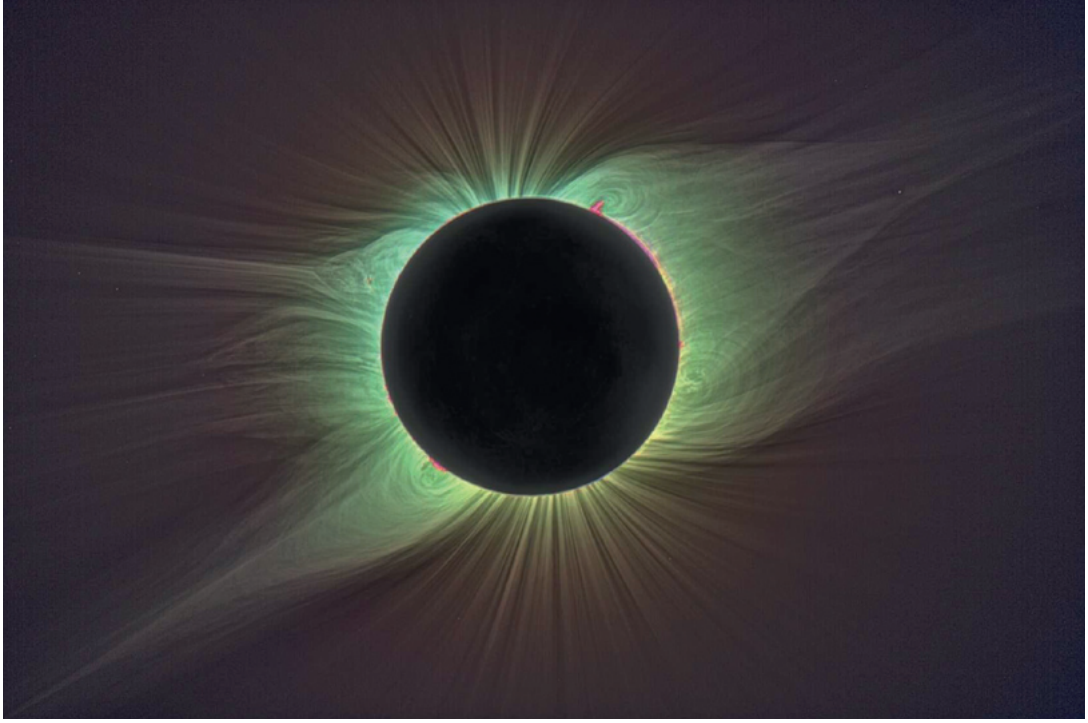


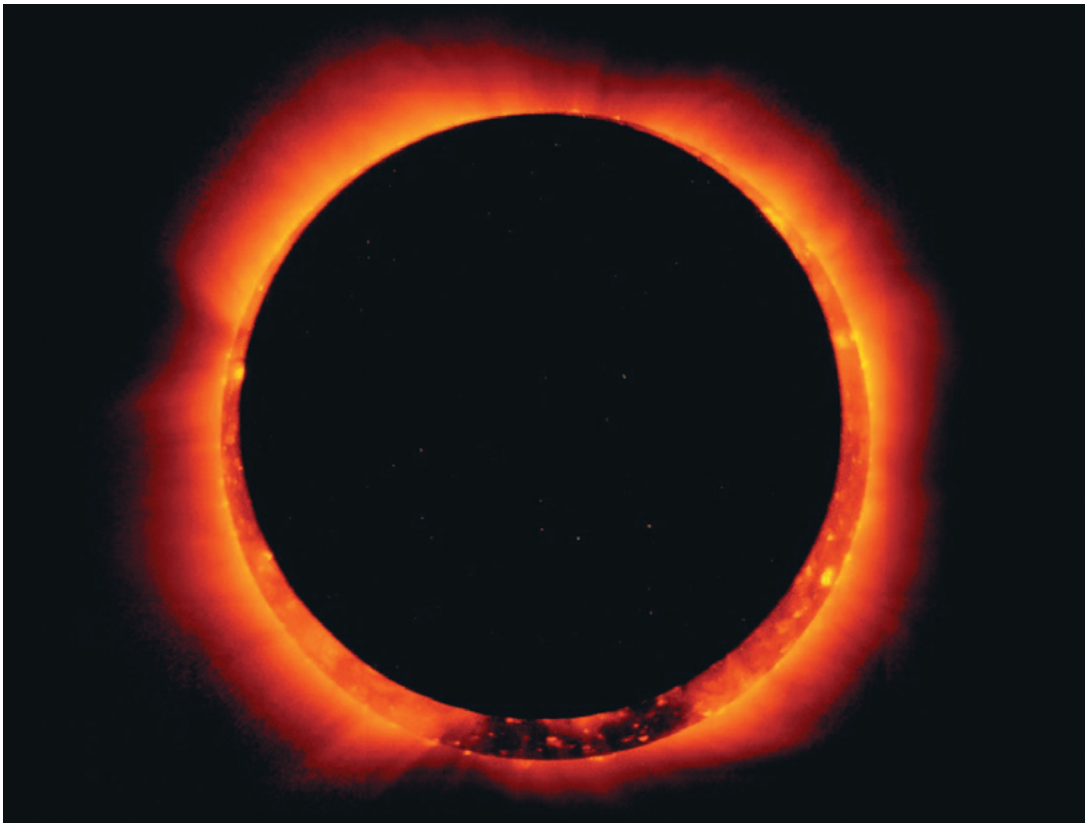
Εικόνα Π1.3. Σε κοντινό πλάνο, η ηλιακή **φωτόσφαιρα** αποτελείται από λαμπρούς *κόκκους* που περιβάλλονται από μια σκοτεινή περιφέρεια μέσα στην οποία λάμπουν σαν μικρές πυγολαμπίδες οι *φωτοσφαιρικοί πυρσοί* και τα *λαμπρά σημεία*. Οι κόκκοι δημιουργούνται από τα κύτταρα μεταφοράς, καθώς το θερμό αέριο ανεβαίνει από το κέντρο τους και όταν ψυχθεί βυθίζεται από την περιφέρειά τους. Τα λαμπρά σημεία δεν σχετίζονται με τις κηλίδες που έρχονται και φεύγουν με τον ηλιακό μαγνητικό κύκλο, αλλά παρατηρούνται συνέχεια στη φωτόσφαιρα. Λάμπουν επειδή λόγω του ισχυρού μαγνητικού πεδίου που έχουν και της αυξημένης μαγνητικής πίεσης, η πυκνότητα του αερίου εντός αυτών είναι μειωμένη λόγω της ύπαρξης του μαγνητικού πεδίου και έτσι τα κάνει διαφανή ανοίγοντας παράθυρο στα βαθύτερα και θερμότερα στρώματα του Ήλιου. Η λευκή γραμμή στο αριστερό μέρος της εικόνας αντιστοιχεί σε απόσταση 5.000 χιλιομέτρων πάνω στη φωτόσφαιρα. [Πηγή: Institute for Solar Physics, Sweden, Swedish 1-m Solar Telescope, September 2007, La Palma, Spain].





Εικόνα Π1.6 (πάνω) Στις 16 Ιουνίου 2004, το Σουηδικό ηλιακό τηλεσκόπιο 1-μέτρου στην Ισπανική νήσο La Palma, φωτογράφισε το κέντρο δράσης AR10380 κοντά στο ηλιακό χείλος, στη φωτεινή ερυθρά εκπομπή της **χρωμόσφαιρας** στη φασματική γραμμή του υδρογόνου Hα (656 νανόμετρα), με τη χρήση ενός ρυθμιζόμενου φίλτρου κατασκευής της Lockheed, το οποίο επιτρέπει την εκμετάλλευση του φαινομένου Doppler στοχεύοντας σε ορατό φως που έχει μετατόπιση προς το κυανό, δλδ ακτινοβολία που έρχεται προς εμάς. Εικόνα εξαιρετικής χωρικής ανάλυσης, 130 χιλιομέτρων πάνω στον Ήλιο. Όλη η περιοχή καλύπτει 65.000×43.000 χιλιόμετρα στον Ήλιο. (κάτω) Εικόνα της χρωμόσφαιρας στην ερυθρά γραμμή Hα, με το Dutch Open Telescope (DOT), στην ενεργό περιοχή AR10675 στις 29 Σεπτεμβρίου, 2004. Η εικόνα της Γης δίνει τη σχετική κλίμακα. Τα χρώματα είναι τεχνητά. [Πηγή: (πάνω) Bart De Pontieu, Lockheed Martin, Solar and Astrophysics Laboratory, USA, The Institute for Solar Physics, 1-m Swidish Solar Telescope, La Palma, Κανάρια νησιά, Ισπανία, https://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/dot/albums/images/album.html].





Εικόνα Π1.7 Οι ηλιακές εκλείψεις αποκαλύπτουν το **μεγαλειώδες ηλιακό στέμμα** (πάνω). Η ολική ηλιακή έκλειψη της 01/08/2008, ορατή στη Μογγολία, περιοχή Altaj και τη Ρωσία, περιοχή Akademgorodok, Novosibirsk, της Σιβηρίας. Φίλτρα K-κορώνας (συνεχής κορώνα, 529,1 νανόμετρα) και πράσινη γραμμή σιδήρου FeXIV (530,3 νανόμετρα). [Πηγή: Pasachoff et al, (2009)]. (κάτω) Η δακτυλιοειδής έκλειψη της 20/05/2012, όπως την είδε το Ιαπωνικό διαστημόπλοιο Hinode. [Πηγή: JAXA/NASA/HINODE].

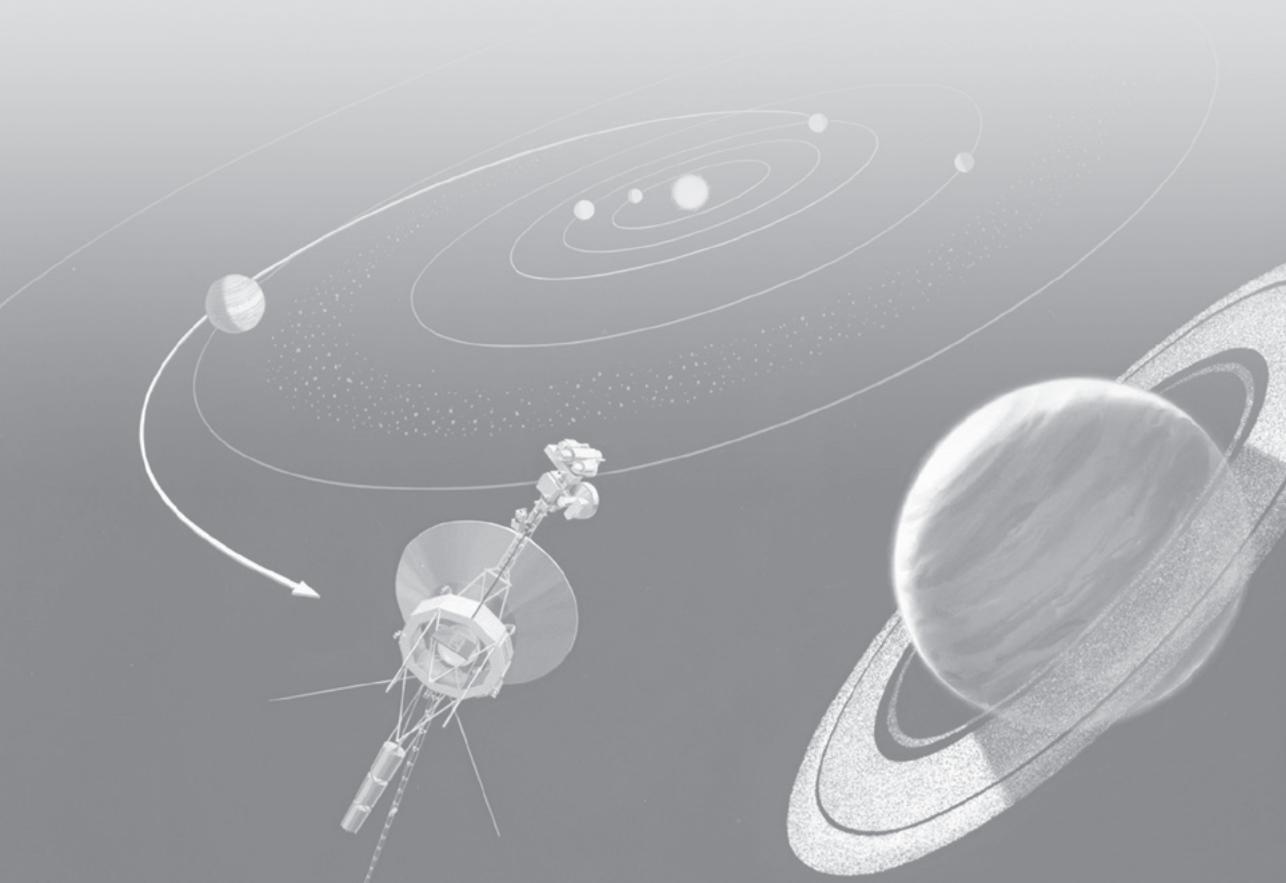
Κεφάλαιο 2

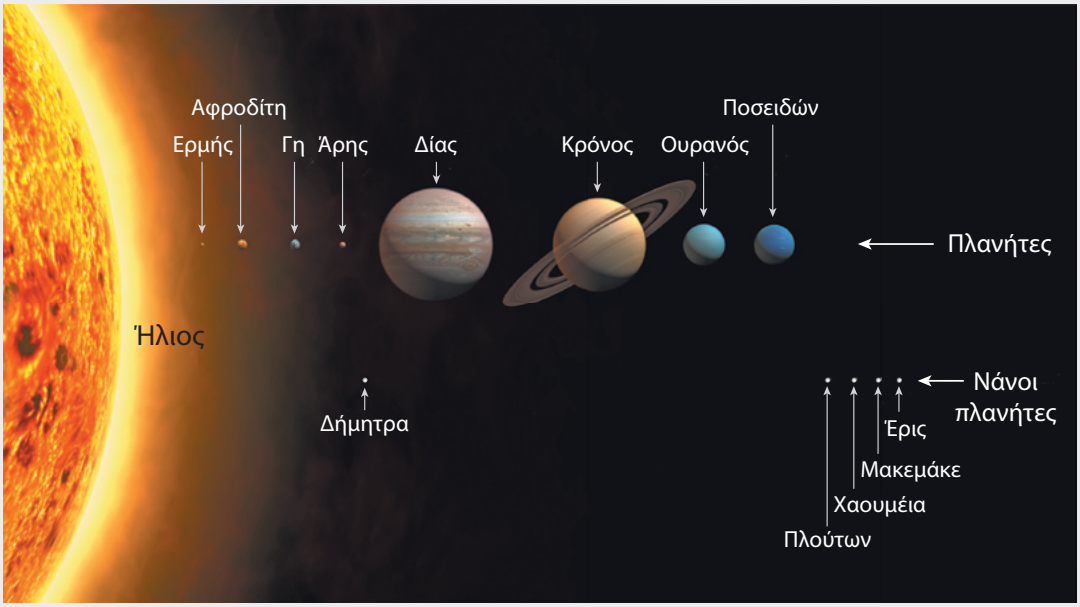
Το Ηλιακό Πλανητικό Σύστημα

Ἄριστον μὲν ὕδωρ.
Τίποτε πιο πολύτιμο απ' το νερό.

(Πινδάρου 1ος Ολυμπιόνικος, 1.3-1.6)

Οι σημαντικότερες ανακαλύψεις από την εξερεύνηση του πλανητικού μας συστήματος





Εικόνα 2.1. Σχηματικό διάγραμμα του πλανητικού μας συστήματος με τους 8 πλανήτες και τους 5 «νάνους πλανήτες» οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν και τον μεγαλύτερο από τους αστεροειδείς της κύριας ζώνης των Αστεροειδών, τη Δήμητρα. Οι αποστάσεις είναι εκτός κλίμακας. Πηγή: el.wikipedia.org

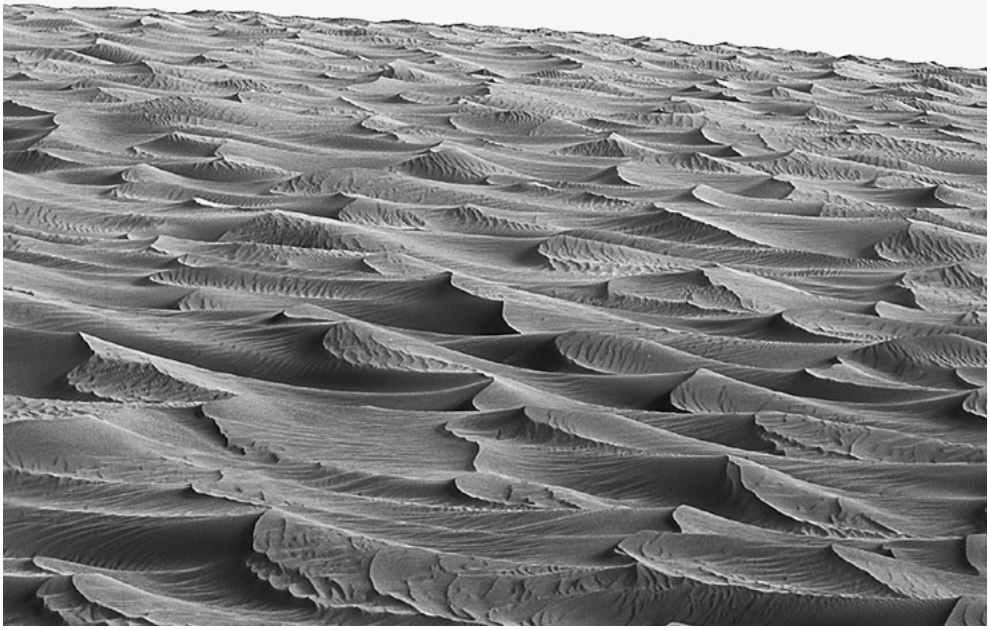
2012 Εξαιρετικές εικόνες από τη ρομποτική εξερεύνηση του Άρη

Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτές οι αποστολές προωθούν τα μέγιστα την τεχνολογία, ιδίως την Ρομποτική, αλλά συγχρόνως έχουν υψηλό κόστος. Δειγματοληπτικά, το κόστος της αποστολής του *Curiosity* δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητο, αφού ανήλθε στα 2,5 δισεκατομμύρια δολλάρια· ένας από τους λόγους είναι το μεγαλύτερο μέγεθος του rover που είναι ίσο με αυτό ενός μικρού αυτοκινήτου, αλλά και οι πυρηνικές μπαταρίες για τις ενεργειακές του ανάγκες, σε αντίθεση με τις προηγούμενες αποστολές, όπου π.χ., τα *Spirit* και *Opportunity* κόστισαν «μόνο» 400 εκατομμύρια δολλάρια, χρησιμοποιώντας ηλιακά φωτοκύτταρα, ή του μικρού *Pathfinder* που κόστισε 175 εκατομμύρια δολλάρια. Το καλό κοστίζει σε αυτή τη ζωή, αλλά πιστεύω ότι οι αποστολές αυτές «βγάζουν τα λεφτά τους», αφού όπως λέγεται, για κάθε δολλάριο που επενδύεται στο διάστημα υπάρχει οικονομική ανταπόδοση περί τα 10 δολλάρια.

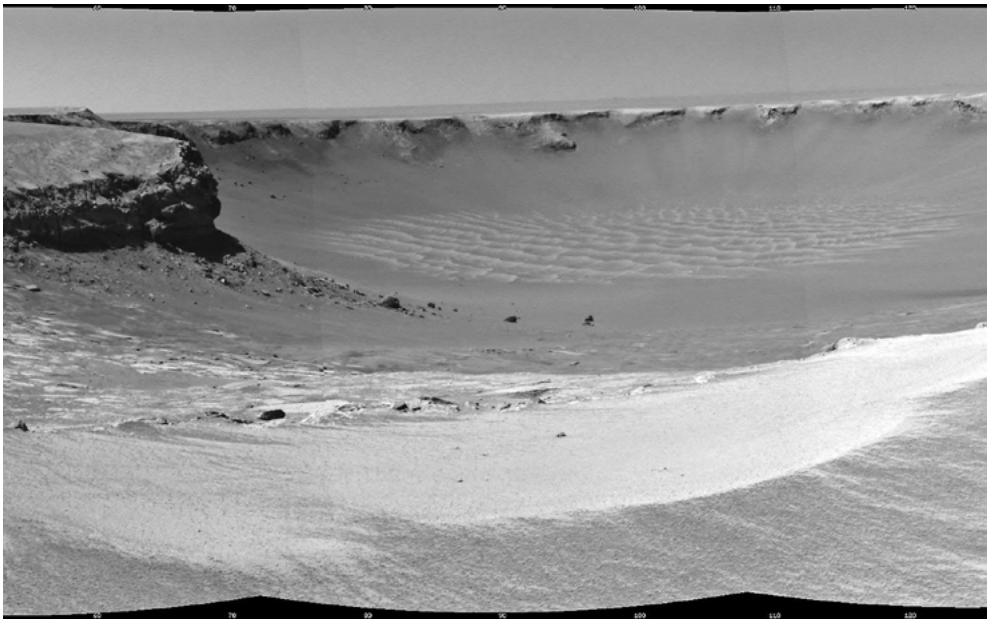
Η εικόνα που όλοι έχουμε για τον γειτονικό μας πλανήτη Άρη είναι ότι μοιάζει η επιφάνειά του με τις άνυδρες βραχώδεις ή ερημικές περιοχές της Γης, εκτός του ότι δεσπόζει παντού ένα κοκκινωπό χρώμα, που οφείλεται στο χρώμα του οξειδωμένου σιδήρου, δηλαδή της σκουριάς.

Η πρώτη σημαντική εξερεύνηση του Άρη έγινε από τα δύο σκάφη της NASA *Viking 1* και *2* τα οποία, όπως αναφέραμε ήδη, προσεδαφίστηκαν στην επιφάνειά του, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο του 1976. Η επόμενη φάση στην εξερεύνηση του Άρη ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990, με τις αποστολές *Mars Global Surveyor* και *Mars Pathfinder* της NASA, οι οποίες μελέτησαν τον πλανήτη· η πρώτη ευρισκόμενη σε τροχιά και η δεύτερη από την επιφάνειά του, αντίστοιχα. Μετά από μερικές αποτυχημένες προσπάθειες, το 2005 έφτασαν στον Άρη τα δίδυμα εξάτροχα και πυρηνοκίνητα ρομπότ *Spirit* και *Opportunity*. Όπως προαναφέρθηκε, το *Spirit* κόλλησε σε κάποιο σημείο της επιφάνειας που το έδαφος ήταν σαθρό, ενώ το *Opportunity* συνεχίζει να μελετά από τότε την επιφάνειά του, και έχει διαπιστώσει την ύπαρξη, στο απώτατο παρελθόν, υγρού νερού στην επιφάνεια του πλανήτη.

Ο Άρης δεν φαίνεται εκ πρώτης όψεως να είναι φιλόξενος στη ζωή, παρά κάποιες ομοιότητες με τη Γη, όπως το 24/ωρο ημερονύκτιό του, ή οι 4 εποχές του έτους (στο βόρειο ημισφαίριο η άνοιξη διαρκεί 7 μήνες, το καλοκαίρι 6, το φθινόπωρο 5,3 και ο χειμώνας 4). Καταρχήν, είναι μικρότερος από τη Γη (με ακτίνα ίση με το 38% της γήινης) και ένας αστροναύτης που ζυγίζει στη Γη 68 κιλά, στον Άρη θα είχε βάρος μόλις 26 κιλά! Αυτό δημιούργησε και το μεγάλο πρόβλημά του, δηλ. ότι έχασε την ατμόσφαιρά του και ό,τι απομένει σήμερα είναι μια ατμόσφαιρα 100 φορές αραιότερη από αυτή της Γης, που δημιουργεί πίεση μόλις το 0,6% της πίεσης της ατμόσφαιρας της Γης. Λόγω της αραιής ατμόσφαιρας, η ταχύτητα του ήχου είναι μικρή. Έτσι οι ήχοι δεν διαδίδονται πολύ μακριά, μόλις μερικές δεκάδες μέτρα. Γι' αυτό ο Άρης, εκτός από έρημος, είναι και ένας *σιωπηλός* πλανήτης!



Εικόνα 2.15. Αμμόλοφοι στην περιοχή του Αρειανού κρατήρα Gale, στο Bagnold Dune Field, φωτογραφία με το rover *Curiosity*. [Πηγή: NASA].



Εικόνα 2.16. Η «παραλία» Duck Bay, του Αρειανού κρατήρα Victoria την οποία εξερεύνησε το rover *Opportunity*. [Πηγή: NASA].

Η σύσταση της ατμόσφαιράς του είναι πολύ διαφορετική από αυτή της Γης και αποτελείται βασικά κατά 96% από το άχρωμο, άοσμο και άγευστο, πυκνότερο του αέρα, αέριο του θερμοκηπίου, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ενώ τα υπόλοιπα μόνο λίγα εκατοστά είναι άζωτο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, κ.ά. Όταν το CO_2 παγώνει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες δημιουργεί τον *ξηρό πάγο*.

Η απώλεια της Αρειανής ατμόσφαιρας φαίνεται να συνέβη πριν 3,7-4,2 δισ. έτη στο μακρινό παρελθόν του. Τότε, λόγω της απώλειας της ατμόσφαιρας, ψύχθηκε ο πυρήνας του με αποτέλεσμα να χάσει και τη μαγνητόσφαιρά του και την προστασία που αυτή του έδινε από τον ηλιακό άνεμο, ο οποίος στη συνέχεια κυριολεκτικά «σάρωσε» την εναπομένουσα ατμόσφαιρά του. Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία των –63 βαθμών, δεν είναι και ιδιαίτερα ελκυστική, αν και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στον Άρη το robot *Spirit* κατέγραψε καύσωνες με +35 βαθμούς.

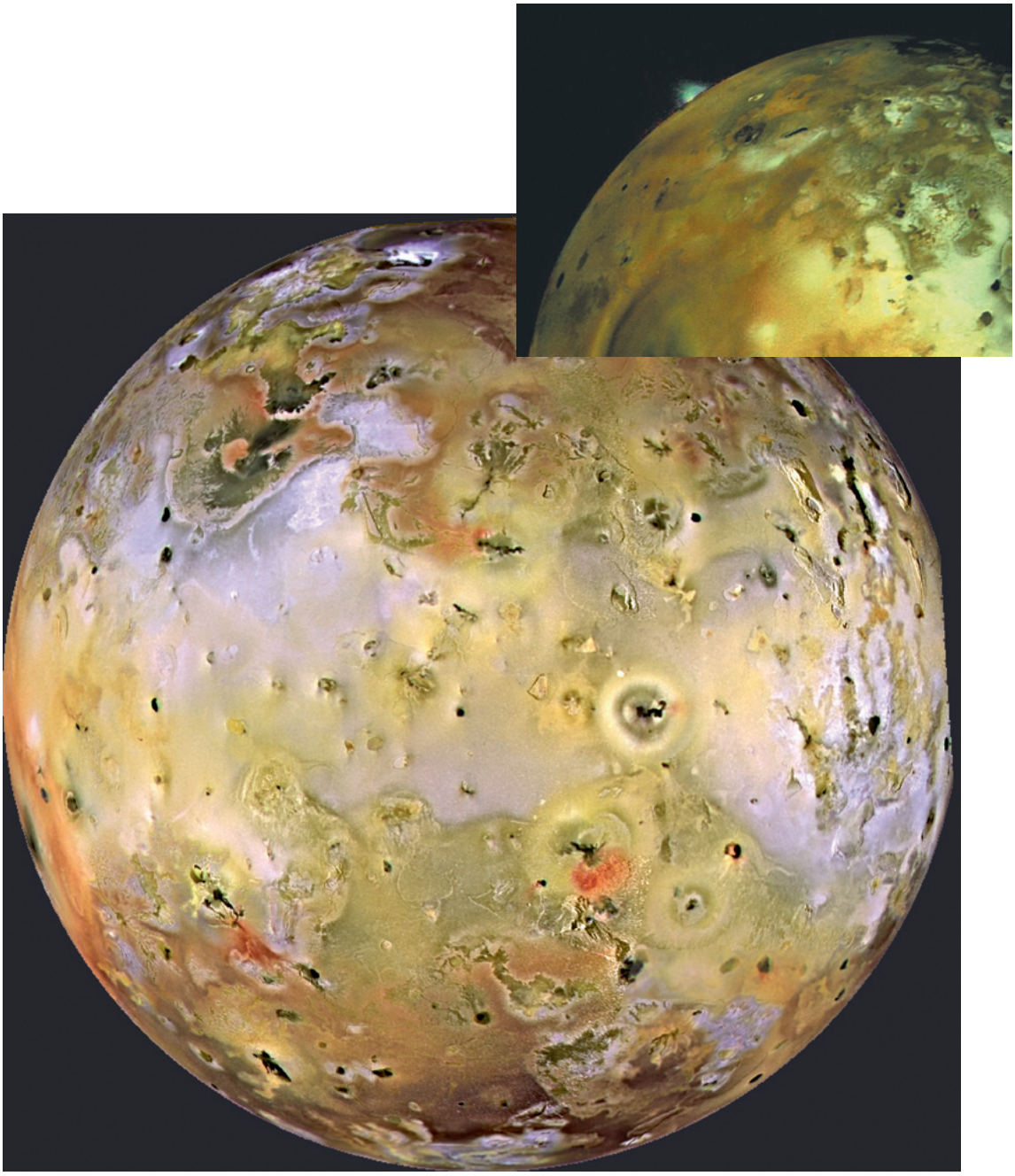
Παρόλα αυτά τα αρνητικά χαρακτηριστικά, το τοπίο στον Άρη φαίνεται να μη διαφέρει και πολύ από τοπία της Γης. Έτσι, βλέπουμε αποξηραμένες κοίτες ποταμών και λιμνών (βλ. Gale Crater, Εικόνα 2.15), πετρώματα που σχηματίζονται μόνο όταν υπάρχει νερό, άλλα ιζηματογενή πετρώματα και γκρεμοί όπως στη Γη (βλ. την εικόνα του Cape Verde, στον κρατήρα Victoria, Εικόνα Π2.5), αποξηραμένες παραλίες (βλ. την εικόνα του Duck Bay στον κρατήρα Victoria, Εικόνα 2.16).

Όμως, όπως αναφέρει ο καθ. Σ. Κριμιζής στο βιβλίο του *Ταξίδι στο Ηλιακό Σύστημα*, όλα αυτά είναι ερείπια μιας χαμένης υδρογείου, η οποία παραμένει στεγνή εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, αφού ο Άρης δεν φρόντισε να διασώσει όσα απαιτούνταν για να κρατήσει το νερό του! Έτσι λοιπόν, χωρίς νερό, ο Άρης μεταβλήθηκε στην παγωμένη κοκκινωπή έρημο που βλέπουμε σήμερα.

Το νερό ωστόσο υπάρχει σήμερα σε μορφή πάγου, όχι μόνο στους πόλους κάτω από τον παγωμένο ξηρό πάγο του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και στο υπέδαφος, μερικά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια, όπου έχουν ανιχνευθεί ένυδρα άλατα. Παράλληλα, σε εικόνες φαίνονται εποχιακά ρυάκια, τα οποία πιθανώς σχηματίζονται το καλοκαίρι, μιας και το νερό παραμένει υγρό στις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στον Άρη λόγω των αλάτων που περιέχει, όπως έχουν δείξει εικόνες από τον *Mars Reconnaissance Orbiter,* ο οποίος έχει δει εποχιακές μεταβολές σε πλαγιές κρατήρων (Εικόνα 2.17).

Ζωή στον Άρη;

Έτσι, σε αυτές τις περιοχές του υπεδάφους μπορεί να υπήρξαν μικροοργανισμοί που πιθανόν να ζουν εκεί στο υπέδαφος του πλανήτη, ακόμη και σήμερα. Το ερώτημα λοιπόν αν υπάρχει σήμερα ή υπήρξε ποτέ στο παρελθόν, βιολογική δραστηριότητα στον Άρη δεν φαίνεται ότι έχει απαντηθεί ακόμη. Η αποστολή Insight της NASA που προσεδαφίστηκε στον Άρη (26/11/2018) θα ερευνήσει το Αρειανό υπέδαφος, μιας και είναι εφοδιασμένη και με ένα τρυπάνι που θα τρυπήσει μέχρι 5 μέτρα βάθους. Ας περιμένουμε λίγο λοιπόν για να μάθουμε τα νεότερα…



Εικόνα Π2.12. Εικόνα του τοπίου της **Ιούς**, του πιο ηφαιστειογενούς σώματος του ηλιακού μας συστήματος, στην υψηλότερη ανάλυση με το διαστημικό σκάφος Galileo της NASA. Τα μικρότερα χαρακτηριστικά που μπορούν να διακριθούν έχουν μέγεθος 2,5 χιλιόμετρα. Φαίνονται τραχιά βουνά ύψους αρκετών χιλιομέτρων, με στρώσεις υλικών που σχηματίζουν οροπέδια και πολλές ακανόνιστες κοιλότητες, τις ηφαιστειακές καλντέρες. Πολλά από τα σκοτεινά χαρακτηριστικά αντιστοιχούν σε καυτά σημεία, μάλλον ενεργές ροές λάβας. Δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά που να μοιάζουν με κρατήρες που δημιουργήθηκαν από πρόσπτωση, καθώς τα ηφαίστεια καλύπτουν την επιφάνεια με νέες αποθέσεις υλικών, ταχύτερα από ότι κομήτες και αστεροειδείς θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μεγάλους κρατήρες πρόσκρουσης. Η εικόνα είναι κεντραρισμένη από την πλευρά της Ιούς που βλέπει αντίθετα από τον Δία. Ο βόρειος πόλος είναι στην κορυφή. [Πηγή: NASA/JPL/University of Arizona]. (πάνω δεξιά) Ενεργό ηφαίστειο στον εγγύτερο δορυφόρο του Δία, την Ιώ. Το Voyager 1 φωτογράφισε αυτό το ηφαίστειο στις 4 Μαρτίου, 1979. [Πηγή: NASA].

Κεφάλαιο 3

Η γένεση Άστρων και Πλανητών

Ένα μόνο στάχυ σιταριού σε μια μεγάλη πεδιάδα
είναι τόσο παράξενο, όσο ένας μόνο κόσμος
σε ένα άπειρο διάστημα.

(Μητρόδωρος ο Χίος, 4ος αιώνας π.Χ.)

Στο Διάστημα υπάρχει άπειρος αριθμός κόσμων σαν τον δικό μας.

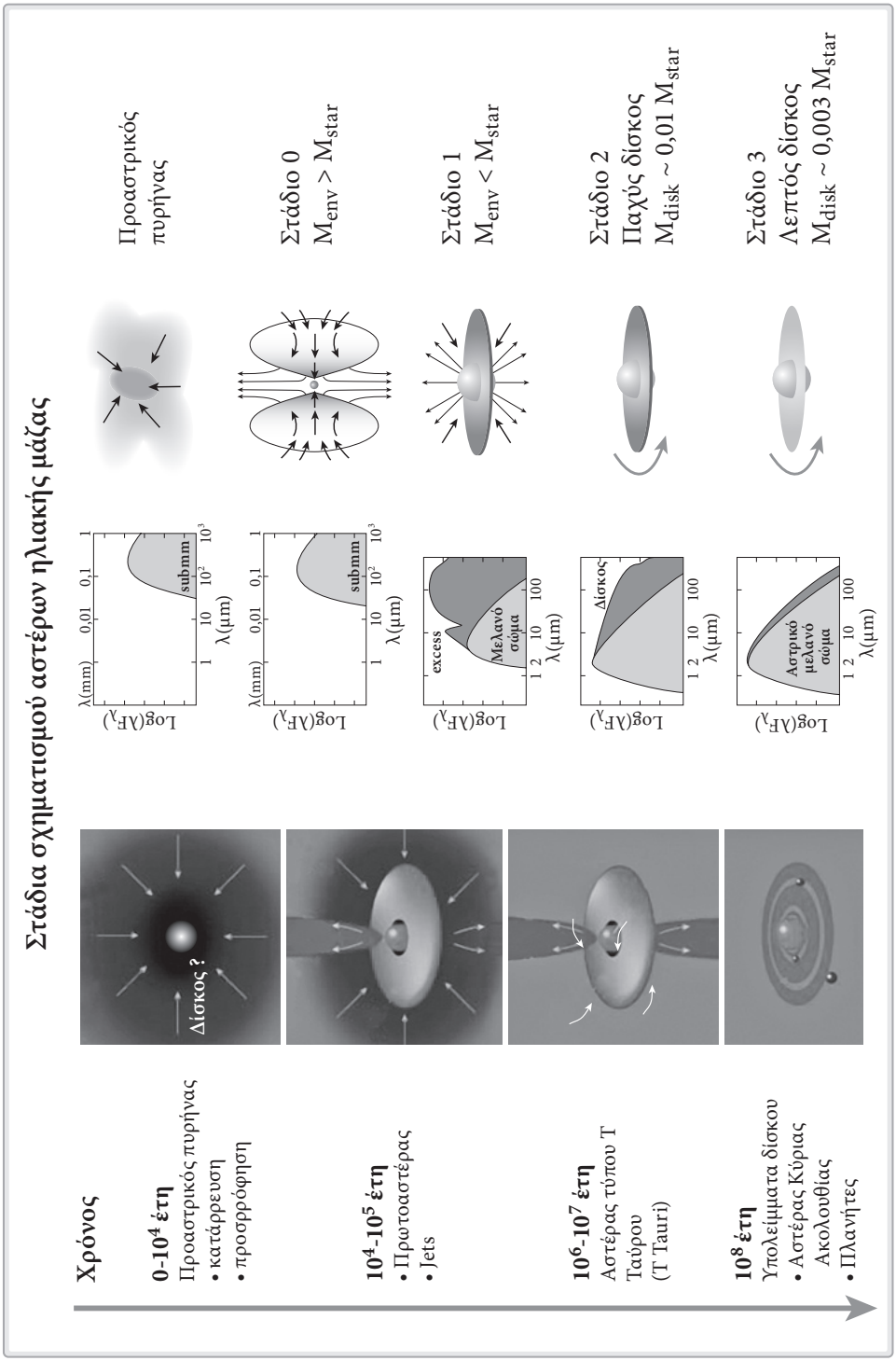
(Giordano Bruno, *De l'infinito universo et mondi*, 1584)

Λείψανα παλιῶν ἄστρων καὶ γωνιὲς ἀραχνιασμένες τ' οὐρανοῦ.

(Ελύτης, Άξιον εστί, *Προφητικόν*)

Η γένεση των άστρων και των πλανητικών τους συστημάτων
Εξωηλιακοί πλανήτες

Εικόνα 3.1. Το Kepler-90, είναι ένα εξωηλιακό πλανητικό σύστημα που έχει παρατηρήσει το διαστημόπλοιο Kepler με 8 πλανήτες, όσους δλδ πλανήτες έχει και το ηλιακό πλανητικό σύστημα. Οι 6 εσωτερικοί του πλανήτες είναι βραχώδεις (όπως η Γη) και οι 2 απώτεροι είναι αέριοι γίγαντες (όπως οι Δίας και Κρόνος). Σε αυτή την καλλιτεχνική αναπαράσταση, τα σχετικά μεγέθη των πλανητών είναι πραγματικά, όχι όμως και οι αποστάσεις των από το μητρικό άστρο. Η περίοδος του εγγύτερου πλανήτη είναι 7 ημέρες και του απώτερου 331 ημέρες. Όλοι οι πλανήτες είναι «κλειδωμένοι» έτσι ώστε έχουν το ένα ημισφαίριό τους να βλέπει συνεχώς το μητρικό άστρο, κάτι που σημαίνει ότι αυτό το ημισφαίριο έχει πάντα ημέρα και το άλλο πάντα νύχτα. [Πηγή: NASA/Ames Research Center/Wendy Stenzel].



Εικόνα 3.9. Εικόνα 3.9. Οι διάφοροι χρόνοι, η εκπομπή ακτινοβολίας και τα αντίστοιχα στάδια σχηματισμού αστέρων ηλιακής μάζας, από τον προαστρικό πυρήνα μέχρι την εμφάνιση των πλανητών. [Πηγή: C. J. Lada et al, 1987].

Αστρικοί πίδακες: «Ο από μηχανής Θεός»…

Όπως ενδεχομένως έχουμε παρατηρήσει όταν το νερό στροβιλίζεται στη μπανιέρα ή το νιπτήρα μας, καθώς αυτό πλησιάζει στο σιφώνιο απαγωγής, η περιστροφική του ταχύτητα αυξάνει εις βάρος της ακτινικής ταχύτητας πρόσπτωσης. Παρόμοια, σε ένα αστροφυσικό δίσκο προσαύξησης, το πλάσμα στροβιλίζεται γύρω από το κεντρικό σώμα με κάποια αρχική γωνιακή ταχύτητα και το προσροφώμενο υλικό αυξάνει την περιστροφική του ταχύτητα καθώς αυτό πλησιάζει προς το κεντρικό σώμα. Είναι απαραίτητο λοιπόν να αφαιρεθεί στροφορμή με κάποιο ρυθμό, έτσι ώστε το πλάσμα να μπορέσει να έχει και μια (μικρή συνήθως) ακτινική ταχύτητα προς το κέντρο για να μπορεί να γίνει προσαύξηση στο κεντρικό σώμα.

Ένας αρκετά εύκολος τρόπος για την αποδοτική αφαίρεση στροφορμής από ένα αστρονομικό δίσκο προσαύξησης είναι μέσω της εκροής ενός εστιασμένου δισκοανέμου (jet), ο οποίος αφαιρεί ένα σημαντικό μέρος από τη στροφορμή του δίσκου, χωρίς ταυτόχρονα να αφαιρεί και ένα μεγάλο ποσοστό από τη μάζα του. Συγκεκριμένα, ο δισκοάνεμος αφαιρώντας μόνο μερικά εκατοστά της προσροφώμενης μάζας, μπορεί να απάγει το σύνολο σχεδόν της στροφορμής του υλικού όλου του δίσκου, επιτρέποντας έτσι την πρόσπτωσή του στην κεντρική συμπύκνωση. Αυτό είναι ένα εξόχως ενδιαφέρον αποτέλεσμα και δείχνει πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος των μαγνητισμένων δισκοανέμων (jets), οι οποίοι αν και κλέβουν μόνο ένα μικρό ποσοστό μάζας από το περιδινούμενο υλικό του δίσκου αφαιρούν το μεγαλύτερο μέρος της στροφορμής του αφήνοντας το υπόλοιπο ελεύθερο να καταρρεύσει στην κεντρική συμπύκνωση για να σχηματίσει τον πρωτοαστέρα. Οι πίδακες δηλαδή από νεογέννητους αστέρες παίζουν το ρόλο του *από μηχανής Θεού* (*ex machina Deus*[*]), διότι κλέβοντας στροφορμή αφήνουν ελεύθερη τη βαρύτητα να φτιάξει το άστρο. Για τον λόγο αυτό, ίσως να μην υπήρχαμε εμείς σήμερα εδώ, αν οι πίδακες δεν συνόδευαν την αστρογένεση, αφού ο φυσικός νόμος της διατήρησης της στροφορμής του δίσκου δεν θα επέτρεπε την κατάρρευση του υλικού για τον σχηματισμό του πρωτοάστρου και εν συνεχεία των πλανητών από το εναπομένον υλικό του[**]!

---

* Ο όρος προέρχεται από την ελληνική τραγωδία. Κατά την κορύφωση της τραγωδίας, όταν η πλοκή του δράματος οδηγούσε σε αδιέξοδο, εμφανιζόταν απότομα στη σκηνή με τη βοήθεια κάποιου μηχανισμού, ένας ηθοποιός που υποδυόταν κάποιο θεϊκό πρόσωπο, για να δώσει λύση στο αδιέξοδο. Για παράδειγμα, στη «Μήδεια» του Ευριπίδη, ο θεός Ήλιος εισακούοντας την παράκληση του Χορού, αποστέλλει άρμα που το σέρνουν δράκοντες για να μεταφέρει την παιδοκτόνο εγγονή του Μήδεια μακριά από τον σύζυγό της Ιάσονα, στην ασφάλεια της Αθήνας.

** Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί πρωτότυπη συνεισφορά της ερευνητικής ομάδας του συγγραφέα, βλ. Κ. Τσίγκανος, *Αστροφυσική Πλάσματος* (2017).

1995 Ανακάλυψη των πρώτων εξωπλανητών

Ο Γαλαξίας μας περιέχει μερικές εκατοντάδες δισεκατομμύρια αστέρες, με τον Ήλιο να είναι απλά ένα τυπικό άστρο του. Ωστόσο, παρά τον μεγάλο αυτό αριθμό, μπορούμε να πούμε ότι ο Γαλαξίας μας είναι πρακτικά *άδειος* από αστέρες.

Παρόλα αυτά, σήμερα έχουμε έμμεσα εντοπίσει αρκετούς εξωπλανήτες χρησιμοποιώντας είτε τα αποτελέσματα της περιοδικής κίνησης του αστέρα γύρω από το κοινό κέντρο μάζας αστέρα-πλανήτη, είτε υπολογίζοντας την περιοδική ελάττωση της ακτινοβολίας του αστέρα λόγω της διαβάσεως του πλανήτη από τον αστρικό δίσκο.

Η αστρονομική μας μοναξιά…

Για να κατανοήσουμε πόσο μεγάλες είναι οι αποστάσεις ανάμεσα σε εμάς και τους άλλους αστέρες, ας κατασκευάσουμε ένα μοντέλο του Γαλαξία σε κλίμακα **1:100 δισεκατομμύρια**. Τότε, αποστάσεις ίσες με 1 εκατοστό του μέτρου στο μοντέλο μας αντιστοιχούν σε πραγματικές Γαλαξιακές αποστάσεις ίσες με 1 εκατομμύριο χιλιόμετρα. Σε ένα τέτοιο μοντέλο, η διάμετρος του Ήλιου θα ήταν ίση με 1,5 εκατοστά του μέτρου (όσο η χάντρα ενός κομπολογιού), ενώ σε απόσταση από τον Ήλιο ίση με 1,5 μέτρα θα βρισκόταν η Γη με διάμετρο μικρότερη από το 1/10 του χιλιοστού του μέτρου, δλδ, όσο η μύτη μιας καρφίτσας. Σε απόσταση 7,5 μέτρων θα συναντούσαμε το μεγαλύτερο των πλανητών Δία με διάμετρο περί το 1,5 χιλιοστό του μέτρου, δλδ, όσο το κεφάλι μιας καρφίτσας, ενώ ο μακρινός Πλούτων θα βρισκόταν σε απόσταση περίπου 60 μέτρων. Ο πλησιέστερος αστέρας, ο Εγγύτατος του Κενταύρου θα ευρισκόταν σε απόσταση 400 χιλιομέτρων, και ο λαμπρός Σείριος θα απείχε περί τα 800 χιλιόμετρα. Δηλ. σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, αν ο Ήλιος ευρισκόταν στην Αθήνα και ήταν σαν τη χάντρα ενός κομπολογιού, ο πλησιέστερος άλλος απλανής αστέρας θα ευρίσκετο περίπου στην απόσταση της Λάρισας από την Αθήνα, ενώ τα περίχωρα του Γαλαξία θα ευρίσκονταν σε απόσταση περί τα 2 εκατομμύρια χιλιόμετρα , δηλ., έξω από τη Γη, μακριά στο διάστημα. Ένα άστρο σε απόσταση 1.000 ετών φωτός θα ευρισκόταν, σύμφωνα με το μοντέλο μας, σε απόσταση 90.000 χλμ μακριά! Είναι προφανές λοιπόν ότι σε αυτές τις τεράστιες αποστάσεις από τον Ήλιο είναι εξαιρετικά δύσκολη η ανίχνευση αμυδρών πλανητών γύρω από άλλους αστέρες.

Εικόνα Π3.3. (πάνω αριστερά) Μια γιγαντιαία «**σαπουνόφουσκα**» στο διάστημα! Ένα άστρο με μάζα 40 φορές αυτής του Ήλιου είναι η πηγή ενός αστρικού ανέμου που δημιουργεί τη γιγαντιαία φυσαλίδα NGC 7635. Το κυανό άστρο ευρίσκεται εντός της φωτεινής φυσαλίδας. Το νεφέλωμα στον αστερισμό της Κασσιόπης έχει διάσταση 6 ετών φωτός και διαστέλλεται με ταχύτητα 7 εκατομμύρια χιλιόμετρα την ώρα. [Πηγή: T. Rector (U. Alaska Anchorage), H. Schweiker (WIYN), NOAO, AURA, NSF]. (πάνω δεξιά) Τρίχρωμο σύνθετο ψηφιδωτό είδωλο του νεφελώματος του Αετού (Messier 16 ή NGC 6611), βασισμένο σε εικόνες που ελήφθησαν με την κάμερα Wide-Field Imager στο τηλεσκόπιο MPG/ESO 2,2 μέτρων στο Observatory La Silla της Χιλής. Στο κέντρο του νεφελώματος, διακρίνονται οι λεγόμενες «**Στήλες της Δημιουργίας**». (κάτω) Οι «*Στήλες της Δημιουργίας*», με το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Αριστερά στο ορατό και δεξιά στο υπέρυθρο. Τα χρώματα είναι: πράσινο για την εκπομπή από άτομα υδρογόνου και αζώτου, κόκκινο για την εκπομπή από άτομα ιονισμένου θείου [SII] και κυανό για την εκπομπή από διπλά ιονισμένα άτομα οξυγόνου [O IIV]. [Πηγή: ESO, NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

Κεφάλαιο 4

Επιλεγόμενα

Για να πατάς στέρεα στη Γη
πρέπει το ένα σου πόδι να είναι έξω από αυτή.

Οδυσσέας Ελύτης, 1911-1996

100 χρόνια συναρπαστικών ανακαλύψεων
της θέσης της Γης μας στο Σύμπαν

Εικόνα 4.1. Ο ζωγραφικός πίνακας του Paul Gauguin, «D'où Venons Nous? Que Sommes Nous? Où Allons Nous?» - Where Do We Come From? What Are We? Where Are We Going? Από Πού Ερχόμαστε; Ποιοί Είμαστε; Πού Πάμε; Ο Πίνακας δημιουργήθηκε από τον καλλιτέχνη στην Αϊτή (1897). Ο Gauguin ανέφερε ότι ο πίνακας πρέπει να διαβάζεται από δεξιά προς τα αριστερά, με τις τρεις μεγάλες ανθρώπινες ομάδες να απεικονίζουν τις ερωτήσεις που τίθενται στον τίτλο: οι τρεις γυναίκες με το παιδί αντιπροσωπεύουν την αρχή της ζωής. Η μεσαία ομάδα συμβολίζει την καθημερινή ζωή των ενηλίκων· στην τελευταία ομάδα μια ηλικιωμένη γυναίκα που πλησιάζει τον θάνατο φαίνεται να συμφιλιώνεται και να παραιτείται από τις σκέψεις της· στα πόδια της, ένα παράξενο λευκό πουλί αντιπροσωπεύει τη ματαιότητα των λόγων. Το είδωλο στο βάθος της εικόνας και αριστερά αντιπροσωπεύει αυτό που ο Gauguin περιέγραψε ως το *επέκεινα*. [Πηγή: Museum of Fine Arts, Boston].

Πάνω και Πέραν

Ένας ατέλειωτος φυσικός κόσμος μας περιβάλλει, τόσο στη μικροκλίμακα των ατομικών διαστάσεων, όσο και στη μακροκλίμακα των αστρονομικών αποστάσεων. Ένας κόσμος που είναι ανοικτός και περιμένει να τον ανακαλύψουμε. Αρκεί να μπορέσουμε να υπερβούμε την καθημερινότητά μας. Να αποκτήσουμε τα «φτερά» της γνώσης και να τον εξερευνήσουμε. Σχετικά είναι τα λόγια του Σωκράτη στον «Φαίδωνα» του Πλάτωνος:

«ὑπ᾽ ἀσθενείας καὶ βραδυτῆτος οὐχ οἵους τε εἶναι ἡμᾶς διεξελθεῖν ἐπ᾽ ἔσχατον τὸν ἀέρα: ἐπεί, εἴ τις αὐτοῦ ἐπ᾽ ἄκρα ἔλθοι ἢ πτηνὸς γενόμενος ἀνάπτοιτο, κατιδεῖν ἂν ἀνακύψαντα - ὥσπερ ἐνθάδε οἱ ἐκ τῆς θαλάττης ἰχθύες ἀνακύπτοντες ὁρῶσι τὰ ἐνθάδε - οὕτως ἄν τινα καὶ τὰ ἐκεῖ κατιδεῖν, καὶ εἰ ἡ φύσις ἱκανὴ εἴη ἀνασχέσθαι θεωροῦσα, γνῶναι ἂν ὅτι ἐκεῖνός ἐστιν ὁ ἀληθῶς οὐρανὸς καὶ τὸ ἀληθινὸν φῶς»

και σε σύγχρονη απόδοση:

«...από την αδυναμία και τη νωθρότητά μας δεν είμαστε ικανοί να διασχίσουμε την ατμόσφαιρα απ' άκρου εις άκρον. Γιατί, αν έφτανε κανείς στην κορυφή της ατμόσφαιρας, ή αν έβγαζε φτερά και πετούσε προς τα πάνω, θα μπορούσε να αντικρίσει, σηκώνοντας το κεφάλι – όπως τα ψάρια που βγάζουν το κεφάλι τους από τη θάλασσα και βλέπουν τα πράγματα του δικού μας κόσμου – έτσι λοιπόν θα μπορούσε κάποιος να αντικρίσει εκείνο τον κόσμο, κι αν η φύση μας ήταν ικανή να αντέξει το θέαμα, θα γνωρίζαμε ότι αυτός είναι στ' αλήθεια ο ουρανός και το αληθινό φως» ...

(Πλάτων, Φαίδων 109ε)

Με άλλα λόγια, κατά τον Σωκράτη (470-399 π.Χ.), όταν οι άνθρωποι ανυψωθούμε, *πάνω και πέραν* από την ατμόσφαιρα της Γης, θα μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα ετούτο τον κόσμο τον οποίο κατοικούμε.

Σήμερα, μετά από ένα αιώνα συναρπαστικών ανακαλύψεων στην Αστροφυσική και έχοντας κυριολεκτικά ανυψωθεί πάνω και πέραν από την ατμόσφαιρα της Γης, χάρη στις προόδους της Διαστημικής έχουμε επιτέλους αντικρίσει τον πραγματικό Κόσμο που μας περιβάλλει και μέσα στον οποίο ζούμε. Αυτό εν συνεχεία μας έχει δώσει τη δυνατότητα να κατανοούμε καλύτερα τη θέση της Γης και τη δική μας μέσα στο Σύμπαν.

Η Γη φαίνεται να κατέχει μια προνομιακή θέση στο Σύμπαν

Όπως συζητήσαμε προηγουμένως και συζητάμε με περισσότερη λεπτομέρεια στον 2ο τόμο, στο Σύμπαν δεν υπάρχει κάποιο «κέντρο». Οι γαλαξίες δεν απομακρύνονται μέσα σε ένα άπειρο και αδειανό χώρο· αντίθετα, η διαστολή του Σύμπαντος οφείλεται στο «ξεχείλωμα» αυτού του ίδιου του χώρου που συμπαρασύρει μαζί του και τους γαλαξίες· η *Μεγάλη Έκρηξη* έγινε συγχρόνως σ' όλα τα σημεία του χώρου, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σήμερα κάποιο συγκεκριμένο κέντρο στο Σύμπαν, αφού το κέντρο βρίσκεται «παντού».

Από τη σκοπιά λοιπόν των ανακαλύψεων της Διαστημικής, Αστροφυσικής και Κοσμολογίας του προηγούμενου αιώνα κατοικούμε σε ένα μικροσκοπικό πλανήτη, ο οποίος περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο, που είναι απλά ένα από τα εκατοντάδες δισεκατομμύρια άστρα που απαρτίζουν και περιστρέφονται περιφερειακά γύρω από το κέντρο του Γαλαξία. Και ο Γαλαξίας μας είναι μέλος ενός από τα πολυάριθμα σμήνη και υπερσμήνη γαλαξιών που πλημμυρίζουν τον ασύλληπτα εκτεταμένο, αλλά πεπερασμένο κοσμικό χωρόχρονο. Επομένως, προκύπτει ότι η θέση της Γης μας **δεν είναι κεντρική** στο Γαλαξία, ούτε ο Γαλαξίας κατέχει κάποια κεντρική θέση στο Σύμπαν.

Συγχρόνως όμως φαίνεται ότι η Γη μας κατέχει μια **προνομιακή** θέση μέσα στο *πλανητικό σύστημα*, μέσα στον *Γαλαξία* και γενικότερα στο *Σύμπαν*. Αυτό επεξηγούμε παρακάτω.

- **Σύμπαν με επιλεγμένες φυσικές σταθερές**

  Καταρχήν, όπως συζητάμε στον 2ο τόμο, φαίνεται ότι ζούμε σε ένα Σύμπαν όπου κάποιες παγκόσμιες σταθερές της φυσικής έχουν *επιλεγμένες τιμές*, τέτοιες ώστε να μπορέσει να υπάρξει και να ανθίσει σε τόσες πολυάριθμες μορφές ζωή μόνο στο δικό μας Σύμπαν, σε αντιδιαστολή ενδεχομένως με άλλα *στείρα* Σύμπαντα, όπου οι φυσικοί νόμοι και σταθερές δεν είναι καθόλου φιλικές στην ανάπτυξη της ζωής τουλάχιστον στις μορφές που υπάρχουν στη Γη.

  Παρόμοια, μπορούμε να εξετάσουμε τις διάφορες προϋποθέσεις για την *κατοικησιμότητα* άλλων εξωγήινων κόσμων μέσα στο Σύμπαν και ειδικότερα τον Γαλαξία μας.

- **Ένας ασφαλής Γαλαξίας**

  Αρχικά, πρέπει να επισημάνουμε ότι ζούμε σε ένα *ασφαλή* Γαλαξία. Εξαιτίας των φονικών εκλάμψεων ακτίνων-γ που συζητάμε εκτενώς στο 1ο κεφάλαιο του 2ου τόμου, η ζωή – όπως την γνωρίζουμε στη Γη – θα μπορούσε να αναπτυχθεί με ασφάλεια μόνο στο περίπου 10% των γαλαξιών. Και, τέτοια ζωή θα

μπορούσε να αναπτυχθεί μόνο τα τελευταία 5 δισεκατομμύρια έτη. Σε προγενέστερη εποχή, οι γαλαξίες είχαν μικρότερο μέγεθος και οι δολοφονικές εκλάμψεις ακτίνων-γ ήταν τότε πολύ πιο κοντινές στους πλανήτες. Έτσι, είχαν τη δυνατότητα να προκαλέσουν μεγάλης κλίμακας αφανισμούς σε πλανήτες που δυνητικά θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν και να αναπτύξουν τη ζωή.

➥ **Ασφαλής θέση εντός του Γαλαξία μας**

Αλλά και εντός του Γαλαξία μας, ζούμε στα ασφαλή του *περίχωρα*. Όπως συζητάμε εκτενώς στον 2ο τόμο, οι εκλάμψεις ακτίνων-γ είναι μια μεγάλη απειλή για τη ζωή σε άλλες πιο πυκνοκατοικημένες από αστέρια περιοχές του Γαλαξία μας. Συγκεκριμένα, στις κεντρικές γαλαξιακές περιοχές η αστρική πυκνότητα είναι πολύ μεγάλη, επειδή τα αστέρια είναι πολύ πιο κοντά το ένα στο άλλο. Αυτό σημαίνει ότι σε αυτές τις κεντρικές περιοχές ο κίνδυνος να πληγεί κάποιο αστέρι από γειτονικές εκλάμψεις ακτίνων-γ είναι μεγαλύτερος. Σε μια περιοχή ακτίνας μερικών χιλιάδων ετών φωτός στις κεντρικές περιοχές του Γαλαξία, όπου εγκαταβιώνει το 25% των αστεριών που συνολικά υπάρχουν μέσα στο Γαλαξία μας, τα αστέρια εκεί αντιμετωπίζουν θανάσιμο κίνδυνο με πιθανότητα 95% να κτυπηθούν από μια καταστροφική έκλαμψη ακτίνων-γ εντός 1 δισεκατομμυρίου ετών. Επομένως, η ζωή με τη μορφή που υπάρχει στη Γη μπορεί να επιβιώσει και να αναπτυχθεί με μεγάλη σιγουριά μόνο στα απομακρυσμένα *περίχωρα* του Γαλαξία, σε απόσταση πέρα από περίπου 30.000 έτη φωτός από το Γαλαξιακό κέντρο. Επίσης, στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μια μεγάλης μάζας μελανή οπή (βραβείο Nobel Φυσικής 2020), η οποία, λόγω του ισχυρότατου πεδίου βαρύτητας που έχει είναι επικίνδυνη για τα γειτονικά της σώματα. Παρόμοια είναι η κατάσταση σε ένα σφαιρωτό σμήνος, όπου οι τεράστιες πυκνότητες των άστρων δημιουργούν περιβάλλοντα εχθρικά προς την ανάπτυξη ζωής, εκπέμπουν υπερβολική ακτινοβολία και υφίστανται έντονες βαρυτικές διαταραχές.

Αυτό μπορεί να αποτελεί μια μερική εξήγηση, στο επονομαζόμενο παράδοξο του Fermi, ή, τη «μεγάλη κοσμική σιωπή»: γιατί δεν έχουμε συναντήσει αναπτυγμένους πολιτισμούς στο Σύμπαν; Ο Γαλαξίας μας είναι πολύ γηραιότερος από το πλανητικό μας σύστημα· έτσι, υπήρχε αρκετός χρόνος και χώρος – ο αριθμός των εξωηλιακών συστημάτων που διαθέτουν συνθήκες παρόμοιες με αυτές στη Γη είναι τεράστιος – για την ανάπτυξη της ζωής αλλού στο Γαλαξία μας. Επομένως, γιατί δεν έχουμε συναντήσει μέχρι τώρα κάποιον ανώτερο πολιτισμό κάπου αλλού στο Γαλαξία; Η απάντηση στο παράδοξο του Fermi λοιπόν μπορεί να ευρίσκεται στο ότι εκλάμψεις ακτίνων-γ μπορεί να έχουν «κτυπήσει και εξαλείψει» τη ζωή από πολλούς πλανήτες που αρχικά τη φιλοξένησαν σε άλλες λιγότερο ασφαλείς θέσεις του Γαλαξία μας.

51 Pegasi, 286
[BHB2007] 11, 296

Α
α Centauri A, 64, 307
α Centauri B, 64, 307
α Centauri C, 307
α Centauri C b, 307
αδρόνια, 44
αέριες φυσαλίδες σε ενυδρείο, 96
ακτινοβολία Cherenkov, 48, 50
Αλήθεια και Ομορφιά (βιβλίο), 86
αλμυρός ωκεανός Ευρώπης, 223
αμμόλοφοι στον Άρη, 210
άνθρακας-14, 163
ανιχνευτής Super-Kamiokande, 48
αντιδικία Eddington-Chandrasekhar, 79
Αντωνιάδης Ευγένιος, 198
άμεση απεικόνιση (μέθοδος), 291
Αποσπερίτης, 200
Αργώ, 267
Άρης (πλανήτης), 202, 238-241
αριθμός Wolf R, 164
ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις, 44
αστάθεια Kelvin-Helmholtz, 96
αστάθεια Parker, 140
αστάθεια Rayleigh-Taylor, 95, 96
αστέρες εκλάμψεων, 123
αστέρες τύπου T Tauri, 70
αστέρι από διαμάντι, 26
αστερισμός του Αετού, 256, 259
αστερισμός της Κασσιόπης, 316, 317
αστερισμός του Κηφέα, 256, 260, 317
αστερισμός του Όφεως, 260, 316
αστερισμός του Φιδιού, 256
αστεροσεισμολογία, 62, 67
ασυμπτωτικός κλάδος των γιγάντων, 74
Αυγερινός, 200,
Αφροδίτη (πλανήτης), 200, 236

Β
βαρυτική υποβοήθηση, 214
βηρύλλιο-10, 164
βραβείο Nobel (Αστρο)φυσικής έτους
1902: 91, *1907*: 29, 52, *1921*: 28,
1930: 82, *1957*: 87, 1967: 30,
1970: 30, 80, 1974: 31, 33,
1978: 32, 275, *1983*: 31, 53, 81,
1985: 30, 82, *2002*: 32, 33, 40, 48,
2006: 34, *2015*: 11, 34, 40, 51,
2017: 35, *2019*: 33, 34, 254, 287, 33,
2020: 35
βρόχοι, 102, 113, 185
βουνό Όλυμπος του Άρη, 21

Γ
γαλάζιο πετράδι στο διάστημα, 6
γαλαξίες Seyfert, 127
Γαλιλαίος, 89, 90, 198
Γανυμήδης, 219
Γεω-ηλιακή σύζευξη, 148
γεωμαγνητικές διαταραχές, 148
γεωμαγνητικές καταιγίδες, 120
Γκαγκάριν Γιούρι, 194

Δ
δακτυλιοειδές ηλεκτρικό ρεύμα, 150
δακτύλιοι του Δία, 218
δακτύλιοι του Κρόνου, 13, 242, 244, 247
δενδροκλιματολογία, 167
δεύτερη ανάσυρση, 74
Δήμητρα (αστεροειδής), 221, 236
διαστημικός καιρός, 61, 121, 130, 147-8, 158
διαστημικό πρόγραμμα Apollo, 194
διάταξη VLBI, 257
διαφορική περιστροφή του Ήλιου, 65, 117
δίσκος προσρόφησης, 126
δυναμό, 65, 97

Ε
Εγγύτατος του Κενταύρου, 125, 233, 284
Εγκέλαδος, 19, 221, 223, 248
εκλάμψεις, 186, 102, 120
ελάχιστο του Maunder, 161, 166
ελικοειδή μαγνητικά πεδία, 115
Ελληνικός εξωπλανήτης HAT-P-42 b (Ιόλαος), 303
Ελληνική διαστημική πολιτική, 174
ενεργειακά ηλιακά σωματίδια, 120
εξωπλανήτες, 284-302
εξωπλανήτης K2-18, 309
εξώσφαιρα, 200
επεισόδιο του Κάρινγκτον του 1859, 119
Ερμής (πλανήτης), 197, 235
ερυθρά κηλίδα του Δία, 22, 241
ερυθρός γίγαντας, 72
ερυθρός νάνος, 124
Ευρώπη (δορυφόρος), 219, 222, 248

Ζ
ζωή στον Άρη, 211
ζώνες ακτινοβολίας van Allen, 194, 196
ζώνη ακτινοβολίας, 53
ζώνη μεταφοράς, 55, 59
ζώνη του Kuiper (Κάιπερ), 228, 229, 250
ζώνη των αστεροειδών, 16

Η
HH 24, 271, 323
HH 34, 266
HH 46/47, 268, 322
HH 111, 320
ηλεκτρικά ρεύματα Birkeland, 159
ηλεκτρογεννήτρια, 98
ηλιακά κέντρα δράσης, 102, 104
ηλιακά εκρηκτικά νήματα, 116
ηλιακά λαμπρά σημεία, 176
ηλιακά μαγνητικά πεδία, 88
ηλιακά νετρίνα, 42
ηλιακά νήματα, 102, 113, 114, 130, 179
ηλιακά πυροτεχνήματα, 102
ηλιακά χρωμοσφαιρικά νημάτια (fibrils), 102, 108, 179, 181
ηλιακές εκλάμψεις, 119-124
ηλιακές εκλείψεις, 180
ηλιακές κηλίδες, 102, 104, 175
ηλιακές μικρο-στεμματικές εκτινάξεις πλάσματος, 184
ηλιακές πιτσιλιές (mottles), 181
ηλιακές προεξοχές, 102, 113, 114, 130, 178, 186
ηλιακές στεμματικές οπές, 131
ηλιακές χρωμοσφαιρικές αναλαμπές, 103
ηλιακή στεμματική θέρμανση, 123
ηλιακή δραστηριότητα, 121, 167, 190
ηλιακή εξέλιξη, 68
ηλιακή μουσική, 58
ηλιακή περιστροφή, 65, 117
ηλιακή υπερκοκκίαση, 107
ηλιακή φωτόσφαιρα, 53
ηλιακή χρωμόσφαιρα, 109, 178-181
ηλιακό δυναμό, 65, 67, 97, 100
ηλιακό στέμμα, 131
ηλιακό χρωμοσφαιρικό δίκτυο, 103, 107
ηλιακοί κόκκοι, 102, 106, 176
ηλιακοί πόροι, 102, 177
ηλιακοί στεμματικοί πίδακες, 103, 182, 183
ηλιακοί φωτοσφαιρικοί πυρσοί, 105, 176
ηλιακοί χρωμοσφαιρικοί πίδακες (spicules), 103, 108, 178, 179, 181
ηλιακοί χρωμοσφαιρικοί πυρσοί (plages), 103, 178
ηλιακός πυρήνας, 41, 177
ηλιακός άνεμος, 136, 138, 141
ηλιακός κύκλος, 100, 102, 160
ηλιόπαυση, 231
Ήλιος, 15, 37, 177
ηλιοσεισμολογία, 58, 67
ηλιόσφαιρα, 231, 249
ηφαίστεια, 219
ηφαίστειο Πελέ, 220
Ηώ, 263, 319

Θ
θερμή σύντηξη πυθμένα, 74
θερμικός παλμός, 74

Ι
Ιερά Εξέταση, 89
Ινδιάνοι Ανασάζι, 169
ιονόσφαιρα, 200
ιονοσφαιρικές καταιγίδες, 153
Ιώ, 215, 217, 219, 246

Κ
καθιερωμένο πρότυπο σωματιδιακής φυσικής, 45
Καλλιστώ, 219
Καστελόριζο (ηλιακή έκλειψη), 132
καφετί νάνοι, 125
Κελόζ Ντιντιέ, 286, 340
Κέρβερος, 229
κίτρινος γίγαντας, 73
κοσμικές ακτίνες, 161
κουάρκ, 45
Κρόνος (πλανήτης), 242, 244, 247
Κριμιζής Σταμάτης, 190, 203, 211, 221, 229, 231
κριτήριο του Schwarzchild, 54
κρουστικά κύματα, 109, 120
Κύρια Ακολουθία, 71

Λ
λεπτόνια, 44
λευκός νάνος, 75
Λέων ο Διάκονος, 131
Λιγεία θάλασσα, 225, 227
λίμνες μεθανίου, 226
Λυδία λίθος, 39

Μ
M16, 260
μαγνητικές καταιγίδες, 149
μαγνητική επανασύνδεση, 123, 127, 148
μαγνητική άνωση, 92, 113, 127, 184
μαγνητική πίεση, 94
μαγνητικοί σωλήνες, 181
μαγνητικό πεδίο, 88, 108
μαγνητικό χαλί, 123
μαγνητόπαυση, 148
μαγνητοϋδροδυναμική επιτάχυνση εκροής, 278
μαγνητοϋδροδυναμική εστίαση εκροής, 279
μαγνητοϋδροδυναμικοί πίδακες, 279
μαγνητοσφαιρικές καταιγίδες, 120
μαγνητοσφαιρικές υποκαταιγίδες, 149
Μαριολόπουλος Ηλίας, 194
μεγάλη σκοτεινή κηλίδα του Ποσειδώνα, 218
μεθάνιο στον Τιτάνα, 225
μέθοδος της άμεσης απεικόνισης, 291
μέθοδος της αστρομετρίας, 292
μέθοδος της βαρυτικής μικροεστίασης, 289
μέθοδος της διάβασης, 288
μέθοδος των ακτινικών ταχυτήτων, 286
μηχανισμός-α δυναμό, 101
μηχανισμός-Ω δυναμό, 101
Μαγιόρ Μισέλ, 286, 311, 331
μοντέλο δυναμό Babcock-Leighton, 99
μοντέλο επανασύνδεσης Sweet-Parker, 140
μυστικιστικό βουνό, 269

Ν
νεφέλωμα «Ε», 256
νεφέλωμα της «πάπιας», 260
νεφέλωμα του Αετού, 259, 316
νεφέλωμα του φιδιού, 256
νεφέλωμα του Ωρίωνος
νόμος Titius-Bode, 16
νόμος του Spörer, 118
Νύκτα (δορυφόρος), 229

Ξ
ξ στον αστερισμό της Ύδρας, 63
Ξανθόπουλος Βασίλης, 86, 87

Ο
Οικονόμου Θανάσης, 140, 205-6
όριο Chandrasekhar, 76
όριο Parker, 140
Ουρανός (πλανήτης), 215, 218, 228, 243

Π
Παλλάδα (αστεροειδής), 17
παλιρροιακή θέρμανση, 219
παράδοξο του Fermi, 25
πείραμα GALLEX, 48
πείραμα SAGE, 48
Περσίδης Σωτήρης, 86
πίδακες παγοκρυστάλλων, 223
Πλακίδης Σταύρος, 194
Πλούτων (πλανήτης), 228, 230, 231
Πνευματικός Στέφανος, 86
πολικό σέλας, 121, 151
Ποσειδών (πλανήτης), 216-218, 228
πρόβλημα των ηλιακών νετρίνων, 45, 59
προβοσκίδα του ελέφαντα, 260
πρόγνωση ηλιακής δραστηριότητας, 172

πρότυπο ηλιακό μοντέλο, 48, 51, 59
Πύραυλος R-7 8K72 Vostok (Sputnik), 193

Σ
Σείριος, 233
σκέδαση Mie, 6
σκέδαση Rayleigh, 6
σκοτεινά νεφελώματα, 255, 278
σκοτεινά νήματα, 102, 113
στάσιμα ακουστικά κύματα, 59
στεμματικές εκτινάξεις πλάσματος (ΣΕΠ), 102, 120, 127, 184
στήλες της δημιουργίας, 259
Στύγα (δορυφόρος), 229, 231
σχέση διασποράς, 60

Τ
ταχοκλινής, 59
μέθοδος ακτινικών ταχυτήτων, 286
τηλεσκόπιο COROT, 62
τηλεσκόπιο της NASA Kepler, 62
Τιτάνας (δορυφόρος), 218, 225, 247
Τραπέζιο Ωρίωνα, 265, 319
τρίτη ανάσυρση, 74
Τρίτωνας (δορυφόρος), 218
τροχιά Hohman, 212

Υ
Υγεία (αστεροειδής), 17
Ύδρα (δορυφόρος), 229, 231
υπερεκλάμψεις, 126
υπερκαινοφανής του Kepler, 264

Φ
φαινόμενο Raman, 82
φαινόμενο Zeeman, 91

Χ
Χάρων (δορυφόρος), 229, 231

Ω
Ωρίωνας (νεφέλωμα), 263

A
Aldrin Buzz, 197
ALMA (Atacama Large Millimeter Array), 253, 295
Apollo 11, 197
Argo Navis, 267
Armstrong Neil, 197
Arthur B. McDonald, 51

B
Babcock Horace W. , 99
Bahcall John, 47
Barnard Edward, 255
Barnard 68, 258
Barnard 72, 256
Barnard 142/143, 256
Barnard 163, 261, 317
Bellatrix, 265
Beppi-Colombo, 200
Betelgeuse, 264
BHB2007, 297, 327
Bok Bart, 256
Bok globules, 256
bright points, 107

C
Caloris Planitia, 198
Cape St. Vincent, 208, 240
Cape Verde, 211, 239
Carina nebula, 269, 270, 318
Carma-7, 320
Carrington Richard, 90, 116
Cassini Giovanni Domenico, 13
Cassini (διαστημόπλοιο), 223, 228, 245
CERN, 308
Challis James, 116
Chandrasekhar Subrahmanyan (Chandra), 81, 86, 87, 139
CHEOPS, 341
Chryse planitia, 203,205
Churyumov-Gerasimenko (κομήτης), 196
Clark Arthur, 207
Collins Michael, 197
Curiosity, 195, 202, 207, 210, 237
Cygnus X-1, 85

D
Davis Raymond, 47
Dawn (mission), 196
DG Canum Venaticorum, 125
Dragonfly, 226

Duck nebula, 256
Duck Bay, 210, 211

E
Eddington Arthur, 57, 79
Edlen Bengt, 133
EGGs, 260
Eisenhower Dwight, 194
Eros (αστεροειδής)), 195
ESO (European Southern Observatory), 294
ex machina Deus, 283
Explorer 1, 193

F
Fabricius Johann, 89
Faraday Michael, 98
Fermi (παράδοξο), 302
filigree, 107
Fomalhaut b, 291, 328
Frail Dale, 290

G
Galileo Galilei, 89
Galileo (διαστημόπλοιο), 195, 202, 246
geysers, 110
Gliese 445, 233
Global Oscillations Network Group, 67
GNSS (Global Navigation Satellite System), 158
Grand Lunette, 198

H
Hale George Ellery, 90, 99
Halo CMEs, 129
HAT-P-42 b, 305
HD 209458, 288
HD 206265, 260
Herschel William, 76, 255
Herschel (διαστημικό τηλεσκόπιο), 236
HH 24, 271, 323
HH 34 (Herbig-Haro 34), 266
HH 46/47, 268, 322
HH 111, 320
Hinode, 110
HL Tau, 295, 326
HMI (Helioseismic and Magnetic Imager), 187
Humason Milton, 124
Humboldt Alexander von, 149
Huygens Christiaan, 13
Huygens (probe), 195, 226

I
IC 1396, 260
IC 1396A, 260
Insight, 207

J
Jeans James, 277
Jeans (αστάθεια), 277
Joy Alfred, 124
Juno mission, 214

K
K2-18 b, 309
K2-18 c, 309
Kajita Takaaki, 51
Kamioka Observatory, 48
Kennedy John, 195, 197
Kepler Johann, 89
Kepler-90, 293
Korolev Sergei, 193
Koshiba Masatoshi, 48
Kraken mare, 225
Kubrick Stanley, 207

L
Lee Tsung-Dao, 87
Leighton Robert, 57
Lemaître Georges, 342
Liu Cixin, 306
LkHa 349a, 261
LkHa 349c, 261
Lorentz Hendrik Antoon, 91
Low Energy Charged Particle Detector, 228, 231
Lyot Bernard 132

M
M16, 250, 316
MMS5/OMC-3, 325
Magellan mission, 195, 201
Mariner 2, 201
Mariner 3, 203

Mariner 4, 203, 230
Mariner 5, 201
Mariner 6, 203
Mariner 7, 203
Mariner 8, 203
Mariner 9, 203, 204
Mariner 10, 195, 198
Mars 96, 205
Mars Express, 207
Mars Global Surveyor, 205
Mars Observer, 205
Mars Reconnaissance Orbiter, 207, 211
Maunder Edward Walter, 161
Maunder minimum, 166
Maven, 207
Mayor Michel, 254, 286, 287, 340
MDI (SOHO), 67
MESSENGER (διαστημόπλοιο), 199, 235

N
nanoflares, 123
nanotesla, 150, 199
NASA, 194
New Horizons, 195, 220, 229
NGC 7635, 316
NTT (New Technology Telescope), 294

O
Olbers Heinrich Wilhelm, 17
Ontario Lacus, 225
Oort Jan, 166
Opportunity, 195, 202, 207, 208, 209, 239, 240

P
Parker Eugene, 94, 123, 136, 140
Parker Solar Probe (PSP), 141, 190
Pathfinder, 195, 206, 209, 237
Peebles James, 287, 335
Penzias Arno, 275
Phoenix, 195, 207, 237
Proba-3 (PRoject for OnBoard Autonomy), 147, 190
Proxima Centauri, 307
pulsar PSR 1257+12, 291
PSR B1620-26, 291
PSR B0943 620+10, 291
PSR B0329+254, 291
Punga mare, 225

Q
Queloz Didier, 254, 286, 340

R
Raman C.V. , 82
Ramsey William, 133
Rigel, 265
Rosner Robert, 140
Ross 248, 233
Rosetta/Philae, 196
RS CVn, 125

S
Saiph, 265
Scheiner Christoph, 65, 89
Schiaparelli Giovanni, 198
Schwabe Samuel Heinrich, 90, 150, 160
Schwartz D., 268
SDO (Solar Dynamics Observatory), 110, 145, 185, 186, 187
Secchi Angelo, 108, 118
Simpson John A., 137
Skylab, 157
Snake nebula, 256
Solar Orbiter Workshop II, 189
SoHO διαστημόπλοιο, 67, 108, 143
Solar Orbiter (SolO), 146
Spirit (rover), 202, 206, 209, 237
Spörer, 118, 166
Sputnik, 193
STEREO (Solar TErrestrial RElations Observatory), 110, 144
Super-Kamiokande Observatory, 49
Sudbury Neutrino Observatory, 50
Swift δορυφόρος, 125

T
TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), 253, 309
TRACE (Transition Region and Coronal Explorer), 108, 110, 185
TRAPPIST (TRAnsiting Planets and PlanetesImals Small Telescope–South), 294

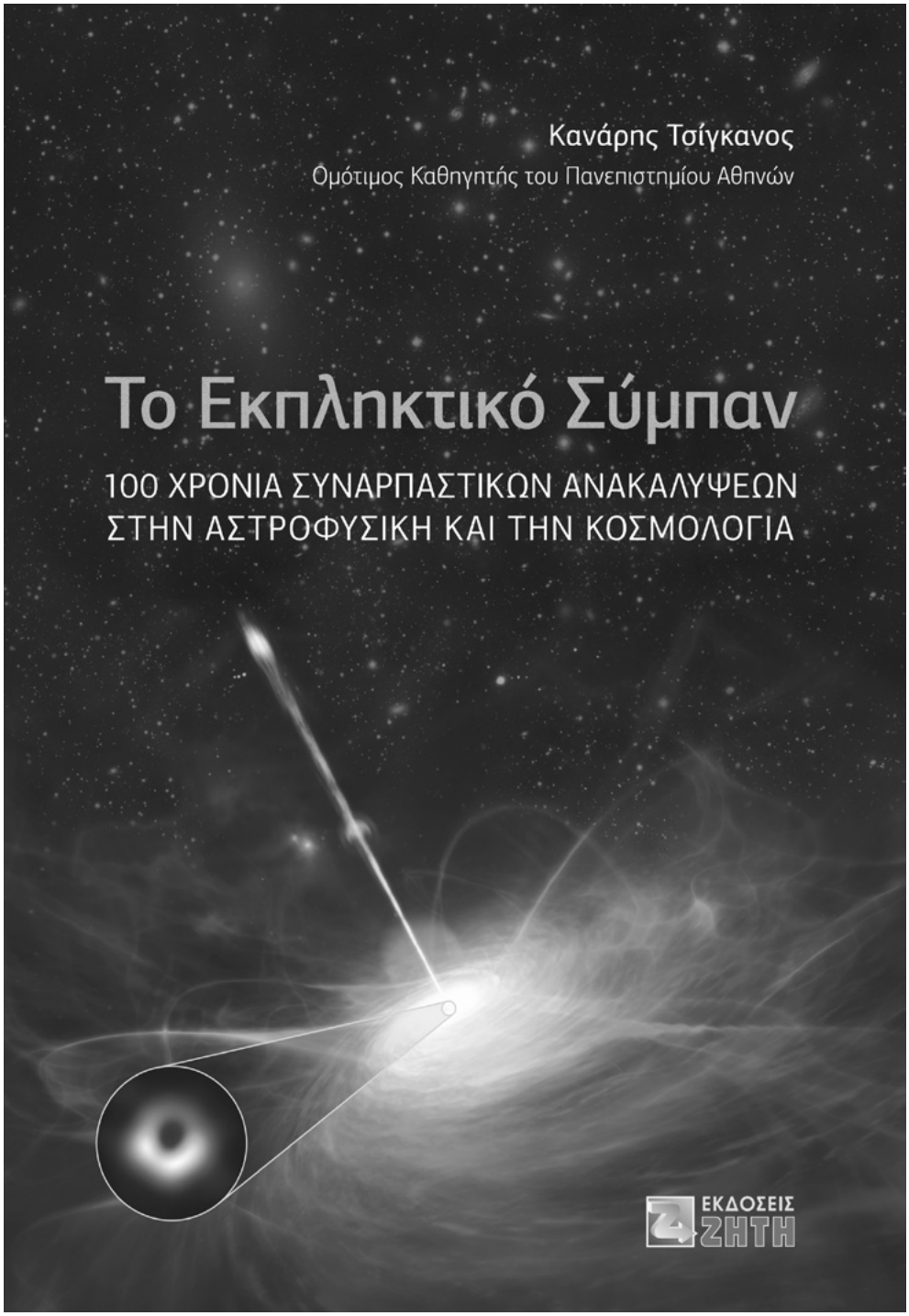
TRAPPIST-1, 294
Trisolaris, 307

U
Ulysses (διαστημόπλοιο), 142
Utopia planitia, 205
UV Ceti, 123

V
van Allen James, 196
Vela (constellation), 322
Vela pulsar, 267
Venera (missions), 195
Venera 3, 201
Venera 4, 201
Venera 9, 201
Venera 13, 202
Venera 14, 202
Venera 7, 201
Venus Express, 202
Very Large Telescope, 77, 257
Viking 1, 195, 203, 204, 237
Viking 2, 195, 204, 237
Victoria (Mars), 208, 210, 211
Vid Flumina, 226, 247
Viking 1, 205
Viking 2, 205
VLT (Very Large Telescope), 288, 315
VLTI (διάταξη), 257
Voyager 1, 195, 216, 228
Voyager 2, 195, 216, 228

W
W3, 317
W43, 276
WASP-76 b, 301, 328
WDJ0914 + 1914, 78
Wilson Alexander, 90
Wilson Robert, 275
Wolf Rudolf, 118, 160, 166
Wolf Max, 255
Wolszczan Aleksander, 290

Y
Yang Chen Ning, 87
Yellowstone (Εθνικό Πάρκο), 110
Yerkes (αστεροσκοπείο), 87
Yohkoh (διαστημόπλοιο), 110

Z
Zupi Giovanni, 198

ΚΥΚΛΟΦΟΡΕΙ ΕΠΙΣΗΣ